

**O2**

**Zagadnienia termomechaniki płynów**

**Problems of thermomechanics of fluid**



## Zagadnienia termomechaniki, eksploatacji i diagnostyki cieplno-przepływowej turbin

Prace wykonywane w roku 2001 dotyczyły zwłaszcza zastosowania numerycznej mechaniki płynów (CFD) do projektowania układów przepływowych turbin. Skupiono się również na diagnostyce obiegów cieplnych siłowni parowych, uwzględniając także zagadnienia eksploatacyjne.

Prace prowadzone w tematyce związanej z CFD dotyczyły głównie analiz przepływu pary przez układy łopatkowe maszyn wirnikowych w modelu 3D z uwzględnieniem lepkości. Wykorzystując dostępne dane eksperymentalne stopni turbinowych, zweryfikowano obliczenia strat przepływu przy zastosowaniu różnych modeli turbulencji. Przy pomocy zmodyfikowanego kodu obliczeniowego FlowER zrealizowano obliczenia 5 stopniowej części NP turbiny parowej z uwzględnieniem przecieków i upustów, uzyskując dobrą zgodność z własnymi danymi eksperymentalnymi. Kontynuowano także badania teoretyczne niestacjonarnych efektów związanych z oddziaływaniem śladu kierowniczego z wieńcem wirnikowym w stopniu turbinowym. W analizie uwzględniono niejednorodną, wirową strukturę śladu. Pozytywnie zweryfikowano możliwości poprawy sprawności stopnia przez odpowiednie ukształtowanie wlotu kierownicy w obszarze przecieku pary z nadbandażowanej

## Problems of thermomechanics, operation and thermal hydraulic diagnostics of turbines

*The works conducted in 2001 were predominantly concerned with implementation of computational fluid dynamics (CFD) in the design of flow systems in turbines. Attention has also been focused on the diagnostics of thermal cycles of steam turbines, including also the operational issues.*

*The works conducted in the framework of CFD regarded primarily the analysis of the steam flow through blading systems of rotating machinery using a 3D model with account of viscosity. Utilising the available experimental data on the steam turbines verified have been calculations of flow losses using various models of turbulence. Realised have been calculations of a 5 stage LP part of steam turbine with account of leaks and sinks using a modified computational code FlowER. A good consistency with own experimental data has been obtained. Continued also have been theoretical investigations of non-stationary effects connected with the interaction between the guide wake and the rotor blade rim in the turbine stage. In the analysis incorporated has been non-homogeneous, vortex structure of the wake. Positively verified has been the possibility of the stage efficiency improvement by means of adequate profiling of the guide vane entrance in the region of steam leakage from the*

łopatki wirnikowej. Kontynuowano także badania dotyczące króćców wylotowych turbin, które zaowocowały modernizacją turbin w Elektrowni Bełchatów. Wykonano również obliczenia wybrane stopnia sprężarki promieniowej.

W ramach zadania dotyczącego diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych zrealizowano diagnostykę z prognozowaniem remontu aparatów składowych obiegów cieplnych turbin. Wykorzystano przy tym specjalistyczne systemy monitoringu cieplno-przepływowego w istniejących elektrowniach. Szczegółowo zajęto się problemem oceny weryfikacji danych pomiarowych pochodzących z takich systemów monitoringu.

Spełnienie wymagania pokrycia zapotrzebowania na potrzeby grzewczo-komunalne oraz na parę technologiczną, przy wyprodukowaniu jednocześnie maksymalnej mocy elektrycznej w różnych warunkach zapotrzebowania i otoczenia, powoduje konieczność zmiany sposobu kontroli zbieżności bilansowych obliczeń obiegu. W związku z tym zaproponowano i sprawdzono możliwość realizacji tej kontroli poprzez zmianę metody obliczenia zaworów odcinających.

