

O2

Zagadnienia termomechaniki płynów

Problems of thermomechanics of fluid

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

Zadania naukowo badawcze wykonywane w zakładzie obejmują (i) obliczenia numeryczne CFD przepływu lepkiego przez układy łopatkowe turbin parowych, (ii) analizę pracy turbinowych systemów diagnostyki cieplno-przepływowej i (iii) badania części NP turbin pod kątem analiz eksploatacyjnych. W większości przypadków wymienione zadania są kontynuacją dotychczasowych prac, dość dobrze wkomponowanych w zagadnienia praktyki przemysłu turbiny.

Obliczenia przepływu przez układy łopatkowe turbin przy zastosowaniu techniki numerycznej CFD, prowadzone są w dwóch zasadniczych kierunkach – prac podstawowych i aplikacyjnych. Tematem wiodącym roku 2004 były obliczeniowe analizy dotyczące niestacjonarnego oddziaływania śladu spływającego z łopatek kierowniczych na wieniec wirnikowy. Na ich podstawie wykonano ocenę strat energetycznych w stopniach turbin, która zamknęła realizowany w zespole grant KBN.

Inne prace prowadzone z wykorzystaniem metod CFD dotyczą zagadnień optymalizacji sprawnościowej kształtu przestrzennego stopni turbinowych różnej konstrukcji. I w tym przypadku część zadań była realizowana w granice KBN. Określono przesłanki do takiej optymalizacji dla stopni z łopatkami cylindrycznymi i zwijanymi. Warto

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

R&D problems carried out in the Department encompass (i) numerical calculations using CFD of viscous flow through steam turbines blading systems, (ii) analysis of operation of turbine systems of thermal-hydraulic diagnostics, and (iii) investigations of LP turbine stages with the view of operation analysis. In the majority of cases outlined problems are continuation of activities, which are quite well fitting the operational practice of turbine industry.

Flow calculations through turbine blading systems using CFD software are carried out in two principal directions – fundamental activities and application works. The leading topic in 2004 was calculational analysis regarding non-stationary interaction between the guide vane wake and the blade rim. On such basis conducted has been assessment of energy losses in turbine stages, which aided to completion of KBN research grant, realized in the group.

Other works carried out using the CFD methods regard problems of efficiency optimization of the spatial shape of turbine stages of different design. Also in that case part of the problems was carried out in the frame of KBN research grant. Determined have been contributions to such optimization for turbine stages with cylindrical and rol-

zauważyć, że analizy przepływu przez wieńce łopatkowe rozszerzone zostały o przepływy, jakie występują w przeciekach układu szczelności stopni turbinowych.

Wszystkie prace mają ustaloną pozycję naukową w kraju i zagranicą, co wynika z licznych prezentacji na konferencjach międzynarodowych i w znaczącej literaturze technicznej. W tym kontekście warte podkreślenia jest także pozyskanie w Urzędzie Patentowym RP dwóch patentów na nowe rozwiązania stopni wylotowych turbin.

W tematyce diagnostyki cieplno-przepływowej rozwijano w dalszym ciągu prace nad zastosowaniem metod sztucznej inteligencji dla obliczeniowych systemów diagnostycznych. Te prace skupiają się w chwili obecnej na poszukiwaniu nowych procedur rozwiązań architektury sieci neuronowych, w celu dokładniejszego i szybszego niż do tej pory rozpoznawania degradacji poszczególnych aparatów obiegu cieplnego. Rozpoczęto także prace nad automatyczną oceną stanu mierników w systemach pomiarów cieplnych, które stanowią o ocenie błędów diagnostycznych. W 2004 roku zakończono również monografię „Diagnostyka cieplno-przepływowa obiektów energetycznych”, która jest podsumowaniem wieloletnich osiągnięć zespołu.

W szeroko pojętej dziedzinie eksploatacji w r. 2004 zrealizowane były pomiary przepływu pary mokrej w części NP turbiny parowej 360 MW w El. Bełchatów. Badania te realizowane były w granicy KBN. Obecnie Zespół przygo-

led blades. It is worth noticing that the flow analyses through blading rims have been extended for the flows, which result from the system leaks in turbine stages.

All carried out activities attract scientific acknowledgement in the country and abroad, which results from numerous presentations at international conferences and technical journals. In that light it is worth stressing about acquisition of two patents from the RP Patent Bureau with regard to new designs of turbine stages outlets.

