

Wstępna analiza efektywności wymienników ciepła o złożonej geometrii i wymienników typu rurka ciepła

1. Wstęp

Wymienniki ciepła są stosowane powszechnie w różnego rodzaju urządzeniach codziennego użytku oraz w przemyśle. Wymaga się aby były one coraz sprawniejsze ze względu na wymianę ciepła czy gabaryty projektowanych urządzeń.

Jednym ze sposobów intensyfikacji wymiany ciepła jest stosowanie w urządzeniach wymienników ciepła o złożonej geometrii. Wymienniki tego typu zbudowane są często z powtarzalnych elementów modułowych tzw. "corrugated geometry". W celu określania rozkładów pól prędkości w istotnych, wybranych płaszczyznach przekroju tego kanału stosuje się metodę PIV (ang. Particle Image Velocimetry). Pomiaru tego typu są trudne dla standardowej metody PIV i wymagają użycia tzw. posiewu, który umieszcza się w płynach. Stosując światło laserowe oświetla się przepływ dwukrotnie, w znanych krótkich odstępach czasu i rejestruje przemieszczenia poszczególnych drobinek posiewu. Na tej podstawie określa się ich prędkości (wykorzystując profesjonalny komputerowy program „FlowManager 3.62”). Badania te pozwalają na poznanie warunków przepływu w poszczególnych modułach z których powstał wymiennik.

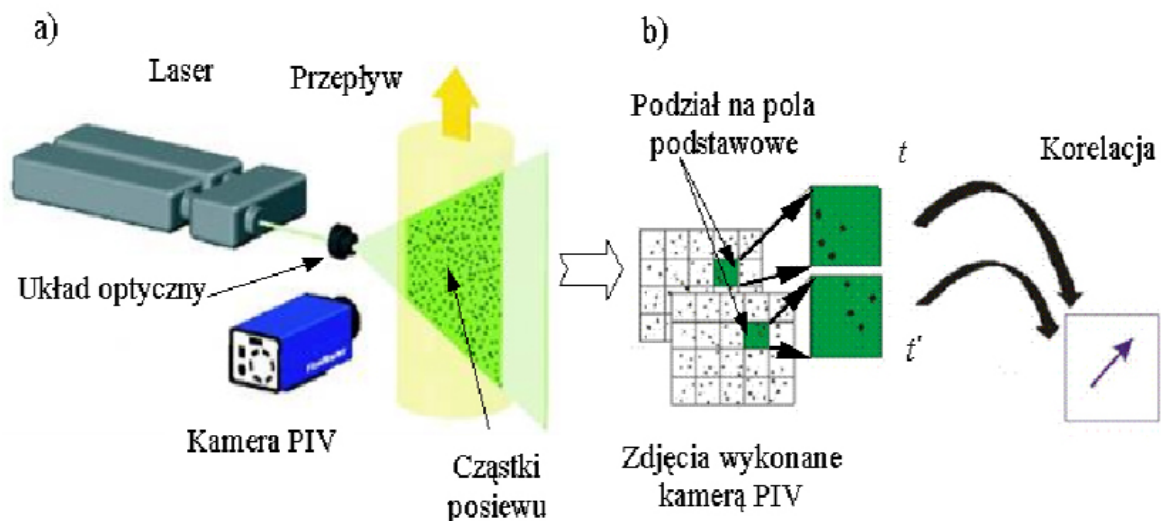
Innym sposobem intensyfikacji wymiany ciepła jest zastosowanie wymienników ciepła typu rurka ciepła. Rurka ciepła (Heat Pipe) jest urządzeniem, które do przekazywania ciepła wykorzystuje dwufazowy, zamknięty cykl z odparowaniem płynu roboczego w parowniku, a następnie jego skropleniem w skraplaczu. Jedną z głównych zalet rurek ciepła jest ich wysoka efektywność, umożliwiającą przekazywanie znacznych ilości ciepła, przy niewielkiej różnicy temperatur. Dzięki występowaniu parowania połączonego z konwekcją, zdolność w odbiorze ciepła i efektywność transportu ciepła w rurkach ciepła jest znacznie wydajniejsza od przewodzenia ciepła w najlepszych przewodnikach ciepła.