*rotor blade without the shroud. Continued have also been investigations of turbine outlet sockets, which borne fruits in the form of modernisation of turbines at Bełchatów Power Station. Conducted also have been calculations of a selected stage of a radial compressor.*

*In the frame of the problem regarding the thermal hydraulic diagnostics of steam turbines conducted has been the diagnostics of components in steam turbines with estimation of future overhauls. Utilised have been, at the same time, the specialist systems of thermal hydraulic monitoring in existing power stations. A particular interest has been devoted to the assessment of measurement data verification coming from such monitoring systems.*

*Fulfilling a demand to cover the heating and technological steam requirements, and production at the same time of a maximum electrical power under varying demand and ambient conditions necessitates the change of the way of control of balance convergence of the cycle calculations. With that respect proposed has been and tested the possibility of realization of such control by means of the change of the calculation method of cut-off valves.*

## **Przepływy transoniczne z silnymi oddziaływaniami**      **Transonic flows with strong interactions**

Badania prowadzone w Zakładzie Przepływów Transonicznych obejmowały trzy zasadnicze kierunki: analiza przecinania się trzech fal uderzeniowych,

*Investigations conducted at the Transonic Flows Division encompassed three principal directions: analysis of interception of three shock waves, formation*

formowanie się przepływów wtórnych w palisadzie turbinowej, niestacjonarne zachowanie się fali uderzeniowej pod wpływem wymuszeń.

Zagadnienie przecinania się trzech fal uderzeniowych występuje zazwyczaj w oddziaływaniu fal uderzeniowych z warstwami przyściennymi. Złożoność tego zjawiska powoduje, że do tej pory nie był jasny rządzący nim mechanizm. Prowadzone badania eksperymentalne prowadzą do lepszego poznania badanego zjawiska i mechanizmów, które decydują o strukturze fal uderzeniowych. Pewne szczegóły wymagały bardziej wnikliwego spojrzenia na zjawisko przy pomocy symulacji numerycznych.

Badania struktur przepływów wtórnych związane są z wcześniejszymi pracami oraz z obecnie realizowanym grantem europejskim AITEB. W celu zdobycia doświadczeń z kodem SPARK oraz z nowym klastrem komputerowym przeprowadzono symulację przepływu 3D przez palisadę liniową. Analiza numeryczna przepływów wtórnych wykazała zgodność wyników z eksperymentem. Daje to zaufanie do wykorzystanej metody numerycznej oraz pozwala na dalsze testy głównie pod kątem modelowania turbulencji.

Zagadnienie niestacjonarnych oddziaływań fali uderzeniowej z warstwą przyścienną związane jest z rozpoczętymi pracami zmierzającymi do kontrolowania powstawania fali uderzeniowej na płacie wirnika helikoptera. Jako pierwszą próbę podjęto symulację numeryczną przepływu przez dyszę z falą uderze-

*of secondary flows in the turbine palisade, non-stationary behaviour of excited shock waves.*

*The problem of interception of three shock waves is present usually in the interaction of shock waves and the boundary layers. The complexity of that phenomenon renders that the governing mechanism has yet to be clarified. Conducted experimental investigations lead to a better understanding of the investigated phenomenon and mechanisms, which decide about the structure of shock waves. Some details required more insight into the phenomenon using the numerical simulations.*

*Investigations of the secondary flow structures are connected with earlier works, as well as with the presently executed European research project AITEB. In order to gain experiences with the code SPARK as well as a new computer cluster conducted have been 3D flow simulations through a linear palisade. Numerical analysis of secondary flows showed a consistency between the results of calculations and the experiment. This provides confidence in the applied numerical method and enables further tests primarily to model turbulence.*

*The problem of non-stationary interactions of a shock wave and the boundary layer is connected with earlier commenced works aimed at control of the shock wave appearance on the helicopter rotor blade. As a first attempt undertaken has been a numerical simulation of the flow through a nozzle with the shock wave at varying outlet pres-*

niową przy zmiennym ciśnieniu na wylocie. Niestacjonarne zachowanie się fali uderzeniowej wskazuje na to, iż częstotliwość wzbudzeń oddziałuje na amplitudę fali już od bardzo małych częstotliwości.