In the area of thermal-hydraulic diagnostics progressed have been further works on application of artificial intelligence methods for diagnostic systems. These activities are focused at the moment on the search for new procedures of solving neural networks architecture, for a more precise and faster recognition of degradation of particular parts of thermal cycle devices. Commenced have also been the works on automatic assessment of the state of control meters in systems for thermal measurements, which contribute to the assessment of diagnostic errors. In 2004 completed also has been a monograph “Thermal and flow diagnostics of power units”, which constitutes a summary of several years of activities within the group.

In a widely understood area of operational issues in 2004 realised have been flow measurements of wet steam in LP part of a 360MW turbine at Bełchatów Power Station. These investigations were realized in the frame of KBN rese-

towuje się do pomiarów optycznych na tej rzeczywistej turbinie dla określenia wielkości i koncentracji kropeł w kondensującej się parze wodnej.

O2/Z2/T1 Przepływy transoniczne z silnymi oddziaływaniami

Badania prowadzone w Zakładzie były wielowątkowe. Spośród tematów badawczych prowadzonych w latach ubiegłych, które były kontynuowane i zakończyły się w 2004 roku, należy wymienić:

- wymianę ciepła przy chłodzeniu ścianki ograniczającej palisadę kierowniczą turbiny gazowej (temat prowadzony w ramach zakończonego projektu europejskiego AITEB);
- badania przepływu w upustach turbin parowych (w ramach zakończonego PBZ);
- badanie procesu kondensacji poprzez porównanie modeli fenomenologicznych z wynikami Dynamiki Molekularnej (w ramach zakończonego PBZ).

Inne badania prowadzone wcześniej, które są nadal kontynuowane to:

- wbudowanie modelu transpiracji przez ściankę w celu osłabienia fali uderzeniowej, (tematyka związana z przygotowywaną pracą doktorską);
- modelowanie przepływu transpiracyjnego przez różne otwory per-

arch grant. Presently, the group is getting ready for determination of the size and concentration of droplets in condensing wet vapour.

O2/Z2/T1 Transonic flows with strong interactions

Investigations carried out in the Department were multi-directional. From amongst the research topics conducted last year, which were continued and have been completed in 2004, there must be mentioned:

- *heat transfer during cooling of a wall separating the guide vane palisade of gas turbine (the topic carried out in the frame of a completed AITEB EU project);*
- *investigations of flow in steam turbine bleeds (in the frame of completed PBZ);*
- *investigations of condensation process by comparison of phenomenological models with the results of Molecular Dynamics (in the frame of completed PBZ).*

Other investigations, which are still continued are:

- *incorporation of a model of transpiration through a wall to damp the shock wave (the topic related to Doctoral dissertation, which is in its final state);*
- *modelling of transpiration flow through different perforation holes in the presence of tangential flow;*

foracji, w obecności strumienia stycznego;

- zastosowanie wirów wzdłużnych do kontrolowania oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścienną (uzyskano grant KBN).

Nowe tematy badawcze zainicjowane w 2004 roku to:

- analiza powstawania asymetrii fali uderzeniowej w symetrycznej dyszy oraz związana z tym niestacjonarność fali uderzeniowej;
- wstępne przygotowanie do pomiaru ciśnienia przy pomocy farby PSP;
- rozpoczęcie prób z metodą wizualizacji przepływu Speckle (ilościowy Schlieren).

W 2004 włożono duży wysiłek w przygotowanie wniosków na granty europejskie w ramach tzw. 2 call'u w Aeronautyce. Wzięto udział w przygotowaniu sześciu wniosków typu STREP, w tym jako koordynator jednego z nich. Trzy zostały przyjęte do finansowania a jeden, który ma być koordynowany przez IMP jest na I miejscu listy rezerwowej, mając spore szanse na uzyskanie finansowania.

