

O2

Zagadnienia termomechaniki płynów

Problems of thermomechanics of fluid

02/Z1 Zagadnienia termomechaniki, eksploatacji i diagnostyki cieplno-przepływowej turbin

Prace wykonywane w 2005 roku stanowiły kontynuację tematów podjętych w latach ubiegłych i skupiały się na dwóch zasadniczych kierunkach:

- obliczenia numeryczne przepływu lepkiego gazu przez maszyny wirnikowe;
- diagnostyka cieplno-przepływowa turbin.

Wiodący temat realizowany w Zakładzie dotyczy obliczeń numerycznych CFD przepływu lepkiego gazu w zastosowaniu do projektowania maszyn wirnikowych. Najistotniejsze osiągnięcia w bieżącym roku w tej dziedzinie wiążą się z analizą efektów niestacjonarnych w przepływach przez stopnie turbino-we, przy czym szczególną uwagę położono na ocenę możliwości opisu oddziaływania śladów kierowniczych z wieńcem wirnikowym przy pomocy współczesnych kodów CFD. W tym temacie kontynuowano również badania numeryczne oceny wrażliwości profili wirnikowych stopni turbinowych na niestacjonarne oddziaływanie śladów kierowniczych. Wskazano, iż optymalizacja profilu wirnikowego przeprowadzona w stacjonarnych warunkach jednorodnego napływu strumienia kierowniczego może prowadzić do uzyskania kształtów, które w rzeczywistych warunkach napływu strumienia ze śladami

02/Z1 Problems of thermomechanics, operation and thermal hydraulic diagnostics of turbines

Activities carried out in 2005 formed a continuation of topics commenced in recent years and focused on two principal directions:

- *numerical calculations of viscous gas flows through rotating machinery;*
- *thermal hydraulic diagnostics of turbines.*

A leading topic under scrutiny in the department regards numerical CFD calculations of viscous gas flow in application to design of rotating machinery. The most important achievement in the present year in that area is related to analysis of non-stationary effects in flows through turbine stages where a specific attention has been put to the assessment of possibility of description of interaction of guide vane wakes with a rotor's blade ring using contemporary CFD codes. In that topic continued also have been numerical assessments of the turbine stage rotor profile sensitivity on non-stationary interaction with guide vane wakes. It has been indicated that optimization of the rotor profile carried out under conditions of homogeneous onflow of a guide vane stream can lead to obtaining of shapes which under conditions of real stream onflow featuring guide vane wakes can show impaired efficiency.

kierowniczymi mogą wykazywać pogorszoną sprawność.

Drugi nurt badań wykorzystujący obliczenia numeryczne dotyczy zadań bezpośrednio związanych z projektowaniem. Zrealizowano obszerną analizę numeryczną zagadnienia regulacji adaptacyjnej części niskoprężnej turbin w warunkach kogeneracji energii elektrycznej i ciepła oraz sezonowych zmian ciśnienia w kondensatorze. Ponadto badano oddziaływanie przecieku nad bandażowanymi łopatkami wirnikowymi ze strumieniem głównym dla różnych typów uszczelnień labiryntowych. Zweryfikowano także obliczenia 5 stopniowej turbiny niskoprężnej, stosując model gazu doskonałego termicznie ze zmiennymi wartościami ciepła właściwych w postaci liniowej funkcji temperatury.

W zakresie diagnostyki ciepłoprzepływowej przedstawiono koncepcję modułowego systemu diagnostyki obiektów energetycznych. Zwrócono uwagę m.in. na ocenę wiarygodności danych pomiarowych pozyskiwanych z systemów elektrowni w układzie on-line. Do badania poprawności takich pomiarów zastosowano metodę sztucznych sieci neuronowych. Podjęto problem rozpoznawania takich niepoprawnych pomiarów w przypadku jedнокrotnego zaistnienia uszkodzenia systemu pomiarowego lub zaistnienia degradacji geometrii aparatów składowych obiegu cieplnego, także wielokrotnych.

W szeroko pojętej diagnostyce prowadzone są też prace dotyczące bieżącej eksploatacji turbin. Koncentrują się one przede wszystkim na badaniach pierw-

The second stream of activities regarding numerical calculations pertains to the topics directly related to design. Competed has been an extensive numerical analysis of a problem of adaptive control of low pressure part of a turbine under conditions of cogeneration of electricity and heat as well as seasonal pressure changes in a condenser. Additionally investigated were interactions of leak around a shrouding rotor blades with a main stream for different types of labyrinth sealings. Verified also were calculations of a five stage low pressure turbine stage carried out with the assumption of thermally ideal gas with variable values of specific heats considered in the form of linear function of temperature.

In the area of thermal hydraulic diagnostics presented has been a concept of a modular system of diagnostics of power engineering objects. Attention has been paid, amongst the others, to the assessment of reliability of measured data acquired from professional power plants by means of on-line systems. A method of artificial neural network has been applied to study the appropriateness of such measurements. A problem of recognition of such inappropriate measurements has been tackled in the case of a single appearance of a measurement system damage or appearance of geometry degradation of constituting devices of the thermal cycle as well as multi case damages.

