

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

Prace wykonywane w Zakładzie 1 w roku 2007 skupiały się na dwóch zasadniczych kierunkach, dotyczących (1) obliczeń numerycznych przepływu lepkiego gazu przez maszyny wirnikowe i (2) diagnostyki cieplno-przepływowej turbin.

Wiodącym tematem badań były obliczenia numeryczne CFD przepływu lepkiego gazu w maszynach wirnikowych. Najbardziej znaczące osiągnięcia w tej dziedzinie wiążą się z analizą efektów niesustawianych w przepływach przez stopnie turbinowe. Dokonano syntezy dotychczas uzyskanych wyników w zakresie oszacowania ilościowych efektów oddziaływania kierownica/wirnik w stopniach turbinowych, przy czym szczególną uwagę poświęcono ocenie skali błędów, jaki wynika z niemożności dokładnego zamodelowania struktury śladu kierowniczego w kodach URANS. Prowadzono także symulacje numeryczne z dziedziny aerodynamiki układów łopatkowych turbin, dotyczące m.in. zaawansowanego projektowania geometrii tych układów. Określono możliwości podniesienia sprawności przepływowej stopni turbinowych poprzez modyfikacje geometryczne kanałów łopatkowych, w tym poprzez optymalizację kształtu przestrzennego łopatek.

W tematyce turbinowej określono

O2/Z1/T1 Problems of thermomechanics, operation and diagnostics of turbine thermal-hydraulics

The activities carried out at Division 1 in 2007 were focused on two principal directions, namely (1) numerical calculations of viscous gas flow through rotary machines and (2) thermal-hydraulic diagnostics of turbines.

A leading topic of investigations were numerical CFD calculations of viscous gas flow in rotating machines. The most important achievement in that area are related to the analysis of non-stationary effects in flows through turbine stages. A synthesis of the results obtained up to date has been accomplished in the area of qualitative estimates of the guide vane/rotor interactions in turbine stages and the most detailed attention was devoted to the assessment of the scale of the error which results from the lack of possibility of precise modeling the structure of the guide vane wake in the URANS codes. Carried out were also numerical simulations, from the area of aerodynamics of turbine blade systems, regarding, amongst the others, the advanced design of the geometry of such systems. Determined have been the possibilities of the flow efficiency increase in turbine stages by geometrical modification of blade channels, including the optimization of the spatial shape of blades.

In the area of turbine research determined also were by means of numerical

również metodami numerycznymi wpływ rurociągów upustowych (odprowadzających parę do wymienników regeneracyjnych) na symetrię przepływu turbinowego. To zagadnienie rozwiązano przy obecności silnych przecieków, które są obecne nad niebandażowanymi łopatkami wirnikowymi w części niskoprężnej.

W ramach tematu związanego z analizą pracy cieplno-przepływowej turbin parowych kontynuowano prace nad zastosowaniem dla tego celu diagnostyki typu on-line, która jest dogodniejsza dla praktycznej realizacji. Z analiz wynika, że relatywnie łatwo jest pozyskiwać symptomy niesprawnej pracy w systemie on-line wykorzystując metodę sztucznych sieci neuronowych, natomiast nie można jeszcze na tej podstawie dopracować się metod jednoznacznego rozpoznawania przyczyn degradacji.

W Zakładzie prowadzone były też prace dla przemysłu, które dotyczyły oceny i optymalizacji procesu nagrzewania turbiny przeciwprężnej w trakcie rozruchu.

O2/Z2/T1 Przepływy pod- i nadźwiękowe z silnymi oddziaływaniami

Badania prowadzone w ramach tematu Z2/T1 obejmowały następujące zasadnicze kierunki:

- badanie mechanizmów generowania wirów wzdłużnych przez skośny jet (AJVG)

methods the influence of bleeding pipelines (carrying steam to regenerative heat exchangers) on the symmetry of turbine flow. Such problem has been solved at the presence of strong leaks which are at present above the unshrouded rotor blades in the low-pressure part of turbine.

In the frame of the topic related to the thermal-hydraulic analysis of steam turbine operation continued were works on application for that purpose of the diagnostics of the on-line type, which is more practical for a practical realization. It results from the analyses that it is relatively simple to acquire the symptoms of incorrect operation in the on-line system using the artificial neural networks method, whereas it is not possible yet on that basis to work out methods of unanimous recognition of the causes of degradation.

In the Division carried out were also contracts with industry which regarded assessment and optimization of the process of reaction turbine heating during start-up.