02/Z3 Modelowanie procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych

Prace prowadzone w Zakładzie O2/Z3 mają na celu przygotowanie narzędzi numerycznych zezwalających na

- *application of steam-wise vortices for controlling of interaction of a shock wave with the boundary layer (a KBN research grant has been awarded).*

New research topics initiated in 2004 are:

- *analysis of formation of asymmetry of shock wave in a symmetrical nozzle and related non-stationary character of a shock wave;*
- *preliminary preparation for pressure measurements using the pressure sensitive paint;*
- *commencement of tests with method of Speckle flow visualisation (a qualitative Schlieren technique).*

In 2004 gathered has been a considerable amount of effort in putting up applications for EU research grants in the frame of the 2nd Call in Aeronautics. An effort has been made to prepare six project applications of the STREP type, where in the group is suggested to act as coordinator. Three of these six applications have been devised for funding and one, which is to be coordinated by IMP PAN, is first on the reserve list, and has significant likelihood to be funded.

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

Works carried out in the Department O2/Z3 are aimed at development of

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 czy technologie ogniw paliwowych. Publikowane rezultaty można pogrupować w trzech podtematach: (i) modelowanie proekologicznego spalania gazów, (ii) spalanie w kotłach olejowych, 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 spalania gazu zaazotowanego w silosowej komorze spalania turbiny gazowej GT8C w warunkach EC Gorzów Wielkopolski. Kontynuowano prace nad zimnym elektrochemicznym spalaniem paliwa w ogniwie paliwowym SOFC. Dokonano szczegółowego przeglądu stosowanych modeli 3D i wstępnej ich implementacji do kodów numerycznych. Przeprowadzono także analizę parametryczną układów hybrydowych z turbiną gazową i ogniwem paliwowym w różnej konfiguracji.

Do drugiej grupy tematycznej należy zaliczyć prace nad numerycznym modelowaniem emisji NO_x w trakcie spalania pyłu węglowego w palnikach niskoemisyjnych. Zamodelowano pra-

numerical tools enabling for numerical modeling of not recognized phenomena accompanying modern power engineering technologies, such as: clean coal technologies, technologies with null CO₂ emissions, technologies based on renewable fuels, technologies of dispersed energy conversion and fuel cells technologies. Published results can be grouped in three sub-topics: (i) modeling of pro-ecological gas combustion, (ii) combustion in oil, dust and fluidized boilers, (iii) principles of sustainable (pro-ecological) energy conversion with a particular account of chemical energy.

In the first thematic group included can be fundamental works on different models of combustion under conditions of turbulent flows and conjugate heat transfer. In particular, a lot of attention has been devoted to the problems of high-nitrogen content gas in silos combustion chamber of GT8C gas turbine at Gorzów Wielkopolski power station. Continued have been works on cold electrochemical fuel combustion in SOFC fuel cell. Conducted has been a detailed survey of used 3D models and their preliminary implementation in numerical codes. Performed has been parametric analysis of hybrid systems incorporating gas turbine and a fuel cell arranged in different configurations.

The second thematic group considers works on numerical modeling of NO_x emissions during coal dust combustion in low-emission burners. Modeled has been operation of a BABCOCK Energy dust burner for EC II Gdańsk.

cę pyłowego palnika BABCOCK Energy dla EC II Gdańsk. Wyniki analizy przedstawia rozprawa doktorska S. Golca.

Trwają prace nad matematycznym modelowaniem korozji eksploatacyjnej i degradacji urządzeń na potrzeby przemysłu energetycznego. Analizowano korozję łopatek turbinowych, ścian kotłowych oraz degradację elementów turbiny gazowej poprzez zastosowanie sprzężeń płyn–ciało stałe, nie tylko przez równanie energii, ale także przez równanie masy (koncentracji składników).

Proekologiczne problemy spalania stanowią istotną część nowoczesnych zrównoważonych technologii energetycznych. W roku 2004 podjęto szereg prac studialnych dotyczących miar zrównoważonej konwersji energii, regeneracji egzergii, odzysku energii odpadowej, trój-generacji, czy modelowania matematycznego ziębiarek absorpcyjnych (bromowo-litowych i amoniakalnych). Praktycznym aspektem prowadzonych badań było zamodelowanie wpływu zastosowania ziębiarki (chłodzenie powietrza) na osiągi turbiny gazowej. Analizowano także opłacalność zastosowania trój-generacji w warunkach EC Władysławowo, EC Gdynia i EMPEC Ustka do dociążania istniejących obiegów cieplnych.

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

Przedmiotem prac prowadzonych w roku 2004 były badania eksperymentalne

The results of analysis have been presented in doctoral dissertation by Mr S. Golec.