In the area of widely apprehended diagnostics carried out are works related to a current operation issues of tur-

- wdrożenie metody pomiaru ciśnienia przy pomocy farby (PSP),
 - wdrożenie metody SPECKLE umożliwiającej ilościowy pomiar gradientów gęstości w przepływie,
 - oprogramowanie metody skończonego prążka do pomiarów interferometrycznych rozkładu gęstości w przepływie,
 - wdrożenie automatycznej generacji siatek obliczeniowych typu „Chimera” do symulacji opływu modelu samolotu w Europejskim Tunelu Transonicznym (ETW),
 - zaprojektowanie i zbudowanie komór pomiarowych do pomiarów redukcji oderwania wywołanego falą uderzeniową przy pomocy strumieniowych generatorów wirów.
- *measurements of streamwise vortices generated by a skewed jet,*
 - *implementation of a pressure measurement method by means of a pressure sensitive paint (PSP),*
 - *implementation of the SPECKLE method enabling qualitative measurement of density gradients in the flow,*
 - *development of the software of finite fringe method for interferometric measurements of density distribution in the flow,*
 - *implementation of automatic calculation grid generation of “Chimera” type for simulations of a flow past the airplane model in the European Transonic Tunnel (ETW),*
 - *design and construction of measurement chambers for measurements of separation induced by a shock wave by means of ejector vortex generators.*

W pracach dotyczących chłodzenia łopatek turbin gazowych podjęto temat tzw. „effusive cooling” - metody chłodzenia, w której stosuje się bardzo małe otworki (o średnicy 0,07 mm). Poszukiwano więc odpowiedzi na pytanie, czy efekty mikroprzepływowe już odgrywają tutaj istotną rolę. Poza tym wykonano badania eksperymentalne i numeryczne mające wyjaśnić możliwości przeciwdziałania oderwaniu na podciśnieniowej stronie łopatki. Zaproponowano zastosowanie generatorów wirów wzdłużnych, wykorzystujących powietrze chłodzące do wytworzenia skośnych strug. Kontynuowano również prace nad zastosowaniem wirów wzdłużnych do kontrolowania

In the works related to gas turbine blade cooling a topic had been commenced of so called “effusive cooling” i.e. a method of cooling, where very tiny holes are used (of diameter 0.07mm). Answer to a question was sought whether microflow effects already play an important role. Apart from that performed have been experimental and numerical investigations aimed at explanation of counteraction to separation on the sub-pressure turbine part. Proposed has

oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścienną. Wiry te generowane są przez skośne strugi powietrza, odpowiednio wprowadzone do przepływu.

W roku 2005 uzyskano wyraźne postępy w rozwoju i uruchomieniu nowych metod pomiarowych: PSP i SPECLE. Wdrożono również oprogramowanie do badania rozkładu gęstości w przepływie, wykonujące obróbkę zdjęć interferometrycznych z jednoczesną eliminacją błędów optycznych. Ponadto prowadzono badania dotyczące oddziaływań aeroelastycznych w przepływie transonicznym, likwidacji fali uderzeniowej przez pasywną wentylację oraz wpływu wilgotności powietrza na oderwanie wywołane falą uderzeniową.

Prowadzono także symulacje numeryczne przepływu przez upust w turbinie, badając rozkład pola ciśnień w turbinie w płaszczyźnie upustu. Stwierdzono, że niesymetryczny wylot do rurociągu upustowego powoduje zaburzenie osiowosymetryczności pola ciśnień w turbinie.

02/Z3 Modelowanie procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych

Prace prowadzone w Zakładzie 3 mają na celu modelowanie numeryczne nierozpoznanych zjawisk towarzyszących nowoczesnym technologiom energetycznym. Szczególny nacisk kładzie się na procesy spalania i proekologicznej konwersji energii chemicznej paliwa. Badania koncentrują się w trzech podtematach:

been application of axial vortex generators, which utilize cooling air to induce skewed jets. Continued also have been works on application of axial vortices for controlling of a shock wave interaction with the boundary layer. These vortices are generated by the skewed air jets which are appropriately introduced into the flow.

In 2005 obtained has been clear progress in development and commissioning of new measurement methods, namely PSP and SPECLE. Implemented also has been software for investigations of density distribution in the flow, which carries out processing of interferometric pictures with a simultaneous elimination of optical errors. Additionally, conducted have been investigations related to aeroelastic interactions in the transonic flow, prevention of the shock wave by passive ventilation and air humidity influence on separation induced by the shock wave.

Conducted have also been numerical simulations of a flow through the turbine bleed based on investigations of pressure filed in the bleed plane. It has been concluded that no-symmetrical inlet to the bleeding pipeline renders disturbances to the axial symmetry of pressure field in turbine.

02/Z3 Modelling of processes of proecological combustion in power engineering appliances

Activities carried out in department 3 are aimed at numerical modeling of non-recognised phenomena accompany-

- modelowanie proekologicznego i elektrochemicznego spalania gazów,
- spalanie w kotłach pyłowych i fluidalnych,
- zasady zrównoważonej konwersji energii ze szczególnym uwzględnieniem energii chemicznej.

Do pierwszej grupy tematycznej zaliczają się prace podstawowe nad różnymi modelami spalania w warunkach przepływów turbulentnych i złożonej wymiany ciepła. W zakładzie prowadzono prace nad udoskonalonymi modelami sprzężeń plyn – ciało stałe, obejmujących nie tylko sprzężenie poprzez równanie energii, ale i poprzez równania koncentracji składników reakcji. Pod tym kątem przeanalizowano pracę układu z turbiną gazową GT8C, której praktycznym rezultatem było wskazanie przyczyn podniesienia się emisji NO_x w tej turbinie. Rozpoczęto także badania nad modelowaniem matematycznym elektrochemicznej reakcji spalania wodoru w tlenkowym ogniwie paliwowym (SOFC) typu rurkowego. Zaproponowano oryginalny model matematyczny reakcji elektrochemicznej i zaimplementowano go do kodu Fluent. Wykonano także pierwsze obliczenia zaawansowanych obiegów hybrydowych z turbiną gazowo-parową i ogniwem paliwowym.

