

WPLYW TECHNOLOGII OBRÓBKI NA DOKŁADNOŚĆ WYMIAROWO-KSZTAŁTOWĄ ODLEWANEGO KORPUSU ZAWORU

Edward MIKO¹, Łukasz NOWAKOWSKI¹

1. WPROWADZENIE

Każdy przedmiot odlewany w dowolnym stadium jego obróbki, posiada błędy wymiarowo-kształtowe poszczególnych powierzchni. Błędy te powinny zawsze mieścić się w granicach tolerancji określonych przez konstruktora obrabianego przedmiotu [2]. W zależności od zakresu określonych tolerancji błędy te mogą być znaczne, szczególnie w surowych półwyrobach jak odlewy żeliwne, które po wyjęciu z formy są oczyszczane obróbką strumieniową np. piaskowanie, śrutowanie, co może również wpłynąć na wynik obróbki.

Podczas planowania procesu obróbki odlewów oraz przy doborze baz obróbkowych i powierzchni ustalających należy pamiętać, że [2, 3]:

- części przedmiotu odlewane mogą być przesunięte względem siebie w płaszczyźnie podziału formy,
- w płaszczyźnie podziału formy na przedmiocie odlewany mogą wystąpić wypływk materiału,
- niektóre powierzchnie przedmiotu mają pochYLENIA odlewnicze,
- wewnętrzne powierzchnie odlewu mogą być przesunięte względem zewnętrznych (błędne ustawienie rdzenia),

W pracy analizowano problemy związane z obróbką korpusu zaworu odlanego z żeliwa sferoidalnego. Był to przypadek, w którym przedmiot nie był obrabiany w całości, lecz tylko jego wybrane powierzchnie zewnętrzne i wewnętrzne zostały poddane obróbce. Podstawowym problemem podczas obróbki jest wybranie powierzchni ustalającej do pierwszej operacji, która będzie określała położenie wszystkich powierzchni obrabianych względem powierzchni nieobrobionych.

W większości przypadków dla części typu korpus zaworu pierwsza operacja obróbki powierzchni bazowych wykonywana jest z użyciem tokarki w standartowym uchwycie trójszczekowym. Ewentualnie korpus zaworu podpira się kłem w celu po-

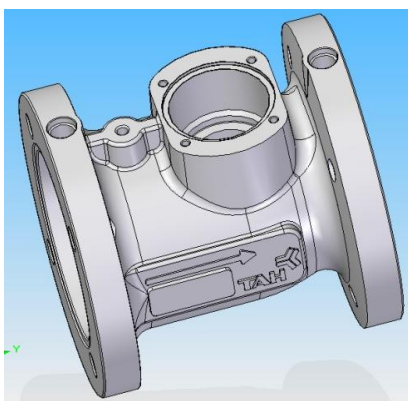
¹ Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25314 Kielce

prawy współosiowości części względem uchwytu oraz pewniejszego zamocowania, ponieważ powierzchnia mocująco-ustalająca jest surowa. Wadą tego rodzaju zamocowania na tokarce jest to, że nie możemy wprowadzić korekty w zamocowaniu i wszelkie błędy oblewu przenoszą się na błędy obróbkowe, dlatego trzeba przyjmować większe naddatki obróbkowe [4].

W pracy badawczej podjęto próbę alternatywnej technologii zamocowania i obróbki korpusu zaworu na frezarce pięcioosiowej w jednym zamocowaniu i porównania jej z powszechnie stosowaną technologią z wykorzystaniem tokarki i frezarki.