Works are continued on mathematical modelling of operational corrosion and equipment degradation for the needs of power engineering industry. Analysed has been corrosion of turbine blades, boiler walls and degradation of gas turbine elements by implementation of fluid-solid couplings, not only through energy equation but also through the mass equation (component concentration).

Pro-ecological issues of combustion form an important part of modern sustainable power engineering technologies. In 2004 a series of studies have been commenced regarding measures of sustainable energy conversion, exergy regeneration, waste energy recovery, tri-generation and mathematical modelling of absorption chillers (bromine-lithium or ammonia). Practical aspect of carried out investigations was modelling of the influence of implementation of a chiller (air cooling) on the performance of gas turbine. Analysed also has been economy of implementation of tri-generation at EC Władysławowo, EC Gdynia and EMPEC Ustka to extra-load in existing thermal cycles.

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

The topic of activities carried out in 2004 encompassed experimental investigations supplemented by modeling of

oraz modelowanie zjawisk ruchu i wymiany ciepła przy zmianach fazowych, w obecności pól masowych. Ten szeroki krąg zagadnień obejmował badania dotyczące intensyfikacji procesu skraplania przez drenaż skroplin, analizy zjawisk fizycznych w strumienicach dwufazowych, a także wymiany ciepła i masy w wymiennikach stosowanych w energetyce cieplnej i chłodnictwie.

W 2004 roku w znacznym stopniu rozwinięto badania w zakresie elektrohydrodynamicznej organizacji spływu skroplin. Na podstawie badań 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 nową efektywną konfigurację układu rury-elektrody i potwierdzono eksperymentalnie jej wysoką skuteczność.

Uzyskano bardzo znaczący postęp w modelowaniu nadkrytycznych strumienic dwufazowych (para-ciecz), związkany z rozeznaniem procesu wymiany pędu spowodowanej wymianą ciepła. Wykonano wiele badań eksperymentalnych oraz opracowano modele obliczeniowe wymiany pędu oraz wymiany ciepła w komorze mieszania strumienicy. W pracach związanych ze strumienicami dwufazowymi cieczowo-gazowymi udało się uzyskać wartościowe wyniki badań eksperymentalnych wpływu zastosowania zawirywacza na intensyfikację wymiany pędu oraz na osiągalną wartość stosunku ejskacji.

motion and heat transfer phenomena during phase changes in the presence of mass fields. Such a wide scope of problems encompassed investigations regarding intensification of condensation process through condensate drainage, analysis of physical phenomena in two-phase injectors, as well as heat and mass transfer in heat exchangers used in power engineering and refrigeration.

In 2004 to a large extent developed have been investigations in the area of electrohydrodynamical organization of condensate drainage. On the basis of experimental investigations concluded has been increase of heat transfer coefficient with respect to a smooth pipe, where at the same time a several-fold reduction of the difference between saturation temperature of condensed vapour and wall temperature has been noted. Suggested has been a new effective configuration of a tube-electrode system as well as experimentally confirmed has been its high efficiency.

Attained has been a significant progress in modelling of supercritical two-phase injectors (vapour-liquid) stemming from the correct recognition of momentum exchange process due to heat transfer. Conducted have been many experimental investigations as well as developed have been calculation models of momentum and heat exchange in injector mixing chamber. In works related to two-phase liquid-gas injectors, useful results of experimental investigations were obtained, concerning on the influence of application of a swirler on

W zakresie zagadnień zwilżalności powierzchni przez krople zajęto się głównie pracami eksperymentalnymi dotyczącymi wpływu parametrów otoczenia (powietrza wilgotnego) na zwilżalność ścianek wykonanych z różnych materiałów, takich jak stal lub szkło. Wpływ parametrów powietrza wilgotnego na zjawisko zwilżania uwzględniono za pomocą bezwymiarowego strumienia masy wymienianej między mikrofilmem, tworzącym się w pobliżu linii kontaktu, a fazą gazową. Eksperymentalnie badano proces rozlewania się kropeł wody po stalowej i szklanej powierzchni ścianki otoczonej powietrzem wilgotnym.

