

O4/Z1/T1: Metody analizy i detekcji uszkodzeń w elementach maszyn

Opracowano nowe typy specjalnych elementów spektralnych umożliwiające analizę wpływu delaminacji na propagację fal sprężystych. Przeprowadzono szereg symulacji numerycznych, w których zbadano wpływ wielkości obszaru delaminacji i jej położenia pomiędzy warstwami kompozytu na zmiany zachodzące w propagacji fal sprężystych. Stwierdzono, że dodatkowe odbicia fal od obszaru delaminacji można z powodzeniem wykorzystywać do detekcji tego typu defektu. Lokalizacja oraz identyfikacja wielkości delaminacji jest znacznie trudniejszym zagadnieniem niż lokalizacja oraz identyfikacja pęknięć z uwagi na obserwowane w symulacjach numerycznych zjawisko konwersji modów jak również ze względu na znacznie mniejsze amplitudy fal odbitych od delaminacji w porównaniu do odbić od pęknięć poprzecznych. Opracowano również model piezoelektrycznego elementu spektralnego. Model uwzględnia sprzężenie elektromechaniczne w zakresie liniowym i umożliwia modelowanie zjawiska wzbudzania oraz rejestrowania fal sprężystych przez elementy piezoelektryczne oraz analizę charakterystyk przetworników piezoelektrycznych.

W ramach badań laboratoryjnych przeprowadzono eksperymenty polegające na wzbudzaniu oraz rejestracji fal sprężystych używając w tym celu przetworników piezoelektrycznych.

O4/Z1/T1: Methods of analysis and detection of damages in machine elements

Developed have been new types of special spectral elements allowing evaluation of the impact of delamination on the propagation of elastic waves. Carried out was a series of numerical simulations, which examined the impact of the delamination area and its location between the composite layers on the changes in the propagation of elastic waves. It was found that the additional reflection waves from delamination area can be successfully used to detect this type of defect. Location and identification of the size of delamination is a much more difficult issue than the identification and location of cracks due to the observed in numerical simulations of the phenomenon of conversion modes as well as due to the significantly smaller amplitude of reflected waves from the delamination compared to the reflections of the transverse cracks. Also developed was a model of spectral piezoelectric element. The model takes into account the electro-mechanical coupling in the linear range and allows modeling of the excitation and recording of elastic waves by piezoelectric elements and analyzing the characteristics of piezoelectric transducers.

In the laboratory tests carried out were experiments of excitation and registration the elastic waves using a piezoelectric transducer. The object of research were the aluminum beams and panels and the composite panels. The

Obiektem badań były belki oraz panele aluminiowe jak również panele kompozytowe. Te drugie pochodzą z poszycia śmigłowca. Eksperymenty pozwoliły na wyznaczenie charakterystyk wzbudzanych fal – prędkości i tłumienia w zależności od częstotliwości. Prace laboratoryjne umożliwiły weryfikację opracowanych wcześniej sposobów monitorowania stanu technicznego konstrukcji, na które składają się propozycje rozmieszczenia przetworników piezoelektrycznych oraz algorytmy przetwarzania zarejestrowanych sygnałów. Rozważano skoncentrowane oraz rozproszone konfiguracje przetworników piezoelektrycznych. Przeprowadzono badania nad charakterem fal sprężystych wzbudzanych za pomocą przetworników wykonanych z włókien piezoelektrycznych typu MFC (Macro Fibre Composites). Zainicjowano również prace nad wykorzystaniem przetworników MFC jak i piezoceramicznych do pasywnego tłumienia drgań belkowych elementów konstrukcji. W przyszłości planuje się wykorzystanie tej metody do tłumienia drgań modelowego płata skrzydła.

W ramach badań prowadzonych nad wykorzystaniem właściwości materiałów z magnetyczną pamięcią kształtu do aktywnego sterowania wybranymi charakterystykami dynamicznymi konstrukcji w roku sprawozdawczym 2008 zespół prowadził badania eksperymentalne. Zakupiony wirnik RK4 Rotor Kit został przebudowany w sposób taki, że jedno z dwóch standardowych łożysk zostało zastąpione łożyskiem „inteli-

composite panels comes from the thatch of helicopter. Experiments allowed to determine the characteristics of excited waves of speed and attenuation, depending on frequency. The laboratory works made it possible to verify the previously developed methods for monitoring the technical condition of construction, that includes the proposals for the deployment of piezoelectric transducers and processing algorithms of recorded signals. Considered were concentrated and distributed configurations of piezoelectric transducers. Carried out was a study on the nature of elastic waves excited by transducers made of piezoelectric fibres – type MFC (Macro Fibre Composites). Also initiated was work on the use of MFC transducers and piezoceramics for passive damping of vibration of beam elements of the structure. There are future plans to use this method for suppressing vibrations of a model of the wing.