Prace z drugiej grupy tematycznej obejmowały numeryczne modelowanie emisji NO_x w trakcie spalania pyłu węglowego palnikach niskoemisyjnych. W ramach współpracy z firmą LOTOS

ing modern energy conversion technologies. A particular attention is paid to combustion processes and proecological conversion of chemical energy in fuels. Investigations are concentrated in three sub-topics:

- *proecological and electrochemical modelling of gas combustion,*
- *combustion in pulverised coal and fluidised-bed boilers,*
- *principles of sustainable energy conversion with a specific focus on chemical energy.*

To the first thematic group belong works of fundamental character on different combustion models under conditions of turbulent flows and coupled heat transfer. In the department conducted are works on modified models of fluid-solid couplings, which encompass not only coupling through the energy equation but also through equations of reaction component concentrations. With respect to that analysed has been operation of a system featuring the GT8C gas turbine, of which a practical result was indicating of a reasons of NO_x emissions increase in that turbine. Commenced also have been investigations on mathematical modeling of electrochemical reaction of hydrogen combustion in oxide-type fuel cells (SOFC) of tubular type. Postulated has been an original mathematical model of electrochemical reaction which has been subsequently implemented into the Fluent code. Carried out have been preliminary

zrealizowano obliczenia kotła parowego opalanego olejem w celu oszacowania pracy palników i poziomu emisji NO_x . Ponadto trwają prace nad matematycznym modelowaniem korozji eksploatacyjnej. W tym roku skupiono się na kalibracji modeli naprężeniowej korozji ze zniszczeniem na różnych dostępnych testach.

W roku 2005 wykonano szereg prac studialnych dotyczących miar zrównoważonej konwersji energii, nowych bezemisyjnych technologii konwersji węgla, regeneracji energii, odzysku energii odpadowej trójgeneracji i modelowania matematycznego ziębiarek bromowo-litowych. Praktycznym aspektem prowadzonych prac jest analiza energetyczno-egzergetyczna dla proponowanej modernizacji sieci ciepłowniczej miasta Słupsk. Kontynuowany jest również temat trójgeneracji. W 2005 roku przedstawiono szereg propozycji dla MPEC Ustka, m.in. przeprowadzono numeryczną analizę nadbudowy obiegu gazo-parowego ziębiarką bromowo-litową w celu uzyskania niskiej temperatury powietrza wlotowego turbiny gazowej latem, a w efekcie podniesienia mocy elektrycznej obiegu.

O2/Z5 Ruch i wymiana ciepła przy zmianach fazowych w obecności pól masowych

Badania prowadzone w roku 2005 koncentrowały się przede wszystkim na zagadnieniach związanych ze zjawiskami fizycznymi zachodzącymi w strumieniach dwufazowych. Inne prace dotyczy-

ry calculations of advanced hybrid cycles with gas-steam turbine and fuel cell.

Works belonging to the second thematic group encompassed numerical modelling of NO_x emissions during combustion of coal dust in low-emission burners. In the frame of cooperation with LOTOS company completed have been calculations of an oil-fired steam boiler in order to assess operation of burners and a level of NO_x emissions. Additionally works are continued on mathematical modeling of operational corrosion. In the present year efforts have been concentrated on calibration of the models of stress corrosion with damages in all available tests.

In 2005 carried out have been a series of studies regarding measures of sustainable energy conversion, new non-emission coal conversion technologies, energy regeneration, recovery of waste energy, tri-generation and mathematical modeling of bromine-lithium chillers. A practical aspect of carried out research is energetical-egzergetical analysis for a suggested modernization of district heating network for the city of Słupsk. Continued also is the topic of tri-generation. In 2005 presented has been a series of solutions for MPEC Ustka, amongst the others carried out has been numerical analysis of a combination of gas-steam cycle with bromine-lithium chiller to obtain low inlet air temperature to the gas turbine in summer and in effect increasing of the level of cycle electrical power.

ły intensyfikacji wymiany ciepła przy skraplaniu, zagadnień pomiarowych w badaniach wymienników ciepła, a także termodynamiki i wymiany ciepła w odniesieniu do urządzeń chłodniczych.

W zakresie badań nadkrytycznych, dwufazowych strumieni cieczo-cieczowych rozwinięto analizę wymiany ciepła przy skraplaniu w komorze mieszania strumienicy oraz analizę strat pędu w strumienicy. Wykonano także badania eksperymentalne strumienicy z cylindrycznym przejściem między komorą mieszania i dyfuzorem, stwierdzając pozytywny wpływ takiego rozwiązania na stabilność kondensacyjnej fali uderzeniowej.

Prowadzono również badania chłodniczych strumieni cieczo-parowych. Na podstawie systematycznych badań eksperymentalnych opracowano charakterystykę pracy takiej strumienicy. Rozpoznano również zjawiska fizyczne mające zasadniczy wpływ na wymianę pędu w komorze mieszania, z których najważniejszym jest odparowanie rozprężne cieczy napędowej. Opracowano własny model działania strumienicy, zawierający współczynniki strat obliczane w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych.

Wykonano także badania eksperymentalne strumienicy cieczo-gazowej, w której płynem napędowym jest woda, zaś zasysany jest gaz. Ich celem była intensyfikacja wymiany pędu między strugą cieczy napędowej a gazem przy zastosowaniu strugi bocznej, której zadaniem jest doprowadzenie do destabilizacji strugi cieczy napędowej

O2/Z5 Motion and heat transfer during phase changes in the presence of mass fields

Investigations carried out in 2005 concentrated primarily on the problems related to physical problems taking place in two-phase injectors. Other works regarded intensification of heat transfer during condensation, measurement issues in investigations of heat exchangers as well as thermodynamics and heat transfer with respect to refrigeration cycles.

In the area of investigations into supercritical two-phase steam-liquid injectors developed has been analysis of heat transfer during condensation in the injector mixing chamber as well as momentum losses in the injector. Carried out also were experimental investigations of injectors with a cylindrical inset between the mixing chamber and diffuser that confirmed positive influence of this solution on the stability of condensation shock wave.

Carried out also were investigations of refrigeration liquid-steam injectors. On the basis of systematic experimental investigations elaborated has been characteristics of operation of such injector. Recognised also have been physical phenomena having important influence on the momentum exchange in the mixing chamber, of which the most important is flashing evaporation of driving liquid. Developed has been in-house model of injector flow, which considers coefficients of losses calculated on the basis of experimental investigations.

Uzyskano bardzo obiecujące wyniki, m.in. zwiększenie objętościowego stosunku eejkcji nawet o rząd wielkości.

W dziedzinie intensyfikacji wymiany ciepła przy skraplaniu poprzez elektrohydrodynamiczny drenaż skroplin, zajęto się zagadnieniem konfiguracji elektrody pracującej w układzie podwójnym, pozwalającym nie tylko na intensyfikację wymiany ciepła poprzez drenaż skroplin z powierzchni rury ożebrowanej, lecz również organizację spływu skroplin w obrębie pęczka rur.

W ramach zagadnień pomiarowych określono kinematyczny współczynnik dyfuzji w powietrzu dla czynnika R-123. Wykonano także symulacje numeryczne zbiorników do pomiaru średniej temperatury czynnika w modelowych wymiennikach ciepła, mające na celu określenie ich optymalnej geometrii ze względu na jednorodność rozkładów temperatury w komorze pomiarowej zbiornika.

W zakresie zagadnień techniki chłodniczej wykonano prace mające charakter podsumowania dotychczas prowadzonych badań dotyczących termodynamiki i wymiany ciepła w układach chłodniczych (rozprawa habilitacyjna) oraz przygotowano drugie, rozszerzone wydanie książki z tej dziedziny. W ramach tej grupy zagadnień opracowano również ekspertyzę na zlecenie Komitetu Termodynamiki i Spalania, w której poddano analizie szereg kluczowych zagadnień termodynamicznych związanych z poprawą efektywności energetycznej oraz egzergetycznej urządzeń realizujących obiegi

Carried out were also experimental investigations of liquid-gas injector, where water serves as a driving fluid and gas is entrained. The objective of these investigations was intensification of momentum exchange between the driving liquid jet and gas, supplied as a side jet, the objective of which was to destabilize driving liquid jet. Obtained have been very promising results, amongst the others was observed the increaser of volumetric ratio of ejection even by one order of magnitude.

In the area of intensification of heat transfer during condensation by means of electrohydrodynamical condensed drainage the problem of electrode configuration operating in the double mode was considered which enabled not only intensification of heat transfer by condensate drainage from the surface of finned tube, but also organization of the condensate flow in the region of tube bundle.

In the area of measurement issues determined has been a kinematic diffusion coefficient in air for refrigerant R-123. Carried out were also numerical simulation of caps for measurements of a mean fluid temperature in model heat exchangers, aimed at determination of their optimal geometry due to homogeneity of temperature distributions in the cap measurement chamber.

In the area of refrigeration technology issues carried out were activities aimed at summarising of up to date investigations regarding thermodynamics and heat transfer in refrigeration systems (habilitational dissertation) as

lewobieżne.

O2/Z6 Chłodzenie ciał stałych przy pomocy przepływu jedno- lub dwufazowego w strugach swobodnych lub minikanalach

Przedmiotem badań prowadzonych w 2005 roku były zagadnienia dotyczące chłodzenia powierzchni ciała stałego przy pomocy strug cieczy, przepływów dwufazowych w termosyfonie, propagacji fal termicznych w cienkich filmach oraz wpływu gazów inertnych na kondensację pary wodnej.

Celem prac odnoszących się do pierwszego z wymienionych zagadnień było opracowanie efektywnej metody chłodzenia powierzchni ciała stałego. Rozpatrzono wymianę ciepła w strugach i filmach cieczowych, a w szczególności chłodzenie powierzchni przez natrysk strug jednofazowych. Analizowano przejmowanie ciepła w poszczególnych obszarach rozplywu strugi po powierzchni płaskiej, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu uskoku hydraulicznego, powstającego przy przejściu przepływu nadkrytycznego w podkrytyczny, na współczynnik przejmowania ciepła. Powyższe zagadnienie badane było eksperymentalnie na skonstruowanym do tego celu stanowisku badawczym oraz numerycznie przy użyciu kodu CFD. Opracowano nowy model energetyczny uskoku hydraulicznego filmu cieczowego pozwalający na obliczenie odległości uskoku od punktu uderzenia strugi.

Innym sposobem chłodzenia po-

well as edited has been the second, extended edition of a book from that subject. In the frame of that group of problems developed has also been a contract for the Committee of Thermodynamics and Combustion, where analysed were series of key thermodynamical problems related to improvement of energetical and egzergetical effectiveness of equipment realizing refrigeration cycles.

O2/Z6 Cooling of solids by means of single and two-phase flows in free jets or minichannels

The topic of investigations carried out in 2005 were issues related to cooling of a solid surface by means of liquid jets, two-phase flows in termosyphon, propagation of thermal waves in thin films as well as influence of inert gases on steam condensation.

The objective of activities related to the first of above mentioned topics was a development of an effective method of solid cooling surface. Considered has been heat transfer in jets and liquid films, and in particular surface cooling by spraying with single-phase jets. Analysed has been heat transfer in particular zones of jet flow on the flat surface with a particular account of the influence of hydraulic jump, formed due to transition from supercritical to subcritical flow, on the heat transfer coefficient. The above issue was investigated experimentally on the research rig specially constructed for that purpose as well as with the use of CFD code. Developed

wierzchni lub elementów urządzeń są zamknięte obiegi, w których cyркуluje czynnik chłodzący. Rozpatrywano termosyfon dwufazowy z ogrzewaniem bocznym, w którym czynnik podlega przemianom fazowym, a jego ruch jest powodowany naturalną konwekcją. Analizę ruchu płynu i wymiany ciepła oparto na stacjonarnym i jednowymiarowym modelu. Dwufazowy przepływ płynu opisano za pomocą modelu półślizgowego. Uzyskano rozkład masowego natężenia przepływu czynnika dwufazowego w funkcji odległości pomiędzy środkiem odcinka ogrzewania, a środkiem odcinka chłodzenia.

W zagadnieniach wymiany ciepła w nano- i mikrostrukturach rozpatrywano analizę energetyczną procesów transportu energii. Kontynuowano prace związane z zagadnieniami transportu ciepła w strukturach niskowymiarowych oraz nad problemem propagacji fal termicznych w cienkich filmach przy zmiennych własnościach fizycznych i różnych geometriach. Skupiono się na problemach rozchodzenia się zaburzeń termicznych w zależności od kształtu kanału i własności fizycznych ośrodka. Sformułowano równania bilansowe i równania konstytutywne opisujące problematykę ciała stałego na poziomie cech globalnych oraz na poziomie mezoskopowym. Zaprezentowano koncepcję uogólnionego kontinuum dla analizy ewolucji zniszczenia w ośrodkach heterogenicznych na poziomie makro- i mezoskali.

Analiza zjawiska kondensacji pary wodnej w kondensatorach powierzch-

has been a new power model of hydraulic jump in liquid film enabling for calculation of the distance of the jump from the stagnation point.

Another way of surface or devices cooling are closed cycles where the working fluid circulates. Considered has been a two-phase thermosiphon with a side heating, where fluid undergoes phase changes and its motion is induced by natural convection. Analysis of the fluid motion and heat transfer is based on a stationary and one-dimensional model. A two-phase flow of fluid has been described by means of a slip model. Obtained has been a distribution of mass flowrate of the flow of two-phase fluid as a function of the distance between the centre of heating section and the centre of the cooling section.

In the problem of heat transfer in nano- and microstructures considered has been energetical analysis of energy transport processes. Continued have been works related to the issues of heat transport in low-dimensional structures as well as on the problem of thermal wave propagation in thin films at variable physical properties and different geometries. Attention was focused on the issues of propagation of thermal disturbances in relation to the channel shape and physical properties of the medium. Formulated have been balance equations as well as constitutive equations describing the scope of problems related to solids at the level of global features as well as at the mesoscopic level. Presented has been a concept of a generalized continuum for the analysis of damage

niowych pozwoliła na określenie wielkości niekorzystnego wpływu obecności gazów inertnych (azot, wodór) na sprawność obiegu w turbozespołach parowych. Na bazie makroskopowych badań tych urządzeń opracowano model fenomenologiczny kondensacji pary wodnej z mieszaniny parowo powietrznej na pojedynczej nie zalewanej rurce. Uruchomiono program określający rozkłady interesujących parametrów termodynamicznych na pojedynczych nie zalewanych kondensatorem rurek skraplacza dla przypadków konwekcji swobodnej oraz wymuszonej.

O2/P1 Modelowanie przepływów dwufazowych i wieloskładnikowych

Działalność badawcza Pracowni, powstałej w 2005 roku, nawiązuje do prac prowadzonych uprzednio w Zakładzie Przepływów Wielofazowych, którego działalność zawieszono w 2002 roku. W Pracowni prowadzone są prace badawcze z zakresu turbulentnych przepływów dwufazowych z fazą dyspersyjną (faza rozproszona występuje w postaci kropeł cieczy lub cząstek stałych), mające na celu rozwój modeli dla takich przepływów. Drugi kierunek prac stanowiło modelowanie i obliczenia numeryczne przepływów wielofazowych i reaktywnych w urządzeniach przemysłowych.

Prowadzone w bieżącym roku badania dotyczyły złożonych fizycznie przepływów turbulentnych: przepływów przyściennych z polem tempera-

evolution in heterogeneous media on the macro- and mesoscale.

Analysis of the phenomenon of steam condensation in surface condensers enabled for determination of the extent of negative influence of inert gas presence (nitrogen, hydrogen) on the cycle efficiency of steam turbogenerators. On the basis of macroscopic investigations of these devices developed has been a phenomenological model of steam condensation from the air-steam mixture on the single dry tube. Commissioned has been a code determining distributions of interesting thermodynamical parameters on individual dry tubes in a condenser for the cases of free and forced convection.

O2/P1 Modelling of two-phase and multicomponent flows

Research activity of the Group, established in 2005, is related to the activities carried out earlier in the Department of Multiphase Flows, the activity of which has been suspended in 2002. In the Group conducted are research activities on turbulent two-phase flows with a dispersed phase (dispersed phase exists in the form of liquid droplets or solid particles), which are aimed at development of models of such flows. The second direction of research is modeling and numerical calculations of multiphase and reactive flows in industrial appliances.

Carried out in the present year investigations regarded physically complex turbulent flows such as near-wall flows

tury oraz przepływów dwufazowych z fazą dyspersyjną. Kontynuowano prace z zakresu dyspersji turbulentnej cząstek/kropel w polu prędkości wyznaczanym metodą dużych wirów (ang. LES). Badano wpływ proponowanego modelu stochastycznego (uwzględniającego tak zwaną dyspersję podsiatkową cząstek) na statystyki ruchu cząstek w przepływie turbulentnym. W części dotyczącej turbulencji przyściennej, kontynuowano prace z zakresu modelowania metodą funkcji gęstości prawdopodobieństwa (ang. PDF). Uzyskano wyniki dotyczące wyznaczania pola temperatury w przepływie turbulentnym metodą PDF w sprzężeniu z rozwiązywaniem wielkoskalowej dynamiki przepływu. Kontynuowano również prace dotyczące modelowania dynamiki chwilowych struktur turbulentnych z zastosowaniem niskowymiarowych modeli dynamicznych (ang. POD) do przybliżonego opisu dynamiki turbulencji przyściennej. Natomiast prace związane z opisem wielkoskalowych struktur turbulencji dotyczyły modelowania dynamiki cząstek stałych lub kropel w obszarze przyściennym, ich korelacji z różnymi strukturami przepływu oraz efektów separacji na ściankach.

W Pracowni rozwijano także opis przepływów nierównowagowych, jak również zastosowania przepływów wielofazowych i przepływów z reakcjami chemicznymi w urządzeniach energetycznych, a także bilansowanie obiegów. Prowadzono badania numeryczne węglowego, pyłowego palnika niskoazotowego. Przygotowano program kompu-

with temperature field and two-phase flows with a dispersed phase. Continued have been works on turbulent dispersion of particles/droplets in velocity field determined by means of a method of Large Eddy Simulation (LES). Investigated was the influence of postulated stochastic model (incorporating the so called particle subgrid dispersion) on the statistics of particle motion in turbulent flow. In the part related to near-wall turbulence continued have been works on modelling using the probability density functions (PDF). Obtained have been the results related to temperature field in turbulent flow by means of PDF method in conjunction with a large scale solution of the flow dynamics. Continued also have been works on modeling of dynamics of instantaneous turbulent structures with application of low-dimensional dynamical models (POD) in approximate description of the dynamics of near-wall turbulence. On the other hand, the activities related to description of large scale turbulence structures regarded modeling of solid particles or droplet dynamics in the near wall region, their correlation with different flow structures and separation effects on the walls.

In the Group developed was also a description of non-equilibrium flows as well as application of multiphase flows and flows featuring chemical reactions in energy conversion appliances and cycle balancing. Conducted have been numerical investigations of a pulverized coal low nitrogen emission burner. Developed has been a computer

terowy służący do bilansowania układów cieplno-przepływowych o dowolnej liczbie węzłów, częściowo lub całkowicie opomiarowanych, który umożliwia określenie najbardziej prawdopodobnego stanu pracy układu cieplno-przepływowego. Wykonano numeryczne modelowanie spalania mieszaniny metanu i powietrza, badając wpływ warunków początkowych dla temperatury i prędkości na dynamikę płomienia. W ramach badań przepływów z nierównowagą termodynamiczną analizowano jednowymiarowy model z relaksacją lepkościowych naprężeń objętościowych, opisany dwoma równaniami typu hiperbolicznego. Uzyskano związek dyspersyjny, według którego większe naprężenia powodują zmniejszenie prędkości rozchodzenia się impulsów, dzięki czemu fala zgęszczeniowa zachowuje drugą zasadę termodynamiki bez specjalnych zabiegów numerycznych. Zaproponowano także nowy nierównowagowy model relaksacyjny, opisujący zjawiska falowe w przepływach z przemianą fazową, który zastosowano do obliczeń przepływu z odparowaniem rozprężnym w dyszy.

O2/P2 Dynamika ośrodków wielofazowych w polu elektrycznym

Celem badań w roku 2005 była kontynuacja prac nad elektrohydrodynamiczną metodą generacji naelektryzowanego aerozolu dla rozpylacza wielodyszowego. Przedmiotem badań była metoda wytwarzania naelektryzowanego aero-

code for balancing of thermal hydraulic systems with an arbitrary number of nodes, which are partially or fully equipped with measurement systems, which enables determination of the most probable state of operation of the thermal hydraulic system. Carried out have been numerical modeling of combustion of methane and air with a focus on the influence of initial conditions for temperature and velocity on the flame dynamics. In the frame of investigations of flows with thermodynamical non-equilibrium analysed has been one-dimensional model with bulk viscous stress relaxation, described by two equations of hyperbolic type. Obtained has been a disperse relation according to which greater stresses render reduction of the speed of impulse propagation, thanks to which the condensed wave preserves the second law of thermodynamics without special numerical assurances. Postulated also has been a new non-equilibrium relaxation model, describing wave phenomena in flows with phase changes, which has been applied to calculations of the flow in the nozzle with expanding evaporation.

O2/P2 Dynamics of multiphase media in electric field

The objective of investigations in 2005 was continuation of works on electrohydrodynamical method of generation of charged aerosol for a multi-nozzle sprayer. The merit of investigations was a method of production of charged aerosol utilizing interaction of electric field

zolu, wykorzystująca oddziaływanie pola elektrycznego na strugę swobodną. Badania oddziaływania strug swobodnych podczas rozpylania elektrohydrodynamicznego przeprowadzone zostały dla rozpylacza czterodyszowego z trzema konfiguracjami elektrod.

Wykonane prace obejmowały symulacje rozkładu pola elektrycznego wokół kapilarnych dysz tworzących elektrohydrodynamiczny rozpylacz wielodyszowy. Stwierdzono, że strugi umieszczone najbardziej na krańcach układu dysz są wypychane na zewnątrz, co powoduje zniekształcenie stożka rozpylania. Z badań symulacyjnych rozkładu potencjału elektrycznego wokół dysz kapilarnych wynika jednak, że wokół skrajnych dysz istnieje najbardziej korzystny rozkład pola elektrycznego, powodujący inicjację pożądanego modu rozpylania (w badanym przypadku modu precesyjnego) przy niższym napięciu, niż dla dysz wewnętrznych. Dalszych badań wymaga określenie optymalnego rozstawu dysz rozpylacza.

Podjęto także próbę określenia, jak sąsiadujące w szeregu swobodne strugi cieczy oddziałują wzajemnie na siebie pod wpływem sił elektrycznych. Uzyskane wyniki pozwoliły na lepsze poznanie procesów elektrohydrodynamicznych wykorzystywanych w urządzeniach do generacji naelektryzowanych aerozoli oraz na sformułowanie nowych wytycznych do projektowania tego typu urządzeń.

W pracowni rozwijane są również metody wytwarzania naelektryzowanego aerozolu, które mogą mieć znaczenie

on the free jet. Investigations into interaction of free jets during electrohydrodynamical spraying were conducted for the case of a four-nozzle sprayer featuring three electrode configurations.

Carried works encompassed simulations of electrical field distribution around capillary nozzles forming an electrohydrodynamical multi-nozzle sprayer. It has been concluded that the jets located most far out of the nozzle system are pushed out which renders deformation of the spraying cone. From the simulation investigations of distribution of electrical potential around capillary nozzles results however, that around most far out nozzles there is the most favourable distribution of electrical field causing initiation of required mode of spraying (in investigated case of the precession mode) present at the lower voltage that in the case of inner nozzles. Determination of optimal sprayer nozzle pitch requires further investigations.

Undertaken also has been an attempt to determine the way in which two neighbouring in the row liquid jets interact due to the influence of electrical forces. Obtained results enabled a better recognition of electrohydrodynamical processes utilized in devices for generation of charged aerosols as well as formulation of new directives for designing of such kind of equipment.

In the research group developed have been also methods for production of charged aerosol, which can be of technological importance, improving in such way effectiveness of equipment. The re-

technologiczne poprawiając efektywność urządzeń. Wyniki bezpośrednio pomiarów ładunku kropli porównane zostały z wynikami obliczeń ładunku na podstawie rozkładu wielkości kropeł. Zgodność obu rezultatów co do wartości średniej jest wystarczająca.

Wykonano także spektroskopowe badania widma emisyjnego wyładowania elektrycznego towarzyszącego procesowi rozpylania. Chociaż zjawisko to uznane jest w literaturze za niekorzystne z punktu widzenia procesu rozpylania, to w podjętych pracach wykazano, że istnieje możliwość wykorzystania rozpylania elektrohydrodynamicznego do badania metodami spektroskopii emisyjnej składu chemicznego rozpylanego roztworu.

Zaproponowano możliwość zastosowania wielodyszowego rozpylacza elektrohydrodynamicznego w procesie oczyszczania gazu z drobnych zanieczyszczeń. Wykazano, że oczyszczanie gazu za pomocą naelektryzowanego aerozolu jest znacznie skuteczniejsze niż za pomocą nienaelektryzowanych kropeł cieczy. Mniejsze jest także zużycie wody używanej do skrubowania.

O2/P3 Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Przedmiotem badań prowadzonych w Pracowni jest aerotermiczna warstwa przyścienna na płaskiej, nieogrzewanej i ogrzewanej płycie oraz zjawiska w niej zachodzące, wywołane różnymi typami zaburzeń generowanych w przepływie.

sults of a direct measurement of the droplet charge have been compared with the results of the charge calculations on the basis of distribution of droplet size. The consistency between both results as far as a mean value is concerned is satisfactory.

Carried out also were spectroscopic investigations of the emission spectrum of electrical discharge accompanying the spraying process. Although that that problem is deemed in literature as unwanted from the point of view of the spraying process, in the carried out works it has been shown that there is a possibility of utilization of electrohydrodynamical spraying for investigations of chemical composition by means of emission spectroscopy.

Suggested has been a possibility of application of a multi-nozzle electrohydrodynamical sprayer in the process of gas purification from small contaminations. It has been showed that gas purification by means of charged aerosol is significantly more efficient than that by means of not charged liquid droplets. Also consumption of water used for scrubbing is smaller.

O2/P3 Laminar-turbulent transition in fluid-flow machinery

The topic of investigations carried out in the Group is aerothermal boundary layer on a flat, unheated and heated slab as well as phenomena taking place there which are induced by different type of disturbances generated in the

Wykonane prace można podzielić na dwie grupy:

1. modelowanie przejścia laminarno-turbulentnego w zmiennych warunkach napływu,
2. pomiar wektora prędkości w przy pomocy sondy kulowej.