2. Wstępne badania przepływu w złożonej geometrii

2.1 Zasada Pomiaru metodą PIV

Nowoczesna metoda badawcza PIV wykorzystywana jest w wielu dziedzinach np: różnego rodzaju przepływy [1], w badaniach spalania [2], [3], w procesach obróbki skrawania [4] i wielu innych [5]. W powiązaniu z zastosowaniem techniki komputerowej oraz oprogramowania pozwala ona na rejestrowanie pola prędkości oraz odpowiednie przetwarzanie otrzymanych obrazów umożliwiających analizę tego pola. W większości zastosowań metody PIV musi być dodawany posiew do płynu. W zależności od rodzaju przeprowadzanego doświadczenia stosuje się różnego rodzaju posiew np.: MgO, TiO₂, Al₂O₃, ZrO₂, olej sylikonowy, dym [6].

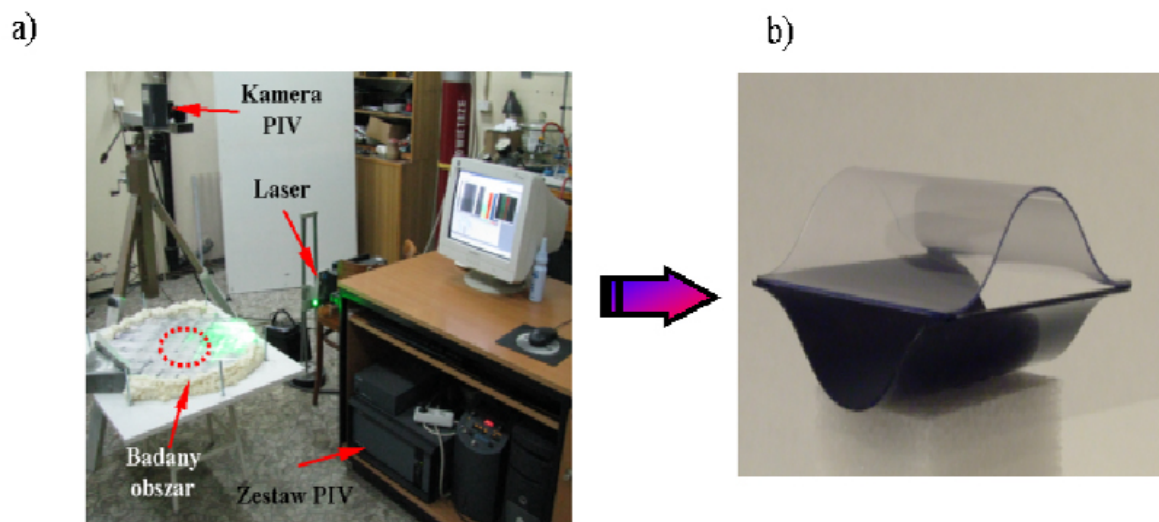
Posiew w postaci drobnych cząstek ciała stałego jest oświetlany w płaszczyźnie przepływu co najmniej dwukrotnie, w krótkim oraz znanym odstępie czasu. Światło odbite od tych cząstek rejestrowane jest na matrycy CCD umieszczonej w kamerze. Następnie określone jest przesunięcie cząstek (pomiędzy impulsami świetlnymi) na podstawie wykonanych zdjęć (rys. 1a,b) [7].



Rys. 1. Zasada pomiaru metoda PIV: a) schemat standardowego stanowiska PIV; b) podział zdjęć na pola podstawowe i wyznaczanie przemieszczeń cząstek [7].

Źródło: Tools for DaVis®: DaVis Flowmaster-getting started, 2003, Lavision

Otrzymane w ten sposób zdjęcia cyfrowe poddawane są obróbce komputerowej, polegającej na dzieleniu ich na mniejsze pola określane jako pola podstawowe („interrogation areas”). Zastosowane oprogramowanie pozwala na określenie funkcji pomiędzy odpowiednimi polami podstawowymi na obu zdjęciach i wyznacza maksymalną jej wartość. Określony jest lokalny wektor przemieszczenia cząstek w oparciu o wykorzystanie metod statystycznych (ang. auto-correlation, cross-correlation). Znając przemieszczenia każdej cząstki oraz czas pomiędzy zdjęciami – program określa kierunek, zwrot i wartość wektora prędkości cząstki w płaszczyźnie światła laserowego. Umożliwia to otrzymanie całkowitego płaskiego pola prędkości zapisanych zdjęć oraz dalszą ich obróbkę (rys. 1b), [7].