## **Modelowanie procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych**

Modernizacje kotłów pyłowych i fluidalnych zmierzające do obniżenia emisji szkodliwych substancji, przy jednoczesnym podwyższeniu sprawności, dyspozycyjności, elastyczności ruchowej i obniżeniu stopnia ich degradacji wymagają nowej organizacji paleniska, zasilania w powietrze, nowych technik przygotowania mieszanki paliwowej i utleniacza. W kotłach fluidalnych dodatkowo ważnym elementem jest przygotowanie materiału inertnego, sposób jego doprowadzenia i separacji w cyklonach. W zakładzie zajmowano się modelowaniem numerycznym procesu spalania, przepływu spalin i wymiany ciepła w kotłach pyłowych i fluidalnych. Otrzymane rezultaty w sposób ilościowy zgadzają się z danymi producenta. Przedstawiono także koncepcję modelowania kotła pyłowego nadkrytycznego nowej generacji typu Lippendorf. Koncepcja ta zakłada współdziałanie między kodami CFD i kodami CFM. Podjęto się także pionierskiego zadania zamodelowania procesu separacji materiału

*sure. Non-stationary behaviour of the shock wave indicates that the frequency of excitation influences the amplitude of a shock wave starting from very small frequencies.*

## **Modelling of the processes of pro-ecological combustion in power engineering systems**

*Modernisation of pulverized-fuel boilers as well as fluidized-bed boilers aimed at reduction of emissions of harmful substances and simultaneous increase of efficiency, availability, operational flexibility and reduction of the degree of their degradation require a new organization of the furnace, air supply, new technologies of preparation of the fuel mixture and the oxidant. In the case of fluidized-bed boilers additionally important is preparation of inert material, its delivery and separation in cyclones. In the group numerical modelling has been conducted of the combustion process, flue gas flow and heat transfer in the pulverized-fuel as well as fluidized-bed boilers. Obtained results agree quantitatively with the producer's data. Presented has also been a concept of modelling of a supercritical pulverized-fuel boiler of a new generation of the Lippendorf type. That concept assumes interaction between the CFD and CFM codes. Undertaken also has been a pioneering task of modelling the separation process on the inert material in the*

inertnego w kotle fluidalnym bloku nr 1 w Elektrowni Turów.

Dążenie do spalania zapewniającego niskie emisje  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  jest źródłem nowych zagadnień badawczych związanych z brakiem zrozumienia techniki bezpłomieniowego spalania (flameless oxidation). Redukcja emisji w bezpłomieniowym spalaniu jest jeszcze nie opanowanym zjawiskiem przynoszącym szybką degradację drogich części turbiny. Przeprowadzone symulacje numeryczne pozwoliły uzyskać wirtualny, przestrzenny (3D) obraz procesu spalania w turbinie GT26. Spalanie bezpłomieniowe zamodelowano 185-równaniowym procesem chemicznym wykorzystującym 50 składników powstających w spalaniu niezupełnym i niecałkowitym. W ten sposób określono poziom zanieczyszczeń w emitowanych spalinach. Prowadzono także badania nad zaawansowanymi układami czadnika węgla + turbina gazowa + kocioł odzysknicowy. Takie układy są podstawą tzw. *Czystych Technologii Węglowych* dynamicznie rozwijanych na świecie. Poddano również analizie technologie gazyfikacji pod kątem modeli matematycznych CFM.

## **Badanie zjawisk i modelowanie przepływów dwufazowych**

Badania prowadzone w zakładzie koncentrują się na dwóch grupach zagadnień:

*fluidised-bed boiler No. 1 at Turów Power Station.*

*The endeavour into better understanding of the combustion processes ensuring small emissions of  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  is a source of new research problems linked to a lack of comprehension of the flameless oxidation technique. Reduction of emissions during the flameless oxidation is still a phenomenon lacking a proper understanding and rendering a fast degradation of expensive parts of the turbines. Conducted numerical simulations enabled to obtain a virtual spatial (3D) picture of the combustion process in the GT26 turbine. Flameless oxidation has been modelled using a chemical process with 185 equations utilizing 50 components occurring in the incomplete and imperfect combustion. In that way determined has been the level of impurities in emitted flue gases. Conducted also have been investigations on the advanced systems gas generator + gas turbine + waste-heat boiler. Such systems are the foundations of so called Clean Coal Technologies which are dynamically being developed in the world. Analysed also have been the technologies of gasification with the view to be modelled using CFM mathematical models.*