O2/Z2/T1 Sub- and supersonic flows with strong interactions

The research carried out in the frame of the topic Z2/T1 encompassed the following principal directions of research:

- *research into the mechanisms of generation of longitudinal vortices produced by the askew jet (AJVG)*

- badanie działania generatorów wirów wzdłużnych na oderwanie na stronie podciśnieniowej łopatki turbinowej dla różnych średnic otworków i różnej podziałki ich rozstawienia
- badanie niestacjonarnych efektów w oderwaniu wywołanych falą uderzeniową
- badanie likwidacji fali uderzeniowej na wirniku śmigłowca
- badanie skutków zastosowania podkładek (penish) na charakterystyki modelu połówkowego samolotu
- analiza numeryczna i implementacja modelu przepływu przez perforowane ścianki
- wpływ efektów mikroprzepływowych na charakterystykę perforowanych ścian
- badania eksperymentalne przepływu transpiracyjnego i wpływu strumienia stycznego do ścianki na charakterystykę aerodynamiczną płytki.
- *research of operation of generators of longitudinal vortices on the separation on the subpressure part of turbine blade for different diameters of holes and their different pitch.*
- *investigation of non-stationary effects during separation caused by the shock wave*
- *research into discarding of the shock wave on the helicopter's rotor*
- *investigations of the effect of application of the penish on the aeroplane half-model characteristics*
- *numerical analysis and flow model implementation through the perforated walls*
- *influence of the microflow effects on the characteristics of perforated walls*
- *experimental investigations of transpiration flow and influence of tangential to the wall stream on the aerodynamical characteristics of the wall.*

Wymienione zagadnienia mieszczą się we wspólnej tematyce przepływów ściśliwych z silnymi oddziaływaniami oraz metod eliminacji lub zmniejszenia oderwania. Główną rozwijaną metodą jest generacja wirów wzdłużnych poprzez skośne strugi. Kontynuowano również prace nad zastosowaniem wirów wzdłużnych do kontrolowania oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścienną. Wiry

The problems outlined above fall into the common scope of works on compressible flows with strong interactions and methods of elimination or reduction of separation. The principal method under development in generation of longitudinal vortices by askew jets. Continued were also activities on application of longitudinal vortices in control of interaction of the shock wave with the boundary layer. Such vortices

te generowane są przez odpowiednio wprowadzone jety powietrza. Ponadto uruchomiono nowe metody pomiarowe: PSP, SPECLE i przetwarzanie interferogramów. Wszystkie te prace prowadzone były we współpracy z zagranicą (ONERA, Instytut w Mińsku i Cambridge University).

Tematem, który nabrał wagi w 2007 roku jest przepływ transpiracyjny przez perforowane płyty. Badania były prowadzone dwutorowo - eksperymentalnie i numerycznie. Natomiast w ramach badań drgań płytki pod działaniem niestacjonarnych sił aerodynamicznych określono wpływ sztywności płytki na charakter tych drgań.

Istotnym elementem prac badawczych wykonanych w Zakładzie 2 było także kontynuowanie realizacji czterech projektów europejskich (TLC, FLIRET, AITEB-2, UFAST) oraz współpraca z firmą NUMECA.

O2/Z2/T2 Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Badania prowadzone w tym temacie dotyczyły następujących zagadnień:

- badanie mechanizmu pojawiania się turbulencji w warstwie przyściennej indukowanej śladami spływowymi oraz przejścia typu by-pass
- badanie oddziaływania ujemnego i dodatniego strumienia (jetu) z warstwą przyścienną

are generated by appropriately introduced air jets. Additionally commissioned were new measurement methods such as PSP, SPECLE and interferogram processing. All these activities were carried out in cooperation with foreign institutions such as ONERA, an institute in Minsk, and Cambridge University.

The topic which grew in importance in 2007 is a transpiration flow through perforated slabs. Investigations were carried out in a two-fold manner, i.e. both experimentally and numerically. On the other hand in the frame of investigations into the slab vibrations under action of non-stationary aerodynamical forces determined has been the influence of the slab stiffness on the character of such vibrations.

An important element of research carried out in the Division 2 was also continuation of realisation of four EU projects, i.e. TLC, FLIRET, AITEB-2, UFAST as well as cooperation with the company NUMECA.

O2/Z2/T2 Laminar-turbulent transition in fluid-flow machinery

Investigations carried out in that topic regarded the following problems:

- *investigation of the mechanism of turbulence appearance in the boundary layer induced by wake structures and by-pass type transitions*

- badania wpływu intensywności turbulencji i skali turbulencji na parametry przejścia laminarno-turbulentnego
- wdrożenie metody uśredniania fazowego w badaniach warstwy przyściennej
- badanie analogii Reynoldsa w aerotermicznej warstwie przyściennej
- wdrożenie metody jednoczesnego pomiaru prędkości i temperatury w warstwie przyściennej
- *investigations of negative and positive interactions of the jet stream with the boundary layer*
- *investigations of the influence of turbulence intensity and turbulence scale on the parameters of laminar-turbulent transition*
- *implementation of the method of phase averaging in investigations of the boundary layer*
- *investigations of the Reynolds analogy in aerothermal boundary layer*

W ramach badań oddziaływania strumienia z warstwą przyścienną, w roku 2007 wdrożono metodę uśredniania fazowego. Następnie dokonano podziału i analizy prędkości na periodyczną i stochastyczną, pozwalającą na analizę parametrów warstwy przyściennej. Zastosowanie analizy falkowej pozwoliło z kolei na wyodrębnienie pakietów falowych i silnych zaburzeń prędkości (plamki turbulencji) oraz poszukiwanie przyczyn pojawienia się turbulencji.