Rys. 2. Stanowisko badawcze do określania pól prędkości w skomplikowanej geometrii (tzw. corrugated geometry): a) zdjęcie stanowiska, b) zdjęcie badanej geometrii.

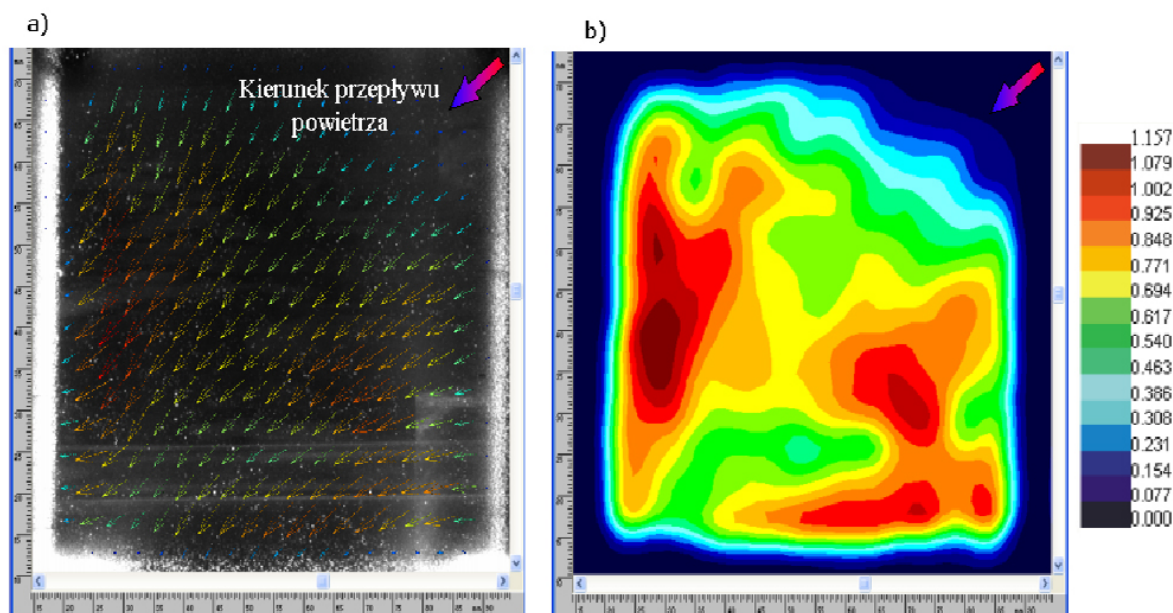
Źródło: opracowanie własne

Eksperymenty pozwalające określić pola prędkości w kanale o złożonej geometrii przeprowadzono na stanowisku widocznym na rys. 2 a,b. W badaniach wykorzystano zestaw pomiarowy PIV firmy

Dantec® składający się z lasera pulsacyjnego NdYAG New Wave Research Inc. Solo PIV o energii 50mJ; kamery CCD 80V60PIV/PLIF Hi-Sence (1280x1024pikseli) oraz zestawu komputerowego firmy Dell®, w którym zainstalowano program FlowMap®1500 służący jako układ sterująco-synchronizujący oraz program FlowManager 3.62 wykorzystywany do analizy oraz obróbki zarejestrowanych obrazów.

2.2 Wstępne wyniki badań metodą PIV

Przypadek badań mających na celu określenie rozkładów pól prędkości w złożonej geometrii ma charakter rozpoznawczy i jest w trakcie realizacji (rys 3). Badania te dotyczą wybranego przypadku, który jest częścią większego realizowanego obecnie projektu. Polega on między innymi na wykorzystaniu metody PIV, która pozwala uzyskać dobre wyniki do ich konfrontacji z symulacją komputerową przeprowadzoną w programie ANSYS CFX. Metoda PIV jest w tym przypadku walidacją wyników symulacji komputerowej. Głównym celem tych badań jest stwierdzenie możliwości wykorzystania metody PIV w celu uzyskania rozkładów pól prędkości w złożonej geometrii. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano rozkłady pól prędkości przedstawione na (rys. 3).



Rys. 3. Obrazy uzyskane metodą PIV w złożonej geometrii falistej przedstawiające jedną komórkę:
a) polewektorowe b) prędkość całkowita.