2. METODYKA I WARUNKI OBRÓBKİ KORPUSÓW ZAWORU

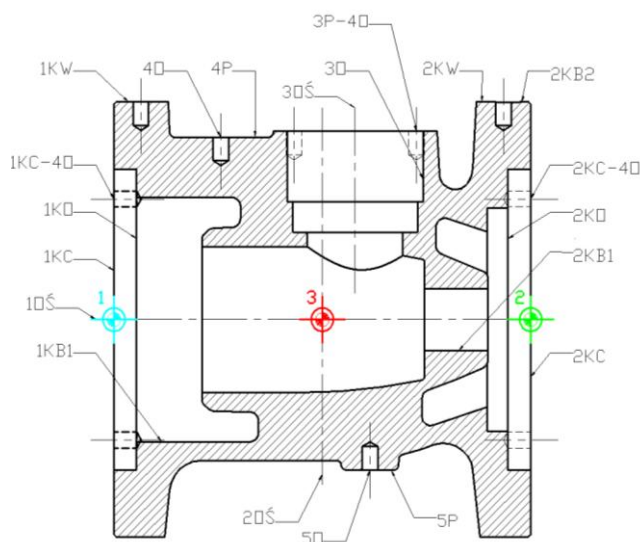
Praca opisuje wyniki badań dotyczących analizy wpływu technologii obróbki na dokładność wymiarowo-kształtową korpusu zaworu (rys. 1), odlanego z żeliwa sferoidalnego EN-GJS-400-15.



Rys. 1. Widok gotowego korpusu zaworu

W badaniach porównano dwie technologie obróbki: pierwszą w sześciu zamocowaniach z wykorzystaniem tokarki i frezarki oraz drugą przeprowadzoną na pięcioosiowej frezarce w jednym zamocowaniu. Obrobione korpusy zaworów zmierzono na współrzędnościowej maszynie pomiarowej Contura G2 firmy ZEISS i porównano wybrane cechy wymiarowo-kształtowe wpływające na właściwości użytkowe korpusu zaworu [1].

Obróbkę dwóch korpusów zaworu przeprowadzono w Laboratorium Obrabiarek Sterowanych Numerycznie Politechniki Świętokrzyskiej. Korpus I został obrobiony na tokarce i frezarce. Toczenie powierzchni zewnętrznych 2KC (czoło kołnierza drugiego), 1KW, 2KW (powierzchnie walcowe kołnierza pierwszego i drugiego), wewnętrznych 2KO (otwór w kołnierzu drugim) (rys.2) przeprowadzono na tokarce CTX ALPHA 500. Korpus został ustalony za pomocą uchwytu trójszczękowego na powierzchni 1KB1 (otwór w kołnierzu pierwszym) i podparty kłmem specjalnym na powierzchni 2KB1 (otwór w kołnierzu drugim) w celu lepszego wyosiowania korpusu z uchwytem obrabiarki (punkt zerowy programu obróbkowego nr 1 oznaczony kolorem niebieskim). W drugim zamocowaniu na tokarce korpus został ustalony na powierzchni 2KB2, która była obrobiona w pierwszym zamocowaniu (punkt zerowy programu obróbkowego nr 2 oznaczona kolorem zielonym). Z tego zamocowania obróbce poddane zostały dwie powierzchnie 1KC (czoło kołnierza pierwszego) i 1KO (otwór w kołnierzu pierwszym).



Rys.2. Oznaczenia powierzchni ustalających, obrabianych i baz obróbkowych

Po zakończeniu operacji tokarskich, kolejne etapy obróbki przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim VMC 800 AVIA w czterech zamocowaniach. W zamocowaniu pierwszym korpus zaworu został ustalony w pryzmach na powierzchniach walcowych 1KW, 2KW i przytwierdzony do stołu obrabiarki za pomocą łap. Punkt zerowy programu obróbkowego nr 3 oznaczony kolorem czerwonym został wyznaczony za pomocą sondy przedmiotowej TS 640

HEIDENHAIN w oparciu o cykle pomiarowe „409” i „417”. Z tego zamocowania zostały wykonane operacje obróbki powierzchni 3P (powierzchnia trzecia), 3O (otwór), 4P (powierzchnia czwarta) i wywiercone zostały cztery otwory na powierzchni trzeciej (3P-4O) oraz otwór 4O (powierzchnia czwarta 4P). W dwóch następnych zamocowaniach (punkty zerowe programu obróbkowego nr 1 i nr 2) zostały wywiercone 4 otwory (1KC-4O i 2KC-4O) na powierzchniach czołowych kołnierzy korpusu 1KC i 2KC, powierzchniami ustalającymi na przemian były 1KC dla obróbki na 2KC i 2KC dla obróbki na powierzchni 1KC. Punkty zerowe programu obróbkowego zostały wyznaczone za pomocą cykli sondy przedmiotowej „412” i „417”. W ostatnim mocowaniu za boczne ściany zaworu w imadle precyzyjnym korpus zaworu został ustalony na powierzchni 3P (punkt zerowy programu obróbkowego nr 3), co umożliwiło obróbkę powierzchni 5P i wywiercenia w niej otworu 5O.