## **Investigations of phenomena and modelling of two-phase flows**

*Investigations conducted in the Division focus on two groups of problems:*

- |   |   |
|---|---|
| (i) modelowanie ciągłego ośrodka dwufazowego,   | (i) <i>modelling of a continuous two-phase medium,</i>  |
| (ii) modelowanie teoretyczne i numeryczne turbulencji w ośrodkach jedno- i wielofazowych. | (ii) <i>theoretical and numerical modelling of turbulence in single and multiphase media.</i> |

Do grupy pierwszej zaliczyć należy prace związane z analizą wpływu nierównowagi termodynamicznej między fazami na własności falowe ośrodka dwufazowego oraz określeniem zasad modelowania tej nierównowagi w oparciu o metody rozszerzonej termodynamiki procesów nieodwracalnych (Extended Irreversible Thermodynamics, EIT). Procesy nierównowagowe zachodzące w przepływach dwufazowych mają bezpośredni wpływ na własności dyspersyjne mieszaniny cieczy i pary. Analiza matematyczna tego zjawiska, wykorzystująca model jednorodny, pozwala wyjaśnić zjawiska związane z osiąganiem prędkości krytycznej podczas flashingu, istnienie nierównowagi między mierzonym ciśnieniem hydrodynamicznym a ciśnieniem termodynamicznym podczas szybkiej dekompresji cieczy, a także powstawanie i ewolucję fali uderzeniowej w ośrodku pęcherzykowym.

W 2001 roku podjęto badania zjawisk falowych obserwowanych podczas kondensacji bezpośredniej. Celem tych prac jest rozpoznanie mechanizmów prowadzących do rozwinięcia się niestabilności powierzchni międzyfazowej.

Do drugiej grupy zagadnień należy zaliczyć prace związane z analizą eksperymentalną pola prędkości w strefie przyściennej w przepływie turbulent-

*To the first group can be included works connected with the analysis of the influence of thermodynamic non-equilibrium between phases on the wave properties of a two-phase medium and determination of the principles of modelling of such non-equilibrium based on the methods of Extended Irreversible Thermodynamics, (EIT). Non-equilibrium processes occurring in the two-phase flows have a direct influence on disperse properties of the liquid-vapour mixture. Mathematical analysis of this phenomenon, conducted on the basis of a homogeneous model, enables explanation of the phenomena connected with the attainment of critical velocities during flashing, existence of the non-equilibrium between measured hydrodynamical pressure and thermodynamical pressure during fast liquid decompression as well as formation and evolution of a shock wave in the bubbly medium.*

*In 2001 commenced have been investigations of wave phenomena observed during direct contact condensation. The aim of these works was to distinguish mechanisms leading to the development of instability of interface surface.*

*To the second group of problems must be included works connected with the experimental analysis of the veloci-*



nym w kanale płaskim. Wykorzystując technikę noża świetlnego (PIV) uzyskano eksperymentalne realizacje pól prędkości przepływu, które poddano analizie statystycznej metodą rozwinięcia w tzw. empiryczne funkcje własne (POD). Wyznaczono w ten sposób pole prędkości związane z charakterystyczną dla strefy przyściennej koherentną strukturą wirową.

W zakresie modelowania turbulencji metodą funkcji gęstości prawdopodobieństwa (PDF) przeprowadzono pierwsze obliczenia dynamiki przepływu oraz pól temperatury (traktowanej jako pasywna zmienna skalarna) w obszarze przyściennym, bez dodatkowych hipotez upraszczających co do warunków brzegowych stawianych w tzw. strefie logarytmicznej. Wykonano także pierwsze prace dotyczące uwzględnienia korelacji dwupunktowych pola prędkości w modelowaniu strefy przyściennej.