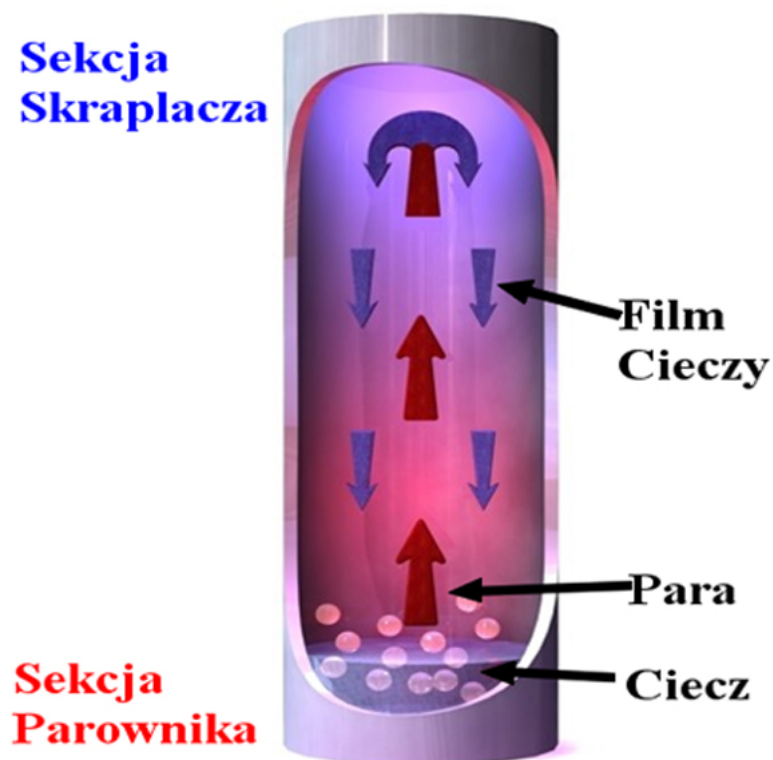
Źródło: opracowanie własne

3. Analiza rurek ciepła (Heat pipe) jako efektywnych wymienników ciepła

3.1 Konstrukcja i mechanizm funkcjonowania rurek ciepła

W zależności od konstrukcji, rurki ciepła możemy podzielić na:

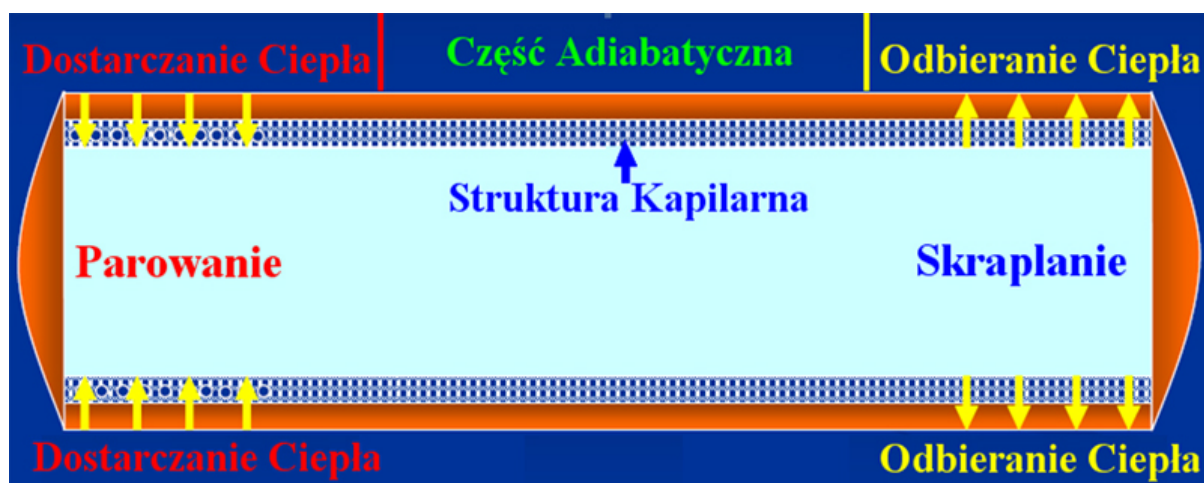
a) rurki grawitacyjne (konwencjonalne, termosyfony), w których cyrkulacja płynu roboczego występuje na skutek sił grawitacji. Rurkę grawitacyjną przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Grawitacyjna rurka ciepła (termosyfon) [8]