Korpus zaworu II został obrobiony na pięcioosiowej frezarce HERMLE B300 w jednym zamocowaniu, które umożliwiała dostęp do wszystkich obrabianych powierzchni. Wymagało to skonstruowania specjalnej kostki, która umożliwiła zamocowanie korpusu zaworu w imadle precyzyjnym, polegało to na przykręceniu do bocznej ścianki korpusu zaworu kostki za którą mocowano przedmiot w imadle. Rozwiązanie to nie jest docelowe, było opracowane tylko i wyłącznie na potrzeby pracy badawczej, w obróbce seryjnej konieczne będzie opracowanie specjalnego uchwytu, który umożliwi szybszą wymianę przedmiotu obrabianego.

Punkt zerowy programu obróbkowego nr 3 został wyznaczony w osiach symetrii zaworu z wykorzystaniem cykli sondy przedmiotowej OMP 40 Renishaw „409” i

„417”, w którą wyposażona była obrabiarka HERMLE B300.

Podczas obróbki zastosowano indeksowanie osi maszyny w oparciu o cykl „PLANE SPATIAL”, który umożliwił zmianę położenia korpusu zaworu bez jego przemocowania. Kolejność obróbki, była identyczna jak w przypadku korpusu I, z tą różnicą, że kinematyka obróbki tokarskiej kołnierzy korpusu została zastąpiona interpolacją kołową na frezarce (złożenie ruchu w dwóch osiach X i Y), gdzie narzędziem skrawającym była głowica frezowa o średnicy $\varnothing 50\text{mm}$.

2. METODYKA I WARUNKI POMIARU KORPUSÓW ZAWORU

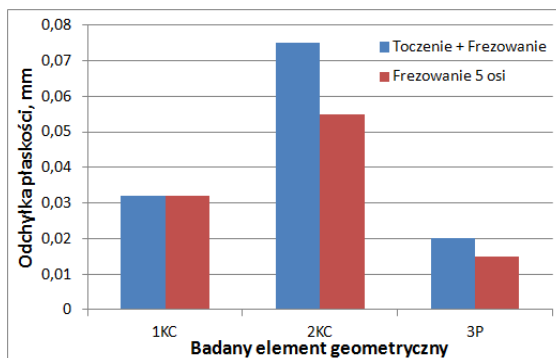
Pomiar dokładności wymiarowo-kształtowej obrobionych korpusów zaworu przeprowadzono na pięcioosiowej współrzędnościowej maszynie pomiarowej Contura G2 firmy ZEISS w jednym zamocowaniu [1]. Porównano wybrane odchyłki kształtu i położenia korpusów, które wybrano biorąc pod uwagę właściwości użytkowe zaworu oraz jego współpracę z rurociągiem. Wytypowane odchyłki kształtu i położenia badanych korpusów zaworu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie odchyłek kształtu i położenia korpusu zaworu

	Odchyłka	Powierzchnie	Zastosowane technologie		Przykładowe zastosowanie obrobionych powierzchni
			Toczenie + Frezowanie	Frezowanie	
1	Płaskości	1KC	0,032 mm	0,032 mm	Współpraca z: uszczelnieniem
		2KC	0,075 mm	0,055 mm	
		3P	0,02 mm	0,015 mm	
2	Równoległości	1KC do 2 KC	0,152 mm	0,042 mm	Współpraca z elementami instalacji hydraulicznej
3	Walcowości	1KW	0,051 mm	0,016 mm	Współpraca z uszczelnieniem i elementami zaworu, wpływ na charakterystykę pracy zaworu
		2KW	0,056 mm	0,027 mm	
		3O	0,306 mm	0,032 mm	
4	Współosiowości	1KW do 2KW	0,091 mm	0,061 mm	
		1KW do 1KO	0,22 mm	0,326 mm	
		2KW do 2KO	0,198 mm	0,272 mm	
5	Średnicy podziałowej	1KC-4O	144,57 mm	144,96 mm	Współpraca z elementami instalacji hydraulicznej i montaż zaworu w instalacji
		2KC-4O	144,43 mm	144,95 mm	
6	Współśrodkowości	1KC-4O do 2KC-4O	0,251 mm	0,01 mm	
7	Prostopadłości osi	1oś do 3oś	0,05 mm	0,009 mm	Charakterystyka pracy zaworu (przepływ)

Analizując dane zamieszczone w tabeli 1 widać wyraźnie, że technologia frezo-

waniem oparta na jednym zamocowaniu daje o wiele lepsze dokładności wymiarowo-kształtowe niż technologia z wykorzystaniem dwóch obrabiarek, oparta na sześciu zamocowaniach, dwóch na tokarce i czterech na frezarce.