## **Ruch i wymiana ciepła przy zmianach fazowych w obecności pól masowych**

Przedmiotem badań były zagadnienia związane z wymianą ciepła i masy, przepływami strug ciecży, badaniem własności czynników chłodniczych oraz termodynamiki obiegów prawo- i lewobieżnych. Prace dotyczyły następujących zagadnień: wymiany ciepła w amoniakalnych urządzeniach chłodniczych, intensyfikacji wymiany ciepła przy skraplaniu pary, diagnostyki niskoprężnej części obiegu cieplnego, zwilżalności

*ty field in the near-wall zone in the turbulent flow in a channel. Using the technique of a Particle Image Velocimetry obtained have been experimental velocity fields, which have been analysed statistically by means of a method of the proper orthogonal decomposition. Determined in this way has been a velocity field with a characteristic to the boundary layer coherent vortex structure.*

*In the framework of turbulence modelling by means of probability density function (PDF) conducted have been first calculations of the flow dynamics and temperature fields (regarded as a passive scalar variable) in the near-wall region without additional simplifying hypothesis in formulation of the boundary conditions in the so called logarithmic zone. Conducted have also been first studies concerning implementation of two-point velocity field correlations in modelling of the near-wall region.*

## **Motion and heat transfer during phase changes in the presence of mass fields**

*The topic of investigations were the problems connected with heat and mass transfer, liquid streams flows, investigations of properties of refrigerants and thermodynamics of clockwise and anti-clockwise cycles. The works touched upon the following topics: heat transfer in ammonia refrigeration apparatus, intensification of heat transfer during vapour condensation, diagnostics of a low-*

powierzchni przez grawitacyjne strugi cieczy, problemów modelowania strumieni dwufazowych, niektórych problemów obiegów chłodniczych.

W pracach dotyczących wymiany ciepła w amoniakalnych urządzeniach chłodniczych przedstawiono podstawowe mechanizmy fizyczne zjawisk kondensacji i wrzenia oraz ich opisy analityczne, cytując obszernie nowoczesną literaturę z tego zakresu. Dla celów praktycznych zarekomendowano odpowiednie formuły obliczeniowe zarówno z wymiany ciepła jak i z zagadnień przepływów oraz opracowano własne programy użytkowe do obliczenia własności fizycznych. W dziedzinie intensyfikacji wymiany ciepła przy skraplaniu najwięcej uwagi poświęcono wykorzystaniu pola elektrycznego. Prowadzono badania eksperymentalne drenażu skroplin przy różnej konfiguracji elektrody oraz przy różnym napięciu elektrycznym, które potwierdziły istnienie dużej intensyfikacji wymiany ciepła spowodowanej przyłożeniem pola elektrycznego. Zaproponowano także uproszczony model zjawiska drenażu skroplin.

Prace dotyczące diagnostyki urządzeń skraplających parę wodną dotyczyły zakłóceń pracy tych urządzeń wynikających z oporów cieplnych wywołanych nadmierną ilością powietrza w parze oraz zabrudzeniami powierzchni. Opracowano metody obliczania tych oporów.

Następna tematyka badawcza jest związana z modelowaniem nadkrytycznych strumieni dwufazowych para-ciecz. Jest to bardzo nietypowa stru-

*pressure part of a thermal cycle, surface wettability by gravitation driven liquid streams, problems of two-phase ejectors modelling, selected problems of refrigeration cycles.*

*In the works regarding the heat transfer in ammonia refrigeration apparatus presented have been fundamental physical mechanisms of condensation and boiling with their analytical description based on abundant citations of modern literature on that topic. For the practical purposes recommended have been adequate calculation formulas both on heat transfer and hydraulic problems as well as developed have been own codes for calculation of physical properties. In the area of intensification of heat transfer during condensation most of attention has been devoted the analysis of the influence of electric field. Conducted have been experimental investigations of the condensate drainage at various configurations of the electrode and varying voltage, which confirmed existence of a significant intensification of heat transfer caused by application of the electric field. Proposed also has been a simplified model of condensate drainage phenomenon.*

