

O2

Zagadnienia termomechaniki płynów

Problems of thermomechanics of fluid

O2/Z1/T1 Zagadnienia termomechaniki, eksploatacji i diagnostyki cieplno-przepływowej turbin

Prace realizowane w Zakładzie obejmują

- (i) problematykę obliczeń numerycznych przepływu lepkiego pary przez maszyny wirnikowe (CFD) ukierunkowaną na projektowanie układów łopatkowych turbin,
- (ii) budowę systemów oprogramowania diagnostyki cieplno-przepływowej turbin oraz
- (iii) zagadnienia dotyczące eksploatacji turbin parowych, m.in. zagrożeń korozyjno-erozyjnych.

Wiodący temat realizowany w Zakładzie dotyczy zastosowania techniki numerycznej CFD do projektowania maszyn przepływowych. W roku 2003 przystąpiono do obliczeń wybranych rozwiązań konstrukcyjnych króćców wylotowych i stopni turbin parowych. Wykonano także obliczenia mające na celu modernizację konstrukcji stopnia turbiny parowej, polegającej na zmianie kształtu krawędzi wlotowych łopatek kierowniczych u wierzchołka, dzięki czemu łopatki te były lepiej dopasowane do kątów wlotowych w obszarze przecieku nadłopatkowego strumienia opuszczającego poprzedni stopień. Prowadzono również prace z zakresu sprawnościowej optymalizacji kształtu przestrzennego stopnia wylotowego, analizując jego zachowanie w różnych obciążeniach. Konty-

O2/Z1/T1 Selected problems in thermomechanics, exploitation and thermal-hydraulic diagnostics of turbines

The works carried out in the Department encompass

- (i) problems of numerical calculations of viscous steam flow through rotating machinery (CFD) directed to the design of turbine blading systems,*
- (ii) development of software for thermal-hydraulic diagnostics of turbines and*
- (iii) problems dealing with operation of steam turbines such as for example corrosion-erosion threats.*

The leading topic realized in the department regards application of CFD numerical techniques in the design of fluid-flow machinery. In 2003 approached have been calculations of selected design constructions of outlet sockets and steam turbines. Performed also have been calculations aimed at modernization of the design of a stage of steam turbine, based on the change of a shape of inlet of guide vane blades at their tip, where as a result such blades were better fitted to the inlet angles in the area of over-blade leak of the stream leaving the former stage. Performed have also been works on efficiency optimization of the spatial shape of the outlet stage, where the analysis of its behaviour at different loads has been considered. Continued also have been analy-

nuowano także rozpoczęte w latach poprzednich analizy niestacjonarnego oddziaływania śladu spływającego z łopatek kierowniczych z wieńcami wirnikowymi.

Prace nad rozwojem metod diagnostyki ciepłno-przepływowej dla złożonych systemów energetycznych dotyczyły rozpoznania rozmiaru degradacji geometrii układy przepływowe turbin i elementów konstrukcyjnych wymienników regeneracyjnych w parowych blokach energetycznych. Wykorzystano do tego celu jedną z metod sztucznej inteligencji jaką są sieci neuronowe. Badano też przydatność metod diagnostyki ciepłno-przepływowej do zastosowań przemysłowych (wdrożenie w Elektrowni Turów).

Działalność prowadzoną w Zakładzie w 2003 roku rozszerzono o nowe zagadnienia dotyczące eksploatacji turbosetów wielkiej mocy. Jedną z analiz realizowanych w tym temacie związana była z zachowaniem się turbin parowych wielkiej mocy w silnie zmiennych warunkach obciążeniowych. Inna grupa zagadnień eksploatacji turbin związana była z problemami przepływu pary z obecnością fazy ciekłej, będącej źródłem korozji i erozji w układach łopatkowych. Przebadano szczegółowo przepływy w turbinach ciepłowniczych, w których degradacja łopatek wynikała z możliwości bezpośredniego kontaktu wody zasilającej kocioł z wodą sieciową.

ses, commenced in former years, of non-stationary interaction between the guide vane wakes and blade-ring.

The works on the development of thermal-hydraulic diagnostics for the complex power engineering systems regarded detection of the extent of geometry degradation of turbine flow system as well as structural elements of regeneration heat exchangers in steam power units. For that reason utilized has been one of the methods of artificial intelligence such as neural networks. Investigated also has been the applicability of thermal-hydraulic diagnostics in industrial applications (implementation at Turów power station).