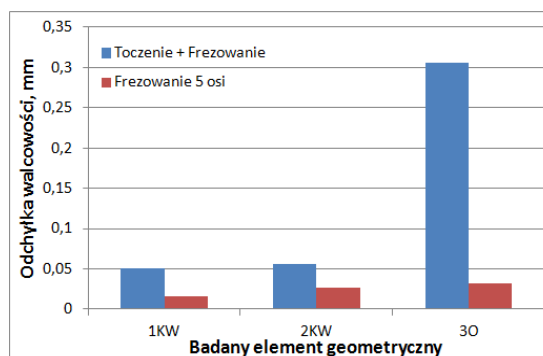


Rys. 3. Odchyłki płaskości

0,032 mm, ponieważ powierzchnia ustalająca 2KB2 dla tej obróbki była już obrobiona w pierwszej operacji.

Dwa zamocowania na tokarce wpłynęły również na wartość odchyłki równoległości powierzchni czołowych kołnierzy korpusu zaworu 1KC do 2 KC, która wyniosła 0,152 mm i była ponad trzy razy większa od odchyłki uzyskanej w procesie frezowania równej 0,042 mm.

Odchyłki walcowości (rys. 4) uzyskane w wyniku procesu toczenia również okazały się większe niż dla frezowania w pięciu osiach, pomimo tego, że obie operacje były wykonywane w jednym zamocowaniu, ale niestety za powierzchnie surowe. Dwukrotna różnica wartości odchyłek walcowości może wynikać z faktu, że na tokarce wszelkie błędy



Rys. 4. Odchyłki walcowości

związane z ustaleniem i zamocowaniem korpusu zaworu w uchwycie trójszczekowym oddziaływały na proces obróbki. Podczas frezowania odchyłka walcowości powierzchni 1KW i 2KW wynikają wyłącznie z błędów układu posuwowego osi X i Y frezarki (np. luzy, błąd nawrotu i odczytu pozycji). Potwierdzeniem tych przeprowadzeń jest odchyłka współosiowości powierzchni walcowych kołnierzy zaworu, która była mniejsza dla procesu frezowania.

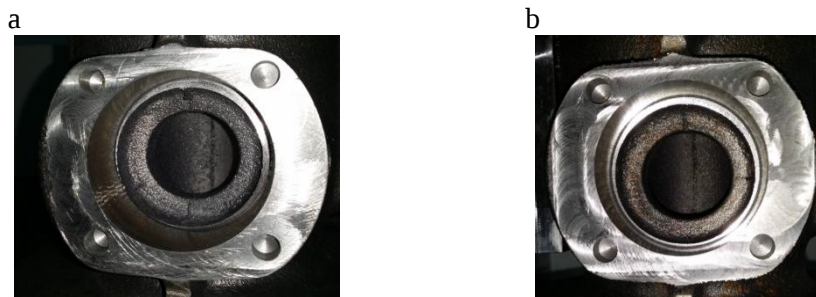
Zaskakująco duże odchyłki współosiowości powierzchni 1KW do 1KO i 2KW do 2KO uzyskano dla obu porównywanych technologii. Porównując obie technologie dla

Analizując odchyłkę płaskości powierzchni 2KC uzyskaną w wyniku toczenia wyraźnie widać, że jej wartość 0,075 mm jest największa (rys.3), jest to wynikiem tego, że korpus zaworu był ustalany na powierzchniach surowych uzyskanych z procesu odlewania. Powierzchnia 1KC uzyskana z toczenia posiada odchyłkę płaskości identyczną jak po frezowaniu równą

toczenia uzyskaliśmy mniejszą odchyłkę współosiowości (tab. 1 p. 4). Powodem tak dużych odchyłek może być błąd metody pomiaru, który był przeprowadzony na zbyt krótkim odcinku, wyjaśnienie tego problemu wymaga jeszcze dodatkowych badań weryfikacyjnych.

