

Tematyka prac prowadzonych w Ośrodku Mechaniki Cieczy (O1) dotyczy zarówno badań zjawisk zachodzących w przepływach cieczy oraz przepływach wielofazowych, jak i szeroko rozumianych zagadnień aplikacyjnych związanych z projektowaniem oraz analizą eksperymentalną i numeryczną przepływu w układach przepływowych maszyn wodnych. Zespoły tworzące Ośrodek to: Zakład Badań i Diagnostyki Maszyn Hydraulicznych (O1/Z1, kier. doc. A. Adamkowski), Zakład Hydrodynamiki i Przepływów Wielofazowych (O1/Z2, kier. doc. J. Pozorski) oraz Pracownia Kawitacji (O1/P1, kier. dr J. Steller).

Poniżej przedstawiono tematy działalności statutowej realizowane w Ośrodku w roku 2008, z omówieniem podejmowanych zadań cząstkowych i uzyskanych wyników.

O1/T1: Zagadnienia podstaw działania, projektowania, diagnostyki oraz eksploatacji maszyn i urządzeń hydraulicznych (kier. tematu: A. Adamkowski)

Realizowany w roku 2008 temat jest związany głównie z energetyką wodną, w tym także z małymi elektrowniami wodnymi stanowiących odnawialne źródła energii (OZE). Większość z podejmowanych prac jest kontynuacją działalności uprawianej już od dłuższego czasu. Do najważniejszych celów tych prac należy zaliczyć: (1) rozwijanie i doskonalenie numerycznych metod analizy i projektowania układów

The scope of works conducted at the Centre for Mechanics of Liquids (O1) regarded research on the phenomena occurring in liquid flows and multiphase flows, as well as widely understood application issues regarding the design, experimental and numerical analysis of flow problems in fluid-flow machines. The Centre consists of: Department of Research and Diagnostics of Hydraulic Machines (O1/Z1, headed by Dr A. Adamkowski, DSc), Department of Hydrodynamics and Multiphase Flows (O1/Z2, headed by Dr J. Pozorski, DSc), and Laboratory of Cavitation (O1/P1, headed by Dr. J. Steller).

Below presented are the topics of statutory activities carried out at the Centre (O1) in 2008, with the discussion of sub-tasks undertaken and the obtained results.

O1/T1: Selected problems of design and operation of hydraulic machines and devices (research coordinator: A. Adamkowski)

The topic under scrutiny in the year 2008 regarded mainly the hydropower, which includes small hydropower plants which are the devices belonging to renewable energy sources. Most of undertaken works are a continuation of activities commenced much earlier and are studied for some time now. The main aims of these works are: (1) the development and improvement of numerical methods for analysis and design of fluid flow machines, hydraulic

przepływowych maszyn wodnych, turbin wodnych i pomp wirowych, (2) ulepszanie matematycznego opisu zjawisk i procesów nieustalonych w hydraulicznych układach przepływowych, (3) podwyższanie odporności kawitacyjnej materiałów konstrukcyjnych, a w tym poszukiwanie modeli procesów erozji kawitacyjnej i abrazyjnej oraz (4) doskonalenie technik badawczych i pomiarowych, m.in. rozbudowa stanowisk laboratoryjnych i rozwijanie metodyki pomiaru natężenia przepływu w wielkogabarytowych urządzeniach hydroenergetycznych.

Głównym celem prowadzonych prac z zakresu zastosowania narzędzi numerycznych do projektowania i analizy przepływu w maszynach wodnych (M. Kaniecki, Z. Krzemianowski) było zaprojektowanie wirnika turbiny śmigłowej niskospadowej oraz przeprowadzenie obliczeń przepływu. Wstępne prace koncepcyjne pozwoliły określić kształt oraz rozmiar komory wirnikowej turbiny modelowej. W kolejnym etapie wykorzystano pakiet programów do projektowania łopatek wirników turbin śmigłowych i Kaplana. Wynikiem prowadzonych obliczeń była wstępna geometria łopatki wirnikowej oraz wynikające z jednowymiarowej teorii projektowania parametry pracy wirnika zaopatrzonego w zaprojektowane łopatki. Wykorzystując szybki program do analizy przepływu 2D przez wirnik wykonano przybliżone obliczenia parametrów wirnika. W wyniku kolejnych sprzężonych obliczeń uzyskano wstępnie zoptymalizowany

turbines, rotary pumps, (2) the improvement of the mathematical description of phenomena and processes at unsteady flows in hydraulic systems, (3) increasing of the cavitation resistance of construction materials, including search for models of cavitation and abrasion erosion processes, and (4) the improvement of research and measurement techniques, including expansion of laboratories and development of measuring methodology of the flow rate in large size hydro-power devices.

The main objective of conducted works within the scope of application of numerical tools for the design and analysis of the flow in hydromachinery (M. Kaniecki, Z. Krzemianowski) was to design the rotor of the low-head propeller-type water turbine and to carry out flow calculations. Initial conceptual work helped to define the shape and size of the model of turbine's rotor chamber. In the next part of work a suite of programs was used to design rotor blades of propeller-type turbine as well as Kaplan's turbine. The result of conducted calculations was the initial geometry of rotor blades and operational parameters of rotor equipped with the designed blade which stemmed from the one-dimensional theory. The approximate calculations of the rotor parameters were made, using the fast program for the analysis of a 2D flow through the rotor. As a result of subsequent coupled calculations was obtained the shape of the rotor blades initially optimized in terms of energy and cavitation. The

pod względem energetycznym oraz kawitacyjnym kształt łopat wirnika. Następnym krokiem było przeprowadzenie analizy 3D przy użyciu programu opartego na metodzie siatek wirowych. W programie tym uwzględniono wpływ kierownicy oraz elementów komory wirnikowej na przepływ w układzie łopatkowym wirnika. Równolegle zapoczątkowano obliczenia numeryczne przy użyciu komercyjnego solvera RANS dla 3D geometrii wirnika i stożkowej rury ssącej. Celem tych obliczeń była walidacja metody siatek wirowych, poprzez porównanie uzyskanych wyników dla parametrów lokalnych (rozkłady ciśnień na łopatkach) oraz globalnych (moc, natężenie przepływu) nowozaprojektowanego wirnika.

Kolejnym realizowanym zadaniem była weryfikacja doświadczalna i ocena modeli tarcia w zagadnieniu przewidywania przebiegu zjawiska uderzenia hydraulicznego (M. Lewandowski, A. Adamkowski). Dotychczas, powszechne w teorii uderzenia hydraulicznego jest traktowanie nieustalonego przepływu cieczy w przewodzie zamkniętym jako jednowymiarowego, z jednorodnym rozkładem prędkości i ciśnienia w przekroju poprzecznym przewodu. Przy tym przyjmuje się zwykle uproszczenie wynikające z tzw. hipotezy quasi-stacjonarności strat energii, w której podczas przepływu nieustalonego nie następuje zniekształcanie profilu prędkości w porównaniu do przepływu ustalonego przy tej samej prędkości średniej. Skutkuje to niedoskonałością

next step was to carry out 3D analysis using the program based on the vortex lattice method. Within this program the impact of the guide vane and the elements of rotor's chamber on the flow in the rotor system was taken into account. Also launched were the numerical calculations using the commercial solver RANS for 3D geometry of rotor and a conical suction pipe. The purpose of these calculations was a validation of vortex lattice method, by comparing the results obtained from the local (distributions of pressure at the blades) and global parameters (power, flow rate) of newly-designed rotor.

The next research task was an experimental verification and evaluation of models of friction in the issue of predicting the water hammer effect (M. Lewandowski, A. Adamkowski). So far, the common approach in the theory of water hammer effect to treat the unsteady flow of fluid in the closed pipe as one-dimensional, with homogeneous distribution of velocity and pressure in the pipe cross-section. Accepted hence is a simplification resulting from the so-called hypothesis of quasi-stationary energy losses, which states that during the unsteady flow a distortion of velocity profile compared to the steady flow with the same average speed doesn't occur. This leads to imperfect calculations of the water hammer effect, in particular the decay rate of pressure waves. The alternative is to include the non-stationary frictional resistance, however the models of friction losses for

obliczeń przebiegu uderzenia hydraulicznego, a zwłaszcza szybkości zaniku fal ciśnienia. Alternatywą jest uwzględnienie niestacjonarności oporów tarcia, przy czym modele strat tarcia dla niustalonego przepływu turbulentnego są wciąż przedmiotem badań. Dotychczas opracowane modele różnią się sposobem obliczania członu strat tarcia w równaniu ilości ruchu: (1) zależnie od chwilowych pochodnych prędkości; (2) zależnie od historii zmian prędkości przepływu; (3) z wykorzystaniem termodynamiki procesów nieodwracalnych. W literaturze zauważa się brak porównań wyników obliczeń, wykonanych z wykorzystaniem tych modeli, z wynikami badań eksperymentalnych dla szerokiego zakresu wartości liczby Reynoldsa. W tym celu na bazie wybranych modeli niestacjonarnych strat tarcia wykonano obliczenia serii wcześniej zbadanych w IMP PAN przebiegów uderzenia hydraulicznego dla szeregu wartości liczby Re z szerszego niż w literaturze zakresu. Obliczenia wykonano za pomocą własnego programu komputerowego, do którego wprowadzono kilka modeli strat tarcia. Uzyskane wyników wykazały zalety modeli opartych na zależności oporów hydraulicznych od historii zmian prędkości. Modele te dobrze odzwierciedlają rzeczywisty przebieg fali ciśnienia uderzenia hydraulicznego w zakresie przepływu laminarnego i dla małych liczb Re przepływu turbulentnego. Jednak ze wzrostem liczby Reynoldsa wzrasta niedokładność obliczeń: przewidywany

unsteady turbulent flows are still under investigation. Previously developed models are different from calculation of the term containing friction losses in the momentum equation: (1) according to the instantaneous derivatives of velocity; (2) according to the history of changes of flow velocity; (3) using the thermodynamics of irreversible processes. In the literature there are no comparisons of the results of calculations accomplished using such models, with the results of experimental studies for a wide range of values of Reynolds number. For this purpose, based on selected models of non-stationary friction losses performed were the calculations of the courses of water hammer effects collected earlier and examined at IFFM PASci, for values of Reynolds number from a broader range than those in the literature. Calculations were made using the in-house developed computer code, in which included were several models of friction losses. The obtained results showed the advantages of models based on the dependence of hydraulic resistance on the history of velocity changes. These models reflect well the actual course of pressure waves of the water hammer effect in terms of laminar flow and for small values of Reynolds numbers of turbulent flow. However, with the increase of Reynolds number, the uncertainty of calculation also increases: the attenuation effect is clearly larger than the actual one obtained in the two independent measurement series.

efekt tłumienia jest wyraźnie większy od rzeczywistego, uzyskanego w dwóch niezależnych seriach pomiarowych.

Kolejnym podejmowanym zadaniem była analiza uderzenia hydraulicznego z uwzględnieniem oddziaływania ciecz-konstrukcja (S. Henclik). Motywacją do podjęcia badań wynika z faktu, iż klasyczny model uderzenia hydraulicznego oparty na jednowymiarowym równaniu ciągłości i ilości ruchu uwzględnia oddziaływanie cieczy ze strukturą w ograniczonym zakresie i to w sposób quasi-stacjonarny. Podejście takie nie zawsze jest wystarczające, np. dla rurociągu, który nie jest zamocowany sztywno lub w przypadkach gwałtownych zmian ciśnienia. Dokonano przeglądu literatury oraz przedstawiono model matematyczny zjawiska wynikający z najczęściej przyjmowanych założeń. Przedyskutowano te założenia i wstępnie opracowano niektóre szczegóły modelu. Uwzględnienie oddziaływania ciecz-struktura (ang. FSI) w opisie uderzenia hydraulicznego prowadzi, w zależności od przyjmowanych założeń, do modelu podstawowego lub najbardziej ogólnego modelu standardowego. Model podstawowy oparty jest na czterech równaniach różniczkowych: dwóch równaniach ruchu cieczy i sprzężonych z nimi efektem Poissona dwóch równaniach drgań podłużnych rurociągu. Model standardowy uwzględnia poza tym skrętne i poprzeczne drgania rurociągów (model belki Timoszenki) prowadząc do układu równań różniczkowych cząstkowych pierwszego

Another undertaken task was to analyze the water hammer effect with consideration of the fluid-structure interaction (S. Henclik). Motivation to commencement of the research was due to the fact that the classical model of water hammer effect, based on one dimensional continuity and momentum equations, takes into account the interaction between fluid and the structure only in a limited range and only in a quasi-stationary way. Such approach is not always sufficient, e.g. for pipeline, which is not rigidly fixed, or in cases of rapid pressure changes. The literature review has been accomplished and presented was a mathematical model of this phenomenon resulting from the most often accepted assumptions. These assumptions were discussed, and initially developed were some details of the model. Accounting of the fluid-structure interaction (FSI) in the water hammer effect leads, depending on the assumptions adapted, to the basic or the most general standard of the model. The basic model consists of four differential equations: two equations of fluid motion coupled by the Poisson effect to two equations of longitudinal pipeline vibration. The standard model takes into account the torsional and transverse vibrations of pipelines (Timoshenko beam model) leading to the set of hyperbolic differential equations of the first order. In this model, there is also a coupling between different modes of vibrations of various sections of pipeline.

rzędu, typu hiperbolicznego. W modelu tym występuje również sprzężenie różnych modów drgań pomiędzy poszczególnymi odcinkami przewodów.

Dokonano weryfikacji doświadczalnej wpływu przetwornika różnicy ciśnień i rurek impulsowych na dokładność pomiaru natężenia przepływu metodą wzrostu ciśnienia w czasie (W. Janicki, A. Adamkowski). Potrzeba takiej analizy wynika z faktu, że dokładność pomiaru w rurociągach wielkogabarytowych zależy między innymi od własności elementów układu pomiarowego, a szczególnie od parametrów dynamicznych przetwornika ciśnienia oraz długości i średnicy rurek manometrycznych łączących punkty odbioru ciśnienia z przetwornikiem. Dla analizy i oceny wpływu własności dynamicznych zarówno przetwornika różnicy ciśnień jak i rurki manometrycznej na natężenie przepływu przygotowano program obliczeniowy w środowisku Matlab. Program poddano testowaniu oraz weryfikacji doświadczalnej. W tym celu wykonano badania dla dwóch niezależnych wersji metody wzrostu ciśnienia w czasie. Uzyskane wyniki wskazują na poprawność przyjętych modeli obliczeniowych przetwornika i rurek oraz przygotowanego na ich podstawie programu numerycznego. Opracowana i zweryfikowana metoda obliczeniowa będzie wykorzystywana w trakcie badań sprawnościowych turbin wodnych i pompoturbin wykonywanych przez Ośrodek 1.

Dokonano modernizacji uniwersal-

Conducted was experimental verification of the impact of differential pressure transducer and pulse tubes on the accuracy of the flow rate measurement, using the method of pressure increase in time (W. Janicki, A. Adamkowski). The need for such analysis stems from the fact that the accuracy of measurement in large size pipelines depends inter alia on the properties of the measurement system, and particularly on the dynamic parameters of the pressure transducer as well as the length and diameter of the manometric tubes connecting pressure collecting points with transducer. To analyze and evaluate the impact of the dynamic properties of differential pressure transducers and manometric tubes for the flow rate calculation, developed was a computing program in the Matlab environment. The program was thoroughly tested and experimentally verified. For this purpose, conducted was the research of two independent versions of the method of pressure increase in time. The obtained results indicate the correctness of the computational models of the transducer and the tubes as well as the numerical program prepared on such basis. Developed and verified method of calculation will be used in the studies of water turbines and pump-turbines efficiencies to be carried out at the Centre O1.

Carried out was the modernization

nego stanowiska do badań modelowych turbin wodnych i pomp wirowych (A. Adamkowski, J. Wasilewski, P. Żółtko, J. Steller). Zrealizowano główną przebudowę (montaż urządzeń technicznych) stanowiska. By rozpocząć prace badawcze nad małymi turbinami wodnymi, konieczne jest jeszcze, m.in., przygotowanie układu sterowania stanowiskiem oraz wyposażenie go w aparaturę pomiarową.

Na zamówienie Uniwersytetu Stanu Morelos (Cuernavaca, Meksyk) opracowano i zbudowano małogabarytowe, kompaktowe stanowisko laboratoryjne do badania przebiegu zjawiska uderzenia hydraulicznego (A. Adamkowski, J. Wasilewski, W. Janicki). Znane w Polsce i na świecie są stanowiska stacjonarne, zwykle dostosowane do warunków zabudowy w laboratoriach z wykorzystaniem istniejących tam dużych zbiorników cieczy i układów pompowych. Ich konstrukcje są rozwiązaniami jednostkowymi, trudnymi do realizacji w innych warunkach. Głównym celem zadania było stworzenie małogabarytowego, prostego i taniego, a przy tym w pełni funkcjonalnego stanowiska, do różnego typu badań uderzenia hydraulicznego.

Podobnie jak w poprzednich latach pracownicy Zakładu O1/Z1 uczestniczyli w pracach badawczo-pomiarowych na rzecz energetyki wodnej (elektrownie wodne: Rakowice, Wrocław, Żydowo, Żarnowiec, Łapino, Żur i in.) W pracach tych wykorzystywane są wcześniej opracowane

of a universal research rig for modeling investigations of water turbines and rotary pumps (A. Adamkowski, J. Wasilewski, P. Żółtko, J. Steller). A major reconstruction took place (assembly of technical equipment) at the research rig. To be ready to carry out research on small water turbines, it is necessary, inter alia, to prepare the control system of this research rig and equip it with the measuring equipment.

By the order of State University of Morelos (Cuernavaca, Mexico) developed and manufactured was a small-size, compact laboratory for investigations of the water hammer effect (A. Adamkowski, J. Wasilewski, W. Janicki). The stationary research rigs are known in Poland and in the world, which are usually adapted to the laboratory space conditions with the usage of existing large liquid tanks and sets of pumps. Their construction are individual solutions, difficult to implement in other conditions. The main objective of this task was to create a small size, simple and cheap, while fully functional laboratory, to study various types of research of the water hammer effect.

Similarly as in previous years employees of O1/Z1 Centre participated in the research and measurement works for the hydro energy purposes (hydro power plants: Rakowice, Wrocław, Żydowo, Żarnowiec, Łapino, Żur etc.). In these works used were the previously developed at the Centre methods of research and measurement techniques, and the experience gained generates new topics

w Zakładzie metody i techniki badawczo-pomiarowe, a zdobywane doświadczenia generują nową, potrzebną w praktyce tematykę badawczą. Kontynuowano także działalność konsultacyjną (A. Henke, J. Steller, A. Adamkowski) kierowaną do potencjalnych inwestorów MEW (Małej Energetyki Wodnej) oraz firm działających na rzecz energetyki wodnej. Kontynuowano również działalność w celu utrzymania w IMP PAN systemu jakości ISO (A. Henke, W. Janicki).

W roku 2008 kontynuowano prace nad modelowaniem i weryfikacją doświadczalną złożonych procesów zużycia (B.G. Gireń). Przedmiotem badań była erozja kawitacyjna, a także pewne zagadnienia biomechaniki/medycyny (procesy zachodzące w organizmach żywych). Opracowano metodę ilościowej oceny ubytków masy w procesie kawitacyjnego niszczenia materiałów i wykazano jej stosowalność w innych przypadkach złożonych, losowych procesów zużycia. Stosowano probabilistyczny model erozji, wynikający z przesłanek fizycznych, który umożliwia przewidywanie przebiegu niszczenia ciał w konkretnych przypadkach erozji, dla założonych funkcji prawdopodobieństwa procesów cząstkowych i wartości występujących w nim parametrów. Udział poszczególnych procesów składowych określony został poprzez wprowadzenie współczynników partycji. Badano szybkości przyrostów długości mikropęknięć w warstwie powierzchniowej materiału poddanego

of research. Continued were consultation activities (A. Henke, J. Steller, A. Adamkowski) to potential investors of micro hydro power plants and the companies operating for the benefit of hydro energy. The works were continued to sustain at the IMP PAN the ISO quality management system (A. Henke, W. Janicki).

In 2008 continued were works on modeling and experimental verification of complex wearing processes (B.G. Gireń). The purpose of this study was the cavitation erosion, as well as some issues of biomechanics/medicine (processes occurring in living organisms). Developed was the method of quantitative assessment of the weight loss in the cavitation process of material destruction and demonstrated its applicability in other cases of complex and random wearing process. Applied was a probabilistic erosion model, resulting from natural conditions, which allows to predict the destruction process in specific cases of erosion, for the intended probability function of sub-processes and values of the parameters occurring in it. The share of each component was determined by introducing the partition coefficients. Studied was the rate of increments of the length of micro cracks in surface layer of material under cavitation loads. Developed was the method for determining the efficiency of cavitation energy transfer to material in its destruction process. An attempt was made to apply this model to describe the processes associated with wearing the cartilage tissue in degenerative joint

obciążeniom kawitacyjnym. Opracowano metodę określania efektywności przekazywania energii kawitacyjnej do materiału w procesie jego niszczenia. Podjęto próbę zastosowania modelu do opisu procesów związanych z zużyciem tkanki chrzęstnej w chorobie zwyrodnieniowej stawów oraz przebiegiem i terapią chorób nowotworowych. Celem prac jest budowa narzędzi do przewidywania przebiegu procesu (rozwoju choroby) oraz do kształtowania przebiegu procesu (określenie warunków sprzyjających uzyskaniu zamierzonego efektu terapeutycznego).

Kolejnym podejmowanym zadaniem było badanie własności ochronnych wielowarstwowych powłok nanokrystalicznych (TiN) w warunkach obciążenia kawitacyjnego (A. Krella). Prace prowadzone w latach ubiegłych wykazały, że właśnie powłoki TiN cechują się najwyższą odpornością kawitacyjną. W celu określenia wpływu liczby warstw w powłokach przeprowadzono badania na stanowisku z tunelem kawitacyjnym dla różnych wariantów powłok. Wyznaczono krzywe erozyjne (na podstawie pomiaru ubytków masy w czasie), przeprowadzono pomiary zmian chropowatości oraz dokonano obserwacji mikroskopowych; uzyskane informacje pozwoliły określić odporność kawitacyjną poszczególnych próbek. Celem podjęcia zagadnień związanych z erozją ścierną w środowisku wodnym, zbudowano stanowisko do badań erozji hydroabrazyjnej (R. Szyrszyng, A. Krella). Zasadniczymi elementami stanowiska są: aluminiowy zbiornik

disease and the course and therapy of cancerogeneous diseases. The objective of works is to build the tools for prediction of the process (development of the disease), and to shape the course of the process (determination of conditions conducive to achieving the intended therapeutic effect).

Another undertaken task was the study of nanocrystalline protective multilayer coatings (TiN) in cavitation load conditions (A. Krella). The works carried out in recent years have shown that precisely the TiN coatings are characterized by the highest cavitation resistance. In order to determine the impact of the number of layers in the coatings, the research was carried out in the cavitation tunnel with various options of coatings. Assigned were the erosion curves (based on the measurement of weight loss over time), carried out the measurements of roughness changes and the microscopic observations made; the obtained information let to identify a cavitation resistance of different samples. For the purpose of taking up the issues related to the abrasive erosion in the aquatic environment, was built a hydro-abrasive erosion research rig (R. Szyrszyng, A. Krella). The essential elements of this rig are: cylindrical aluminum tank, mixing system and electric motor. Solid particles are kept in the liquid as suspension sustained by the mixer. On the internal walls of the tank are placed the obstacles restricting the rotational movement of the liquid. The research rig allows for various circumferential speeds.

cyldryczny, układ mieszający i napędzający go silnik elektryczny. Częstki stałe są utrzymywane w cieczy w postaci zawiesiny za pomocą mieszadła. Na wewnętrznych ścianach zbiornika umieszczone są przeszkody, ograniczające ruch wirowy cieczy. Stanowisko umożliwia prowadzenie badań dla różnych prędkości obrotowych.

Tunel kawitacyjny – nowe wyposażenie aparaturowe (A. Henke, W. Janicki, J. Steller, J. Wasilewski, P. Żółtko). Tunel wyposażono w nowe czujniki, których membrana posiada dużą odporność erozyjną. Wykonano pomiary próbne impulsów kawitacyjnych w tunelu kawitacyjnym z szczelinowym wzbudnikiem kawitacji. Rejestrację danych i ich obróbkę prowadzono przy użyciu zakupionej szybkiej karty pomiarowej oraz własnego oprogramowania. Pomyślne wyniki pomiarów przesądziły o zaniechaniu planów dotyczących samodzielnej budowy czujników oraz o wznowieniu programu badań erozyjnych. Do badań wytypowano wszystkie materiały metaliczne badane w ramach Międzynarodowego Kawitacyjnego Testu Erozyjnego (ICET). Wykonano odpowiednie zestawy próbek oraz rozpoczęto ich badania laboratoryjne. Przewiduje się, że wyniki wymienionych tu badań posłużą do weryfikacji nowej metodyki wyznaczania odporności kawitacyjnej materiałów, a następnie – do określenia obciążenia kawitacyjnego występującego na stanowiskach uczestniczących

Cavitation tunnel – a new measurement equipment (A. Henke, W. Janicki, J. Steller, J. Wasilewski, P. Żółtko). The tunnel has been equipped with new sensors, where the membrane features a high erosion resistance. The trial measurements were carried out of the cavitation pulses in the cavitation tunnel with a slot cavitation inducers. Data registration and their processing were conducted using a high-speed measurement card and self-developed software. The successful results of the measurements decided about the abandonment of plans for self-construction of sensors and the resumption of the research into the erosion process. All metallic materials tested in the framework of the International Cavitation Erosion Test (ICET) were chosen for scrutiny. Appropriate sets of samples were made and their laboratory research began. It is expected that the results of this research will help to verify the new methodology for the determination of cavitation resistance of materials, and then - to determine the cavitation load occurring on the research rigs participating in ICET.

Also the works began on the construction of a new data acquisition system.

w programie ICET. Rozpoczęto również prace nad budową nowego układu akwizycji danych.

O1/T2: Zagadnienia modelowania numerycznego przepływów dla pro-ekologicznej konwersji energii (kier. tematu: J. Pozorski)

Podjęmowane w roku 2008 prace miały charakter teoretyczno-numeryczny i obejmowały wybrane zagadnienia mechaniki i termomechaniki płynów: przepływy turbulentne jednofazowe, oraz dwufazowe z fazą dyspersyjną, opływy układów łopatkowych, a także przepływy w ośrodkach porowatych. Ich wspólną cechą stanowiła z jednej strony motywacja (proekologiczna konwersja energii), a z drugiej strony zastosowanie i rozwój własnych algorytmów obliczeniowych, uzupełnianych przez kody komercyjne CFD.

Pierwszym z realizowanych zadań było modelowanie turbulentnych przepływów dwufazowych z fazą dyspersyjną (J. Pozorski, M. Łuniewski, M. Waławczyk). Nowoczesne narzędzia obliczeń takich przepływów mają znaczenie między innymi w kontekście licznych zagadnień inżynierii chemicznej i procesowej oraz konwersji energii: spalanie rozpylonych paliw ciekłych, pyłu węglowego lub cząstek biomasy. Prace w tym zadaniu wspierane są przez specjalny projekt badawczy w ramach Akcji COST z udziałem partnerów krajowych (PCz, AGH). Przedmiotem prac jest analiza wybranych klas przepływów turbulentnych (przyścienne przepływy

O1/T2: The issues of numerical modeling of flows for pro-ecological energy conversion (research coordinator: J. Pozorski)

The works carried out in 2008 had a theoretical and numerical character and included selected issues of mechanics and thermo-mechanics of fluids: turbulent single-phase flows, two-phase flows with the dispersed phase, flows past the blading systems, as well as flows in porous media. Their common feature was, on one hand the motivation (pro-ecological energy conversion) and, on the other hand, development of own computational algorithms, which could be complemented by the commercial CFD codes.

The first task was modeling of turbulent two-phase flows with the dispersed phase (J. Pozorski, M. Łuniewski, M. Waławczyk). Modern tools of such calculations are important, inter alia, in the context of a number of applications in chemical and process engineering and energy conversion: combustion of sprayed liquid fuels, pulverised coal or particles of biomass. Works within this task are supported by a special research project within the framework of the COST programme and participation of national partners (PCz, AGH). The objective of work is to analyze the selected classes of turbulent flows (near-wall disperse flows, two-phase circular and coaxial jets) with the view to develop the optimal method of application of Large Eddy Simulation and the

dyspersyjne, dwufazowe strugi kołowe i współosiowe) celem wypracowania optymalnego sposobu zastosowania metody dużych wirów (ang. LES – *Large Eddy Simulation*) oraz rozwoju modeli dla przepływów turbulentnych w połączeniu z podejściem Lagrange’owskim do ruchu fazy dyspersyjnej (faza rozproszona występuje w postaci kropeł cieczy lub cząstek stałych). Ważnym zagadnieniem w podejściu LES do takich przepływów pozostaje dyspersja podsiatkowa cząstek, czyli modelowanie wpływu drobnoskalowych struktur turbulentnych (nierozwiązywanych w LES) na statystyki ruchu fazy dyspersyjnej. Do tego celu wykorzystano dostępną bazę danych (CTR Stanford, USA) z obliczeń DNS oraz a priori LES dla turbulencji izotropowej. Uzyskano interesujące wyniki dla statystyk prędkości oraz położenia cząstek w przepływie w zależności od zastosowanego modelu dyspersji podsiatkowej. Do obliczeń LES przepływu w strugach wykorzystywano kod udostępniony w wersji źródłowej przez Politechnikę w Darmstadt (Niemcy). Po uzupełnieniu go o własny moduł obliczeń fazy rozproszonej w podejściu Lagrange’a w implementacji wieloprocesorowej, prowadzono obliczenia LES przepływu i trajektorii cząstek; będący w dyspozycji Zakładu program numeryczny jest dalej rozwijany. Dla obliczeń strug jednofazowych korzystano także z kodu spektralnego LES opracowanego w PCz. Uzyskano wyniki dla wieloskalowego pola prędkości, między

development of models for turbulent flow in conjunction with the Lagrange approach for modeling of the disperse phase motion (dispersed phase comes in the form of drops of liquid or solid particles). An important issue in LES approach to such flows is a sub-grid dispersion of particles that is modeling of the impact of small scale turbulent structures (not resolved in LES) on the statistics of the disperse phase motion. For this purpose, used was the available database (CTR Stanford, USA) of the DNS calculations and a priori LES for the isotropic turbulence. Interesting results were obtained for the velocity statistics and position on the particles, depending on the sub-grid dispersion model. For the LES calculation of flow in jets used was the code available in the source version by the Technical University of Darmstadt (Germany). After complementing this code by the in-house calculation module of the dispersed phase in the Lagrange approach for multi-processor implementation, the LES calculations of flow and the trajectories of particles were performed; the numerical program is under further development. For the single-phase jet calculations the spectral LES code was used, developed at the Technical University of Czestochowa. The results were obtained for a large-scale velocity field, inter alia, the statistics of axial velocity component of the fluid. Designated profiles of this component show the self-similarity character; a good consistency with the experimental data was obtained. Spectral LES code,

innymi statystyki składowej osiowej prędkości płynu. Wyznaczone profile tej składowej wykazują charakter samopodobieństwa; uzyskano dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi. Kod spektralny LES pomimo pewnych ograniczeń (jednoblokowa siatka kartezjańska) stanowi szybkie narzędzie do testowania wpływu zmian geometrii lub warunków przepływu. Docelowym, realizowanym obecnie zadaniem jest przeprowadzenie obliczeń strug współosiowych z fazą dyspersyjną, które stanowią uproszczony przypadek rzeczywistego przepływu w palnikach kotłów energetycznych.

Prowadzono także prace poświęcone uproszczonemu modelowaniu turbulentnego przepływu dwufazowego z użyciem układów dynamicznych (M. Waławczyk, J. Pozorski). W zastosowanym podejściu zastosowano metodę symulacji dynamiki najbardziej energetycznych struktur wirowych przepływu turbulentnego (ang. *POD – Proper Orthogonal Decomposition*), znacznie mniej kosztowną od metody LES. Pozwala ono na uzyskanie chwilowego pola prędkości takich struktur i wyznaczenie ich ewolucji w czasie, na podstawie całkowania niskowymiarowego układu dynamicznego. W tak modelowanym polu prędkości całkowano trajektorie cząstek stałych lub kropeł w obszarze przyściennym, uzyskując informację o statystykach ruchu fazy dyspersyjnej. Badania te prowadzone są we współpracy z Uniwersytetem La Rochelle (Francja).

Zagadnienie powierzchni rozdziału

despite some restrictions (single-block Cartesian grid) is a fast tool for testing the impact of geometry changes or flow conditions. Target task to carry out now is to perform the calculation of coaxial jets with the disperse phase, which are the simplified case of actual flow in the burners of power boilers.

Also carried out were the works of simplified modeling of two-phase turbulent flow using the dynamical systems (M. Waławczyk, J. Pozorski). In such approach applied was the method of dynamics simulation of the most energetic eddy structures of turbulent flow called the Proper Orthogonal Decomposition (POD), which is much cheaper than the LES method. It allows to obtain an instantaneous velocity field of such structures and the determination of their evolution over time, on the basis of integration of low-dimensional dynamical system. In the velocity field modeled in such way integrated were the trajectories of particles or drops in the near-wall region, obtaining the statistics of the disperse phase. These studies are conducted in cooperation with the University of La Rochelle (France).

The issues of modeling of multiphase flows with interfaces (M. Waławczyk, T. Waławczyk) are present in numerous industrial applications, among others in naval hydromechanics, metallurgy and chemical industry. The existence of phase separation surface is associated with the problems of mass, momentum and energy exchange, at the fluid interfaces. For the modeling of such flows is used,

faz w modelowaniu przepływów wielofazowych (M. Waławczyk, T. Waławczyk) występuje w wielu zastosowaniach przemysłowych, między innymi w hydromechanice okrętowej, hutnictwie oraz w przemyśle chemicznym. Istnienie powierzchni rozdziału faz wiąże się z uwzględnieniem problemów wymiany masy, pędu i energii na granicy ośrodków. Do modelowania takich przepływów stosuje się m.in. metodę VOF (ang. *Volume of Fluid*) ze schematami o wysokiej rozdzielczości do rekonstrukcji powierzchni rozdziału. Ukończono implementację tej metody do programu numerycznego rozwiązującego 3D równania Naviera-Stokesa. Porównano własności schematów metody VOF w kilku przykładach testowych oraz zaproponowano modyfikację pozwalającą na rekonstrukcję powierzchni rozdziału z mniejszą zależnością od kroku całkowania w czasie oraz spełniającą pewne kryterium jakości rozwiązania numerycznego (ang. TVD – *Total Variation Diminishing*). W kontekście modelowania turbulencji w złożonych przepływach dwufazowych ważnym problemem jest domknięcie tych składników równań zachowania, które związane są ze skokiem parametrów na powierzchni rozdziału faz. Zaproponowano metodykę tworzenia domknięć, która opiera się na metodach RANS oraz LES z zastosowaniem filtrowanej funkcji gęstości (ang. *Filtered Density Function* – *FDF*), jak również na wykorzystaniu formalizmu metody teorii grup Liego. Pozwala ona

among the others, the VOF (*Volume of Fluid*) method with the high-resolution scheme for interface reconstruction. Completed was the implementation of this method within the numerical code solving the 3D Navier-Stokes equation. Compared were the properties of VOF method schemes in several test examples and proposed was a modification allowing for the reconstruction of separation surface with a smaller dependency on the time integration step and meeting certain quality criterion of numerical calculation (TVD – *Total Variation Diminishing*). In the context of turbulence modeling in complex two-phase flows an important problem is closure of such equation components which are associated with the jump conditions at the interface. Proposed was a methodology for the creation of closures, which is based on the RANS and LES methods using the *Filtered Density Function (FDF)*, as well as using the method of Lie group formalism. It allows to find specific solutions of solving the partial differential equations, as well as to examine whether the proposed closures retain the symmetry of the initial equation of full description. Applying the Lie group theory to describe the separation surface (fronts, discontinuities) is the pioneering and promising objective.

na znalezienie szczególnych rozwiązań równań różniczkowych cząstkowych, a także na badanie, czy proponowane domknięcia zachowują symetrie wyjściowego układu równań dla opisu pełnego. Zastosowanie teorii grup Liego do opisu przepływów z powierzchniami rozdziału (fronty, nieciągłości) jest zamierzeniem pionierskim i obiecującym.

Innym realizowanym zadaniem było zastosowanie metod wirowych do projektowania i analizy turbin wiatrowych i wodnych (T. Koronowicz, P. Chaja, A. Góralczyk). Przedmiotem badań było modelowanie numeryczne i analiza trójwymiarowych przepływów cieczy w maszynach przepływowych. Oryginalne modele obliczeniowe oparte na metodach wirowych pozwalają na wyznaczenie przepływu wokół ciała dowolnego kształtu oraz określenie pola ciśnień na ciałach oraz indukowanych sił nośnych. W 2008 roku trwały prace nad małymi wiatrakami z dyfuzorem oraz zjawiskiem deformacji wirów wierzchołkowych. Prowadzono prace nad modelem wirowym dwupowłokowej powierzchni nośnej oraz możliwościami jego wykorzystania w procesie projektowym łopatek turbin wiatrowych. Celem zadania było zaadoptowanie modelu jako narzędzia pozwalającego na zredukowanie generowanych przez nie hałasów oraz opracowanie programu projektowego turbin wiatrowych w oparciu o model wirowy. Punktem wyjścia były wcześniejsze doświadczenia związane z projektowaniem niskoszumnych śrub okrętowych. Przedstawiono koncepcję metody re-

Another task was the application of vortex methods for the design and analysis of wind and hydraulic turbines (T. Koronowicz, P. Chaja, A. Góralczyk). The purpose of this study was a numerical modeling and analysis of 3D flow in the fluid-flow machines. The original computing models based on vortex methods allow for determination of the flow around the body of an arbitrary shape and determination of the pressure field on the body as well as the induced lift forces. In 2008 carried out was research of small wind turbines with diffuser and the phenomenon of tip vortex deformation. Also carried out were works on the vortex dual layer lifting surface model and the possibilities of its application in the wind turbine blades design. The purpose of this task was the adoption of this model to be a tool allowing to reduce the generated noise and develop wind turbines designing program on the basis of the vortex model. The starting point was the earlier experience of designing the low noise propellers. Presented was the concept of a method of reducing the noise intensity generated by the wind turbine. This concept consist in modification of the blade geometry in the top part in order to obtain the reduction of vortex concentration occurring in this area. For calculation purposes used was the method of double layer lifting surface with evolution in time of the assumed discrete vortex distribution on the blade. Assumed was the possibility of vortex transition from the attached into the free vortices (so-called vortex

dukcji natężenia dźwięku generowanego przez turbinę wiatrową. Koncepcja ta polega na modyfikacji geometrii płata w części wierzchołkowej, tak by uzyskać zmniejszenie występującej w tym obszarze koncentracji wirowości. Do celów obliczeniowych wykorzystano metodę dwupowłokowej powierzchni nośnej z ewolucją w czasie założonego rozkładu dyskretnego wirowości na płacie. Założono możliwość przejścia wirów związanych w swobodne (tzw. oderwanie wirowe). W zakresie turbin wiatrowych w dyszy prowadzono prace nad programem służącym do obliczeń charakterystyk aerodynamicznych turbiny. Celem zadania jest zbadanie możliwości poprawy pracy turbiny poprzez dodanie dyszy: lepsze wykorzystanie energii wiatru oraz obniżenie prędkości startowej. Program powstał na bazie wcześniejszych obliczeń charakterystyk śrub okrętowych w dyszy. Wstępna weryfikacja polegała na zbadaniu zgodności współczynnika momentu uzyskanego z obliczeń i z badań modelowych. Następnie dla turbiny wiatrowej o prostych łopatkach przeprowadzono obliczenia dla różnych wariantów geometrii: turbiny bez dyszy oraz dwóch konfiguracji turbiny z dyszą. W zakresie projektowania i analizy przepływu w turbinach wodnych i wiatrowych planuje się dalsze wykorzystanie metod wirowych oraz standardowego podejścia CFD, również do zagadnień optymalizacji przepływu.

Podjęto zadanie modelowania numerycznego zjawisk cieplno-przepływowych w ośrodkach porowatych

(separation). In the field of wind turbines in the nozzle, carried out was the research on the program used to calculate aerodynamic characteristics of the turbines. The purpose of the task was to explore the opportunities to improve the turbine work by adding a nozzle: better use of wind energy, and lower startup speed. The program is based on earlier calculations of characteristics of propeller screws in the nozzle. A preliminary verification was to examine the compatibility of the moment coefficient obtained from the calculations and model tests. Then, for wind turbine with the straight blades performed were the calculations of various cases of geometry: turbine with no nozzle and two configurations of turbines with nozzles. In terms of design and analysis of the flow in water and wind turbines there is a plan for further use of vortex methods and standard CFD approach, also for the flow optimization issues.

Undertaken was the task of numerical modeling of heat and fluid flow in porous media (A. Grucelski, J. Pózorski, D. Kardaś). A practical motivation for that is an attempt to improve the description and optimization of the coal coking process. A fundamental motivation is the complexity of the physics and multiscale character of this phenomenon: from the scale of single grains of coal up to the scale of industrial equipment. The purpose of this industrial equipment. The purpose of this study was modeling of the flow and heat transport in the porous medium. For the description of processes

(A. Grucelski, J. Pozorski, D. Kardaś). Motywacją praktyczną jest próba ulepszonego opisu oraz optymalizacji procesu koksowania węgla. Motywację poznawczą stanowi złożoność fizyki procesu oraz wielkoskalowy charakter opisywanych zjawisk: od skali pojedynczych ziaren węgla, aż po skalę urządzenia przemysłowego. Przedmiotem badań było modelowanie przepływu oraz transportu ciepła w ośrodku porowatym. Do opisu procesów zachodzących w całym ośrodku zaproponowano wykorzystanie hiperbolicznego równania transportu ciepła z członem relaksacyjnym. Tę koncepcję zastosowano przy rozwiązaniu CFD pełnego zagadnienia przepływu w uproszczonej geometrii ośrodka porowatego. Jako podejście alternatywne, szczególnie odpowiednie zwłaszcza do opisu małych fragmentów ośrodka porowatego, podjęto wykorzystanie metody siatkowej Boltzmana (ang. LBM – *Lattice Boltzmann Method*). Metoda ta, oparta na podejściu automatów komórkowych, rokuje duże nadzieje w dziedzinie symulowania przepływów w ośrodkach o złożonej geometrii. Ostatnio publikowane prace proponują rozszerzenia metody LBM do zagadnień wymiany ciepła. Prowadzono także próby opracowania algorytmu dla konstruowania modelu geometrii ciała porowatego o zadanych rozkładach statystycznych wielkości geometrycznych charakteryzujących rzeczywiste złoża i ośrodki. Dokonano analizy literatury przedmiotu, opracowano algorytm i kod programu

taking place throughout the medium, proposed to use was the hyperbolic equation of heat transport with the relaxation term. This concept was used in solving of the full CFD flow problem in a simplified geometry of porous medium. As an alternative approach, especially suitable for description of small fragments of porous medium, undertaken was the use of the Lattice Boltzmann Method (LBM). This method, based on the cellular automata, is promising for flow simulation in media of complex geometry. Recently published articles suggest the extension of the LBM method onto the heat transfer problems. Also tried to elaborate was an algorithm for creation of the geometry of porous medium with statistical distribution of geometrical quantities characterizing the actual media. The literature review has been accomplished and developed the algorithm and code for the Lattice Boltzmann Method. For a given geometry performed were the flow simulations using a discrete 2D and 3D models of LBM method. For simple geometries (single cylinder, sphere or their arrangement) determined were the streamlines for small Reynolds numbers. The continuation of the work is foreseen; on the detailed level of description (single grains of medium) LBM will be developed and applied, while the modeling of the entire bed (flow, heat transfer, chemical reactions, changes in the medium structure) will be conducted in

dla metody siatkowej Boltzmann. Dla zadanej geometrii przeprowadzono symulacje przepływu z zastosowaniem dyskretnego modelu 2D i 3D metody LBM. Dla prostych geometrii (pojedynczy walec, kula lub ich układ) wyznaczono opływy dla małych liczb Reynoldsa. Przewiduje się kontynuację prac; na szczegółowym poziomie opisu (pojedyncze ziarna ośrodka) zastosowana i rozwinięta zostanie metoda siatkowa Boltzmann, natomiast modelowanie całego złoża (przepływ, wymiana ciepła, reakcje chemiczne, zmiana struktury ośrodka) prowadzone będzie w opisie uproszczonym (np. modele relaksacyjne), przy wykorzystaniu informacji szczegółowych z obliczeń metodą LBM.

a simplified description (e.g. relaxation models), using the detailed information obtained from the LBM calculation.

Jacek Pozorski

Translated by Dariusz Mikielwicz