W temacie dotyczącym oddziaływania skali i intensywności turbulencji wykonano badania przejścia laminarno-turbulentnego, czyli zależności liczby Stanton od liczby Reynoldsa dla różnych generatorów turbulencji (siatek), oraz wykonano obliczenia parametrów dystrybuanty rozkładu Weibulla.

Nowym zagadnieniem rozwijanym w ramach Z2/T2 jest mało dotychczas zbadany jednoczesny wpływ skali

- *implementation of the method of simultaneous measurement of velocity and temperature in the boundary layer.*

In the frame of research on interaction between the jets and boundary layer in 2007 implemented has been a method of phase averaging. Next, carried out was a split into the periodical and stochastic parts followed by analysis of velocity, which enabled studies of the boundary layer parameters. Application of the wavelet analysis enabled, on the other hand, to separate the wave packets and strong velocity disturbances (turbulence spots) and search for the reasons of turbulence generation.

In the topic related to interaction between the turbulence scale and intensity carried out were investigations into laminar-turbulent transition, namely the relation between the Stanton number and Reynolds number for different turbulence generators (grids) as well

i intensywności turbulencji na parametry przejścia laminarno-turbulentego. Wdrożono także metodę jednoczesnego pomiaru temperatury i prędkości przy pomocy dwuwłókowej sondy termooanemometrycznej. Przewiduje się wykorzystanie tej metody do określenia analogii Reynoldsa w rejonie przejścia laminarno-turbulentego indukowanego śladami spływowymi.

O2/Z3/T1 Modelowanie procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych

Zadaniem statutowym Zakładu 3 jest opracowanie narzędzi numerycznych przydatnych w modelowaniu zjawisk towarzyszących zrównoważonym technologiom energetycznym, takich jak czyste technologie węglowe, technologie z zerową emisją CO₂, technologie oparte na paliwach odnawialnych, technologie energetyki rozproszonej, technologie ogni w paliwowych. Specyfiką tematyki badawczej Zakładu jest integralne ujęcie modelowania wymagające sprzężonego opisu wymiany masy, pędu, ciepła w ciele stałym (konstrukcji) i w ciele płynnym (czynnika roboczym). Rozwijane modele 3D są stosowane do opisu pracy takich urządzeń, jak ogniwo paliwowe typu SOFC, reaktor gazyfikatora węgla i biomasy, czy też do zjawisk niskoemisyjnego spalania w palnikach turbin lotniczych lub w nadkrytycznym cyrkulacyjnym kotle fluidalnym.

W ramach prac dotyczących modelowania proekologicznego i elektrochemicznego spalania paliw, prowadzo-

as accomplished have been calculations of the parameters of the Weibull distribution function.

A new topic developed within Z2/T2 is a relatively unknown up to date simultaneous influence of the turbulence scale and intensity on the parameters of laminar-turbulent transition. Implemented also has been a method of simultaneous measurement of temperature and velocity by means of a two-fibre thermoanemometric probe. It is envisaged to utilize that method for determination of the Reynolds analogy in the area of laminar-turbulent transition induced by the wake structures.

O2/Z3/T1 Modeling of proecological processes of combustion in energy conversion devices

The statute topic of Division 3 is the development of numerical tools useful in modeling of phenomena accompanying sustainable energy conversion technologies such as clean coal technologies, zero CO₂ emission technologies, technologies based on renewable fuels, technologies of dispersed power generation, technologies of fuel cells. The specifics of the research area carried out in the Division is an integral approach to modeling requiring a coupled description of mass, momentum and heat exchange in a solid (structure) or in a fluid (working fluid). The 3D models under development are used for the description of operation of such devices as a SOFC type fuel cell, coal and biomass gasifier reactor or the issues of low emission combustion turbines or in supercritical

no dalsze badania nad elektrochemiczną reakcją spalania wodoru oraz tlenku węgla powstałego w procesie częściowego reformingu gazu ziemnego w tlenkowym ogniwie paliwowym (SOFC). Wykonano także prace podstawowe nad implementacją różnych modeli spalania ciekłej ropy lotniczej w warunkach przepływów turbulentnych i złożonej wymiany ciepła. Praktycznym rezultatem tych badań jest wskazanie przyczyn emisji NO_x i sadzy oraz niepełnego spalania paliwa.

