

**O1**

**Zagadnienia mechaniki cieczy**

**Problems of mechanics of liquid**



Poniżej przedstawiono krótkie omówienie głównych wyników prac prowadzonych w Ośrodku Mechaniki Cieczy IMP PAN w 2005 r. w ramach tematów badawczych objętych planem działalności statutowej. Tematy podzielone są na kolejne zadania, uzupełniające się przy tym wszędzie tam gdzie jest to możliwe. Nawiązywana jest w razie potrzeby współpraca z Zakładami z pozostałych Ośrodków.

Poza realizacją tematów planowych prowadzono, jak co roku, prace związane z aktualnie wykonywanymi projektami badawczymi oraz z pozyskanymi zleceniami zewnętrznymi, także mieszczącymi się w zakresie działalności statutowej. Ważniejsze wyniki tych prac również zostały krótko opisane.

Utrzymana została tendencja formułowania zadań odrębnych dla każdego pracownika, w celu umożliwienia wyodrębnienia i indywidualnej oceny dorobku i osiągnięć pracow. naukowych.

Uprawiana tematyka badawcza jest w coraz większym stopniu spójna z priorytetami krajowymi oraz nakreślonymi przez Unię Europejską, charakteryzuje się przy tym cechami zarówno poznawczymi jak i aplikacyjnymi.

Zanotowano kolejne ważne sukcesy w rozwoju kadry naukowej.

### **O1/Z1/T1 Wybrane zagadnienia eksploatacji i diagnostyki hydraulicznych maszyn wirnikowych**

Prace w tym temacie obejmowały w 2005 r. trzy następujące zadania:

*Presented below is a brief description of most important results of activities carried out in year 2005 at the Centre for Liquid Mechanics of IFFM PAS in the area of research topics constituting the statute framework. The topics are divided into problems, which are complimentary where possible. Cooperation with the departments of other Centres has been established if necessary.*

*As usually, apart from realisation of planned activities, works have been carried out in the area of research projects and acquired external contracts, which also complimented statute activities. Most important results of these works have also been briefly described.*

*A tendency of defining separate problems of activities for each person has been sustained in order to appraise individual achievements of each member of staff.*

*The area of research topics carried out at the Centre is more and more consistent with domestic priorities as well as those outlined by the European Union and exhibits fundamental as well as application issues.*

*Important achievements in staff development have also been encountered.*

### **O1/Z1/T1 Selected problems of exploitation and diagnostics of hydraulic rotating machinery**

*Activities in 2005 encompassed three problems, namely: 1) Analysis of water hammer effects with account of non-stationary models of hydraulic resis-*

1) Analiza przebiegu zjawiska uderzenia hydraulicznego z uwzględnieniem niestacjonarnych modeli oporów hydraulicznych, 2) Numeryczna symulacja oddziaływania wzajemnego struktur spływowych w śladzie wirowym z opływającym obiektem (profil, ciało nieopływowe), 3) Rozwijanie metod i technik pomiarowych dla potrzeb nowoczesnych badań sprawnościowych turbin wodnych dużej mocy. W dwóch pierwszych zadaniach podstawowym celem prac jest doskonalenie metod numerycznego przewidywania przebiegu procesów i zjawisk nieustalonych występujących w elementach układów przepływowych hydraulicznych maszyn wirowych. Znaczenie praktyczne opracowywanych metod wiąże się z przeciwdziałaniem warunkom niekorzystnym, takim jak np. nadmierne wahania ciśnienia wywołane zjawiskiem uderzenia hydraulicznego lub nadmierny, indukowany przez wiry wzrost drgań elementów opływanych przez ciecz, głównie w warunkach rezonansowych. Zjawiska te stanowią istotne zagrożenie dla przepływowych układów hydraulicznych – zmniejszają trwałość i niezawodność działania elementów układów przepływowych, a często grożą poważnymi awariami – i powinny być brane pod uwagę, zarówno na etapie projektowania układów, jak również w trakcie ich eksploatacji. Trzecie z wymienionych zadań wiąże się z opracowaniem oprzyrządowania pomiarowego pozwalającego wyznaczać z dużą dokładnością charakterystyki energetyczne dużych turbin w elektrowniach wodnych w warunkach braku dostępu z ze-

*tance, 2) Numerical investigations of interaction between trailing structures in the wake and the object (profile, non-flown around bodies), 3) Development of methods and measurement techniques for the needs of modern investigations of efficiency of large power water turbines. In two first topics the principal objective of works was tuning of numerical methods for simulation of processes and transient phenomena occurring in elements of fluid-flow systems of hydraulic rotating machinery. Practical importance of developed methods is related to counteracting unfavourable conditions such as for example excessive pressure changes, rendered by the water hammer effect, or severe, induced by eddies, increase of vibrations of flown past elements, mainly under resonance conditions. Such phenomena form a significant danger to fluid-flow hydraulic systems, i.e. they reduce life span and reliability of operation of elements of hydraulic systems and often introduce threat of serious breakdowns and hence ought to be considered both at the system design stage and during their operation. The third of the issues named earlier is related to development of a measurement system enabling highly accurate determination of power efficiencies of large turbines in hydro power plants under conditions of a lack of external access to their flow systems.*

*1) Analysis of water hammer effects with account of non-stationary models of hydraulic resistance – A hypothesis of quasi stationary friction losses,*

wnątrz do ich układów przepływowych.

1) *Analiza przebiegu zjawiska uderzenia hydraulicznego z uwzględnieniem niestacjonarnych modeli oporów hydraulicznych* – Obecnie powszechnie stosowana w obliczeniach inżynierskich przebiegu zjawiska uderzenia hydraulicznego hipoteza quasi-stacjonarnych strat tarcia jest zasadniczą przyczyną rozbieżności obliczeń z doświadczeniem, głównie w odniesieniu do szybkości zanikania fal ciśnienia (zmierzona szybkość zanikania fal jest zdecydowanie większa od szybkości wynikającej z obliczeń). Konieczność poszukiwania nowych modeli strat tarcia, spełniających podstawowe kryteria wiarygodnej symulacji uderzenia hydraulicznego, jest obecnie powszechną opinią w środowisku badawczym.

W celu poprawy dokładności obliczeń numerycznych przebiegu uderzenia hydraulicznego, opracowano ostatnio kilka niestacjonarnych modeli oporów hydraulicznych. Ich autorzy uważają, że są one słuszne dla szerokiego zakresu liczb Reynoldsa ( $Re$ ). To przekonanie nie jest poparte pełną weryfikacją doświadczalną, bowiem dostępne w literaturze wyniki badań doświadczalnych, które były podstawą sprawdzenia niektórych z tych modeli dotyczyły małych liczb  $Re$ .

Wobec przedstawionej sytuacji, to jest potrzeby dokonania weryfikacji doświadczalnej istniejących modeli oporów w szerokim zakresie liczb  $Re$ , przeprowadzono w 2005 r. w laboratorium IMP PAN badania doświadczalne. Wy-

*generally accepted in engineering calculations of the phenomenon of water hammer effect, is a principal reason for discrepancies between calculations and experiment, primarily as far as the rate of deterioration of pressure waves (measured rate of wave deterioration is significantly greater than the rate resulting from calculations) is concerned. Necessity to search for new models of friction losses, obeying the fundamental criteria of reliable simulation of hydraulic jump, is presently a generally accepted opinion among researchers.*

*In order to improve the accuracy of numerical calculations of the course of water hammer effect there has been developed recently several non-stationary models for prediction of hydraulic resistances. Their respective authors claim that they are appropriate for a wide range of corresponding Reynolds number ( $Re$ ). That approach, however, has yet to receive a complete experimental verification as available in literature results of calculations, which served as basis for verification for some of the models, are available only for small values of  $Re$ .*

*Due to that fact, namely the necessity of experimental verification of existing models of resistances in a wide range of Reynolds numbers, there have been carried out experimental investigations in 2005 at the IFFM PAS laboratory. The results of investigations have subsequently been used for verification of calculation models.*

niki badań wykorzystano następnie do weryfikacji modeli obliczeniowych.