Źródło: www.spc coils.co.uk

b) rurki ciepła ze strukturą porowatą (niekonwencjonalne), w których cyrkulacja płynu roboczego występuje pod wpływem sił kapilarnych, osmotycznych lub elektrostatycznych. Rurkę ciepła ze strukturą porowatą (knotem) przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Rurka ciepła ze strukturą kapilarną [9]

Źródło: Adrian Ł.: „Rurki Ciepła – budowa i zasada działania”. Chłodnictwo i Klimatyzacja, 3/2010

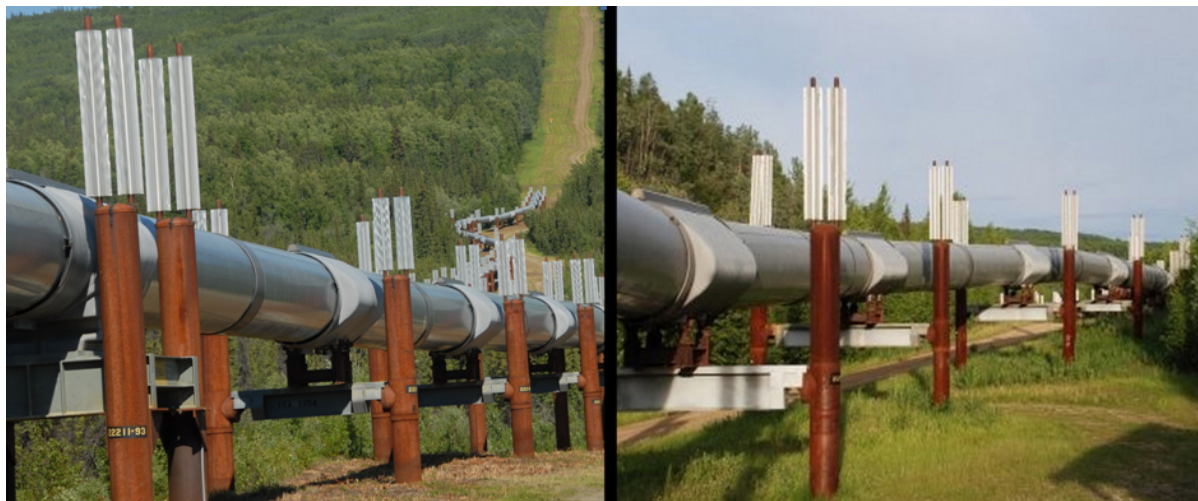
Rurka ciepła składa się ze szczelnie zamkniętego naczynia, pokrytego w środku porowatą

(kapilarną) strukturą. Naczynie jest opróżnione i wypełnione odpowiednią ilością płynu roboczego, aby w pełni nawilżyć knot. Kiedy rurka ciepła działa, odbywa się zamknięty, dwufazowy cykl ze skraplaniem i odparowaniem płynu roboczego, pozostającego w warunkach nasycenia, którego temperatura zawiera się między punktem potrójnym, a stanem krytycznym.

Jak pokazuje rysunek 5, rurki ciepła składają się z trzech odrębnych obszarów: parownik czyli obszar dostarczania ciepła, skraplacz czyli obszar odbierania ciepła i adiabatyczny obszar między nimi. Ciepło dostarczone do obszaru parownika powoduje, że roboczy płyn w parowniku odparowuje. Wysoka temperatura i odpowiednio wysokie ciśnienie w tym obszarze powoduje wytworzenie strumienia pary w kierunku przeciwnego, chłodniejszego końca naczynia, gdzie następnie para skrapla się, oddając swoje utajone ciepło parowania. Następnie kapilarne siły w porowatej strukturze transportują ciecz z powrotem do parownika.

3.2 Wybrane aplikacje rurek ciepła

Rurki ciepła ze względu na swoją wysoką efektywność, trwałość i możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, począwszy od chłodnictwa i klimatyzacji (w przemyśle spożywczym, w przechowywaniu żywności, w wymiennikach klimatyzacyjnych), poprzez przemysł chemiczny i metalurgiczny, aż po przemysł elektroniczny (chłodzenie urządzeń elektronicznych). Rurki ciepła z powodzeniem wykorzystywane są również w technologiach kosmicznych (chłodzenie silników i elektroniki statków kosmicznych i satelitów kosmicznych), kriochirurgii, w chłodzeniu cylindrów silników oraz łopatek turbin, w elementach kolektorów słonecznych i w wymiennikach reaktorów, w instalacjach zabezpieczających przed pokryciem lodem i śniegiem dróg przejazdowych, oraz do utrzymywania odpowiednio niskiej temperatury gruntu na terenach wiecznej zmarzliny zabezpieczając przed zniszczeniem znajdującą się tam infrastrukturę (np. rurociąg Trans-Alaska rys. 6.).