W roku 2007 były kontynuowane prace nad numerycznym modelowaniem emisji NO_x, pyłów i sadzy w trakcie spalania pyłu węglowego i/lub ciężkiego oleju opałowego w kotłach. W związku z badaniami korozji chlorowej nawiązano kontakty z elektrociepłownią Świecie, gdzie taka korozja występuje w wyniku współspalania pyłu węglowego i mokrej biomasy (trocin). W badaniach tych wykorzystano własny model korozji naprężeniowej.

Proekologiczne problemy spalania stanowią istotną część nowoczesnych zrównoważonych technologii energetycznych. Stąd też kontynuowano szereg prac studialnych dotyczących miar zrównoważonej konwersji energii, regeneracji energii, odzysku energii odpadowej trójgeneracji czy modelowania matematycznego zbiarek bromowo-litowych. Praktycznym aspektem prowadzonych prac jest analiza energetyczno-egzergetyczna propozycji modernizacji sieci ciepłowniczej miasta Ustka (polegająca na konwersji na układ trójgeneracyjny produkujący

in airplane pressure circulation fluidized bed boiler.

In the frame of activities related to proecological and electrochemical modeling of fuel combustion further research has been established on the electrochemical reaction of combustion of hydrogen and carbon monoxide arising during the process of partial reforming of methane in SOFC. Carried out were also fundamental works on implementation of different models of combustion of kerosene under conditions of turbulent flow and coupled heat transfer. A practical outcome of these investigations is indication of the reasons of NO_x and soot emissions as well as incomplete fuel combustion.

In 2007 continued have been works on numerical modeling of NO_x, dust and soot emissions during combustion of the coal powder and/or heavy oil in boilers. In relation to the research on the chlorine corrosion a contact has been established with the Świecie CHP where such corrosion takes place as a result of co-firing of the coal powder and wet biomass (saw dust). In the research an in-house model of stress corrosion has been used.

Proecological problems of combustion form an important part of modern sustainable energy conversion technologies. Therefore several study activities have been continued related to the measures of sustainable energy conversion, exergy regeneration, recovery of waste heat, trigeneration and mathematical modeling of bromide-lithium refrigerators. A practical aspect of carried out

lód luskowy, wykorzystujący także źródła geotermalne) oraz propozycja dociażania sieci ciepłowniczej we Władysławowie.

Aplikacyjnym osiągnięciem zakładu było również rozwiązanie złożonego zadania ciepłno-przepływowego i wytrzymałościowo-dynamicznego, którego efektem jest rozpoznanie przyczyn występowania podwyższonej emisji akustycznej w turbinie 103JT.

O2/Z4/T1 Transport energii i spalanie w przepływie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

Zakład 4 powstał w 2007 roku, a jego działalność skupiała się wokół zagadnień związanych z konwersją energii chemicznej biopaliwa w energię cieplną lub elektryczną. Wykonane prace dotyczyły analizy i modelowania pirolizy biomasy, reakcji w objętości i na powierzchni, wymiana ciepła w kotle i reaktorze chemicznym, podstaw teoretycznych przepływów z reakcjami chemicznymi i przemianami fazowymi, a także wykorzystania ciepła odpadowego z ogniwa paliwowego.

W ramach prac związanych z pirolizą biomasy wyprowadzono uśrednione równania bilansowe masy i energii fazy stałej, w których szybkość odgazowania produktów została opisana wielomianami szóstego stopnia. Natomiast badania reakcji powierzchniowej prowadzono na przykładzie korozji zachodzącej na rurach komory spalania. Wykonano pomiary szybkości korozji

activities is the energy and exergy proposal of modification of the district heating (DH) network in the town of Ustka (based on conversion into the tri-generation system producing the flake ice, which uses also geothermal sources) as well as the proposal for upgrading the DH network in Władysławowo.

A practical achievement of the division was also solution of a coupled thermal-hydraulic problem as well as a stress-dynamics one as a result of which recognized have been the reasons of existence of elevated acoustic emissions in the turbine 103JT.

O2/Z4/T1 Energy transport and flow combustion using the renewable energy sources

The Division 4 has been established in 2007 and its activity was focused on problems related to conversion of chemical energy of biofuels into the thermal or electrical energy. Completed works regarded analysis and modeling of biomass pyrolysis, volumetric and surface processes, heat transfer in the boiler or chemical reactor, theoretical foundations of flows with chemical reactions and phase changes as well as utilization of waste heat from the fuel cell.

In the frame of works related to biomass pyrolysis derived have been averaged balance equations of mass and energy for the solid phase, where the rate of degassing of products was described by means of polynomials of the sixth degree. On the other hand investigations into the surface reaction have

i obliczenia zmienności procesu spalania. Ustalono, że intensywność korozji jest proporcjonalna do wariancji stopnia zmieszania.