Na podstawie weryfikacji obliczeń, wykonanych z uwzględnieniem wybranych modeli niestacjonarnych strat tarcia, dla dotychczas przeprowadzonych badań laboratoryjnych wykazano, że spośród znanych modeli niestacjonarnych strat tarcia na szczególną uwagę zasługują te, które oparte są na zależności oporów hydraulicznych od historii zmian prędkości (tj. modele Zielkego, Vardy'ego-Browna i Zarzyckiego). Modele te znakomicie odzwierciedlają rzeczywisty przebieg fali ciśnienia uderzenia hydraulicznego w rurociągu dla liczb  $Re$  z zakresu przepływu laminarnego i dla małych liczb  $Re$  z zakresu przepływu turbulentnego, dla  $Re < 10000$ . Znamienne jest jednak to, że wraz ze wzrostem liczby Reynoldsa zwiększają się różnice pomiędzy przebiegami pomierzonymi i obliczonymi z wykorzystaniem tych modeli. Dla badanych przypadków o największych liczbach  $Re$  ( $Re = 16000$ ) efekt tłumienia uzyskiwany w obliczeniach jest wyraźnie większy od rzeczywistego.

Badania weryfikacyjne przeprowadzono dla przypadków bez naruszenia ciągłości strumienia cieczy, które pojawia się przy obniżeniu ciśnienia poniżej wartości krytycznej, bliskiej ciśnienia parowania cieczy w danej temperaturze. W związku z tym wskazano na potrzebę rozszerzenia badań na te przypadki.

2) *Numeryczna symulacja oddziaływania wzajemnego struktur spływowych w*

*On the basis of verification of calculations, performed with account of selected models of non-stationary friction losses, it has been concluded that from amongst known non-stationary models of friction losses only those based on relation of friction losses to the history of velocity changes deserve special attention, such as models due to Zielke, Vardy-Brown and Zarzycki. These models perfectly reveal the real distribution of a pressure wave stemming from the waterhammer effect in a pipeline where Reynolds numbers correspond to laminar flow as well as values of  $Re$  corresponding to low Reynolds number turbulent flow, i.e.  $Re \leq 10000$ . Of significance is a fact that together with increase of Reynolds number in the used models the differences between measured and calculated values increase. In the case of investigated flows with highest values of  $Re$  ( $Re = 16000$ ) the effect of damping, obtained in calculations, is significantly greater than the real one.*

*Verification investigations for the cases without disturbing the liquid stream continuity, which appears during reduction of pressure below its critical value, close to liquid evaporation pressure in the given temperature have been carried out. In relation to the latter there has been indicated a need to extend investigations onto these cases.*

2) Numerical investigations of interaction between trailing structures in the wake and the object (profile, non-flown around body) – *In that topic, which is*

*ślądzie wirowym z opływającym obiektem (profil, ciało nieopływowe)* – W zadaniu tym, o charakterze poznawczym i utylitarnym, zmierza się do lepszego rozpoznania i polepszenia modelowania zjawisk ruchu cieczy lepkiej wokół ciał nieopływowych przy wykorzystaniu opracowanych algorytmów i programów komputerowych przeznaczonych do symulacji przebiegu tych zjawisk, a także do udoskonalenia narzędzi modelowania.

W 2005 r. najważniejsze prace skupione były na implementacji metody najmniejszych kwadratów do rozwiązywania nadokreślonego układu równań algebraicznych służących do wyznaczenia przepływu potencjalnego wokół przeszkody oraz opracowaniu i implementacji szybkiego algorytmu sumacyjnego, tzw. “fast multipole method”. Ponadto poprawiano efektywność funkcjonowania istniejących podprogramów oraz testowano podprogramy służące do ograniczenia dużej liczby dyskretnych wirów przez łączenie wirów położonych blisko siebie.

Fundamentem zastosowanego modelu obliczeniowego jest adaptacja metody dyskretnych wirów w połączeniu z metodami elementów brzegowych, prędkości dyfuzyjnej i warstw wirowych przy możliwie jak najmniejszej liczbie parametrów numerycznych przyjętych ad hoc. Metoda dyskretnych wirów jest metodą bezsiatkową. Pole prędkości jest obliczane jako superpozycja prędkości indukowanych przez wszystkie elementy wirowe za pomocą zdyskretyzowanej całki Biota-Savarta uzu-

*both of fundamental and applicational nature, efforts are endeavoured to gain better insight and understanding of modeling of viscous liquid motion around non-flown past bodies using developed algorithms and computer codes for simulation of such phenomena, as well as modification of modeling tools.*

*In 2005 most important activities were focused on implementation of the least square method for solution of an over-stiffed system of algebraic equations for determination of potential flow around an obstacle and development and implementation of a quick summation algorithm so called “fast multipole method”. Additionally, the effectiveness has been improved of performance of existing subroutines as well as these were tested for restriction of a large number of discrete vortices by combination of vortices located in a close distance from each other.*

*A foundation of implemented calculation model is adaptation of a method of discrete vortices, in combination with a method of boundary elements, diffusion velocity and vortex layers at possibly the smallest number of numerical parameters, assumed ad hoc. A method of discrete vortices is a non-grid method. Velocity field is calculated as a superposition of induced velocities by all vortex elements by means of a discretised Biot-Savart integral supplemented by the smoothing term, represented through axisymmetrical functions of different form.*

pełnionej o czynnik wygładzający, reprezentowany przez funkcje osiowosymetryczne różnego kształtu.

Obecność przeszkody w strumieniu reprezentowana jest za pomocą rozkładu dyskretnych osobliwości wirowych na konturze ciała lub przez aproksymację konturu prostoliniowymi panelami o ciągłym rozkładzie osobliwości wirowych.

Analiza ewolucji badanych przepływów wirowych wymaga wykonywania symulacji dla czasów na tyle długich, aby przepływ osiągał stan quasi-periodyczny, co dla zachowania dużej dokładności obliczeń wymaga wykorzystania dziesiątek tysięcy elementów wirowych. Najbardziej czasochłonnym fragmentem programu jest wyznaczenie prędkości dyskretnych wirów.

Za pomocą opracowanego w aktualnej wersji programu w celach testowych symulowano rozwój nieustalonego przepływu cieczy lepkiej wokół przeszkód cylindrycznych o przekroju prostokątnym, ewolucji wiru napływającego na przeszkodę oraz proces interakcji pomiędzy dwoma wirami

Rezultatem wykonanych prac jest poważna rozbudowa programu oraz opanowanie nowoczesnych kodów i technik obliczeniowych. Przygotowywany program obliczeniowy wymaga jeszcze pełnej konsolidacji jego elementów i testowania oraz weryfikacji doświadczalnej w celu uwiarygodnienia uzyskiwanych rezultatów numerycznych. Badania doświadczalne weryfikujące opracowaną metodę obliczeniową są przedmiotem złożonego wniosku o projekt

*The presence of an obstacle in the stream represented by means of distribution of discrete singularities on the body contour or through contour approximation with rectilinear panels with a continuous distribution of vortex singularities.*

*Analysis of evolutions of investigated vortex flows requires simulations for time periods sufficiently long so as the flow attains the quasi periodical state, which in the case of necessity of securing high accuracy of calculations requires application of tens of thousands of vortex elements. The most important part of the code is determination of velocities of discrete vortices.*

*Using the developed software for testing purposes simulated has been a development of a non-stationary flow of viscous liquid around cylindrical obstacles with square cross-section, evolution of the onflowing on the obstacle vortex as well as process of interaction between two vortices.*

*The result of carried out activities is a significant development of a code as well as mastering of modern codes and calculation techniques. Developed calculation code requires consolidation of its elements and testing as well as experimental verification to justify numerical results. Experimental investigations verifying the developed calculation method are the merit of submitted application for research project.*

3) Development of methods and measurement techniques for the needs of modern investigations of efficiency of large



badawczy.

3) *Rozwijanie metod i technik pomiarowych dla potrzeb nowoczesnych badań sprawnościowych turbin wodnych dużej mocy* – W badaniach energetycznych (sprawnościowych) hydraulicznych maszyn wirowych bardzo trudnym zadaniem jest pomiar natężenia przepływu. Zadanie to jest szczególnie skomplikowane w elektrowniach wodnych, w których nie ma dostępu z zewnątrz do układu przepływowego, a w czasie budowy nie przygotowano odpowiednich instalacji pomiarowych. Spośród kilku dostępnych metod pomiaru przepływu bardzo atrakcyjną jest obecnie metoda wzrostu ciśnienia w czasie (zwana popularnie metodą Gibsona). Rosnące w ostatnich latach na świecie zainteresowanie tą metodą wynika głównie z faktu zastąpienia w jej stosowaniu tradycyjnych technik cyfrowymi (komputerowymi) technikami pozyskiwania i obróbki danych. Zastosowanie tej metody, względnie proste w rurociągach, do których jest dostęp z zewnątrz, znacznie komplikuje się w przypadkach konieczności montażu układu odbioru i pomiaru ciśnienia statycznego wewnątrz rurociągu.

W związku z tym, przygotowano specjalne oprzyrządowanie, umożliwiające pomiar ciśnienia statycznego wewnątrz rurociągu turbiny w celu wyznaczenia natężenia przepływu metodą Gibsona. Oparty na tym oprzyrządowaniu pomiar natężenia przepływu zastosowano z powodzeniem w kilku turbinach wodnych dużej mocy w Polsce

*power water turbines – Measurement of the flowrate is a very complex issue in the case of power investigations of rotating hydraulic machinery. That topic is particularly complex in hydropower plants, where external access to the flow system is disallowed and in the design stage the relevant measurement installation had not been envisaged. From amongst several available measurement methods of flowrate very attractive seems to be the method of pressure increase in time (known as Gibson method). Increasing interest over recent years in that method stems primarily from the fact that instead of traditional techniques the digital data acquisition and processing have been implemented. Implementation of that method, relatively simple in pipelines, which are easily accessible from outside, is fairly complicated in cases of the necessity of assembly of a system of static pressure measurement and recording inside the pipeline.*

*In relation to this developed has been a special measuring system enabling static pressure measurement inside the turbine pipeline in order to determine flowrate by means of the Gibson method. The measurement of flowrate based on that principle has been successfully implemented in several water turbines of large power in Poland and Mexico. Utilising that device, in 2005, in the frame of cooperation between IFFM PAS and Morelos State University in Cuernavaca (Mexico)*

i Meksyku. Z jego wykorzystaniem, w 2005 r. w ramach współpracy pomiędzy IMP PAN a Uniwersytetem Stanu Morelos w Cuernavaca (Meksyk) wykonano badania energetyczne czterech turbin dużej mocy (180 MW) w elektrowniach wodnych na terenie Meksyku oraz wykonano kalibrację układu Winter-Kennedy’ego do ciągłego pomiaru natężenia przepływu wody przez badane turbiny. Najważniejsze wyniki wspólnych prac badawczych opublikowano.

**O1/Z2/T1 Projektowanie i analiza własności hydraulicznych turbin wodnych i pomp oraz rozwój metod oceny i ograniczania szkodliwego oddziaływania kawitacji na materiały konstrukcyjne**

W temacie tym prowadzono prace w trzech zadaniach: 1) Prace studialne z zakresu energetyki wodnej, 2) Rozwój metod projektowania wirnikowych maszyn hydraulicznych, w tym rozwój oprogramowania do analizy przepływu przez elementy hydraulicznych maszyn wirnikowych, 3) Zagadnienia kawitacji i erozji kawitacyjnej.

1) *Prace studialne z zakresu energetyki wodnej* – Większość prac studialnych dotyczących energetyki wodnej realizowana była w ramach projektu „Centrum Czystych i Bezpiecznych Technologii w Energetyce” CLEANERPAS, i stanowią one wkład Instytutu w realizację tego projektu. Od 2004 r. prace te mają związek ze wstąpieniem Instytutu

*conducted have been power investigations of four turbines of large power (180 MW) in hydro power stations in Mexico as well as calibration of a Winter-Kennedy system for continuous measurement of water flowrate through investigated turbines. Most important results of common research activities were published.*

**O1/Z2/T1 Design and analysis of hydraulic properties of water turbines and pumps, and development of methods of assessment and limitation of damaging influence of cavitation on construction materials**

*The works constituting that topic were carried out in the following areas: 1) Problems of hydropower, 2) Development of methods of design of rotating hydraulic machinery including the development of software for analysis of flows through elements of rotating hydraulic machinery, 3) Issues of cavitation and cavitation erosion.*

1) *Problems of hydropower* – Majority of studies regarding the hydropower were realised in the frame of a project “Centre for Clean and Safe Technologies in Power Engineering” CLEANERPAS, and constitute the Institute’s contribution into realisation of that project. Since 2004 these activities are also related to Institute’s introduction into European Society of Small Hydropower (ESHA), as well as involvement in the activities of Hydropower Society

do Europejskiego Stowarzyszenia Małej Energetyki Wodnej (ESHA), a także z zaangażowaniem w działalność Towarzystwa Elektrowni Wodnych (TEW). Od listopada 2005 r. Instytut jest członkiem wspierającym TEW. Wstąpienie do stowarzyszenia ESHA zaowocowało już zaproszeniem Instytutu do realizacji projektu europejskiego SHAPES (Small Hydro Action for the Promotion of Efficient Solutions). Wstąpienie do TEW owocuje organizacją Punktu Konsultacyjnego Energetyki Wodnej na terenie IMP PAN.

Wykonano opracowania przegląduwe dotyczące stanu energetyki wodnej na świecie, w Unii Europejskiej, w Polsce, a także w województwie pomorskim, przygotowywano również niektóre materiały przeznaczone dla uczestników konferencji i kursów z zakresu małej energetyki wodnej. W pracy prezentowanej podczas tegorocznej konferencji HYDROFORUM'2005 stwierdzono, że globalne wykorzystanie potencjału hydroenergetycznego wykazuje tendencję wzrostową, choć dzieje się tak głównie za sprawą wielkich krajów azjatyckich – Chin i Indii – a także krajów Ameryki Południowej. W krajach wysoko rozwiniętych (USA, Europa Zachodnia) inwestycje ograniczają się głównie do modernizacji istniejących obiektów, budowy nowoczesnych elektrowni pompowych i budowy obiektów MEW. Niezależnym kierunkiem działania są prace studyjne nad rozwojem technologii umożliwiającej wykorzystanie energii wody w morzach i oceanach. Sformułowano opinię, iż poważne zróżnicowa-

(TEW). Since November 2005 the Institute is an assisting member of TEW. Stepping into the ESHA society already borne fruits through invitation of the Institute into realisation of a European Project SHAPES (Small Hydro Action for the Promotion of Efficient Solutions). Introduction into TEW results in organisation of a Consultation Point of Hydropower at the IMP PAN.

Carried out have been survey works regarding the state of hydropower in the world, European Union, Poland as well as Pomeranian Province, prepared have been also some dissemination materials for the participants of conferences and courses from the area of small hydropower. In the work presented at a conference HYDROFORUM'2005 it has been concluded that the global utilisation of hydropower potential indicates increasing tendencies, however mainly due to activities of large Asiatic countries such as China and India and also countries from South America. In highly developed countries (USA, Western Europe) investments are confined mainly to modernisation of existing objects, development of modern pumped storage power plants and construction of small hydropower objects. Independent direction of activities are studies on the development of technology enabling utilisation of water power in seas and oceans. Opinion has been formulated that a significant differentiation of conditions as well as actual degree of utilisation of resources and potential of renewable sources of energy in particular regions renders that the assessments of global charac-

nie warunków oraz aktualnego stopnia wykorzystania zasobów i potencjału odnawialnych źródeł energii w poszczególnych regionach sprawia, że oceny o charakterze globalnym nie mogą być bezpośrednio stosowane do warunków lokalnych, a opieranie na nich diagnoz i programów działania o lokalnym charakterze należy uznać za błąd w sztuce. Niestety, postępowanie takie obserwuje się w Polsce. Przykładem jest niedawny raport Ministra Gospodarki, określający cele w zakresie udziału energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii w krajowym zużyciu energii elektrycznej w latach 2005-2014. W dokumencie tym odmawia się prawa rozwoju dużym elektrowniom wodnym na podstawie błędnej tezy o wyczerpaniu większości dostępnego potencjału hydroenergetycznego. Zestawienie wykorzystania technicznego potencjału hydroenergetycznego różnych krajów Unii Europejskich pokazuje, że Polska wykorzystując swój potencjał w zaledwie 16% jest na jednym z ostatnich miejsc. Uruchomienie dwóch planowanych na terenie województwa pomorskiego stopni Kaskady Dolnej Wisły dostarczyłoby krajowi ponad 400 MW cennej mocy regulacyjnej i prawie 1300 GWh energii elektrycznej rocznie. Oznaczałoby to 17-krotny wzrost wykorzystania potencjału hydroenergetycznego. Trudno przecenić wieloaspektowe znaczenie takiego źródła energii odnawialnej w kontekście ograniczenia zużycia nieodnawialnych nośników energii, zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, popra-

*ter cannot be directly applied to local conditions as well as basing diagnosis on these assessments and action roadmaps of local character is a mistake. Regretfully, such approach is noticed in Poland. As an example can serve recent report by the Ministry of Economy determining the targets in the area of share of electricity produced in renewable sources of energy in gross consumption of electricity in years 2005-2014. In that document there is a deny of access to development of large hydropower plants on the basis of a confusing theory about termination of the available domestic hydro potential. Comparison of utilisation of technical hydro potential of different countries of European Union indicates that Poland uses its own potential merely to 16% and occupies the last place on the list. Commissioning of two planned in Pomeranian Province stages of Lower Vistula Cascades would supply the country with over 400 MW of valuable control power and almost 1300 GWh of electricity per annum. That would mean a 17-fold increase of utilisation of hydropower potential. It is difficult to overestimate a multi-aspect importance of such a source of renewable energy in the context of reduction of utilisation of non-renewable sources of energy, reduction of emission of greenhouse gasses, improvement of safety of energy supplies as well as benefits which result towards the wind power as a result of a quick increase of control power reserves in the electricity system. The benefits for the water management are obvious (in-*

wy bezpieczeństwa energetycznego i korzyści, jakie wynikają dla rozwoju energetyki wiatrowej ze wzrostu szybkiej rezerwy mocy regulacyjnej w systemie elektroenergetycznym. Oczywiście są korzyści dla gospodarki wodnej (w tym ochrony przeciwpowodziowej), infrastruktury drogowej i żeglugowej, rynku pracy itp.

2) *Rozwój metod projektowania wirnikowych maszyn hydraulicznych, w tym rozwój oprogramowania do analizy przepływu przez elementy hydraulicznych maszyn wirnikowych* – Prace w tym zadaniu przebiegały dwutorowo: z jednej strony gromadzono doświadczenia związane z projektowaniem i oceną własności maszyn hydraulicznych, a w szczególności turbin Francisa, z drugiej zaś rozwijano własne kody obliczeniowe, oparte o metodę elementów brzegowych i dotyczące – na razie – maszyn o przepływie osiowym.

W stosowanej obecnie metodzie odwzorowywania geometrii istniejących wirników i projektowania wirników nowych punktem wyjścia dla procesu projektowania jest wyznaczenie powierzchni merydionalnych, co obecnie dokonywane jest przy użyciu dostępnego oprogramowania wykorzystującego metodę objętości skończonych (np. program Fluent). Postępowanie oparte jest w dużej mierze na doświadczeniu i intuicji projektanta. Podczas procesu projektowania korzysta się intensywnie z dostępnych narzędzi CAD. Wciąż brakuje jednak efektywnych narzędzi umożliwiających obiektywną ocenę i optymalizację

(including the flooding prevention), road and sailing infrastructure, labour market and others.

2) Development of methods of design of rotating hydraulic machinery including the development of software for analysis of flows through elements of rotating hydraulic machinery – *Activities in that topic were continued in a twofold manner, on one hand collected were experiences related to design and assessment of hydraulic machinery properties, and Francis type in particular, whereas on the other hand developed have been own calculation codes, based on boundary elements and related to, at that stage, axial machinery.*

*In the method of geometry mapping used presently in existing rotors and rotor design a new starting point for design is determination of meridional surfaces, which presently is achieved using available software utilising a method of finite volumes (for example Fluent). The procedure is based, to a large extent, on experience and intuition of designer. During the design stage available tools of CAD type are intensively used. However, there is still a lack of effective tools enabling appropriate assessment and optimisation of assumed design. In such a situation it has been decided to formalise, a non-formal to date, cooperation with colleagues from the Institute of Machine Construction Problems of National Academy of Sciences of Ukraine (NANU). Initially agreed proposal of a project realised in the*

zając przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego. W tej sytuacji zdecydowano się sformalizować nieformalną dotąd współpracę z kolegami z Instytutu Problemów Budowy Maszyn Narodowej Akademii Nauk Ukrainy (NANU). Wstępnie uzgodniona propozycja projektu realizowanego w ramach współpracy PAN/NANU zakłada między innymi przekazanie do IMP PAN oprogramowania ukraińskiego, przeprowadzenie stosownego szkolenia oraz weryfikację tego oprogramowania poprzez porównanie charakterystyk energetycznych uzyskanych w wyniku obliczeń numerycznych z charakterystykami uzyskanymi w wyniku badań prowadzonych przez IMP PAN w obiektach energetyki wodnej.

Niezależnym kierunkiem prac było dalsze gromadzenie i rozpowszechnianie wiedzy umożliwiającej zgrubną ocenę parametrów energetycznych maszyn na podstawie danych gabarytowych i innych informacji dostępnych dla właścicieli maszyn pozbawionych dokumentacji technicznej.

W zakresie analizy przepływu przez elementy hydraulicznych maszyn wirnikowych w ramach prac statutowych objętych tematem O1/Z2/T1 w roku 2005 rozbudowywano i weryfikowano autorski kod obliczeniowy służący do numerycznej analizy przepływu przez maszyny o przepływie osiowym. Efektem prac w 2005 r. i w latach poprzednich była praca doktorska *Analiza numeryczna pracy pompy śmigłowej metodą powierzchniowego rozkładu wirowości* (M. Kaniecki) obroniona w 2005 r. Prace

*in the frame of cooperation PAS/NANU assumes, amongst the others, conveying Ukrainian software to IFFM PAS, conducting of adequate training and verification of software by comparison of power characteristics, obtained as a result of numerical calculations against characteristics obtained earlier at IFFM PAS in the course of examination of hydropower objects.*

*An independent direction of works was further gathering and dissemination of knowledge enabling initial assessment of power parameters of machines on the basis of the size data and other information available to owners of machinery which lacked technical documentation.*

*In the area of analysis of flow through hydraulic elements of rotating machinery in the frame of statute activity conforming the topic O1/Z2/T1 in 2005 extended and verified was in-house calculation code for numerical analysis of flow through axial machines. The effect of works in 2005 and previous years was a doctoral dissertation titled Numerical analysis of operation of propeller pump by means of surface distribution of vorticity (M. Kaniecki), successfully defended in 2005. Works on the calculation code have been continued, which revealed in more precise mapping of the blade surface and reduction of calculation time. Conducted have been additional calculation tests for a model marine propeller DTRC4119, featuring an abundant documentation from experimental investigations. Performed testing calculations enabled for compa-*

nad kodem obliczeniowym kontynuowano, uzyskując precyzyjniejsze odwzorowanie powierzchni łopatk i skrócenie czasu obliczeń. Przeprowadzono kolejne testy obliczeniowe dla modelowego pędnika okrętowego DTRC4119, posiadającego bogatą dokumentacją z badań eksperymentalnych. Wykonane obliczenia testujące pozwoliły na porównanie nie tylko wyznaczonych eksperymentalnie i obliczeniowo charakterystyk, ale również lokalnych parametrów przepływu w postaci rozkładów współczynników ciśnienia statycznego  $C_p$ . Prowadzono nadto dalsze prace nad uwzględnieniem zjawisk niestacjonarnych oddziaływań kierownica-wirnik.

3) *Zagadnienia kawitacji i erozji kawitacyjnej* – Prace koncentrowały się wokół następujących grup zagadnień i zadań: a) Modelowanie procesów erozji kawitacyjnej ze szczególnym uwzględnieniem związku erozji z obciążeniem kawitacyjnym, b) Modernizacja stanowisk do badania odporności kawitacyjnej materiałów i doskonalenie technik pomiarowych. Poza tym kontynuowano prace nad hipotezą o udziale zjawiska kawitacji w procesie wyłukiwania materiału między przemieszczającymi się warstwami mas skalnych (współpraca z doc. E. Jurewicz z Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego).

Budowa modeli umożliwiających prognozowanie przebiegu erozji w oparciu o analizę procesów fizycznych zachodzących w erodowanym materiale wymaga zwykle założeń o mechanice procesu niszczenia oraz o losowym roz-

*vision of not only experimentally and numerically determined characteristics but also local flow parameters in the form of distributions of static pressure coefficients  $C_p$ . Conducted have been further works on including of non-stationary guide vane – rotor interactions.*

3) *Problems of cavitation and cavitation erosion – Works were concentrated on the following group of problems and topics: a) modelling of cavitation erosion processes with a particular account of relation between erosion and cavitation load, b) Modernisation of rigs for investigations of material cavitation resistance and improvement of measurement techniques. Apart from that continued have been works on material erosion from moving layers of rock massifs (cooperation with E. Jurewicz, DSc from the Department of Geology of Warsaw University).*

*Development of models enabling forecasting of erosion course based on analysis of physical processes taking place in material exposed to erosion requires usually assumptions about the damage process mechanics as well as statistical distribution of load and material properties in the scale determined by its structure. In relation to that three models were developed:*

- *Fraction model of cavitation erosion, assuming that the erosion curve obtained under conditions of real cavitation load is a superposition of curves described by*

kładzie obciążeń i własności materiału w skali określonej jego strukturą. W związku z tym rozwijano trzy modele:

- Frakcyjny model erozji kawitacyjnej, zakładający, że krzywa erozyjna uzyskiwana w warunkach rzeczywistego obciążenia kawitacyjnego stanowi superpozycję krzywych opisywanych wzorami analitycznymi i odpowiadających poszczególnym frakcjom rozkładu amplitudowego impulsów kawitacyjnych. Model ten należy zaliczyć do grupy zaawansowanych modeli fenomenologicznych.
- Kinetyczny model rozwoju mikropęknięć kawitacyjnych zakładający, że ubytki objętości są proporcjonalne do tej części zakumulowanej w warstwie wierzchniej energii, która nie została uwolniona w wyniku powstawania pęknięć i mikropęknięć. Model ten należy do grupy modeli opartych o analizę statystyczną procesów erozyjnych.
- Kwantowy model erozji powłok wytworzonych wiązką laserową zakładający, że uszkodzenie powłoki można utożsamiać z obciążeniem pewnego krytycznego poziomu energetycznego. Również ten model oparty jest o analizę statystyczną procesu erozyjnego.

W 2005 r. sformułowano podstawy trzeciego modelu oraz dokonano znaczącego postępu w pracach nad pozo-

*means of algebraic formulas and corresponding to respective fractions of amplitude cavitation impulses. Such model should be assigned to a group of advanced phenomenological models.*

- *Kinetic model of development of cavitation microcracks assuming that the volume losses are proportional to that part of accumulated energy in the surface layer, which was not released as a result of appearance of cracks and microcracks. That model belongs to a group of models based on statistical analysis of erosion processes.*
- *Quantum model of erosion of layers produced by laser beam assuming that the layer damage can be devoted to setting of some critical energetic level. Also that model is based on statistical analysis of erosion process.*

*In 2005 formulated have been foundations of a third model as well as attained has been a significant progress in the area of activities related to the other models. The results of initial analysis confirm appropriate predictions of algorithms. A condition for a full verification of a developed concept and implementation of a method to a laboratory practice is however further advancement in the cavitation impulses measurement technique in the tunnel featuring a slot cavitation inducer.*



stałymi modelami. Wyniki wstępnych analiz potwierdzają prawidłowe funkcjonowanie opracowanych algorytmów. Warunkiem pełnej weryfikacji opracowanej koncepcji i wdrożenia metody do praktyki laboratoryjnej jest jednak dalszy postęp w technice pomiaru impulsów kawitacyjnych w tunelu z szczelinowym wzbudnikiem kawitacji. Przewiduje się, że intensywne prace nad rozwojem adekwatnej techniki pomiarowej będą kontynuowane w ramach prac statutowych w 2006 r.

Prace prowadzone w 2005 r. w zakresie modernizacji stanowisk do badania odporności kawitacyjnej materiałów i doskonalenie technik pomiarowych obejmowały:

- kontrolę funkcjonowania stanowiska z wirującą tarczą zakończoną optymalizacją usytuowania próbek względem wzbudników kawitacji,
- kolejny etap modernizacji tunelu z szczelinowym wzbudnikiem kawitacji,
- prace rozpoznawcze nad technicznymi możliwościami poprawy jakości pomiaru impulsów kawitacyjnych i badań erozyjnych w tunelu kawitacyjnym,
- prace rozpoznawcze nad technicznymi możliwościami poprawy jakości badań erozyjnych na stanowisku magnetostrykcyjnym.

Prace modernizacyjne finansowane były w dużej mierze z oszczędności wygosparowanych z kontraktów z energią wodną, co niestety istotnie ograniczało ich zakres.

*It is envisaged that intense works on the development of adequate measurement technique will be continued in the frame of statute activities in 2006.*

*Works carried out in 2005 in the area of modernisation of rigs from investigations of material cavitation resistance and improvement of measurement techniques encompassed:*

- *Control of the rig operation featuring a rotating disc commenced with optimisation of sample location with respect to cavitation inducers,*
- *Subsequent stage of modernisation of tunnel with a slot cavitation inducer,*
- *Exploration works on technical possibilities of improvement of the quality of cavitation impulses and erosion investigations in cavitation tunnel,*
- *Exploration works on technical possibilities of improvement of the quality of erosion investigation on the magnetostrictive rig.*

*Modernisation works were financed in majority from savings on contracts with hydropower sector, which unfortunately significantly restricted their scope.*

### O1/Z2/T2 Badanie i modelowanie wymiany ciepła w upakowanych złożach

Prace wykonywane w ramach tego tematu obejmowały w 2005 r. następujące zadania: 1) Sprzężona kondukcyjno-radiacyjna wymiana ciepła w upakowanych złożach – kontynuacja badań teoretycznych i doświadczalnych, 2) Wymiana ciepła w upakowanych złożach w warunkach konwekcji wymuszonej przy małych wartościach liczby Reynoldsa, 3) Wykorzystanie naturalnej konwekcji do transportu ciepła w gruncie, 4) Analiza obiegu termodynamicznego kogeneracyjnego źródła energii z ogniwem paliwowym i turbiną gazową.

1) *Sprzężona kondukcyjno-radiacyjna wymiana ciepła w upakowanych złożach – kontynuacja badań teoretycznych i doświadczalnych* – Kontynuowano badania nad modelowaniem nieustalanej sprzężonej radiacyjno-kondukcyjnej wymiany ciepła w upakowanych złożach kul. W ramach badań dokonano analizy dostępnych metod rozwiązań początkowo-brzegowych zagadnień hiperbolicznych przewodzenia ciepła pod kątem ich przydatności do opisu nieustalanej wymiany ciepła w upakowanych złożach kul. W marcu 2005 r. dr inż. S. Polesek-Karczewska uzyskała finansowanie projektu badawczego (PB 1302/T10/2005/28) pt.: *Badanie zastosowania nie-fourierowskiego modelu przewodzenia ciepła do opisu nieustalanej wymiany ciepła w materia-*

### O1/Z2/T2 Investigations and modelling of heat transfer in packed beds

*Works in the frame of that topic in 2005 encompassed the following problems: 1) coupled conductive-radiative heat transfer in packed beds - continuation of theoretical and experimental investigations, 2) Heat transfer in packed beds under conditions of forced convection at small values of Reynolds number, 3) Utilisation of natural convection for heat transfer in soil, 4) analysis of thermodynamical cogeneration cycle featuring fuel cell and a gas turbine.*

1) *Coupled conductive-radiative heat transfer in packed beds – continuation of theoretical and experimental investigations – Continued have been investigations on modelling of non-stationary coupled radiative-conductive heat transfer in packed bed of beads. In the frame of investigations conducted has been analysis of available methods of solution of initial-boundary hyperbolic problems of heat conduction with the view of their applicability in description of non-stationary heat transfer in packed beds of beads. In March 2005 Dr S. Polesek-Karczewska received financing of a research project (PB 1302/T10/2005/28) titled: Investigations of implementation of non-Fourier model of heat conduction for description of non-stationary heat transfer in non-homogeneous materials. A contact has been established*

łach niejednorodnych. Nawiązany został kontakt z prof. A. Campo University of Vermont in Burlington (Vermont, USA), w październiku 2005 r. dr inż. S. Polesek-Karczewska złożyła w USA wizytę i wygłosiła seminarium pt. *Non-Fourier heat conduction effects in non-homogeneous materials*. Przewiduje się współpracę w zakresie zarówno dotychczas prowadzonych badań własnych nad zagadnieniami nie-fourierowskimi, jak i innych, nie podejmowanych wcześniej zagadnień wymiany ciepła.

2) *Wymiana ciepła w upakowanych złożach w warunkach konwekcji wymuszonej przy małych wartościach liczby Reynoldsa* – Ukończona została budowa i wyposażanie stanowiska doświadczalnego, pomyślnie uruchomiono stanowisko i rozpoczęto pomiary. Uzyskano pierwsze charakterystyki stanowiska, nakreślające kierunki jego ewentualnych modyfikacji w celu rozszerzenia zakresu pomiarów. Pierwsze serie pomiarów wskazały na celowość rozważenia możliwości wykorzystania reżimu regularnego podczas nagrzewania złoża po przejściu „fali” (profilu temperatury w kształcie S) do wyznaczenia współczynników przejmowania ciepła. Planuje się przeprowadzenie w 2006 r. pomiarów dla różnych materiałów i średnic kul złoża.

3) *Wykorzystanie naturalnej konwekcji do transportu ciepła w gruncie* – Zakończono prace przy budowie stanowiska doświadczalnego w skali laboratoryjnej. Negocjowana jest ze sponsorem

*with Professor A. Campo from University of Vermont in Burlington (Vermont, USA). In October 2005 Dr S. Polesek-Karczewska visited USA and gave a seminar titled Non-Fourier heat conduction effects in non-homogeneous materials. Cooperation is envisaged in the area of up to date scope of research on non-Fourier topics and also activities beyond that scope of heat transfer issues.*

2) *Heat transfer in packed beds under conditions of forced convection at small values of Reynolds number – completed has been construction and equipping of experimental rig, which has been subsequently commissioned and measurements have started. Obtained have been first characteristics of the rig which outline directions for its modifications in order to extend the range of measurements. First series of measurements indicated the appropriateness of consideration of a regular regime during the bed heating following the pass of a “wave” (temperature profile of S shape) for determination of heat transfer. It is envisaged to carry out in 2006 measurements for different materials and beads’ diameters in the bed.*

3) *Utilisation of natural convection in transport of heat in the soil – Completed have been works on the construction of experimental rig in the laboratory scale. Construction and commissioning of a rig in the real scale is in the negotiation stage with a sponsor.*

budowa i uruchomienie stanowiska doświadczalnego w skali rzeczywistej. Promotorski projekt badawczy wymusza zakończenie pracy doktorskiej w bieżącym 2006 r., długotrwałe badania w skali rzeczywistej będą musiały więc być kontynuowane poza okresem realizacji projektu badawczego, o ile nie uda się uzyskać przedłużenia tego okresu.

4) *Analiza obiegu termodynamicznego kogeneracyjnego źródła energii z ogniwem paliwowym i turbiną gazową* – Kontynuowano obliczenia numeryczne parametrów i charakterystyk obiegów dla wybranych kolejnych konfiguracji, z wykorzystaniem eżektora gazów spalinyowych z ogniwa paliwowego. Uzyskane jak dotychczas wyniki dotyczące sprawności układu z eżektorem są porównywalne z publikowanymi w literaturze wynikami dla ogniw ciśnieniowych.

#### **O1/Z3/T1 Numeryczne modelowanie i badanie trójwymiarowych przepływów cieczy w zastosowaniach okrętowych i w maszynach hydraulicznych**

W 2005 r. prace prowadzono w pięciu zadaniach badawczych: 1) Zastosowanie metody powierzchniowego rozkładu wirowości do projektowania i analizy pracy maszyn hydraulicznych, 2) Badania zjawisk związanych z opływem ciał dowolnego kształtu, 3) Modernizacja i budowa nowych programów komputerowych przeznaczonych do analizy pracy śrub okrętowych i programu PANSHIP,

*A supervised research project demands completion of a doctoral dissertation in 2006 and therefore long-term investigations in the real scale will have to be continued beyond the period of realisation of the research project, if its extension will be possible.*

4) *Analysis of thermodynamical cogeneration cycle featuring fuel cell and gas turbine* – Continued have been numerical calculations of parameters and characteristics of cycles for selected subsequent configurations with utilisation of combustion gas ejector from the fuel cell. Obtained up till now results of efficiencies of systems with ejectors are comparable with published data for pressurised cells.

#### **O1/Z3/T1 Numerical modelling and investigations of three dimensional liquid flows in marine applications and hydraulic machinery**

*In 2005 works were conducted in the frame of five research problems: 1) Application of a method of surface distribution of vorticity in design and analysis of operation of hydraulic machinery, 2) Investigations of phenomena related to flow around bodies of arbitrary shape, 3) Modernisation and development of new computer codes for analysis of operation of marine propellers and PANSHIP code, 4) Numerical investigations of two-phase flows of viscous liquid, 5) Wind mills.*

4) Numeryczne badania przepływów dwufazowych cieczy lepkiej, 5) Wiatraki.

Zadania 1, 2 i 3 są kontynuacją prac prowadzonych w latach ubiegłych, natomiast zadania 4 i 5 są zadaniami nowymi.

1) *Zastosowanie metody powierzchniowego rozkładu wirowości do projektowania i analizy pracy maszyn hydraulicznych* – Prace związane były z adaptacją metod wirowych do analizy pracy i projektowania turbin wodnych, poprzez zaimplementowanie metody wirów powierzchniowych do przepływów przez osiowe maszyny wirnikowe ze szczególnym uwzględnieniem turbin wodnych typu Kaplana, Opracowywane są aktualnie programy (ze strukturalnym jak i graficznym interfejsem), które pozwolą na analizę przepływu wody z uwzględnieniem kawitacji przez te maszyny. Przystąpiono do prac nad programem projektowym turbin wodnych w oparciu modele wirowe.

Mając na uwadze oddziaływanie wirów spływowych ze śruby na stery i POD-y oraz z turbin i pomp na kierownice, jak również na skrzydła śruby tylnej układów tandem, rozpoczęto prace nad wyznaczeniem rzeczywistych pól wirowych układu wirów swobodnych. Przy wyznaczaniu pól wirowych uwzględniono ich dyssypację.

2) *Badania zjawisk związanych z wpływem ciał dowolnego kształtu* – Dokonano rozbudowy procedury numerycznej do symulacji dynamiki elastycznej kabloliny umieszczonej w zadanym

*Problems 1, 2 and 3 form a continuation of activities from previous years whereas topics 4 and 5 are new problems.*

1) Application of a method of surface distribution of vorticity in design and analysis of operation of hydraulic machinery – Works were related to adaptation of vorticity methods for analysis of operation and design of water turbines through implementation of a method of surface vortices in flows through axial rotating machinery, with a particular account of water turbines of Kaplan type. At present developed are codes (incorporating structural and graphical interface), which will enable for analysis of water flow with account of cavitation in these machines. Works have commenced on the design code for water turbines based on vortex models.

Bearing in mind interaction of wake eddies from the propellers on steers and PODs as well as turbines and pumps on the guide vanes, and also wings of rear propeller of the tandem type, the works have started on determination of real vortex fields of a system of free vortices. In determination of vortex fields their dissipation has been considered.

2) Investigations of phenomena related to flow around bodies of arbitrary shape – Performed has been extension of a numerical procedure for simulation of dynamics of elastic cable line placed in a provided flow field. Additionally conducted has been investigation of the behaviour of rotor discs in the flow inside turbine (in cooperation with Depart-

niejednorodnym polu przepływu. Nadto przeprowadzono badanie zachowania się ułopatkowanych tarcz wirników w przepływie we wnętrzu turbiny (we współpracy z Zakładem O4/Z4).

W niektórych przypadkach eksploatacji lin stosowanych w technice morskiej istotne jest zachowanie się liny (kabloliny) jako ośrodka sprężystego w którym rozchodzą się zaburzenia sprężyste (fale). Opracowany poprzednio algorytm do opisu dynamiki kabloliny działał poprawnie dla typowych zagadnień związanych z obecnością kabloliny w układzie „statek nawodny-pojazd podwodny”. Natomiast dla podobnych zagadnień związanych z zachowaniem liny w układach kotwiczących schemat wprowadzał własne, związane z dyskretyzacją czasu, prędkości rozchodzenia się zaburzeń. Dla kompletności modelu należało udoskonalić istniejący schemat tak, aby uwzględnić rzeczywiste prędkości rozchodzenia się zaburzeń. Prace w tym zakresie nie zostały zakończone i dlatego brak publikacji na ten temat. Opracowano jeden rozdział przygotowywanej pracy habilitacyjnej zatytułowany roboczo *Podstawy matematyczne numerycznego algorytmu do analizy kabloliny w niejednorodnym przepływie*.

3) *Modernizacja i budowa nowych programów komputerowych przeznaczonych do analizy pracy śrub okrętowych i programu PANSHIP* – Prowadzono dalsze prace nad udoskonaleniem komputerowego basenu modelowego PANSHIP, polegające na możliwości dzielenia kadłuba na części podlegające róż-

ment O4/Z4).

*In selected cases of cable exploitation used in marine industry of importance is behaviour of a line (cable line) as a elastic medium, where elastic disturbances (waves) propagate. Developed earlier algorithm for description of dynamics of the cable line was performing well in the case of typical problems related to the presence of cable line in the system surface ship – underwater vehicle. On the other hand, in the case of similar problems related to the behaviour of a line in anchoring systems the schematic was introducing own, related to time discretisation, velocities of disturbance propagation. For the sake of completeness of a model it was required to extend the existing scheme so that it could account for real velocities of disturbance propagation. Works in that area have yet to be completed and therefore there are no publications in that topic.*

*Elaborated has been one chapter of a habilitational dissertation bearing a working title Mathematical foundations of numerical algorithm for analysis of a cable line in non-homogeneous flow.*

3) *Modernisation and development of new computer codes for analysis of operation of marine propellers and PANSHIP code* – Conducted have been further works on enhancement of the modelling pool PANSHIP, based on a possibility of division on the hull into parts exposed to different rules of paneling and possibilities of adding “sticking out” parts such as examples of nacelles

nym regułom panelizacji oraz możliwości dodawaniu części „wystających”, takich na przykład jak gondole dla pędników POD-owych. Badania modelowe wykazują różnice w charakterystykach hydrodynamicznych śruby badanej jako śruba swobodna i badanej na POD-zie przy napływie niezakłóconym. Dla wyjaśnienia tych różnic przeprowadzono odpowiednie obliczenia, a wyniki tych obliczeń potwierdziły uzyskane z badań różnice. Opracowany program obliczeniowy wzbogacił zestaw narzędzi numerycznych wspomagających Komputerowy Basen Modelowy. Wynikami prac prowadzonych w tym Zadaniu bardzo zainteresowany jest przemysł okrętowy.

4) *Numeryczne badania przepływów dwufazowych cieczy lepkiej* – Prowadzono numeryczne badanie dynamiki cieczy nie podlegających zmieszaniu, a różniących się znacznie gęstością i lepkością (woda-powietrze), w szczególności prowadzone były prace nad sprzężeniem równania transportu współczynnika wypełnienia, w którym człon konwekcyjny jest dyskretyzowany za pomocą algorytmu CICSAM (Ubbink, O. and Issa, R.I.: “A Method for Capturing Sharp Fluid Interfaces on Arbitrary Meshes”, *J. Comp. Physics*, 1999) z opracowanym wcześniej solverem równań Naviera-Stokesa Caffa3d. Opracowany schemat numeryczny pozwala na rozwiązanie zagadnienia dynamiki cieczy nie podlegających zmieszaniu i bardzo różniących się gęstością oraz lepkością dynamiczną (np. dla wody i powietrza stosunek gęstości wynosi około

*for POD propellers. Modelling investigations exhibit differences in hydrodynamical characteristics of propellers investigated as a free propeller and investigated in POD at undisturbed onflow. For the sake of explanation of the differences performed have been relevant calculations and the results of these calculations confirmed the differences obtained in calculations. Developed computer code enhanced the set of numerical tools aiding the Computer Modelling Pool. The results of works conducted in the frame of that problem attracted interest from the marine industry.*

4) Numerical investigations of two-phase flows of viscous liquid – Carried out have been numerical investigations of liquid dynamics not subjected to mixing and differentiated by a significant density and viscosity differences (water – air), and in particular carried out were activities on coupling of transport equations of void fraction where the convective term is discretised by means of CICSAM algorithm (Ubbink, O. and Issa, R.I.: “A Method for Capturing Sharp Fluid Interfaces on Arbitrary Meshes”, *J. Comp. Physics*, 1999) together with developed earlier Navier-Stokes equation solver Caffa3d. Developed numerical scheme enables solution of the dynamics problem for liquid not exposed to mixing and significantly different density and dynamic viscosity (for example in case of water and air the ratio of density is about 0.00125, whereas of viscosity about 0.01).

0.00125, a lepkości około 0.01). Opracowane narzędzie pozwoliło na przeprowadzenie obliczeń, których wyniki w konfrontacji z doświadczeniem są zachęcające do kontynuowania dalszych prac analitycznych.

5) *Wiatraki* – Prowadzono badania możliwości projektowania wiatraków o niskim poziomie szumów i hałasów. Eksploatacja wiatraków, zwłaszcza wiatraków o dużej średnicy wykazuje, że są to urządzenia uciążliwe dla otoczenia ze względu na szумы i hałasy przez nie indukowane. Źródłami tych szumów i hałasów mogą być różne zjawiska związane z pracą skrzydeł wiatraka w różnorodnych warunkach opływu skrzydeł. Mogą to być także zjawiska związane z koncentracją wirowości. Podstawowymi czynnikami powstawania obszarów o wysokich wartościach prędkości, jest proces deformacji (zwijania się) i proces koncentracji wirowości (wbrew nazwie związany z dysypacją powierzchni wirowych) układu wirów swobodnych wpływających ze skrzydeł. Prace teoretyczne związane z tym zjawiskiem zostały potwierdzone w doświadczeniu i w praktyce. Ponieważ istnieje pełna analogia pracy śmigła do śruby okrętowej, oraz pracy wiatraka do pracy śruby w zakresie pracy turbinowej, postanowiono wykorzystać istniejące już programy komputerowe (opracowane dla śrub okrętowych) do analizy pracy wiatraków. Uzyskano bardzo ciekawe wyniki, które mogą być wykorzystane do zaprojektowania nowych typów wiatraków lub zmodyfikowania istniejących, w

*Developed tool enabled performing of calculations, the results of which are promising for further analytical continuation as shown by confrontation against experiment.*

5) *Wind mills* – Carried out have been investigations about possibility of wind mill design with a low level of background noise. Operation of wind mills, particularly of wind mills of large diameter indicates that these are devices burdensome to the neighbouring surroundings due to increased level of noise. The source of such noise can be a different phenomena related to operation of turbine blades under different conditions of flows past the blades. These can also be phenomena related to vorticity concentration. Fundamental factors of the appearance of regions featuring high values of velocity is deformation process (rolling) as well as process of vorticity concentration (against the name related to dissipation of vorticity surfaces) of a set of free vortices flowing down the blades. Theoretical works related to that phenomenon were confirmed both in experiment and practice. As there exists a full analogy between operation of the blade and the marine propeller as well as operation of a wind turbine and operation of propeller in the range of turbine operation, it has been decided to utilise existing computer codes (developed for marine propellers) for the analysis of wind turbine operation. Obtained have been very interesting results which can be utilised in design of new types of wind turbi-



kierunku uzyskania lepszych własności akustycznych.

## Podsumowanie

Zadania statutowe przewidziane do realizacji na 2005 r. zostały wykonane w pełni, zgodnie z planem. Pomyślnie rozwija się współpraca Ośrodka Mechaniki Cieczy z gospodarką i partnerami krajowymi, podjęto skuteczne starania o zintensyfikowanie współpracy z partnerami zagranicznymi.

Duży wysiłek włożony został w realizację zadań końcowego etapu projektu „Centrum Czystych i Bezpiecznych Technologii w Energetyce” CLEANERPAS - jego okres realizacji dobiega końca 31.01.2006 r., m.in. zorganizowana została międzynarodowa konferencja HYDROFORUM 2005. Zdecydowanie utrzymywane jest łączenie prac badawczych teoretycznych i eksperymentalnych, wspieranych wykorzystywaniem metod CFD (Computational Fluid Dynamics). Dużym wysiłkiem, przy wykorzystaniu także środków zdobywanych z umów zewnętrznych, systematycznie rozbudowuje się stanowiska doświadczalne.

W 2005 r. realizowano w Ośrodku Mechaniki Cieczy 7 umów zewnętrznych, w tym 1 zagraniczną (Meksyk), 5 projektów badawczych i 4 zadania kontraktu UE – IMP PAN (CLEANERPAS). Zgłoszone zostały kolejne wnioski o projekty badawcze, awizowane jest rozwinięcie współpracy z partnerami krajowymi i zagranicznymi.

*nes or their modification, with respect to obtain better acoustic properties.*

## Summary

*Statute problems envisaged for realisation in 2005 have been fully completed, in accordance to plan. Cooperation of the Centre for Liquid Mechanics with industry or other domestic research centres is successfully developing, efficient efforts to intensify cooperation with foreign partners have also started.*

*A significant effort has been input into realisation of deliverables of a final stage of the CLEANERPAS project “Centre for Clean and Safe Technologies in Power Engineering”. Its deadline is 31.01.2006 and amongst the other activities organised has been an international conference HYDROFORUM 2005. Strongly efficient is combination of research and experimental works, reinforced by utilisation of CFD methods (Computational Fluid Dynamics). With significant effort systematically extended are experimental rigs utilising also resources from external contracts.*

*In 2005 realised have been at the Centre for Liquid Mechanics 7 external contracts including one international (Mexico), 5 research projects and 4 workpackages in the UE – IFFM PAS contract (CLEANERPAS). Submitted have been subsequent project applications and extension of cooperation with national and international centres in expected.*

Dużym wzmocnieniem kadrowym Ośrodka jest uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego przez dr inż. A. Adamkowskiego oraz stopnia naukowego doktora przez mgr inż. M. Kanieckiego, trwają przygotowania kolejnych prac doktorskich i habilitacyjnych.

Ukierunkowanie podejmowanej tematyki należy uznać za prawidłowe wobec jej zgodności z priorytetami krajowymi i Unii Europejskiej. Uznanie partnerów z gospodarki i rosnąca liczba publikacji pozwalają pozytywnie ocenić perspektywy rozwoju Ośrodka Mechaniki Cieczy IMP PAN w najbliższym okresie.

*A significant scientific enhancement of the Centre is obtaining of a scientific degree of a Doctor of Science degree by Dr A. Adamkowski as well as successful defence of doctoral dissertation by Mr M. Kaniecki. Further preparation of subsequent doctoral and habilitational dissertations is planned.*

*Direction of carried out research should be regarded as appropriate due to its consistency with domestic and European Union priorities. Acknowledgement of partners from industry as well as increasing number of publications allow to assess positively the perspectives of development of the Centre of Liquid Mechanics of IFFM PAS in the near future.*

Brunon Grochal

*Translated by Dariusz Mikielwicz*