W dziedzinie techniki chłodniczej prowadzono prace dotyczące stosowania nowych płynów roboczych. Temu zagadnieniu poświęcono wydaną w 2004 książkę, stanowiącą podsumowanie aktualnej wiedzy w zakresie własności nowych czynników chłodniczych oraz nośników ciepła. Prace w tej podgrupie dotyczyły również metodyki obliczeń cieplnych wymienników w urządzeniach chłodniczych oraz urządzeń zabezpieczających. Podjęto również zagadnienie poprawy efektywności energetycznej układów chłodniczych. Dokonano analizę egzergetyczną urządzeń chłodniczych sprężarkowych, na podstawie której oceniono możliwość wyeliminowania straty dławienia poprzez zastosowanie strumienicy dwufazowej.

intensification of momentum exchange and attainable value of injection ratio.

In the area of problems concerning surface wetting by droplets, there were mainly carried out experimental investigations regarding influence of ambient parameters (of wet air) on wettability of walls manufactured from different materials, such as steel or glass. The influence of wet air parameters on wetting phenomenon has been incorporated by means of non-dimensional mass flow rate exchanged between the microfilm, formed at the contact line, and a gaseous phase. The process of water droplet spreading on steel and glass surface has been investigated experimentally in the presence of wet air.

In the area of refrigeration technology conducted have been activities regarding implementation of new working fluids. That issue has been discussed in a book issued in 2004, which forms summary of the state-of-the-art in the area of properties of new refrigerants and heat carriers. Activities in that sub-topic regarded also methodology of thermal calculations of heat exchangers in refrigeration apparatus and safety equipment. Commenced also has been the issue of improving energy efficiency of refrigeration systems. Performed has been exergy analysis of compressor-based refrigeration systems, on the basis of which assessed has been the possibility of elimination of the throttling loss by application of a two-phase ejector.

O2/Z5/T2 Dynamika ośrodków wielofazowych w polu elektrycznym

Celem pracy było udoskonalenie metody pomiaru zawartości faz (void fraction) w przepływie dwufazowym. Przedmiotem prac był przetwornik kondensatorowy, którego pojemność zmienia się w zależności od zawartości fazy ciekłej i gazowej w rurze. Przetwornik pojemnościowy złożony jest z dwóch elektrod umieszczonych na zewnętrznej ścianie kanału dielektrycznego. Elektrody przetwornika stanowią pojemność elektryczną załączoną w obwodzie generatora wielkiej częstotliwości. Zmiany pojemności powodują przestrojenie częstotliwości rezonansowej oscylatora wielkiej częstotliwości pracującego w zakresie 80 MHz. Zmiany tej częstotliwości są miarą zawartości faz w przepływie dwufazowym. Zaletą sond pojemnościowych jest to, że nie zaburzają one przepływu.

Przeprowadzono próby z nową wersją układu pomiarowego oraz opracowano nowy model teoretyczny przetwornika, w którym uwzględniono wpływ przenikalności dielektrycznej cieczy i udział dodatkowych rozproszonych pojemności elektrycznych wpływających na kształtowanie charakterystyk sondy. Stwierdzono dobrą zgodność wyników modelowania i pomiarów. Przeprowadzona została też analiza różnych spotykanych w literaturze elektrycznych schematów zastępczych, odpowiadających modelom przepływu dwufazowego. Wykazano, że parametry elektrycz-

O2/Z5/T2 Dynamics of multi-phase fluids in electric field

Objective of works was the development of measurement method of void fraction in two-phase flow. The merit of works was the capacitance transducer, capacity of which varies with respect to the content of liquid and gas phase in a pipe. The capacitance transducer consists of two electrodes located on external wall of dielectric channel. Electrodes of the transducer form an electric capacity connected to the generator circuit of high frequency. Changes of capacitance render shift of high level oscillator resonance frequency operating in the range of 80 MHz. Changes of that frequency are a measure of phase content in two-phase flow. The advantage of capacitance probes is a fact that they do not disturb the flow.

Conducted have been trials with a new version of measurement system as well as developed has been a new theoretical model of the transducer, where incorporated has been the influence of dielectric permittivity of liquid as well as the presence of additional dispersed electrical capacitances influencing formation of probe characteristics. Concluded has been a good consistency between the results of modeling and measurements. Conducted also has been analysis of different overall schematics, which can be found in the literature of the subject and correspond to models of two-phase flows. It has been proved that electrical parameters of a complex flow structure can be described, with

ne złożonej struktury przepływu mogą być z dobrą dokładnością opisane przez dwie równoległe połączone pojemności skupione: jedną reprezentującą zawartość fazy gazowej i drugą zależną od zawartości cieczy. Stwierdzono, że model taki najlepiej pasuje do wyników eksperymentalnych. Wykonano również badania optymalizacyjne polegające na sprawdzeniu różnych konfiguracji elektrod tworzących przetwornik pojemnościowy. Spośród wypróbowanych układów, przetwornik złożony z dwóch elektrod stanowiących wycinki połówek cylindra posiadał największą czułość pomiarową.

Wykonano przyrząd, w którym do detekcji zmian pojemności przetwornika zastosowano metodę oscylacyjną – ze względu na dużą czułość pomiarową, łatwość detekcji sygnału oraz możliwość osiągnięcia dużej wartości częstotliwości zasilającej przetwornik. Zastosowanie wielkiej częstotliwości zmniejsza wrażliwość wyniku pomiaru od zmiany przewodności cieczy. Pewną wadą metody oscylacyjnej jest wrażliwość na pojemności doprowadzeń i pojemności względem obiektów zewnętrznych, co wymaga ekranowania przetwornika. Dodatkowa pojemność ekranu zmniejsza czułość pomiarową układu.

O2/Z6 Transport ciepła w strugach i filmach

W r. 2004 w Zakładzie prowadzono badania

(i) efektywnego chłodzenia powierzchni ciała stałego za pomocą strug cieczy,

a good accuracy, by two lumped capacitances connected in parallel: one representing the content of gas phase and the second one, dependent on the liquid content. It has been concluded that such model fits best to the results of experiments. Conducted also have been optimization investigations, based on testing of different electrode configurations, which form the capacitance transducer. From amongst tested systems the transducer consisting in two electrodes shaping a cylinder halves proved to provide highest sensitivity.

Manufactured has been a device, where for detection of capacitance changes of the transducer applied has been the oscillation method – due to a large measurement sensitivity, ease of signal detection and possibility of attaining large value of frequency feeding the transducer. Application of high frequency reduced sensitivity of measurement result from changes of liquid conductivity. Some disadvantage of oscillation method is sensitivity on the capacitance of supply and capacitance with respect to external objects, which requires transducer screening. Additional screen capacity reduces measurement sensitivity of the system.

O2/Z6 Heat transport in jets and films

In 2004 in the Department conducted have been investigations of

(i) effective solid surface cooling by means of liquid jets,

(ii) modelowania przepływów turbulentnych,
(iii) transportu ciepła w strukturach niskowymiarowych oraz
(iv) usprawnienia kondensatorów powierzchniowych podstawowych bloków energetycznych.

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. Uzyskano zależności analityczne na profile pola prędkości i temperatur w strefie nierozwiniętej i rozwiniętej filmu, a także na grubość filmu i lokalne współczynniki przejmowania ciepła. Opracowano analityczny model przepływu z odparowaniem pęcherzykowym na powierzchni grzejnej, w warstwie cieczy płynącej po powierzchni ciała stałego, oraz nowy model uskoiku hydraulicznego filmu cieczowego, pozwalający na obliczenie odległości uskoiku od punktu uderzenia strugi.

W grupie przepływów turbulentnych, w oparciu o metodologię funkcji gęstości prawdopodobieństwa, kontynuowano prace dotyczące wyznaczania pola temperatury w przepływie turbulentnym oraz prace dotyczące modelowania dynamiki chwilowych struktur turbulentnych z zastosowaniem niskowymiarowych modeli dynamicznych. Zaproponowano model łącznego PDF prędkości i temperatury z całkowaniem równań pędu i energii oraz model PDF temperatury w płynie i materiale ścianki

(ii) *turbulent flow modeling,*
(iii) *heat transport in low-dimension structures and*
(iv) *modifications of surface condensers of fundamental power engineering units.*

In the first thematic group continued have been investigations into development of analytical, two-dimensional model of turbulent flow in the liquid layer flowing on a surface of solid, formed as a result of impingement of single phase liquid layer on a surface. Obtained have been analytical relations for velocity and temperature profiles in developing and fully developed film, as well as for the film thickness and local heat transfer coefficients. Developed has been analytical flow model with nucleate boiling on the heated surface in the liquid layer on a solid surface and a new model of hydraulic jump in liquid film, which enables calculation of location of the jump with respect to stagnation point.

In the group of turbulent flows, based in methodology of probability density function, continued have been works regarding determination of temperature field in turbulent flow as well as works referring to modelling of dynamics of instantaneous turbulent structures with application of low-dimension dynamical models. Proposed has been a model of a combined velocity and temperature PDF with integration of momentum and energy equations and PDF model of temperature in fluid and wall material in the case of flows with a conjugate heat transfer.

dla przepływów ze sprzężoną wymianą ciepła.

W nierównowagowym problemie transportu ciepła w strukturach niskowymiarowych uwzględniono wpływ morfologii ciała na wynikowe równania problemu. Mikrostrukturalne modelowanie ruchu termicznego zostało wykorzystane do opisu balistyczno-dyfuzyjnego przewodnictwa ciepła w cienkich warstwach. Rozszerzono program numeryczny analizy rozkładów temperatury w modelu propagacji fal termicznych w cienkich warstwach dla dowolnych warunków granicznych, przy uwzględnieniu własności fizycznych ośrodka.

Aplikacyjna część badań dotyczyła kondensatorów powierzchniowych podstawowych bloków energetycznych w Polsce. Określono dane badanych obiektów i metodykę badań, ustalono metody obliczeń wpływu nie kondensujących się gazów na proces skraplania się pary wodnej na wydzielonych powierzchniach kondensatorów, określono mechanizmy koncentracji gazów inertnych i wyciągnięto określone wnioski eksploatacyjne.

O2/Z7 Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Badania prowadzone w roku 2004 dotyczyły

- (i) termicznej warstwy przyściennej na płaskiej płycie oraz
- (ii) problemów pomiaru prędkości przy pomocy sondy kulowej.

In the non-equilibrium problem of heat transport in low-dimensional structures considered has been the influence of the body morphology on the resulting problem equation. Microstructural modeling of thermal motion has been used in ballistic-diffusion description of heat conduction in the model of propagation of thermal waves in thin layers at arbitrary limiting conditions, with account of physical properties of the medium.

Application part of investigations regarded surface condensers of basic power engineering units in Poland. Determined have been data for investigated objects and methodology of investigations, decided have been methods of calculation of influence of non-condensable gases on condensation process of steam on selected surfaces of condensers, determined have been mechanisms of concentration of inert gases and drawn have been operational conclusions.

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

Investigations carried out in 2004 regarded

- (i) thermal boundary layer on a flat plate and*
- (ii) problems of velocity measurements using the spherical probe.*

In the frame of experimental research works, referred to laminar-turbulent transition in thermal and aerodynamical boundary layer on a flat

W ramach eksperymentalnych prac badawczych, poświęconych przejściu laminarno-turbulentnemu w termicznej i aerodynamicznej warstwie przyściennej na płaskiej płycie oraz jego modelowaniu, badano analogię Reynoldsa wymiany pędu i ciepła dla różnych jakościowo warunków strumienia zewnętrznego – od strumienia z niskim poziomem turbulencji, $Tu < 0.08\%$, przez strumień z turbulencją $Tu = 3\%$ generowaną siatką, aż do strumienia z silnymi niestacjonarnościami, generowanymi śladami spływowymi z pojedynczego cylindra i z bębna z cylindrami na obwodzie. Wyznaczono współczynniki rozszerzonej analogii Reynoldsa $s = C_f / (2 StPr^{-2/3})$ dla wyżej wymienionych przepływów. Dla przepływów z niskim i średnim poziomem turbulencji oraz dla śladu spływowego z pojedynczego cylindra współczynnik ten wynosi $s = 1.0$, natomiast dla przepływu z silnymi niestacjonarnościami $s = 1.1$. Świadczy to o tym, że stosunek gradientu prędkości w warstwie przyściennej do gradientu temperatury jest większy w przypadku przepływu z silnymi niestacjonarnościami niż w pozostałych przypadkach.

Ponadto wyznaczono współczynniki rozkładu Weibulla, który zaproponowano w poprzednich latach dla opisu współczynnika intermitencji przy badaniu przejścia laminarno-turbulentnego. W szczególności współczynniki pochyleń tego rozkładu zależne są od poziomu zaburzeń strumienia zewnętrznego.