Biomasa spalana i zgazowywana jest w urządzeniach o mniejszej skali, niż kotły energetyczne. Stąd czasy trwania procesów przetwarzania i spalania biomasy są o wiele krótsze. Inną cechą biomasy jest jej niejednorodny skład. Badając spalanie biomasy, wykonano pierwsze obliczenia wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem gazowym, a płynem chłodzącym dla kotła o mocy około 20 kW. W obliczeniach uwzględniono konwekcję gazów, promieniowanie cieplne i przewodzenia w ściankach.

W przypadku szybkich zmian objętości, np. w sytuacji odgazowania biomasy, oprócz ciśnienia termodynamicznego pojawia się lepkie ciśnienie objętościowe. Ciśnienie to uwzględniono w rozwijanym dwuciśnieniowym modelu przepływu. Przeprowadzono badania własności falowych tego modelu, który okazał się być hiperboliczny i dyspersyjny, i w którym prędkość rozchodzenia się zaburzeń pośrednio zależy od gradientu prędkości. Prowadzono także prace dotyczące prędkości rozchodzenia się fali cieplnej. Skoncentrowano się na analizie modelu DPL (dual phase lag), będącego uogólnieniem zarówno modelu fourierowskiego, jaki nie-fourierowskiego (hiperbolicznego) przewodzenia ciepła, w kontekście jego zastosowania do opisu wymiany ciepła w gwałtownie ogrzewanych materiałach o niejednorodnej strukturze.

been carried out on the example of corrosion occurring in tubes of the combustion chamber. It has been established that the intensity of corrosion is proportional to the variance of the degree of mixing.

Biomass is burned and gasified in devices of the smaller scale than the power engineering boilers. Hence times of the persistence of processes of conversion and biomass combustion are several times shorter. Another feature of biomass is its non-homogeneous composition. Investigating the biomass combustion first calculations of heat transfer between the gas substance and a cooling fluid have been accomplished for the case of a boiler with capacity of about 20kW. In calculations considered has been gas convection, thermal radiation and conduction in walls.

In the case of fast changes of velocity, for example in situation of biomass degassing, apart from thermodynamical pressure there arises a viscous volumetric pressure. Such pressure has been accounted for in the developed two-pressure model of the flow. Carried out were investigations of wave properties of such model which turned out to be of a hyperbolic and dispersive character, where velocity of disturbance propagation depends on the velocity gradient. Carried out also were works on propagation velocity of a thermal wave. Analysis has been concentrated on the dual phase lag model (DPL), which is a generalization of both the Fourier model and a non-Fourier (hyperbolic) model of heat conduction in the context of heat

Analizując możliwości wykorzystania ciepła odpadowego z ogniwa paliwowego w celu pozyskiwania energii elektrycznej w układzie hybrydowym z turbiną gazową określono, że sprawność takiego obiegu może być porównywalna ze sprawnością obiegów standardowych.

Zakład prowadził także prace aplikacyjne, wśród których wymienić można analizę szybkości korozji siarkowej w sześciu kotłach parowych Elektrociepłowni Wybrzeże. Wyniki wykonanych pomiarów i obliczeń wskazały, że obszary o największej korozji charakteryzują się dużą zmiennością składu spalin blisko ekranów.

O2/Z5-T1 Procesy cieplno-przepływowe w urządzeniach niskotemperaturowej energetyki cieplnej

Przedmiotem prowadzonych badań były zagadnienia dotyczące badań eksperymentalnych oraz modelowania zjawisk ruchu i wymiany ciepła w procesach jedno- i dwufazowych. Dotyczyły one zarówno obiegów termodynamicznych prawobieżnych jak i lewobieżnych.

Wśród prac dotyczących poprawy sprawności obiegów lewobieżnych skoncentrowano uwagę na sprężarkowych urządzeniach ziębniczych. Przedstawiono analizę egzergetyczną urządzeń ziębniczych, pomp ciepła i urządzeń ziębniczo-grzejnych, z czego wynikają między innymi możliwości poprawy sprawności tych urządzeń poprzez intensyfikację wymiany ciepła w skrapla-

transfer description in abruptly heated materials with non-homogeneous structure.

Analysing the possibilities of utilization of waste heat from the fuel cell to generate electricity in a hybrid system featuring gas turbine it has been determined that the efficiency of such cycle can be compared to the efficiency of standard cycles.

The Division was also involved in applied activities, amongst which the analysis of the rate of sulfur corrosion in six steam boilers of Wybrzeże CHP can be mentioned. The results of carried out measurements and calculations indicate that regions with highest corrosion are characterized by a significant variation of flue gases composition close to screens.