*The works regarding diagnostics of the equipment condensing the steam regarded the malfunction of operation of such apparatus resulting from the thermal resistance induced by excessive amount of air in steam as well as fouling. Developed have been methods for calculations of such resistances.*

*The next framework of research is*

mienica dwufazowa, w której występuje nadkrytyczny przepływ pary wodnej w kontakcie z zimną wodą. Na skutek różnicy prędkości i temperatur między tymi fazami, występuje w takiej strumienicy szereg interesujących zjawisk fizycznych związanych z wymianą masy, pędu i energii między cieczą i parą.

## Dynamika ośrodków wielofazowych w polu elektrycznym

Celem pracy było poznanie zjawisk oddziaływania pola elektrycznego na czynniki dwufazowe. W ramach tego tematu zbadano zjawisko elektrostatycznego oddziaływania strug swobodnych podczas rozpylania elektrohydrodynamicznego cieczy. Dodatkowe prace obejmowały określenie rozplywu prądu jonowego w elektryzatorze z przemienym polem elektrycznym.

Badania przeprowadzono dla rozpylacza czterodyszowego pracującego w różnych konfiguracjach elektrod indukcyjnych. Rozpylacze tego typu wykorzystywane są w skrubkach elektrostatycznych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że proces rozpylania przebiega odmiennie w zależności od umiejscowienia dysz w układzie. Strugi wypływające z dysz położonych na krańcach układu są wypychane na zewnątrz, co powoduje zniekształcenie stożka rozpylania, jednak jednocześnie w obszarze tym istnieje najbardziej korzystny rozkład pola elektrycznego powodujący, że inicjacja pożądanego

*connected with modelling of supercritical two-phase vapour-liquid ejectors. That is a very limited two-phase ejector, where there is a supercritical flow of wet steam in a contact with cold water. Due to the velocity and temperature difference between these phases there occur a series of interesting physical phenomena connected with mass, momentum and energy exchange between liquid and steam.*

## Dynamics of multiphase media in electric field

*The aim of the work was investigation of the influence of electric field on the two-phase media. In the frame of that topic investigated has been the phenomenon of electrostatic interaction of free jets during electrohydrodynamic liquid spraying. Additional works encompassed determination of the propagation of the ion current in the charger with alternating electrical field.*

*Investigations have been conducted for the four-nozzle sprayer operating in different configurations of induction electrodes. Sprayers of that type are used in electrostatic scrubbers. As an effect of investigations it has been concluded that the spraying process is different with respect to the location of nozzles in the system. Streams flowing out the nozzles located at the ends of the system are forced out, which renders deformation of the spraying cone. At the same time in that region there is the most favourable distribution of*

modu rozpylania, w badanym przypadku modu precesyjnego, następuje dla niższych napięć, niż dla dysz wewnętrznych.

Przeprowadzone badania rozpyłu prądu jonowego w elektryzatorze z przemiennym polem elektrycznym, przeznaczonego do elektryzowania aerozolu za pomocą prądu jonowego, umożliwiły określenie optymalnej geometrii układu elektrod pozwalającej na maksymalizację ładunku przestrzennego w obszarze elektryzacji, a także na maksymalizację ładunku naniesionego na krople lub cząstki pyłu.

## Transport ciepła w strugach i filmach

Badania prowadzone w zakładzie miały na celu rozwijanie modeli matematycznych zagadnień transportu masy, ciepła i pędu w jedno- i dwufazowym filmie cieczowym powstałym z uderzenia strugi na powierzchnię. W celu uwzględnienia wpływu lokalnej nierównowagi procesu na dynamiczne charakterystyki transportu, część teoretyczną zagadnienia rozszerzono na procesy wymiany masy, ciepła i pędu zarówno na poziomie mikrostrukturalnym, jak i na poziomie jego globalnych cech.