Innym aspektem termicznej warstwy przyściennej zbadanym w roku 2004 była zmienność liczby Prandtla

plate and its modelling, investigated has been the Reynolds analogy of momentum and heat transfer for qualitatively different conditions of external stream – from a stream with a low level of turbulence, $Tu < 0.08\%$, through a stream with turbulence $Tu = 3\%$ generated by grid, up to a stream with strong unsteadiness, generated by wakes from a single cylinder and a drum with circumferentially located cylinders. Determined have been coefficients of extended Reynolds analogy $s = C_f / (2 StPr^{-2/3})$ for the cases of above-mentioned flows. In the case of flows with low and mean level of turbulence as well as wake from a single cylinder this coefficient equals $s = 1.0$, whereas for the flow with strong unsteadiness $s = 1.1$. That confirms, that the ratio of velocity gradient in the boundary layer to the temperature gradient is greater in the case of flows with strong unsteadiness than in other cases.

Additionally determined have been coefficients of the Weibull distribution, which has been suggested in recent years for description of intermittence coefficient during laminar-turbulent transition. In particular the slope coefficients of such distribution are dependent on the level of external stream disturbance.

Another aspect of thermal boundary layer, investigated in 2004, was variation of Prandtl number in the transitional boundary layer, as in description of that variation the following formulae has been suggested $Pr = \gamma Pr_t + (1 - \gamma) Pr_l$.

w przejściowej warstwie przyściennej, gdyż do opisu tej zmienności zaproponowano nową następującą formułę $Pr = \gamma Pr_t + (1 - \gamma) Pr_l$.

Oprócz badań termicznej warstwy przyściennej prowadzono badania teoretyczne zastosowania sondy kulowej do pomiaru wektora prędkości. Przeprowadzono analizę pomiaru prędkości przy pomocy tzw. standardowej sondy kulowej z pięcioma otworkami na jej powierzchni. Rozwiązując układ pięciu nieliniowych równań z czterema niewiadomymi wyznaczono teoretyczną charakterystykę sondy kulowej i porównano ją z charakterystyką eksperymentalną, stwierdzając dobrą zgodność w następującym zakresie kątów: $-10^\circ < \alpha < 10^\circ$ i $-10^\circ < \beta < 10^\circ$, gdzie α i β są odpowiednio kątem wzniosu i odchylenia sondy. Następnie przebadano możliwość pomiaru prędkości sondą z czterema otworkami, co sprowadziło się do analizy rozwiązania układu czterech równań nieliniowych z czterema niewiadomymi. Przebadano kilka konfiguracji otworków pomiarowych na powierzchni sondy, od kwadratowej przez rombowa do trójkątnych. Sprawdzono przede wszystkim jednoznaczność rozwiązania tego układu równań wykazując, że np. konfiguracja kwadratowa ze względu na brak jednoznaczności rozwiązania nie nadaje się do pomiaru wektora prędkości. Inne konfiguracje punktów pomiarowych dają już jednoznaczne rozwiązania, a zatem nadają się do pomiaru wektora prędkości. Dla tych konfiguracji wyznaczono rozwiązania zagadnienia pomiaru prędkości, jednakże wzory

Apart from investigations of thermal boundary layer conducted have been theoretical investigations of application of spherical probe for measurements of velocity field. Conducted has been analysis of velocity measurement by means of so called standard spherical probe with five holes on its surface. Solution of a set of five non-linear equations with four unknowns determined theoretical characteristics of a spherical probe which compared have been against experimental characteristics, proving a good consistency in the following range of angles: $-10^\circ < \alpha < 10^\circ$ and $-10^\circ < \beta < 10^\circ$, where α and β are respectively the lift angle and deflection angle of the probe. Next, investigated has been possibility of velocity measurement by means of a probe with four holes, which could be brought down to analysis of solution of a set of four non-linear equations with four unknowns. Investigated have been several configurations of measurement holes on the probe surface, ranging from a square through a rhomb to triangle. Tested has been primarily the uniqueness of solution of such system of equations showing that for example the square configuration, due to a lack of uniqueness of solution, is not appropriate for measurements of velocity vector. Other configurations of measurement points provide unique solutions and hence are appropriate for measurements of velocity vector. In the case of such configurations determined have been solutions of velocity measurements, however, formulas determining angles of lift and

wyznaczające kąty wzniosu i odchylenia nie są tak proste, jak w przypadku standardowej sondy kulowej z pięcioma otworkami. *deflection are not simple, as in the case in a standard spherical probe with five holes.*

Roman Kwidziński

Translated by Dariusz Mikielewicz