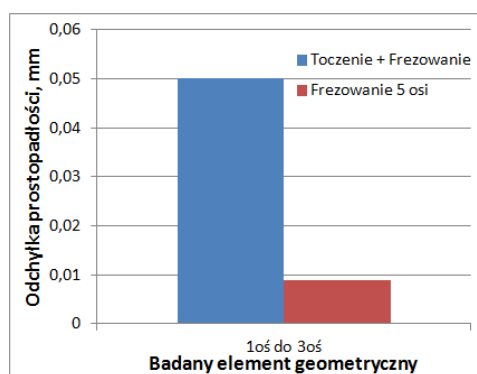
Następnym etapem analizy wyników pomiarów na WMP jest bezpośrednie porównanie odchyłek kształtu i położenia uzyskanych w wyniku obróbki na frezarkach.

Pierwszą z analizowanych odchyłek jest odchyłka walcowości powierzchni otworu 3O, w którym montowany jest mechanizm sterowania przepływem zaworu. Dla korpusu I odchyłka walcowości wyniosła 0,32 mm i była dziesięciokrotnie większa od odchyłki walcowości uzyskanej w wyniku obróbki korpusu II, która wyniosła 0,032 mm (rys.4). Przyczyną takiej rozbieżności jest asymetria naddatku obróbkowego, która powodowała drgania narzędzia podczas obróbki. Asymetria naddatku obróbkowego jest bezpośrednio spowodowana błędami zamocowania korpusu I w pryzmach, wynikającego z błędów obróbki tokarskiej walcowej części kołnierzy korpusu.



Rys. 5. Przykładowe widoki asymetrii naddatku obróbkowego: a) toczenie + frezowanie, b) frezowanie w 5 osiach

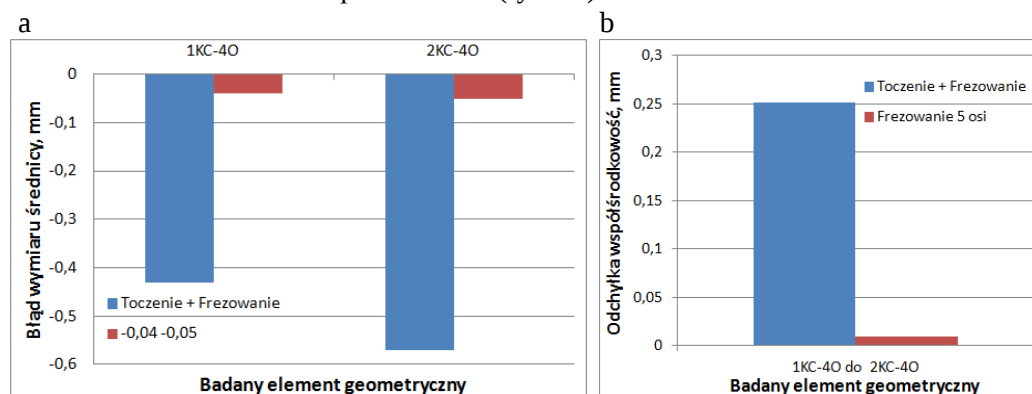
Błąd zamocowania korpusu w pryzmach spowodował również większą wartość odchyłki prostopadłości osi symetrii kołnierzy zaworu 1 oś i osi symetrii 3 oś otworu 3O, która dla toczenia wyniosła 0,05 mm, a dla frezowania 0,001 mm (rys. 6).



Rys.6. Odchyłka prostopadłości

Ostatnim analizowanym elementem geometrycznym obrobionych korpusów zaworów była dokładność wykonania otworów służących do montażu zaworu w instalacji hydraulicznej. Średnica podziałowa 1KC-4O rozmieszczenia otworów na powierzchniach czołowych kołnierzy zaworu I