W wyniku badań nad procesami transportu ciepła w strugach jedno- i dwuwymiarowych uzyskano układy równań modelujące zachowanie rozpyłu warstwy cieczy na powierzchni. W oparciu o rozkład prędkości i temperatury w filmie cieczowym wyznaczono

*electric field causing that the initiation of the required spraying mode, in the case of the precession mode, starts at lower voltage than in the case of internal nozzles.*

*Conducted investigations of the propagation of ion current in the charger with alternating electric field, developed for aerosol charging by means of ion current, enabled determination of the optimal geometry of the system of electrodes making possible maximisation of the spatial charge in the region of charging as well as maximisation of charge brought to the droplets or the dust particles.*

## Transport of heat in jets and films

*The works conducted in the group were aimed at the development of mathematical models of mass, heat and momentum transport in single- and two-phase liquid film formed after impinging of a jet on the surface. In order to include the influence of local imbalance on the dynamic characteristics of the process the theoretical part the problem has been extended onto the processes of mass, heat and momentum transfer both on the microstructure and its global features.*

*As a result of investigations on the processes of heat transport in one- and two-dimensional jets obtained have been systems of equations modelling the behaviour of the split of a liquid layer on the surface. Based on the velocity*

współczynnik tarcia filmu o powierzchnię, współczynnik przejmowania ciepła i liczbę Nusselta. W większości przypadków uzyskano wyniki w postaci analitycznej, co ułatwia przeprowadzenie dyskusji rozwiązań jak i ocenę ich przydatności do celów praktycznych.

W części aplikacyjnej tematu badano wpływ gazów inertnych na procesy kondensacji w powierzchniowych wymiennikach ciepła oraz analizowano skuteczne sposoby ich ograniczania w kondensatorach. Obecność tych gazów powoduje znaczny wzrost ciśnienia kondensacji, co w efekcie prowadzi do znacznych strat energetycznych w instalacjach przemysłowych. Prace wdrożeniowe obejmują modernizację układu przepływowego urządzeń strumieniowych z chłodnicami, lokalizację nieszczelności w układach próżniowych bloków energetycznych oraz pomiar parametrów termodynamicznych układów próżniowych.

Dodatkowo w zakładzie prowadzono badania diody termicznej z niesymetrycznym ogrzewaniem bocznym i jednofazowym czynnikiem roboczym. Analizowano przede wszystkim przepływ turbulentny w pętli cyrkulacyjnej. Badano wpływ parametrów termicznych i geometrycznych na natężenie przepływu. Pracowano także nad zagadnieniem wymiany ciepła przy przejściu z przepływu nadkrytycznego do przepływu krytycznego w obszarze uskoku hydraulicznego przy uderzeniach strugi cieczy o powierzchnię. Powstały także prace dotyczące rozszerzenia podejścia mikrostrukturalnego

*and temperature profiles in the liquid films determined has been the film friction factor, the heat transfer coefficient and the Nusselt number. In the majority of cases obtained have been the results in the analytical form, which enables conducting of a discussion of the solution as well as the assessment of their applicability in practical purposes.*

*In the application part of the topic investigated has been the influence of inert gases on the condensation processes in surface heat exchangers and analysed have been efficient ways of their limitation in condensers. The presence of such gases renders a significant condensation pressure increase, which in effect leads to significant energy losses in industrial installations. The implementation works encompass modernisation of a hydraulic system, ejector systems with coolers, location of leakages in vacuum systems of power engineering units as well as the measurement of thermodynamical parameters of vacuum systems.*

*Additionally in the group conducted have been investigations of the thermal diode with asymmetrical side heating and single phase working medium. Analysed primarily has been a turbulent flow in the circulation loop. Investigated has been the influence of thermal and geometrical parameters on the mass flowrate. Conducted also have been works on the problems of heat transfer during transition from the supercritical to subcritical flow in the region of hydraulic jump during the impingement of the liquid jet on the surface. There*

na procesy wiskotyczne z punktu widzenia jego możliwych zastosowań do zagadnień modelowania procesów zniszczenia w ciałach stałych. W ramach prezentowanych uogólnień określono m.in. ograniczenia termodynamiczne na proces deformacji ciała zarówno na poziomie mikro- jak i makroskali, z uwzględnieniem termicznych i relaksacyjnych źródeł entropii.