Departmental activity in 2003 has been extended to include new problems linked to exploitation of turbosets of large power. One of the analyses realized in the frame of that topic was linked to the behaviour of steam turbines of large power under strongly varying load. Another group of operational topics of turbine exploitation regarded the problems of steam flow in the presence of liquid phase, which is a source of corrosion and erosion in blading systems. Investigated in detail have been flows in thermal engineering boilers, where degradation of blades resulted from the possibility of direct contact of water feeding the boiler with the municipal water.

O2/Z2/T1 Przepływy transoniczne z silnymi oddziaływaniami

Badania prowadzone w Zakładzie obejmowały sześć zasadniczych kierunków:

- (i) analiza powstawania stopy- λ oraz asymetrii fali uderzeniowej w symetrycznej dyszy,
- (ii) przepływy wtórne – oddziaływanie wiru wzdłużnego z wirem podkowiastym,
- (iii) analiza i implementacja modelu przepływu przez perforowane ścianki,
- (iv) zastosowanie wirów wzdłużnych do kontrolowania oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścienną,
- (v) badania przepływu w upustach turbin parowych,
- (vi) badanie możliwości zwiększenia siły nośnej profilu trójelementowego,
- (vii) badanie procesu kondensacji poprzez porównanie modeli fenomenologicznych z wynikami Dynamiki Molekularnej.

Badania fal uderzeniowych stały się w ostatnim roku wielowątkowe. Z jednej strony badano wpływu wymuszeń na oscylację fali uderzeniowej. Z drugiej strony przy wyższych liczbach Macha badano asymetrię fali w symetrycznej dyszy. Te zagadnienia są znane, ale jak do tej pory mało przebadane i niewyjaśnione. W naszych badaniach zwrócono

O2/Z2/T1 Transonic flows with strong interactions

Investigations conducted in the department encompassed six principal directions:

- (i) *analysis of formation of λ -foot and asymmetry of the shock wave in the symmetrical nozzle,*
- (ii) *secondary flows – interaction of the axial vortex with the horseshoe vortex,*
- (iii) *analysis and implementation of the flow model through perforated walls,*
- (iv) *application of axial vortices in controlling of the shock wave interaction with the boundary layer,*
- (v) *investigations of the flow in steam turbine bleedings,*
- (vi) *investigations of possibilities of increasing the lift force of three-dimensional profile,*
- (vii) *investigations of condensation process through a comparison of phenomenological models with the results of Molecular Dynamics.*

Investigations of shock waves became multi-directional in the past year. On one hand investigated has been the influence of excitations on oscillation of the shock wave. On the other hand at higher Mach numbers investigated have been asymmetry of the wave in the symmetrical nozzle. Such issues are known, but up to date vaguely investigated and

uwagę na wiele nowych aspektów badanych zjawisk.

Badania struktur przepływów wtórnych obejmowały symulacje numeryczne, wykorzystane do określenia geometrii tunelu, który został zbudowany w DLR w Getyndze. Dodatkowe symulacje numeryczne pokazały, że pręty generatora turbulencji powodują powstanie intensywnych śladów, które są widoczne na wlocie do palisady. Analizując możliwości kontrolowania przepływów wtórnych przeprowadzono symulacje numeryczne wpływu wiru wzdłużnego na wir podkowiasty, generowany przez symetryczny profil. Pokazano, że odpowiednia lokalizacja wiru wzdłużnego powoduje likwidację wiru podkowiastego po jednej stronie profilu.

W 2003 roku kontynuowano prace związane z modelowaniem przepływu przez perforowane ścianki, a także prace nad zastosowaniem wirów wzdłużnych do kontrolowania oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścianą. Wiry te generowane są przez odpowiednio wprowadzone strumienie powietrza. Konkretna aplikacja do sprężarkowego stopnia transonicznego spotkała się dużym uznaniem i prawdopodobnie zostanie opatentowana przez ALSTOM.

Badania przepływu przez upust w turbinie obejmowały symulacje numeryczne pola ciśnień. Niesymetryczny wylot do rurociągu upustowego powoduje zaburzenie osiowosymetryczności rozkładu ciśnienia w turbinie. Zaproponowano nowe, bardzo skuteczne podejście, które nie wymaga obliczeń prze-

remain unexplained. In our investigations attention has been focused on several new aspects of investigated phenomena.

Investigations of secondary flow structures encompassed numerical simulations, utilised in determination of the tunnel geometry, which has been assembled at DLR in Gottingen. Additional numerical simulations revealed that the rods of turbulence generators show formation of intense wakes, which are perceptible at the inlet to the palisade. Analysing the possibilities of secondary flow control conducted have been numerical simulations of the influence of longitudinal vortex on the horse-shoe vortex, which is generated by the symmetrical profile. It has been shown that adequate location of the longitudinal vortex renders disintegration of the horse-shoe vortex on one side of the profile.