(toczonego i frezowanego) wyniosła $\varnothing$ 144,57 mm i $\varnothing$ 144,43 mm dla średnicy 2KC-4O. Dla zaworu II frezowanego w 5 osiach średnica podziałowa rozmieszczenia otworów 1KC-4O = 144,96 mm i 2KC-4O = 144,95 mm. W obu przypadkach wartość zaprogramowana w sterowniku obrabiarki wynosiła $\varnothing$ 145 mm. Otwory wiercone były bez operacji nawiercania oraz bez przyrządu wiertarskiego, ponieważ konstrukcja wiertła tego nie wymagała. W przypadku korpusu toczonego gdzie odchyłka równoległości powierzchni 1KC do 2 KC wyniosła 0,152 mm, mogła powodować przesunięcie wiertła z pozycji co wpłynęło na różnicę średnic podziałowych otworów na poziomie $\approx$ 0,5 mm (rys. 7a) oraz odchyłkę współśrodkowości średnic podziałowych otworów na kołnierzach korpusu zaworu (rys. 7b).



Rys. 7. Odchyłki wymiarowo-kształtowe rozmieszczenia otworów służących do montażu zaworu w instalacji hydraulicznej: a) błąd wymiaru średnicy podziałowej, b) odchyłka współśrodkowości średnic podziałowych

3. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań, opracowano wnioski będące wytycznymi, które uwzględniają wady i zalety zastosowanych technologii obróbki korpusów zaworu:

1. Technologia toczenia połączona z frezowaniem wymaga wielu zamocowań, co wpływa na pogorszenie dokładności wymiarowo-kształtowej obrabianego korpusu zaworu. Zmniejszenie liczby zamocowań na tokarce jest niemożliwe natomiast na frezarce trzyosiowej wymaga zastosowania systemów podziałowych tj. podzielnica, stół obrotowy, co wiąże się z modernizacją obrabiarki i dodatkowymi kosztami.
2. Technologia obróbki odlewanego korpusu w jednym zamocowaniu z wykorzystaniem frezarki pięcioosiowej wymaga zastosowania specjalnego uchwytu, który umożliwi obróbkę wszystkich powierzchni, co wiąże się z większymi kosztami uzbrojenia maszyny. Zastosowanie tej technologii umożliwiło osiągnięcie większej

dokładności wymiarowo-kształtowej obrabianego korpusu, o czym świadczą wyniki pomiarów zamieszczone w tabeli 1 i na rysunkach 3 do 7.

3. Do kompensacji błędu ustawienia korpusu zaworu na stole frezarki i wyznaczenia punktu zerowego programu zalecane jest za każdym razem wykorzystanie cykli sondy przedmiotowej, co wydłuża czas obróbki ale zwiększa dokładność ustalenia przedmiotu na obrabiarce i zmniejsza błędy obróbkowe.
4. W sytuacji gdy konstrukcja korpusu zaworu wymaga zastosowania obróbki tokarskiej, ciekawą alternatywą może być zastosowanie do obróbki zgrubnej frezowania pięcioosiowego w jednym zamocowaniu, co zapewni dużą dokładność powierzchni ustalających i mocujących dla przyszłych operacji prowadzonych na tokarce. Pozwoli to na wyeliminowanie w pierwszej operacji tokarskiej ustalenia i zamocowania korpusu w uchwycie trójszczekowym za powierzchnie surowe.
5. Podczas obróbki na pięcioosiowej frezarce zaangażowanie operatora ogranicza się do zamocowania korpusu zaworu i uruchomienia programu obróbkowego. Kompensacja błędu ustawienia zaworu w uchwycie i wyznaczenie punktu zerowego programu obróbkowego i obróbka odbywa się automatycznie.

LITERATURA

- [1] ADAMCZAK S., *Pomiary Geometryczne Powierzchni. Zarysy Kształtu, Falistość i Chropowatość*. Warszawa. WNT 2009.
- [2] DOBRZAŃSKI T., *Uchwyty obróbkowe. Poradnik konstruktora*. Warszawa, WNT, 1987
- [3] FELD M., *Uchwyty obróbkowe*. Warszawa, WNT, 2002
- [4] GRZESIK W., *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*. Warszawa, WNT, 2010.
- [5] HEIDENHAIN, *Podręcznik obsługi dla użytkownika. Programowanie cykli iTNC530*.

Wyniki przedstawione w publikacji zostały uzyskane w wyniku badań sfinansowanych w ramach Projektu "Perspektywy RSI Świętokrzyskie – IV etap" nr: WND – POKL.08.02.02 – 26 – 001/12, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytet VIII, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji.