

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. Z uwagi na szereg zmian osobowych w Ośrodku, w roku 2007 zmieniła się też jego struktura. Istniejące wcześniej grupy badawcze związane z tematyką maszyn hydraulicznych przekształciły się w Zakład Badań i Diagnostyki Maszyn Hydraulicznych (O1/Z1, kier. doc. A. Adamkowski) oraz Pracownię Kawitacji (O1/P1, kier. dr J. Steller), natomiast z połączenia dotychczasowej Pracowni Przepływów Wielofazowych oraz Zakładu Pędników Okrętowych utworzono Zakład Hydrodynamiki i Przepływów Wielofazowych (O1/Z2, kier. doc. J. Pozorski).

Poniżej przedstawiono krótkie omówienie uzyskanych wyników, związanych z poszczególnymi tematami działalności zespołów badawczych w Ośrodku.

O1/Z1/T1: Wybrane zagadnienia projektowania i eksploatacji maszyn i urządzeń hydraulicznych (A. Adamkowski)

Prowadzone prace dotyczyły metod analizy i projektowania układów przepływowych turbin wodnych i pomp wirowych, matematycznego opisu

The range of activities under consideration at the Centre for Liquid Mechanics (O1) relates to investigations occurring in liquid flows and multiphase flows as well as widely comprehended practical issues connected to design and analysis, both experimental and numerical, of flows in fluid-flow systems of hydraulic machines. Due to significant staff changes at the Centre in 2007 also its structure was subject to alterations. Existing earlier research groups working on the topics of hydraulics machinery were converted to a Division for Investigation and Diagnostics of Hydraulic Machinery (O1/Z1, headed by Dr A. Adamkowski, DSc) as well as a Group for Cavitation Research (O1/P1, headed by Dr J. Steller), whereas from the combination of a Multiphase Flow Group and the Division of Marine Propellers a new Division for Hydrodynamics and Multiphase Flows was established (O1/Z2, headed by Dr J. Pozorski, DSc).

Presented below is a brief description of obtained results related to particular topics of activities by research groups in the Centre.

O1/Z1/T1: Selected problems of design and operation of hydraulic machines and devices (A. Adamkowski)

Conducted research regarded methods of analysis and design of fluid-flow systems of water turbines and rotating pumps, mathematical description of phenomena and transient problems in

zjawisk i procesów nieustalonych w przepływowych układach hydraulicznych, a także doskonalenia technik pomiarów przepływu w urządzeniach hydrotechnicznych i hydroenergetycznych. Tematyka ta ma szczególne znaczenie dla energetyki wodnej, w tym dla małych elektrowni wodnych stanowiących odnawialne źródła energii (OZE).

Pierwszym podejmowanym zagadnieniem z tego zakresu było zastosowanie narzędzi numerycznych do projektowania i analizy przepływu przez układy przepływowe maszyn wodnych. Kontynuowano prace nad udoskonalaniem metody siatek wirowych (VLM – vortex lattice method), wykorzystywanych do analizy przepływu przez układy przepływowe turbin wodnych i pomp śmigłowych. W ramach tego zagadnienia w 2007 roku udało się zakończyć prace nad zastosowaniem metody VLM dla trójwymiarowej analizy przepływu przez turbinę osiową. Program autorski 3D AXflow został wyposażony w dwa zależne moduły obliczające trójwymiarowy przepływ przez kierownicę i wirnik turbiny osiowej. Dopracowano procedury obliczeniowe odpowiedzialne za modelowanie pola prędkości indukowanej przez łopatki kierownicy w obszarze pracy wirnika turbiny. Program ten na obecnym stopniu rozwoju pozwala na obliczanie przepływu przez cały układ łopatkowy turbiny z uwzględnieniem oddziaływania łopat kierownicy na łopatki wirnika.

Kolejne zagadnienie miało charak-

fluid-flow hydraulic systems as well as improvement of flow measurement techniques in fluid-flow and energy conversion technical systems. Such scope of topics is of particular importance for the hydropower including small hydropower, which is an example of renewable energy sources (RES).

The first problem under scrutiny from that range was application of numerical tools in design and analysis of the flow through hydro-machinery flow systems. Continued were activities on the improvement of the vortex lattice method (VLM), used in analysis of a flow through flow systems of water turbines and propelling pumps. In the frame of that topic in 2007 the works have been accomplished on application of the VLM method for a three-dimensional analysis of the flow through the axial turbine. The in-house developed 3-D numerical code AXflow has been equipped with two interacting modules calculating a three-dimensional flow through the guide vane and axial turbine rotor. Calculation procedures responsible for modeling of velocity field induced by the guide vanes in the area of turbine rotor operation have been refined. That code at the present stage of development enables calculation of the flow through the entire blading system of the turbine with account of interaction of guide vane blades and rotor blades.

Subsequent problem was of a fundamentals character and regarded numerical investigations of evolution of vortex structures. With that in mind a devel-

ter podstawowy i dotyczyło badań numerycznych ewolucji struktur wirowych. Do tego celu wykorzystano wcześniej opracowany lagrangeowski (bezsiatkowy), dwuwymiarowy model obliczeniowy przepływu cieczy lepkiej oparty na metodach dyskretnych wirów i prędkości dyfuzyjnej. W modelu tym zastosowano algorytmy wysokiego rzędu dokładności do symulacji oddziaływań pomiędzy dwoma początkowo kołowymi obszarami wirowymi o jednorodnym rozkładzie wirowości w cieczy nielepkiej. Wykonano eksperyment numeryczny obejmujący ewolucję pary jednakowych wirów oraz pary wirów różniących się natężeniem i/lub promieniem. Wyniki długookresowych symulacji symetrycznych i niesymetrycznych oddziaływań dwóch wirów świadczą o wpływie początkowej odległości pomiędzy wirami oraz rozkładu wirowości w rdzeniach na ewolucję układu.

Prowadzono także badania eksperymentalne oraz teoretyczne zjawiska uderzenia hydraulicznego. W szczególności, kontynuowano prace związane z weryfikacją doświadczalną programów komercyjnych RELAP5 i DRAKO, wykorzystywanych w obliczeniach mechanicznych obciążeń elementów rurociągów w obiektach hydrotechnicznych i jądrowych (układy chłodzenia reaktora). Dokonano oceny tych programów na podstawie wyników wykonanych badań laboratoryjnych w IMP PAN dla przypadków uderzenia hydraulicznego z rozerwaniem strumienia cieczy (z przejściowym pojawianiem

oped earlier Lagrange approach based model (a non-grid one) has been used which is a two-dimensional calculation model of viscous liquid flow based on a method of discrete vortices and diffusion velocity. In that model the algorithm of a high degree of accuracy has been used for simulations of interactions between two originally circular vortex regions with a homogeneous distribution of vorticity in inviscid liquid. A numerical experiment has been executed encompassing evolution of a couple of identical eddies as well as a couple of eddies different in intensity and/or radius. The results of long term symmetrical simulations and non-symmetrical interactions of two vortices confirm the influence of initial distance between vortices as well as distribution of vorticity in the cores on the system evolution.

Conducted also were experimental and theoretical investigations of the water hammer effect. In particular continued were activities related to experimental verification of commercial software RELAP5 and DRAKO, used in mechanical load calculations of pipeline elements in hydrotechnical and nuclear objects (systems of reactor cooling). Assessment of these codes has been accomplished on the basis of results of carried out experiments at IFFM PAS laboratories for the case of a water hammer effect with the liquid boundary layer separation (with transitional appearance of vapour-gas phase). Comparison of measured and calculated pressure changes related to that phenomenon indicate significant discrepancies. Only

się fazy parowo-gazowej). Porównanie zmierzonych i obliczonych zmian ciśnienia związanych z tym zjawiskiem pokazuje spore różnice. Tylko pierwszy pik (impuls) ciśnienia pojawiający się przed rozerwaniem jest obliczany wystarczająco dokładnie. Kolejne impulsy ciśnienia różnią się od zmierzonych zarówno częstotliwością jak i amplitudą. Trwają prace nad przygotowaniem własnego programu obliczeniowego służącego do numerycznego przewidywania przebiegu tego złożonego zjawiska.

Rozpoczęto intensywne prace nad przygotowaniem wiarygodnej metody analizy niepewności wyników pomiaru natężenia przepływu w wielkogabarytowych obiektach hydrotechnicznych metodą uderzenia hydraulicznego (metodą Gibsona). Jest ona jedną z podstawowych metod pomiaru natężenia przepływu stosowaną w elektrowniach wodnych. Dokładność pomiaru tą metodą zależy od wielu czynników, w tym od własności elementów układu pomiarowego, a szczególnie od parametrów dynamicznych przetwornika ciśnienia oraz długości i średnicy rurek manometrycznych łączących punkty odbioru ciśnienia z przetwornikiem. Przygotowano procedurę obliczeniową umożliwiającą przeprowadzenie analizy wpływu elementów układu pomiarowego na natężenie przepływu wyznaczone tą metodą. W tym celu przyjęto stosowne modele matematyczne przetwornika ciśnienia oraz rurki manometrycznej. Dla przykładu, model rurki został

the first pressure peak (impulse) appearing prior to separation is calculated to a sufficient accuracy. Subsequent pressure impulses are differing from the measured ones in case of frequency and amplitude. The activities are underway on development of the in-house software for numerical predictions of the course of such a complex phenomenon.

Intense works have started on preparation of a reliable method for analysis of results of measurements uncertainty of flow rate in multi scale hydrotechnical objects by means of a water hammer effect (the Gibson method). That is one of the fundamental methods for measurements of flow rate used in hydropower plants. The accuracy of measurement using that method depends on several factors including properties of measurement system elements and in particular on the dynamical parameters of pressure transducer as well as the length and diameter of manometric tubes connecting the points of pressure connection with the transducer. Prepared has been a calculation procedure enabling analysis of the influence of elements of measurement system on the mass flow rate determined using that method. Bearing that in mind appropriate mathematical models of the pressure transducer and the manometric tube have been assumed. For example the tube model has been assumed in line with the assumptions of the wave motion taking place in liquid filling that tube. Based on assumed model developed has been a calculation procedure in the Matlab environment. The pro-

przyjęty zgodnie z założeniami ruchu falowego zachodzącego w cieczy wypełniającej tę rurkę. W oparciu o przyjęte modele przygotowano program obliczeniowy w środowisku Matlab. Program jest obecnie w fazie testowania. Przewiduje się jego weryfikację doświadczalną, a następnie jego stosowanie w analizie niepewności pomiaru natężenia przepływu metodą uderzenia hydraulicznego.

Opracowano ponadto komputerowy układ do ciągłego pomiaru natężenia przepływu przez turbinę wodną w oparciu o metodę różnicy ciśnień pomiędzy dwoma odpowiednio usytuowanymi punktami w komorze spiralnej turbiny (metoda Winter-Kennedy'ego). Jest to związane z dużym zainteresowaniem elektrowni wodnych możliwościami monitorowania przepływu. Poza doborem elementów układu pomiarowego przygotowano oprogramowanie umożliwiające, m.in., bezobsługową realizację pomiarów i rejestracji, wizualizację aktualnych wyników pomiaru oraz tworzenie raportów dla okresu czasu zadanego przez użytkownika. Przygotowany układ pomiarowy został zastosowany na czterech hydrozespołach wyposażonych w turbiny wodne klasyczne (2 turbiny w ESP Solina i 2 turbiny w EW Myczkowce).

W 2007 roku kontynuowano działalność konsultacyjną skierowaną zarówno do potencjalnych inwestorów MEW (Małej Energetyki Wodnej), jak i firm działających na rzecz energetyki wodnej. Działalność ta jest istotnym elementem prac na rzecz rozwoju ener-

cedure is at present in the testing stage. Its experimental verification is envisaged and then its application in the analysis of uncertainty of mass flow rate measurement by means of the water hammer effect.

Additionally developed has been a computer aided system for a continuous measurement of mass flow rate through the water turbine based on a method of pressure difference between two adequately situated points in the spiral chamber of the turbine (the Winter-Kennedy method). That is attracting a significant interest of hydropower plants authorities due to possibilities of flow monitoring. Apart from selection of elements of the measurement systems developed has been a software enabling, amongst the others, an unmanned realization of measurement and recording, visualization of actual results of measurements and development of reports for the specified period set by the user. Developed measurement system has been applied on four hydrosets featuring classical water turbines (2 turbines at Solina pumped storage pump and 2 turbines at Myczkowce hydropower plant).

In 2007 continued has been a consulting activity directed at potential investors of small hydropower as well as companies acting for the benefit of hydropower. That activity is an important element of works for further development of hydropower.

getyki wodnej.

O1/Z2/T1: Modelowanie numeryczne turbulencji z zastosowaniem metody dużych wirów (J. Pozorski)

Realizowane prace miały charakter teoretyczno-numeryczny i dotyczyły przepływów turbulentnych jednofazowych, a także dwufazowych z fazą dyspersyjną. Te ostatnie są ważne m.in. w obliczeniach cieplno-przepływowych z przemianą fazową (np. obiegi siłowni jądrowych), a także w zagadnieniach spalania (rozpylone paliwa ciekłe lub pył węglowy). Rozwój modeli w powiązaniu ze wzrostem mocy obliczeniowych pozwala prognozować uzyskanie w najbliższych latach znacznego postępu w optymalizacji procesów turbulentnego spalania dwufazowego (sprawność i bezpieczeństwo procesów, redukcja szkodliwych emisji). Intensywnie rozwijanym podejściem w ramach obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) jest modelowanie przepływów turbulentnych metodą dużych wirów (ang. LES – Large Eddy Simulation). Prowadzono prace w zakresie analizy numerycznej wybranych klas przepływów (m.in. przyścienne przepływy dyspersyjne, strugi turbulentne) celem wypracowania optymalnego sposobu zastosowania LES do obliczeń tych i podobnych przypadków. Celem prac było w pierwszej kolejności rozpoznanie możliwości i ograniczeń metody LES, a następnie rozwój modeli dla przepływów turbulentnych w połącze-

O1/Z1/T1: Numerical modelling of turbulence with application of a Large Eddy Simulation method (J. Pozorski)

The activities carried out were of theoretical and numerical character and regarded single-phase turbulent flows as well as two-phase flows with the disperse phase. The latter ones are important, amongst the others, in thermal-hydraulic calculations with a phase change (for example nuclear power plant cycles), as well as in combustion problems (sprayed liquid fluids or the coal powder). The development of models in combination with the increase of calculation power enables to forecast realisation in the years to come of a significant progress in optimization of processes of turbulent two-phase combustion (efficiency and safety of processes, reduction of harmful emissions). At the moment, an intensive effort is directed, in the frame of the computational fluid dynamics (CFD), at modeling of turbulent flows by means of Large Eddy Simulation method (LES). Carried out are works in the area of numerical analysis of selected classes of flows such as near-wall disperse flows, turbulent jets, in order to develop an optimal way of application of LES for calculations of these phenomena and similar cases. The objective of these works was in the first instance to recognise possibilities and constraints of LES method and subsequently develop models for turbulent flows in combination with the Lagrange approach for the motion of disperse

niu z podejściem Lagrange'owskim do ruchu fazy dyspersyjnej lub dynamiki zmiennych skalarnych.

Znaczny udział miały prace poświęcone rozwojowi modeli obliczeniowych dla turbulentnych przepływów dwufazowych z fazą rozproszoną w postaci kropeł cieczy lub cząstek stałych. Zastosowano podejście Eulerowsko-Lagrange'owskie, w którym LES dla fazy ciągłej (przy założeniu jednostronnego sprzężenia pędu) połączony jest z wyznaczaniem trajektorii cząstek fazy rozproszonej. Prowadzone w bieżącym roku prace dotyczące modelowania przepływów dwufazowych z fazą dyspersyjną koncentrowały się na wybranych aspektach dynamiki cząstek w obszarze przyściennym, takich jak szybkość ich separacji na ściankach, wpływ siły nośnej oraz dyspersja podsiatkowa cząstek, czyli modelowanie wpływu drobnoskalowych struktur turbulentnych (nierozwiązywanych w LES) na statystyki ruchu fazy dyspersyjnej. Do obliczeń przepływu w podejściu LES wykorzystywano program CFD udostępniony w wersji źródłowej przez Politechnikę w Darmstadt (Niemcy). Dokonano jego modyfikacji do obliczeń równoległych przepływów dyspersyjnych z użyciem pakietu MPI oraz uzupełniono go o wyznaczanie statystyk podsiatkowych turbulencji. Uruchomiono efektywne, wieloprocesorowe obliczenia LES przepływu oraz trajektorii cząstek. Wyznaczono statystyki ruchu cząstek w przepływie turbulentnym, takie jak prędkość średnia, turbulentna energia

phase or the dynamics of scalar variables.

A significant interest was devoted to activities on the development of calculation models for turbulent two-phase flows with a disperse phase in the form of liquid droplets or solid particles. Applied has been an Euler-Lagrange approach where LES, for the liquid phase (at the assumption of a one-way coupling of momentum) is combined with determination of the trajectory of particles of dispersed phase. The works carried out in the present year regarding modelling of two-phase flows with a disperse phase were concentrated on selected aspects of particle dynamics in the near-wall region, such as speed of their separation on walls, influence of lift force and sub-grid dispersion of particles, that is modeling of the influence of small scale turbulent structures (unsolvable in LES method) on the statistics of the disperse phase. In calculations of flows in the LES approach a CFD code is used, which has been made available as a source code by the Technical University of Darmstadt (Germany). Its modification has been accomplished for parallel calculations of disperse flows with the aid of MPI packet as well as it has been supplemented for determination of sub-grid statistics of turbulence. The effective multi-processor calculations using of the flow using LES together with particle trajectories. Determined were statistics of the particle motion in turbulent flow such as mean velocity, turbulent kinetic energy, profiles of particle

kinetyczna, profil koncentracji cząstek w poprzek kanału oraz strumień masy cząstek ulegających separacji na ściankach. Ponieważ uzyskane krzywe separacji przy uwzględnieniu jedynie siły oporu lepkiego w równaniu ruchu cząstek nie dały zadowalającej zgodności z danymi eksperymentalnymi, równania ruchu uzupełniono o efekt siły nośnej, który może być istotny w obszarach o znacznych gradientach prędkości fazy ciągłej (np. w pobliżu ścianek). Przeprowadzono obliczenia separacji cząstek na ściankach (przy zastosowaniu warunku brzegowego typu pochłaniania). Stwierdzono, że uwzględnienie siły nośnej daje lepszą zgodność krzywej separacji z doświadczeniem z zakresie cząstek o średnich wartościach parametru bezwładności (z tak zwanego zakresu inercyjno-dyfuzyjnego), natomiast dla cząstek mniejszych konieczne jest uzupełnienie równań ruchu o modelowany wpływ nierozwiązywanych w LES skal podsiatkowych przepływu. Podjęto również obliczenia strug turbulentnych, jako wstępu do obliczeń strug współosiowych z fazą dyspersyjną (palnik na pył węglowy, na paliwo ciekłe).