O2/Z5-T1 Thermal-hydraulic processes in low-temperature devices of thermal power engineering

The topic of carried out investigations were problems related to experimental investigations and modeling of momentum and heat transfer phenomena in single and two-phase processes. These regarded both motor and refrigeration thermodynamical cycles.

Amongst works related to improvement of refrigeration cycle efficiency the attention was concentrated on compressor refrigeration systems. Exergetical analysis has been presented of refrigeration systems, heat pumps and heating-cooling systems which results in,

czu, bądź też zastosowanie strumienia dwufazowych zamiast zaworu rozprężnego. Rozważano również metody określenia efektywności energetycznej systemów chłodniczych i klimatyzacyjnych. Jak wiadomo, 80-95% emisji gazów cieplarnianych zależy od sprawności urządzenia, która jest bezpośrednio związana z jego energochłonnością. Zaproponowano więc koncepcję trzech systemów do bezinwazyjnego pomiaru i monitoringu energii napędowej dla instalacji chłodniczej, klimatyzacyjnej i dla pompy ciepła. Opiera się ona na wykorzystaniu sprężarki jako elementu do obliczenia strumienia masy czynnika roboczego w obiegu, poprzez ciągłe pomiary parametrów czynnika roboczego w wybranych punktach oraz pomiaru mocy elektrycznej. Podjęto także zagadnienie opracowania dokładnej metody wyznaczenia współczynnika sprawności COP urządzenia pracującego w obiegu lewobieżnym, w czasie rzeczywistym, w oparciu o pomiary termiczne obiegu i parametry elektryczne zasilania sprężarki.

Dalsze prace dotyczyły modelowania pracy komory przechowalniczej produktów spożywczych. Opracowano uproszczony model matematyczny układu, pozwalający na ocenę skuteczności sposobu regulacji z punktu widzenia stabilności temperatury w komorze. Inne prace dotyczyły numerycznej optymalizacji procesu rozptyłu powietrza w suszarni w aspekcie poprawy pracy suszarni łososia. Jest to przykład wykorzystania narzę-

amongst the others, possibilities of improvement of efficiency of these devices through intensification of heat transfer in the condenser or application of two-phase ejectors instead of throttle valves. Considered also were methods of determination of energy efficiency of refrigeration and air-conditioning systems. As known about 80-95% of greenhouse gas emissions depend on the efficiency of a device, which is directly related to its energy consumption. Therefore suggested has been a concept of three systems for non-invasive measurement and monitoring of driving energy for refrigeration air-conditioning and heat pump installations. It is based on utilisation of the compressor as an element for calculation of mass flow rate of working fluid in the cycle by continuous monitoring of working fluid parameters in selected points as well as electrical power. Additionally taken up was the issue of development of a precise method of determination of the coefficient of performance COP of a device operating in the refrigeration cycle in a real time based on thermal measurements of the cycle and electrical parameters of the compressor supply.

Further works regarded modeling of the cold storage chambers for food products. Developed has been a simplified mathematical model of a system enabling for the assessment of the efficiency of the way of control from the point of view of temperature stability in the chamber. Other works regarded numerical optimization of the air distribution in the drying house in the view

dzi numerycznych do rozwiązywania zagadnień praktycznych.

W roku 2007 kontynuowano badania charakterystyk przepływowych strumieni parowo-wodnych, mające na celu m.in. podwyższenia ciśnienia wylotowego. Wykonano też prace związane z zastosowaniem takiej strumienicy w energetyce w układzie regeneracji ciepła.

Analizie poddano też zagadnienie wpływu na proces skraplania zmian takich parametrów, jak ciśnienie, temperatura, strumień masowy, wywołanych nagłym przymknięciem zaworu w instalacji. Zagadnienie to analizowano w oparciu o równania bilansowe masy, pędu i energii dla przepływu z nierównowagą cieplną wyrażoną przez czas relaksacji.

O2/Z-6/T1 Chłodzenie ciał stałych przy pomocy przepływu jedno- lub dwufazowego w strugach swobodnych lub minikanalach

Prowadzone prace zmierzają do opracowania efektywnej metody chłodzenia powierzchni ciała stałego. Problem ten występuje w m.in. metalurgii, w wymiennikach ciepła typu ociekowego oraz w mikroelektronice. Wykonane badania dotyczyły wymiany ciepła w minikanalach, w obiegach z cyrkulacją naturalną oraz w strugach i filmach cieczowych. Celem prac w 2007 roku było skojarzenie przejmowania ciepła przez strugi z przewodzeniem ciepła w elemencie chłodzonym. Jest to zagadnienie sprzężone, które wymaga jednoczesnego rozwiązania przepływu w

of improvement of its operation in the process of salmon drying. It is an example of utilization of numerical tools for solving practical applications.

In 2007 continued have been investigations of flow characteristics of steam-water ejectors aimed at, amongst the others, increase of the outlet pressure. Carried out were also works related to application of such ejector in power engineering in the heat regeneration system.

Analysed also was the problem of the influence of such parameters as pressure, temperature, mass flow rate caused by a sudden closure of the valve in installation on the condensation process. Such problem has been analysed based on the balance equations of mass, momentum and energy for the flow with thermal non-equilibrium expressed through the relaxation time.

O2/Z-6/T1 Cooling of solids by means of single or two-phase flows in jets or minichannels

The works underway are aimed at development of the effective method of cooling of a solid body surface. Such problem exists in metallurgy, sprinkle heat exchangers and microelectronics. Carried out investigations regarded heat transfer in minichannels, in loops with natural circulations and finally jets and liquid films. The aim of works in 2007 was combination of heat transfer in jets with heat conduction in the cooling element. It is a coupled problem of solving the flow in the cooling film (arising from jet impingement) and heat

filmie chłodzącym (powstałym z uderzenia strugi) oraz przewodzenia ciepła w ciele stałym (będącym chłodzonym elementem).

Powyższe zagadnienie badane było eksperymentalnie na skonstruowanym do tego celu stanowisku badawczym, oraz analitycznie i numerycznie przy użyciu kodu CFD. Na stanowisku eksperymentalnym prowadzone były badania filmu cieczowego powstałego na skutek uderzenia strugi o powierzchnię. Uzyskano rozkład grubości filmu cieczowego na badanej powierzchni oraz określono położenie uskoku hydraulicznego. Zaproponowano korelację na bezwymiarowy promień uskoku w funkcji liczby Froude'a na wylocie z dyszy. Wyznaczono rozkład liczby Froude'a wzdłuż promienia rozprysku i potwierdzono przejście przepływu nadkrytycznego w podkrytyczny w obszarze uskoku hydraulicznego. W ramach badań nad wymianą ciepła dokonano dodatkowo wizualizacji rozkładu temperatury powierzchni przy wykorzystaniu ciekłego kryształu.

Obliczenia numeryczne zagadnień rozprysku i wymiany ciepła uderzających strug cieczy wykonano przy pomocy modelu uwzględniającego siły napięcia powierzchniowego. Uzyskane rozwiązania pozwoliły wyznaczyć grubość filmu cieczowego w całym obszarze rozprysku (wraz z występującym uskoku hydraulicznym) oraz rozkład naprężeń stycznych, współczynnika przemieszczania ciepła i temperatury na ścianie.

Zagadnienie sprzężonej wymiany

conduction in a solid (which is a cooled element).

The above problem has been investigated experimentally on a research rig specially designed for that purpose as well as analytically and numerically using a CFD code. On the research rig carried out were investigations of the liquid film formed due to jet impingement on a surface. Obtained has been a distribution of liquid film on investigated surface as well as determined has been location of the hydraulic jump. Postulated has been a correlation for the non-dimensional hydraulic jump diameter in function of the Froude number at the nozzle outlet. Determined has been a distribution of the Froude number along the radius of the film and confirmed has been the fact of transition from supercritical flow to subcritical flow in the area of hydraulic jump. In the frame of investigations on heat transfer additionally accomplished has been visualization of surface temperature using the liquid crystal.

Numerical calculations of flow and heat transfer due to impinging jets have been accomplished using a model considering the effects of surface tension forces. Obtained solutions enabled to determine the liquid film thickness in the entire area of the flow (together with the existing hydraulic jump) and distributions of shear stresses, heat transfer coefficient and wall temperatures.

The problem of coupled convective heat transfer with heat conduction was investigated analytically. As a result

ciepła konwekcji z przewodnictwem cieplnym było badane analitycznie. Otrzymano proste analityczne rozwiązanie problemu opisujące rozkład temperatury w schładzanym elemencie. Opracowano również modele stabilności i rozpadu filmu cieczowego tworzącego się po uderzeniu strugi cieczy o powierzchnię.

Dla wrzenia w kanałach konwencjonalnych i minikanalach zaproponowano nową metodę obliczania współczynnika przejmowania. Metodę wykorzystano przy analizie cyrkulacji naturalnej czynnika dwufazowego w pętli termosyfonu. Dokonano także analizy wymiany ciepła i ruchu płynu w termosyfonie dwufazowym z niecałkowitym odparowaniem, dla wariantu z ogrzewaniem od dołu i chłodzeniem bocznym.

W 2007 roku kontynuowano też badania kondensacji pary wodnej z mieszaniny parowo powietrznej w kondensatorach turbin parowych, opracowując teoretyczny model kondensacji pary wodnej na rurce rzeczywistego kondensatora.