### **Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych**

Celem prac wykonanych w roku 2001 było poznanie pola prędkości za bębnowym generatorem śladów spływowych. Dotychczasowe badania były raczej wyrywkowe i sprowadzały się do badania oddziaływania śladów spływowych, w tym ich przecięcie w warstwie przyściennej. Opracowano krótką teorię pozwalającą wyznaczyć warunki przecinania się śladów spływowych w zależności od prędkości obrotowej generatora i prędkości napływu. Rezultaty te zweryfikowano eksperymentalnie. Stwierdzono ponadto dużą niejednorodność pola prędkości i fluktuacji prędkości oraz jego zależność od kierunku obrotów generatora.

Badania przejścia laminarno-turbulentnego w warstwie przyściennej na płaskiej płycie w warunkach niskiej turbulencji strumienia zewnętrznego koncentrowały się na pokazaniu złożonego charakteru zmienności współczynnika intermitencji w przejściowej warstwie

*appeared also works dealing with the extension of the microstructure approach in viscous processes from the point of view of possible applications in the problems of modelling of the damage processes in solids. In the frame of presented generalisations determined have been, amongst the others, thermodynamic limitations in the body deformations process both at the micro and macroscale, with account of thermal and relaxation entropy sources.*

### **Laminar-turbulent transition in fluid-flow machinery**

*The aim of the works conducted in 2001 was to examine the velocity field beyond the drum generator of wakes. Up to date investigations were rather scarce and were rather confined to investigations of the interactions of wakes, including their crossing, in the boundary layer. Developed has been a small theory enabling determination of the conditions of crossing of the wakes with respect to the generator rotational velocity and the onflow velocity. The results have been experimentally verified. Concluded also has been a significant non-homogeneity of the velocity field and velocity fluctuations as well as its dependence on the direction of the generator revolutions.*

*Investigations of the laminar-turbulent transition in the boundary layer on a flat plate under conditions of low turbulence of the external stream were*

przyściennej. Kolejny nurt zainteresowań stanowią badania przejścia laminarno-turbulentnego indukowanego śladami spływowymi. W 2001 roku skupiono się na porównaniu charakterystyk indukowanego przejścia laminarno-turbulentnego z charakterystykami przejścia laminarno-turbulentnego typu by-pass spowodowanego podwyższonym poziomem turbulencji w strumieniu zewnętrznym. Innym zagadnieniem były badania przejścia laminarno-turbulentnego spowodowanego śladem spływowym z pojedynczego cylindra.

Przedmiotem zainteresowania było także niestacjonarne pole prędkości za wirującym bębnowym generatorem śladów spływowych. Zarówno rozkład średniej prędkości jak i fluktuacji prędkości jest wtedy silnie nierównomierny. Celem tych prac jest modelowanie zjawiska *clocking effect* występującego w maszynach przepływowych. Prowadzono też prace mające na celu wygenerowanie turbulencji przy pomocy siatki umieszczonej na wlocie do komory pomiarowej i zbadanie jej charakterystyk.

*concentrated on showing of a complex character of variation of the intermittence coefficient in the transitional boundary layer. Another stream of interest was focused on investigations of the laminar-turbulent transition induced by the wakes. In 2001 attention was focused on a comparison of characteristics of an induced laminar-turbulent transition with the characteristics of the laminar-turbulent transition of the by-pass type, caused by an increased level of turbulence in the external stream. Another problem studied were the investigations of the laminar-turbulent transitions caused by the wake from the single cylinder.*

*The topic of interest was also a non-stationary velocity field beyond the drum wake generator. Both the distributions of the mean velocity and velocity fluctuations are strongly non-uniform. The aim of these works was modelling of the clocking effect phenomenon, which occurs in the fluid-flow machinery. Conducted also have been works aimed at turbulence generation by means of the grid located at the inlet to the measurement chamber and investigating its characteristics.*