Rys. 6. Rurka ciepła ze strukturą kapilarną [10]

Źródło: www.alyeska-pipe.com

Aplikacje wykorzystujące rurki ciepła można przedstawić w postaci kilku szerokich grup, z których każda opisuje własności rurek ciepła. Te grupy to:

- odseparowanie źródła i odbioru ciepła
- wyrównywanie temperatury

- przemiana strumienia ciepła
- regulacja i kontrola temperatury

4. Wnioski

Wykonanie badań w skomplikowanej geometrii (tzw. corrugated geometry) z wykorzystaniem metody PIV okazało się możliwe. Uzyskane w tym przypadku rozkłady wektorowe oraz pola prędkości przepływu planuje się wykorzystać podczas symulacji przepływu w tej geometrii. Metoda PIV będzie walidacją wyników symulacji komputerowej. Stwierdzono możliwość wykonania badań metodą PIV przy przepływie powietrza w kanale o skomplikowanej geometrii co umożliwi dalsze prace nad tego typu elementami wymienników ciepła.

Do głównych zalet rurek ciepła można zaliczyć dużą szybkość transportu ciepła oraz wysoką efektywność, umożliwiającą przekazywanie znacznych ilości ciepła, przy niewielkiej różnicy temperatur. Dodatkowo wymianę ciepła w rurkach ciepła można zintensyfikować poprzez zmianę geometrii ich powierzchni wymiany ciepła. Rurki ciepła cechuje również szeroki zakres pracy od 2 K dla kriogenicznych rurek ciepła wykorzystujących jako płyn roboczy np. HeI, aż do temperatur rzędu 2000 K dla wysokotemperaturowych rurek ciepła wykorzystujących jako płyn roboczy ciekły metal np. Lit, Potas lub Srebro. Tak szerokie możliwości aplikacyjne rurek ciepła powodują duże zainteresowanie dalszymi pracami naukowymi mającymi na celu zwiększenie ich efektywności.

BIBLIOGRAFIA

1. Kadambi J. R., Mehta M., Sankovic J., Addie G., Visintainer R.: Velocity Measurements of Particles in the Impeller of a Centrifugal Slurry Pump, 12th International Symposium, The Calouste Gulbenkian Foundation Lisbon, Portugal 2004, pp. 1-11
2. Nogenmyr K-J., Petersson P., Bai X. S., Nauert A., Brackman C., Seyfried H., Olofsson J., Sedarsky D., Aldén M. and Linne M. A.: Experiments and large eddy simulation in a low swirl burner, 1st Baltic Combustion Meeting, 2005, pp. 11-14
3. Gorecki G., Shoshin Y., Fodemski T., Jarosinski J.: Influence of Tube Diameter on Lean Limit Flame Propagating upward in Methane/Air Mixture, 22nd International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, (ICDERS 2009) July 27-31, Minsk 2009
4. Wójcik R., Górecki G.: Modyfikacje ściernic do szlifowania w środkowisku mgły olejowej, W: Współczesne Problemy Obróbki Ściernej, s 63-70. Opis całości: Red. naukowa: Jarosław Plichta, Koszalin 2009, 620s
5. Lim H. C. and Lee S. J.: PIV measurements of near wake behind a U-grooved cylinder, Journal of Fluids and Structures ,18, 2003, pp. 119-130
6. FlowMap®: Particle Image Velocimetry Instrumentation, Installation & User guide, 2000, Dantec Measurement Technology
7. Tools for DaVis®: DaVis Flowmaster-getting started, 2003, Lavisio
8. www.spcoil.co.uk
9. Adrian Ł.: „Rurki Ciepła – budowa i zasada działania”. Chłodnictwo i Klimatyzacja, 3/2010
10. www.alyeska-pipe.com

Praca sponsorowana przez :
MNiSzW, Grant Nr. KBN 4607/B/T02/2008/34

Grant Naukowy JM Rektora Politechniki Łódzkiej nr 717/BW/2010

Grant Bioenergia dla Regionu w ramach projektu: ”Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów”,

projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego

Do powstania tego artykułu przyczynił się ekspert dr inż. Grzegorz Górecki