In 2003 continued have been works dealing with modelling of the flow through perforated walls and also activities regarding implementation of longitudinal vortices in control of the interaction between the shock wave and the boundary layer. Such vortices are generated by adequately introduced air jets. A specific application for the compressor transonic stage found a significant apprehension and probably will be patented by ALSTOM.

Flow investigations in turbine encompassed numerical simulations of the pressure field. Non-symmetrical outlet to the bleeding pipeline renders distortion of the symmetry of pressure distri-

plywu przez układ łopatkowy. W rezultacie wyznaczono rozkład ciśnienia w płaszczyźnie upustu, wykorzystanego do obliczenia niestacjonarnych sił działających na układ łopatkowy.

W dalszym ciągu prowadzono numeryczne symulacje metod zwiększenia siły nośnej trójelementowego profilu w konfiguracji do lądowania. W tym celu wykorzystuje się poprzeczne blaszki montowane w warstwie przyściennej na krawędzi spływowej lub pomiędzy główną częścią profilu a klapą.

Przedmiotem badań procesu kondensacji było porównanie modeli fenomenologicznych z wynikami numerycznymi uzyskanymi przy pomocy metod Dynamiki Molekularnej. Powstawanie klastrów i wzrost kropli było również badane przy obecności gazów inertnych.

02/Z3/T1 Modelowanie procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych

Prace prowadzone w Zakładzie mają na celu przygotowanie narzędzi numerycznych zezwalających na modelowanie numeryczne nierozpoznanych zjawisk towarzyszących nowoczesnym technologiom energetycznym, takim jak: czyste technologie węglowe, technologie z zerową emisją CO₂, technologie oparte na paliwach odnawialnych, technologie energetyki rozproszonej, technologie turbin personalnych i mikroogniw paliwowych. Publikowane rezultaty można pogrupować w trzech pod-

tribution in turbine. Suggested have been modern, more effective approach, which does not require flow calculations through the blading system. In effect determined has been pressure distribution in the bleeding plane, which has been used in calculation of non-stationary forces acting on the blading system.

Further works regarding numerical simulations of the possibilities of increasing the lift force of a three-element profile in configuration for landing. The problem is tackled through transverse trashes fixed in the boundary layer on the trailing edge or between the main part of the profile and a flap.

The topic of investigations of the condensation process was to compare phenomenological models with the results of numerical calculations obtained using the methods of Molecular Dynamics. Formation of clusters and the growth of drop was also investigated in the presence of inert gases.

02/Z3/T1 Modelling of processes of proecological combustion of power engineering equipment

Activities in the division are aimed at development of numerical tools enabling numerical modeling of unrecognized phenomena, which accompany modern power engineering technologies, such as: clean coal combustion techniques, technologies with zero emissions of CO₂, technologies based on renewable fuels, technologies of dispersed power engineering, technologies of personal turbines and micro fuel-cells.

tematach:

- (i) modelowanie proekologicznego spalania gazów,
- (ii) spalanie w kotłach pyłowych i fluidalnych,
- (iii) zasady zrównoważonej (proekologicznej) 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 szczególności dużo uwagi poświęcono zagadnieniom niskoemisyjnego, bezpłomieniowego spalania (w tym również gazu zaazotowanego). Wyróżniającą pracą jest rozprawa doktorska M. Karcz, w której opracowano i zaimplementowano uogólnione turbulente strumienie pędu i ciepła w zastosowaniu do zagadnień chłodzenia turbin gazowych. Nowym tematem badawczym, podjętym w IMP jest zimne elektrochemiczne spalanie paliwa w ogniwie paliwowym SOFC. Praktycznym wynikiem badań nad proekologicznym spalaniem gazów jest analiza spalania w turbinie GT8C w Gorzowie Wielkopolskim.

Do drugiej grupy tematycznej należy zaliczyć prace nad numerycznym modelowaniem emisji NO_x w trakcie spalania pyłu węglowego w głównych palnikach niskoemisyjnych. Po serii prób wdrażających model podjęto się zamodelowania pracy palnika BABCOCK Energy dla ECII Gdańsk. W ramach współpracy z Rafinerią Gdańsk

Published results can be grouped in three sub-topics:

- (i) *modelling of sustainable combustion,*
- (ii) *combustion in pulverized and fluidized boilers,*
- (iii) *principles of sustainable (proecological) energy conversion with particular consideration of chemical energy.*

To the first group of can be included fundamental works on different combustion models in turbulent flow conditions and complex heat transfer. In particular a great deal of attention has been devoted to the problems of low-emission, flameless combustion (including the nitrogen-rich gas). A doctoral dissertation due to M. Karcz is of distinction here, where developed has been and implemented generalized turbulent fluxes of momentum and heat in application to the problems of gas turbine cooling. A new research topic, undertaken at IFFM PAS, is a cold, electrochemical fuel combustion in the SOFC fuel-cell. A practical result of investigations on the proecological combustion of gases is the analysis of combustion in GT8C turbine in Gorzów Wielkopolski.

In the second thematic group must be included the works of numerical modeling of NO_x emissions during combustion of coal-powder in principal low-emission burners. After a series of implementation attempts an effort has been made to model operation of the BABCOCK Energy burner for the Gdańsk Thermal Power Station. In the

podjęto się modelowania dynamiki regulacji kotła K1G. Trwają także prace nad matematycznym modelowaniem korozji eksploatacyjnej na potrzeby przemysłu energetycznego.

Ponieważ proekologiczne problemy spalania stanowią istotną część nowoczesnych zrównoważonych technologii energetycznych, w roku 2003 podjęto szereg prac studialnych dotyczących miar zrównoważonej konwersji energii, nowych bezemisyjnych technologii konwersji węgla, regeneracji egzergii, odzysku energii odpadowej, trójgeneracji, czy modelowania matematycznego oziębiarek bromowo-litowych. Praktycznym aspektem prowadzonych prac jest analiza energetyczno-egzergetyczna proponowanej modernizacji sieci ciepłowniczej miasta Słupsk.

O2/Z5/T1 Ruch i wymiana ciepła przy zmianach fazowych w obecności pól masowych

Przedmiotem badań były zagadnienia dotyczące analizy zjawisk fizycznych w strumienicach dwufazowych, wymiany ciepła i masy przy skraplaniu w obecności gazów inertnych oraz w warunkach wysokiego przegrzania pary, intensyfikacji procesu skraplania przez drenaż skroplin oraz wymiany ciepła w wymiennikach stosowanych w energetyce cieplnej i chłodnictwie.

W ramach badań podstawowych związanych ze skraplaniem kontynuowano prace nad bardzo obiecującym

frame of cooperation with Gdańsk Refinery an issue of modeling of the dynamics of regulation of K1G boiler has been made. The works on the mathematical modeling of operational corrosion are continued for the needs of power engineering industry.

Due to the fact that proecological combustion problems are an important part of modern sustainable power engineering technologies in 2003 a series of studies have been started regarding the measures of sustainable energy conversion, new low-emission technologies of coal conversion, exergy regeneration, recovery of waste energy, triple-generation or mathematical modeling of Bromine-Lithium coolers. A practical aspect of conducted works is energetical-exergetical analysis of suggested modernization of the district heating network in Słupsk.

O2/Z5/T1 Motion and heat transfer during phase changes in the presence of mass fields

The topic of investigations were the problems regarding the analysis of physical phenomena in two-phase ejectors, heat and mass transfer during condensation in the presence of inert gases as well as in the conditions of high steam superheating, intensification of condensation process by condensate drainage and heat transfer in heat exchangers used in power engineering and refrigeration.

In the frame of fundamental inve-

zagadnieniem intensyfikacji procesu skraplania poprzez przyłożenie pola elektrycznego. W prowadzonych badaniach eksperymentalnych stwierdzono wzrost współczynnika wnikania ciepła w odniesieniu do rury gładkiej, nawet o rząd wielkości, przy jednoczesnej kilkukrotnej redukcji różnicy pomiędzy temperaturą nasycenia skraplanej pary a temperaturą powierzchni ścianki. Zaproponowano prosty model teoretyczny tego zjawiska, który uwzględnia wpływ formy spływu fazy ciekłej na intensyfikację wnikania ciepła. Najkorzystniejsze rezultaty osiągnięto dla elektrody prętowej.

W zakresie modelowania strumieni dwufazowych cieczowo-gazowych uzyskano znaczący postęp w związku z rozważaniem procesu rozpadu strugi cieczowej oraz opracowaniem zależności na długość rozpadu strugi cieczowej w oparciu o własne badania eksperymentalne. Ponadto, na podstawie systematycznych badań eksperymentalnych, stwierdzono kilkukrotny wzrost stosunku ekcji strumienicy cieczowo-gazowej wskutek zastosowania siatek rozpylających. Opracowano także model matematyczny nadkrytycznej strumienicy parowo-cieczowej, w którym ujęto równania opisujące wymianę ciepła w komorze mieszania oraz falę uderzeniową w dyfuzorze.

W dziedzinie wymiany ciepła przy skraplaniu w energetycznych wymiennikach ciepła oraz w skraplaczach chłodniczych, w warunkach obecności gazów inertnych oraz silnego przegrzania pary, opracowano modele matematyczne

stigations connected with condensation continued have been works on a very promising issue of intensification of condensation process by applying the electric field. In conducted experimental investigations there has been concluded an increase of the heat transfer coefficient with respect to the smooth pipe even by one order of magnitude, and simultaneous reduction, by several times, of the temperature difference between the saturation temperature of condensed vapour and temperature of the wall surface. There has been suggested a simple theoretical model of such phenomenon, which accounts for the influence of the form of liquid phase flow on enhancement of heat transfer. The best results have been obtained using the rod electrode.

In the topic of modelling of two-phase liquid-gas ejectors attained has been a significant progress in relation to recognition of the process of disintegration of the liquid jet and development of the relation describing the length of liquid jet breakup based on in-house experimental investigations. Additionally, on the basis of systematic experimental investigations, there has been concluded a several fold increase of the ejection ratio of a liquid-gas ejector due to implementation of spraying grids. Developed also has been a mathematical model of a supercritical steam-liquid ejector, where the equations describing heat transfer in the mixing chamber and the shock wave in the diffuser have been integrated.

In the area of heat transfer during

wymienników ciepła. W oparciu o te modele można określić obniżenie mocy cieplnej wymienników spowodowanej obecnością gazów inertnych, a także przewidzieć wystąpienie bezkondensacyjnej strefy wymiany ciepła. Opracowano modyfikację systemu monitoringu ilości gazów inertnych w skraplaczach energetycznych, pozwalającą na jego włączenie do najnowszych, scentralizowanych systemów pomiarowych siłowni parowych.

Rezultatem analizy zastosowania pośredniej metody pomiaru współczynnika wnikańia ciepła jest określenie granic dopuszczalnych błędów pomiarowych (głównie temperatury). W zakresie zagadnień stosowania nowych czynników chłodniczych sformułowano kryteria, jakim powinny odpowiadać nowoczesne płyny robocze w chłodnictwie, klimatyzacji i pompach ciepła.

O2/Z5/T2 Dynamika ośrodków wielofazowych w polu elektrycznym

Prace podjęte w Zakładzie miały na celu zbadanie skuteczności oczyszczania gazu z drobnych cząstek zanieczyszczeń za pomocą strugi kropeł generowanych elektrohydrodynamicznie. Usuwanie cząstek o średnicy mniejszej od kilku mikrometrów jest problemem występującym np. w nowoczesnych systemach klimatyzacyjnych i w urządzeniach oczyszczających gazy odlotowe w przemyśle i energetyce. Jedną z metod usuwania mikrocząstek jest przepłuki-

condensation in power engineering heat exchangers and refrigeration condensers, under the presence of inert gases and a strong steam superheating, developed have been mathematical models of heat exchangers. Based on these models there can be determined reduction of thermal power of heat exchangers rendered by the presence of inert gases as well as to envisage the existence of non-condensing zone of heat transfer. Developed has been a modification of the monitoring system of the amount of inert gases in power engineering condensers enabling its incorporation into the most modern, centralised measurement systems of steam power plants..

A result of analysis of application of indirect method of measurement of heat transfer coefficient is determination of the limits of permissible measurement errors (particularly of temperature). In the area of problems of application of new refrigeration components there have been formulated criteria to be persevered by modern working media in refrigeration, air-conditioning and heat pumps.

O2/Z5/T2 Dynamics of multiphase media in electric field

The works undertaken in the division were aimed at investigation of the effectiveness of purification of gases from the tiny impurity particles by means of a jet of droplets generated in the electrohydrodynamical way. Removal of particles with a diameter smaller

wanie zapyłonego gazu za pomocą naładowanych elektrycznie kropli cieczy.

Opracowano nowy typ wielodyuszowego rozpylacza elektrohydrodynamicznego przeznaczonego do oczyszczania gazu z drobnych cząstek zanieczyszczeń. Ładowanie elektryczne cząstek dymu i kropli cieczy pozwala na znaczne zwiększenie skuteczności oczyszczania gazu z pyłów, dymów, bakterii, wirusów i zarodników grzybów. Uzyskane skuteczności oczyszczania gazu w warunkach przeprowadzonego eksperymentu dochodzą do około 80-90%. Zużycie właściwej wody jest 4-krotnie mniejsze niż w przypadku, gdy ciecz ładowana była metodą indukcyjną w rozpylaczu odśrodkowym. Wynika to z możliwości uzyskania większego ładunku kropli i mniejszych kropel, a zatem większego ładunku właściwego, w przypadku rozpylacza elektrohydrodynamicznego. Należy pamiętać, że skuteczność oczyszczania w tym zakresie wielkości cząstek za pomocą klasycznych urządzeń odpylających jest w granicach 50% i zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem się wielkości cząstek zanieczyszczeń. Wydłużenie czasu rozpylania lub zwiększenie masowego natężenia przepływu rozpylanej cieczy powinno umożliwić jeszcze bardziej skuteczne oczyszczanie gazu.

Prowadzone badania mają charakter podstawowy z ukierunkowaniem na zastosowania praktyczne. Rezultatem przeprowadzonych badań o znaczeniu praktycznym jest określenie skuteczności oczyszczania gazu z drobnych cząstek zanieczyszczeń, np. z dymu papie-

than several micrometers is a problem present for example in modern air-conditioning systems as well as in purification apparatus of flue gases in industry and power engineering. One of the methods of removal of microparticles is rinsing of the contaminated gas by means of electrically charged liquid droplets.

Developed has been a new type of a multi-nozzle electrohydrodynamical sprayer for the purification of gas from small impurity particles. Electrical charging of the smoke particles and liquid droplets enables for a significant increase of effectiveness of gas purification from dust, smokes, bacteria, viruses and mushroom spores. Obtained efficiencies of gas purification under conditions of conducted experiment reach the level of 80-90%. The specific consumption of water is 4-fold smaller than in the case when liquid was charged using the induction method in the centrifugal sprayer. That results from the possibility of attaining a greater droplet charge and smaller droplets and hence a larger specific charge in the case of electrohydrodynamical sprayer. It ought to be remembered that the purification efficiency in that range of particle size by means of classical purification equipment is about 50% smaller and reduces with a reduction of the size of impurity particles. Extension of the spraying time or the increase of mass flow rate of sprayed liquid should enable even more efficient purification of the gas.

Conducted investigations have a fundamental character with the focus

rosowego, za pomocą elektrostatycznej metody mokrej, co może znaleźć zastosowanie w projektowaniu wysokoskutecznych urządzeń do oczyszczania gazów. Przeprowadzone badania eksperymentalne pokazały, że naładowanie rozpylanych kropeł cieczy i cząstek dymu zwiększa skuteczność usuwania cząstek submikronowym około 3-4 krotnie w stosunku do metod wykorzystujących nienaładowane krople cieczy.

O2/Z6/T1 Transport ciepła w strugach i filmach

W roku 2003 w Zakładzie prowadzono badania

- (i) chłodzenia powierzchni ciała stałego za pomocą strug cieczy,
- (ii) modelowania przepływów turbulentnych,
- (iii) transportu ciepła w nanocieczach i cienkich filmach,
- (iv) ewolucji zniszczenia w ośrodkach heterogenicznych oraz
- (v) usprawnienia wielostopniowych urządzeń strumienicowych.

W pierwszej grupie tematycznej kontynuowano badania nad opracowaniem analitycznego, dwuwymiarowego modelu przepływu turbulentnego w warstwie cieczy płynącej po powierzchni ciała stałego, utworzonej podczas uderzenia jednofazowej strugi cieczy o powierzchnię. Opracowano model numeryczny przepływu w filmie wytworzonym przez uderzenie strugi jednofazowej cieczy i wykonano obliczenia gru-

on practical applications. A result of performed investigations, from the practical point of view, is determination of efficiency of gas purification from small particles of impurities, for example cigarette smoke by means of wet electrostatic method, which may find application in the design of high-efficiency equipment for gas purification. Performed experimental investigations showed that the charge of sprayed liquid droplets and smoke particles increases the efficiency of removal of sub-micron particles by 3-4 times compared to the methods utilizing the non-charged liquid particles.

O2/Z6/T1 Transport of heat in jets and films

In 2003 in the division conducted have been investigations of

- (i) *solid surface cooling by means of liquid jets,*
- (ii) *modelling of turbulent flows,*
- (iii) *heat transport in nanoliquids and thin films,*
- (iv) *damage evolution in heterogeneous media and*
- (v) *modernisation of multi-stage ejector systems.*

In the first thematic group continued have been investigations on the development of analytical, two-dimensional model of turbulent flow in the liquid layer flowing on the solid surface formed during impingement of single-phase liquid jet on a surface. Developed has been a numerical model of a flow in the

bości filmu oraz współczynników przemian ciepła, uzyskując dobrą zgodność z wynikami modelu analitycznego.

W grupie przepływów turbulentnych badania dotyczyły dwupunktowych statystyk pola prędkości oraz wykorzystania analizy falkowej do badań obszaru przyściennego w przepływie turbulentnym. Łącznie z modelowaniem stochastycznym przepływów turbulentnych w opisie jednopunktowym zostały one wykorzystane w modelowaniu dynamiki chwilowych struktur turbulentnych. Metody funkcji gęstości prawdopodobieństwa oraz nielokalny opis oddziaływań turbulentnych z relaksacją eliptyczną wykorzystano w opisie turbulencji przyściennej. Zaproponowano modele do obliczeń przepływów przyściennych z wymianą ciepła przy wykorzystaniu tzw. funkcji ścianki oraz z całkowaniem równań przepływu w podwarstwie lepkiej.

W celu zrozumienia podstawowych zjawisk ma poziomie nano- i mikroskali, gdzie wpływ struktury (nano)cieczy na jej własności fizyko-chemiczne jest fundamentalny, przedstawiono podstawowe aspekty wymiany ciepła w nanocieczach oraz wskazano na główne czynniki wpływające na poprawę wymiany ciepła. Mikrostrukturalne podstawy modelowania ruchu termicznego w cieczy zostały wykorzystane w opisie balistyczno-dyfuzyjnego przewodnictwa ciepła w cienkich warstwach w warunkach nierównowagowych.

W modelowaniu lepko-niesprężystych zachowań ciała stałego (zniszczenie, propagacja pęknięć, lokalizacja

film formed through impingement of a single phase liquid jet and performed have been calculations of the film thickness and heat transfer coefficients, where a good consistency has been attained with the results of analytical model.

In the area of turbulent flows investigations regarded two-point velocity field statistics and utilisation of wavelet transform for investigations of the near-wall region in the turbulent flow. Together with a stochastic modelling of turbulent flows in the single-point description these have been used in modelling of dynamics of instantaneous turbulent structures. Methods of probability density functions and non-local description of turbulent interactions with elliptical relaxation have been used in description of near-wall turbulence. Suggested have been the models for calculation of near-wall flows with heat transfer utilising the so called wall functions and integration of flow equations in the viscous sublayer.

In order to understand fundamental phenomena on the nano and microscale, where the influence of (nano)liquid structure on its physical and chemical properties is fundamental, there have been presented basic aspects of heat transfer in nanoliquids and indicated have been major factors influencing the increase of heat transfer. Microstructural foundations of modelling of thermal motion in liquid have been used in the description of a ballistic-diffusive thermal conduction in thin layers under non-stationary conditions.

uplastycznienie, etc.) zaproponowano termodynamicznie spójną, nielokalną, gradientową teorię w ramach mikrostrukturalnego kontinuum. Umożliwia ona uwzględnienie m.in. mechanizmów zniszczenia na dwóch różnych poziomach organizacji ciała, przy wykorzystaniu skalarnych, wektorowych i tensorowych miar zniszczenia.

Aplikacyjna część badań obejmowała usprawnienie wielostopniowych urządzeń strumienicowych odsysających szkodliwe gazy z układów próżniowych. Opracowano typoszereg strumienic parowych pracujących w wielostopniowych urządzeniach strumienicowych oraz zaproponowano organizację spływu skroplin z kolejnych chłodnic. Opracowano ponadto nowy sposób zasilania chłodnic w układzie ciepłym elektrociepłowni.

O2/Z7/T1 Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Badania prowadzone w roku 2003 dotyczyły

- (i) termicznej warstwy przyściennej na płaskiej płycie,
- (ii) pola przepływu za generatorem śladów spływowych oraz
- (iii) wentylatorów osiowych.

W ramach eksperymentalnych prac badawczych poświęconych przejściu laminarno-turbulentnemu na płaskiej płycie oraz jego modelowaniu, wykonano pomiary transportu ciepła

In the area of modelling of viscous and non-elastic behaviour of a solid body (damage, crack propagation, plastification, etc.) there has been postulated, thermodynamically consistent, non-local, gradient theory in the frame of microstructural continuum. It enables consideration of, amongst the others, mechanisms of damage on two different levels of body organisation, using the scalar, vector and tensor damage measures.