Kontynuowano prace poświęcone modelowaniu przyściennemu turbulencji z polem temperatury celem obliczeń wymiany ciepła w przepływie turbulentnym, w tym także dla zagadnienia sprzężonej wymiany ciepła. W zastosowanym podejściu połączono metodę symulacji dużych wirów (LES) dla pola prędkości z modelowaniem stochastycznym pola temperatury za

concentration across the channel and the mass flow rate of particles undergoing separation on walls. Due to the fact that obtained curves of separation with account of merely forces of viscous resistance in momentum equation for particles did not provide satisfactory consistency with experimental data, therefore the equations of motion were supplemented for the effect of the lift force which can be important in regions where significant velocity gradients of liquid phase are present, for example in vicinity of walls. Calculations have been executed on separation of particles on walls (using the absorption type of boundary condition). It has been concluded that account of the lift force returns a better consistency between the separation curve and experiment in the range of particles with mean values of the inertia parameter (from the so called inertia-diffusion range), whereas in case of smaller particles necessary is modification of the momentum equation to include the influence of sub-grid scales, which are unsolvable using LES. Calculations have also started of turbulent jets as an introduction to calculation of coaxial jets with a disperse phase (powderised coal burner or liquid fuel burner).

Continued have been works on modeling of near wall turbulence with temperature field for heat transfer calculations in turbulent flow, including also the coupled problem of heat transfer. In the approach the LES method for the velocity field has been combined with a stochastic modeling of temperature

pomocą metody filtrowanej funkcji gęstości (ang. FDF – Filtered Density Function). Rozważano również podejście mniej kosztowne obliczeniowo od LES, w którym symulowana jest dynamika pewnych struktur wirowych przepływu turbulentnego (ang. POD – Proper Orthogonal Decomposition) z użyciem niskowymiarowych systemów dynamicznych opartych na dekompozycji prędkości w bazie funkcji własnych. Najpierw, na podstawie danych numerycznych obliczeń DNS wyznaczono dwupunktowe funkcje korelacji prędkości; na ich podstawie z zagadnienia własnego wyznaczono bazę funkcyjną. Następnie dokonano projekcji Galerkin na równania Naviera-Stokesa na wyznaczoną bazę funkcyjną, co doprowadziło do układu równań różniczkowych zwyczajnych na zależne od czasu współczynniki. Pole prędkości zostało zrekonstruowane na podstawie wyznaczonych współczynników oraz funkcji własnych.

Podjęto prace teoretyczne z zakresu podstaw mechaniki płynów, stosując formalizm teorii grup Liego do szczególnego ujęcia równań zachowania, jakim jest sformułowanie funkcyjne Hopfa. Analiza teoretyczna pozwoliła na znalezienie pewnego szczególnego rozwiązania wybranego równania z pochodnymi funkcyjnymi (funkcyjne sformułowanie równania Burgersa).

field by means of the Filtered Density Function (FDF). Considered also was a less computationally expensive than LES approach where simulated is dynamics of some vortex structures of turbulent flow, namely the Proper Orthogonal Decomposition (POD) with incorporation of low dimensional dynamic systems based on decomposition of velocity in the base of eigenvalue functions. First, on the basis of DNS data determined have been two point functions of velocity correlations and on their basis the function domain has been determined from the solution of the eigenvalue problem. Next the Galerkin projection has been executed of the Navier Stokes equation onto the determined function domain which led to a system of ordinary differential equations with time dependent coefficients as unknowns. Velocity field had been reconstructed on the basis of determined coefficients as well as eigenvalues.

Theoretical works have been commenced in the area of foundations of fluid mechanics using the Liege formalism for a specific description of conservation equations such as functional formulation of Hopf. Theoretical analysis enabled to find some specific solution of selected equation together with functional derivatives (functional description of the Burgers equation).

O1/Z2/T2: Numeryczne modelowanie i badanie trójwymiarowych przepływów cieczy w zastosowaniu do maszyn wirnikowych (T. Koronowicz)

Celem i przedmiotem prowadzonych badań była budowa nowych oryginalnych modeli obliczeniowych przepływów trójwymiarowych, a także opływów ciał dowolnego kształtu, wyznaczenie pola ciśnień na ciałach indukujących siły nośne i opracowanie na ich podstawie programów komputerowych oraz ich eksperymentalna weryfikacja.

Pierwszym realizowanym zadaniem było zastosowanie metody powierzchniowego rozkładu wirowości do projektowania oraz analizy pracy maszyn hydraulicznych i wiatraków. W jego ramach prowadzono prace nad programem do wyznaczania dużych struktur wirowych spływających ze skrzydeł maszyn wirnikowych, a także prace nad programem określającym przepływ wokół dyszy współpracującej z wiatrakiem. Wysłano hipotezę, że jednym ze źródeł hałasów generowanych przez pracujące turbiny wiatrowe mogą być zjawiska związane z koncentracją wirowości i obecnością dużych struktur wirowych w obszarze przywierzchołkowym. W celu weryfikacji tej hipotezy opracowano algorytm programu wyznaczającego deformację układu wirów swobodnych na skrzydle o dowolnej geometrii w ujęciu dwupowłokowej powierzchni nośnej. Podjęto także pracę nad programem do określania osiągow wiatraków pracu-

O1/Z1/T1: Numerical modelling and investigations of three-dimensional liquid flows in application to rotating machinery (T. Koronowicz)

The objective and subject of conducted research was development of new and original calculation models of three-dimensional flows as well as flows around bodies with arbitrary shape, determination of pressure fields on bodies inducing lift forces and on that basis development of computer codes and their experimental verification.

The first realised topic was application of a method of surface distribution of vorticity in design and analysis of operation of hydraulic machinery and wind turbines. In its frame carried out were activities on the code for determination of large vortex structures flowing down the blades of rotating machinery as well as works on the code for determination of the flow around the nozzle cooperating with the wind turbine. A hypothesis has been put forward that one of the sources of noise generated by operating wind turbines can be phenomena related to concentration of vorticity and presence of large vortex structures in the near-peak region. In order to verify that hypothesis an algorithm for the computer code has been developed for determination of deformation of a system of free vortices on the blade with arbitrary geometry in the frame of a two-layer lift surface. Works on the code have started for determination of power characteristics of wind turbines

jących w dyszach uzyskując pierwsze wyniki dla dysz o nieskończenie cienkim profilu. Wiatraki o mniejszych średnicach są niekiedy wyposażone w dysze, natomiast spotykane w istniejącej literaturze opinie na temat poprawy efektywności pracy takich urządzeń nie są jednoznaczne.

Drugim realizowanym zadaniem były numeryczne badania przepływów dwufazowych cieczy lepkiej. Prowadzono pracę nad metodą Volume of Fluid (VOF) ze schematami o wysokiej rozdzielczości do rekonstrukcji powierzchni rozdziału składników. Dokonano implementacji tej metody do programu numerycznego rozwiązującego trójwymiarowe równania Naviera-Stokesa (program akademicki FASTEST). Porównano właściwości 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 (TVD – Total Variation Diminishing).

O1/P1/T1: Zagadnienia kawitacji i erozji kawitacyjnej (J. Steller)

Kontynuowano prace eksperymentalne i teoretyczne w zakresie erozji kawitacyjnej. Badania erozyjne przeprowadzone w tunelu kawitacyjnym IMP PAN doprowadziły do optymalizacji technologii podwyższania odporności kawi-

operating in nozzles and first results have been obtained for the case of nozzles with an infinitely thin profile. The wind turbines with smaller diameters are sometimes equipped with nozzles and existing in literature opinions on the improvement of effectiveness of operation of such devices are often not unanimous.

A second realised topic were numerical investigations of two-phase flows of viscous liquid. The activities were focused on the Volume of Fluid (VOF) method with high resolution schemes for reconstruction of a phase separation surface of components. Implementation of that method has been accomplished in the computer code solving three-dimensional Navier-Stokes equations (the academic code FASTEST). Compared were the properties of VOF method schemes in several tests as well as proposed had been a modification enabling for reconstruction of the separation surface with a smaller dependency on the integration step in time as well as obeying some criterion of the quality of numerical solution (TVD – Total Variation Diminishing).

O1/Z1/T1: Problems of cavitation and cavitation erosion (J. Steller)

Continued have been experimental and theoretical works in the area of cavitation erosion. Erosion research conducted in the cavitation tunnel at IMP PAN led to optimization of technology of increasing of cavitation resistance of

tacyjnej stali, rozwijanej w Katedrze Inżynierii Materiałowej Politechniki Koszalińskiej. Zoptymalizowana technologia polega na wytwarzaniu nanokrystalicznej powłoki TiN metodą katodowego odparowania łukowego. Wykazano, że osadzenie powłoki przyczyniło się do wydłużenia okresu inkubacyjnego (o ok. 100%) i istotnego zmniejszenia ubytków (o ok. 50%) w stosunku do stali austenitycznej.

Rozwinięto probabilistyczny model przebiegu erozji kawitacyjnej tworzyw metalowych. Przyjęto nowe założenie, że ubytki objętości są proporcjonalne do różnicy szybkości absorpcji energii w warstwie i zużycia energii w procesie zamykania pęknięć. Model został sformułowany w taki sposób, aby możliwe było przewidywanie zużycia materiału, pod warunkiem znajomości postaci funkcji i wartości parametrów wykorzystanych w zapisie równań: wag energetycznych procesów składowych, intensywności dostarczania energii i parametrów materiałowych. Uzasadniono wybór typów funkcji prawdopodobieństwa procesów składowych. Stwierdzono, że uzyskane wskutek przeprowadzenia procedury aproksymacyjnej wartości współczynników podziału dla aluminium, mosiądzu i stali dla dwóch różnych stanowisk kawitacyjnych zależą od intensywności obciążeń, a ich rozkład względem rodzaju materiałów odzwierciedla ich właściwości, co można uznać za potwierdzenie poprawności rozumowania przyjętego przy tworzeniu modelu.

steel, developed at the Material Engineering Department of Koszalin University of Technology. Optimised technology is based on production of nano crystal TiN coating by means of cathode method of arch evaporation. It has been proved that the foundation of the shell led to increase of incubation period (by about 100%) and a significant decrease of residues (by about 50%) with respect to austenitic steel.

Developed has been a probabilistic model of the course of cavitation erosion of metallic compounds. A new assumption has been made that the volume changes are proportional to the difference in speed of energy absorption in the layer and energy consumption in the process of cracks closure. The model has been formulated in such a way that possible is forecasting of material use under condition of the knowledge of the form of function and values of parameters used in definition of equations, i.e. energy proportions of constituting processes, intensity of energy supply and material parameters. The selection of types of probability functions of constituting processes has been justified. It has been concluded that obtained values, as a result of implementation of approximation procedure, of the share coefficients for aluminum, brass and steel for two different cavitation stands depend on intensity of load and their distribution with respect to kinds of material reflects their properties, which can be regarded as a confirmation of the correctness of procedures assumed in the development of the model.

Ponadto, w Pracowni dokonano uogólnienia algorytmu oraz kolejnej aktualizacji programu FLOWTEST, wspomagającego pomiary natężenia przepływu metodą młynkową. W obecnej wersji program umożliwia także całkowanie pola przepływu przez otwarte kanały prostokątne, przez koryta rzek i kanałów o nieregularnym, a także przepływu w kanałach zamkniętych o przekroju prostokątnym, z zaokrąglonymi narożami i w kanałach o przekroju kołowym. Opracowano procedury wizualizujące rozkłady prędkości w przekrojach.

Additionally, in the Group a generalisation of the algorithm has been accomplished as well as a subsequent update of the FLOWTEST code, aiding the measurements of mass flow rate by means of the mill method. In the present version the code enables also integration of the flow field through open square rectangular, through the troughs of rivers and channels with irregular shape and also the flows in closed-loop channels with rectangular cross-section, with rounded corners and channels with circular cross-section. Developed have been visualization procedures for cross-sectional velocity fields.

Jacek Pozorski

Translated by Dariusz Mikielewicz