Wykonane w 2005 roku badania termicznej warstwy przyściennej wykazały, że w przypadku niestacjonarnej warstwy termicznej wzrost współczynnika analogii Reynoldsa o 10% (w stosunku do stacjonarnej warstwy przyściennej) jest spowodowany różnicą stałych czasowych wymiany ciepła i pędu w termicznej i aerodynamicznej warstwie przyściennej. W przypadku aerodynamicznej warstwy przyściennej stała ta jest rzędu wielkości czasu charakterystycznego opływu płyty, zaś w przypadku termicznej warstwy przyściennej – stała ta zależy od czasu ustanowienia się nowej równowagi cieplnej, a ten czas z kolei zależy przede wszystkim od pojemności cieplnej płyty.

Inna część badań dotyczyła pojawienia się turbulencji w warstwie przyściennej pod wpływem śladów spływowych, przy ujemnym gradiencie ciśnienia w rejonie pomiędzy śladami spływowymi. Badania te wynikają z pewnego uproszczenia modelu Pfeila opisuującego oddziaływanie śladów spływowych z warstwą przyścienną. Uproszczenie to zakłada, że laminarna warstwa przyścienna, pomimo oddziaływań śladu spływowego, jest stacjonarna, zaś niestacjonarność warstwy przyściennej

flow. The works completed can be divided into two groups:

1. *modelling of laminar-turbulent transition in the conditions of varying onflow,*
2. *measurement of velocity vector by means of the spherical probe.*

Carried out in 2005 investigations of thermal boundary layer proved that in the case of non-stationary thermal layer the increase of the coefficient of the Reynolds analogy by 10% (with respect to a stationary boundary layer) is induced by a difference between time constants of heat and momentum transfer in the thermal and aerodynamical boundary layer. In the case of aerodynamical boundary layer that constant is of the order of time characteristic to the of the flow past the slab whereas in the case of thermal boundary layer that time is dependent on the time of settling a new thermal equilibrium, and that time on the other hand depends primarily on the thermal capacity of the slab.

Another part of investigations regarded appearance of turbulence in the boundary layer induced by trailing wakes at the negative pressure gradient in the region between the wake traces. These investigations result from some simplification of the Pfeil model, describing interaction between wake structures and boundary layer. Such simplification assumes that laminar boundary layer, despite interactions of the wake structures, is stationary whereas non-stationarity of boundary layer starts to

zaczyna być widoczna dopiero od sturbulizowania się tej warstwy pod śladem spływowym (w rzeczywistości, również laminarną warstwę pod oddziaływaniem śladu spływowego należałoby uznać za niestacjonarną). Przeprowadzono analizę falkową fluktuacji prędkości w rejonie podwarstwy lepkiej, gdzie zaobserwowano pojawienie się fluktuacji harmonicznyc, dla których określono częstotliwość i amplitudę. Analiza ta dostarcza nowych argumentów za tym, że pierwsze oznaki turbulencji w warstwie przyściennej, przy ujemnym gradiencie ciśnienia wzdłuż płyty, pojawiają się w obszarze pomiędzy śladami spływowymi jako fluktuacje harmoniczne, które następnie przechodzą w chaotyczne fluktuacje prędkości charakterystyczne dla rozwiniętej turbulencji.

Ponadto przedmiotem dalszych badań prowadzonych w 2005 roku było zastosowanie sondy kulowej do pomiaru wektora prędkości w przepływie, przy czym szczegółowej analizie poddano zastosowanie sondy kulowej czterootworowej z otworami pomiarowymi w wierzchołkach rombu. Upřednio przeprowadzona analiza dowodziła, że taki układ punktów pomiarowych – w odróżnieniu od punktów pomiarowych umieszczonych w wierzchołkach kwadratu – daje jednoznaczne rozwiązanie zagadnienia pomiarowego. Wyznaczono charakterystykę teoretyczną takiej sondy jako rozwiązanie układu czterech równań nieliniowych. Badania te pozwalają na lepsze poznanie warunków dobrego wzorcowania sond pomiarowych, a także na

be visible only beyond turbulisation of that layer due to the wake structure (in reality also the laminar layer under the influence of the wake structure should be regarded as non-stationary). Completed has been a wavelet analysis of velocity fluctuations in the region of viscous sublayer, where harmonical fluctuations have been observed, in the case of which frequency and amplitude have been determined. Such analysis provides new arguments in favour of the fact that first signs of turbulence appear in the region between the wake structures as harmonic fluctuations which subsequently transfer into chaotic velocity fluctuations characteristic to fully developed turbulence.

Additionally the topic of further investigations carried out in 2005 was implementation of a spherical probe for measurements of velocity vector in the flow, where a detailed analysis has been placed to application of a four-hole spherical probe with measurement holes in the rhomb tips. The analysis performed beforehand proved that such arrangement of measurement points, contrary to measurement points located in the tips of the square, gives a unique solution of the measurement problem. A theoretical characteristics of such probe has been determined as a solution of a set of four non-linear equations. Such investigations enable for a better recognition of conditions of an appropriate calibration of measurement probes and also application of probes with minimum number of measurement holes (i.e. four) and hence optimal performance

użycie sond o minimalnej ilości otworów pomiarowych (tzn. czterech), a zatem o optymalnych własnościach ze względu na zaangażowanie środków pomiarowych. *with respect to measurement resources required.*

Roman Kwidziński

Translated by Dariusz Mikielewicz