An application part of investigations encompassed improvement of multi-stage ejector systems removing harmful gases from the vacuum systems. Developed has been a series of steam ejectors operating in the multistage ejector systems and postulated has been organisation of the condensate flow from subsequent coolers. Developed has been, additionally, a new way of supplying of coolers in the thermal cycle of the thermal power plant.

O2/Z7/T1 Laminar-turbulent transition in fluid-flow machinery

Investigations performed in 2003 regarded

- (i) *thermal boundary layer in a flat plate,*
- (ii) *flow field downstream of the generator of wakes and*
- (iii) *axial ventilators.*

In the frame of experimental investigations devoted to laminar-to-turbulent

od podgrzewanej płyty do przepływu, tj. zbadano własności cieplne termicznej warstwy przyściennej na podgrzewanej płaskiej płycie. Wyznaczono zależność liczby Stanton od liczby Reynoldsa dla różnych warunków przepływu zewnętrznego, a w szczególności dla przepływu z niskim i podwyższonym poziomem turbulencji. Ponadto udoskonalono metodę jednoczesnego pomiaru prędkości i temperatury w termicznej warstwie przyściennej. Metoda ta wykorzystuje dwuwłóknową sondę termoanemometryczną.

Oprócz badań termicznej warstwy przyściennej prowadzono badania śladów spływowych za wirującym bębniem cylindrów, wykazując przede wszystkim zależność częstotliwości wirów od lokalnej prędkości wypadkowej ruchu cylindra w strumieniu powietrza. Do tych badań użyto analizy falkowej fluktuacji prędkości. W przypadku ruchomego generatora śladów, stwierdzono w nim istnienie wirów o różnych częstotliwościach, zależnych od amplitudy lokalnej prędkości bezwzględnej ruchu cylindra względem powietrza. Fakt ten należy uwzględnić w badaniach oddziaływania śladów spływowych na warstwę przyścienną na płaskiej płytce. Można ponadto stwierdzić, że takie pole prędkości, z wirami o silnie zróżnicowanych częstotliwościach, może być przydatne do badania turbulencji niehomogenicznej z silnym oddziaływaniem wirów pomiędzy sobą.

Badana wentylatorów osiowych miały na celu znalezienie metody obniżenia ich hałasu. Przebadano

transition on a flat plate and its modeling conducted have been the measurements of heat transport from the heated plate to the flow, i.e. investigated have been thermal properties of a thermal boundary layer on a heated flat plate. Determined has been the relation between the Stanton number and the Reynolds number for different conditions of external flow, and the flow with a low and high level of turbulence in particular. Additionally, improved has been a method of simultaneous measurement of velocity and temperature in the thermal boundary layer. Such method utilizes a two-wire thermoanemometric probe.

Apart from investigations of thermal boundary layer conducted have been investigations of wakes downstream of a rotating barrel of cylinders showing, first of all, that dependence of the frequency of eddies on local resultant velocity of cylinder motion in the air jet. The wavelet transform method of velocity fluctuation has been used in such investigations. In the case of a movable wake generator there has been concluded existence of eddies with different frequencies, dependent on local amplitude of absolute velocity of cylinder motion with respect to air. Such fact must be considered in investigations of interaction of wakes on the boundary layer on a flat plate. Additionally, it can be concluded that such velocity field, with eddies having highly differentiated frequencies, can be applicable in investigations of non-homogeneous turbulence with strong mutual eddy interaction.

wentylator z łopatkami skośnymi i jego charakterystyki porównano z wentylatorem z łopatkami prostymi. Modyfikacji podlegały również długość cięciwy profilu i kąt ustawienia w przepływie. Stwierdzono, że charakterystyki aerodynamiczne obu wentylatorów są praktycznie jednakowe, zaś hałas wentylatora z łopatkami skośnymi jest od 6 do 9 dB niższy od hałasu wentylatora z łopatkami prostymi.

Investigations of axial ventilators were aimed at finding the method of reduction of their noise. Investigated has been a ventilator with skewed blades and its characteristics have been compared against the characteristics of a ventilator with straight blades. Also the profile lengths chords and the incidence angle were subject to modification. It has been concluded that the aerodynamical characteristics of both ventilators are practically identical and the noise of a ventilator with skewed blades is lower by 6 to 9 dB from the noise from a ventilator with straight blades.

Roman Kwidziński

Translated by D. Mikielewicz