O2/P2/T1 Zastosowanie procesów elektrohydrodynamicznych w nanotechnologii

W roku 2007 w Pracowni 2 podjęto nowe zagadnienie wykorzystania zjawisk i procesów elektrohydrodynamicznych do opracowywania nowych metod i technik wytwarzania nanostruktur. W szczególności problematyka ta dotyczy możliwości wytwarzania nanocząstek, nanowłókien, nanokapsuł

obtained has been a simple analytical solution to the problem describing the distribution of temperature in a cooled element. Developed also was a model of stability and breakdown of liquid film formed after impingement of liquid jet on a surface.

In case of flow boiling in conventional and minichannels postulated has been a new method of calculation of heat transfer coefficient. The method has been used in analysis of natural circulation of a two-phase fluid in the thermosiphon loop. Carried out was also analysis of heat transfer and fluid motion in a thermosiphon loop with incomplete evaporation in case of heating from the bottom and cooling from the side.

In 2007 continued have been investigations of steam condensation from air-steam mixture in steam turbines condensers by development of a theoretical model of steam condensation on a tube of a real condenser.

O2/P2/T1 Application of electrohydrodynamical processes in nanotechnology

In 2007 in the Division 2 a new topic has commenced on utilization of electrohydrodynamic phenomena and processes for development of new methods and techniques of nanostructure production. In particular that scope of activities regards the possibility of production of nanoparticles, nanofibers, nanocapsules and nano-thin layer using the electrohydrodynamical methods. The works also started on research

i nanocienkich warstw przy wykorzystaniu metod elektrohydrodynamicznych. Rozpoczęto również prace nad zbadaniem możliwości wytwarzania mikro- i nanostruktur węglowych za pomocą wyładowań elektrycznych w gazach zawierających węglowodory. Celem tych prac było opracowanie elektrohydrodynamicznej metody wytwarzania cienkich warstw tlenkowych na powierzchniach metalowych, z ukierunkowaniem na nowe zastosowania technologiczne, np. do filtrowania powietrza lub wody.

W związku z powyższym celem przeprowadzono badania elektrohydrodynamicznej metody nanoszenia nanocząstek na powierzchnię blachy aluminiowej. Zawiesinę cząstek tlenków wytworzono metodą sedymentacji w roztworze metanolu. Wielkość uzyskanych cząstek wykorzystywanych do rozpylania była mniejsza od 200 nm. W wyniku badań stwierdzono, że proponowana metoda rozpylania zawiesiny umożliwia równomierne rozłożenie nanocząstek na powierzchni płaskiej.

Wykonano badania dla zawiesin cząstek MgO, ZnO, Al₂O₃, NiO i TiO₂ w metanolu. Osadzanie nanocząstek za pomocą metody elektrohydrodynamicznej ma przewagę nad innymi technikami, ponieważ może odbywać się w temperaturze otoczenia i w atmosferze powietrza lub gazu obojętnego – bez konieczności stosowania aparatury próżniowej i wysokich temperatur. Inną zaletą jest to, że otrzymane tą techniką materiały mogą mieć strukturę porowatą o dużej powierzchni właści-

into possibility of production of coal micro and nanostructures by means of electrical discharges in gases containing hydrocarbons. The aim of these activities was development of electrohydrodynamical method of production of thin oxide layers on metal surfaces focused on new technologies such as for example air or water filtering.

In relation to the above objective carried out were investigations of electrohydrodynamical method of nanoparticles padding on a surface of aluminum sheet. The suspension of oxide particles was produced using the sedimentation method in a solution of methanol. The size of obtained particles, used for spraying, was smaller than 200 nm. As a result it was concluded that the proposed method of suspension spraying enables uniform distribution of nanoparticles on a flat surface.

Investigations have been carried out for the case of suspensions such as MgO, ZnO, Al₂O₃, NiO and TiO₂ in methanol. Sedimentation of nanoparticles by means of the electrohydrodynamical method has an advantage over other techniques as it can be performed in room temperature and atmosphere of air or neutral gas, without necessity of using vacuum and high temperatures. Another advantage is the fact that obtained using that technique material can have a porous structure with a large specific surface. The electrical charges carried by the droplets produced during electrohydrodynamical spraying increase the inter-particle interaction in composite materials, which renders

wej. Ładunki elektryczne niesione przez krople wytwarzane podczas rozpylania elektrohydrodynamicznego zwiększają oddziaływanie międzycząsteczkowe w materiałach kompozytowych, co powoduje zwiększenie stabilności nanomateriałów. Ponadto, dzięki siłom van der Waalsa, adhezja małych cząstek do powierzchni jest znacznie silniejsza niż cząstek dużych.

increase of nanomaterial stability. Additionally, due to the van der Waals forces the adhesion of small particles to the surface is much stronger than that of large particles.

Roman Kwidziński

Translated by Dariusz Mikielewicz