As part of the research conducted over the properties of materials with magnetic shape memory to actively control the selected dynamic characteristics of the design, in the year 2008 the team ran an experimental study. Purchased rotor “RK4 Rotor Kit” has been rebuilt in such a way that one of two standard bearings has been replaced by an “intelligent” bearing. “Intelligent” bearing uses the work of the actuator with magnetic shape memory “A06-3 type”. Thus prepared research rig has allowed for the planned experiment. The experiment was to observe the reduction of transverse vibrations of

gentnym”. „Inteligentne” łożysko wykorzystuje działanie siłownika z magnetyczną pamięcią kształtu typu A06-3. Tak przygotowane stanowisko pomiarowe pozwoliło na przeprowadzenie zaplanowanego eksperymentu. Eksperyment polegał na obserwacji redukcji drgań poprzecznych wirnika w kierunku horyzontalnym przy użyciu siłownika z magnetyczną pamięcią kształtu.

Celem prac prowadzonych w roku sprawozdawczym było także uruchomienie stanowiska laboratoryjnego składającego się z urządzenia pomiarowego (si 425-500 firmy Micron Optic) służącego do rejestracji danych pomiarowych z układu czujników światłowodowych typu FBG (Fiber Bragg Grating). Przeprowadzono wstępne badania na łopatkach wirnika śmigłowca oraz przystosowano układ pomiarowy do badań sterowanych poprzez internet. Prace nad rozbudową laboratorium oraz opracowywaniem nowych rozwiązań wykorzystujących czujniki światłowodowe typu FBG do celów SHM będą kontynuowane w następnym roku.

O4/Z2 Podstawy mechaniki konstrukcji i materiałów. Osiągnięcia w 2008r.

Sformułowano globalne i lokalne termodynamiczne zasady bilansu oraz prawo wzrostu entropii na krzywej osobliwej, modelującej zmianę fazową typu martenzytycznego w powłoce. Opracowano ogólne równania konstytutywne dla powłok termosprężystych i termolepkosprężystych oraz podano ich

the rotor in the horizontal direction, using the magnetic actuator of shape memory.

The aim of the work conducted in the reporting year, was also the launching of the research rig consisting of the measuring device (si 425-500 Micron Optic), used for measurement data recording system with optical fiber sensors – FBG-type (Fiber Bragg Grating). Carried out the preliminary studies on the helicopter rotor blade and adapted to the measurement system controlled by the Internet. Works on the extension of the laboratory and the development of new solutions using fiber optic sensors (FBG type) for the SHM issues will be continued next year.

O4/Z2: The basics of structural design and materials. Achievements in 2008

Established was a global and local thermodynamic balance principles and the rule of balanced entropy growth on the peculiar curve, modeling the phase change of the martensite type in the shell. Developed was a general constitutive equation for thermoelastic and thermo-viscous-elastic shells and given the simplified characters for the linearly isotropic material. Formulated was a thermodynamic condition, allowing for the determination of the location and quasistatic movement of the phase curve on the deformed surface. The theoretical model was illustrated through the example of a thin, elastic, two-phase cylinder subjected to axial tension. The solution shows the existence of hystere-

uproszczone postacie dla materiału liniowo izotropowego. Sformułowano termodynamiczny warunek, pozwalający na wyznaczenia położenia i ruchu kwazistatycznego krzywej fazowej na powierzchni odkształconej. Model teoretyczny zilustrowano przykładem cienkiego, sprężystego, dwufazowego cylindra poddanego rozciąganiu osiowemu. Rozwiązanie wykazuje istnienie pętli histerezy, której wielkość zależy od szeregu parametrów obciążenia. Opracowana termodynamiczna teoria przekształceń fazowych w powłokach jest pierwszą dwuwymiarową teorią w literaturze.

Zaproponowano trzy różne sposoby definiowania dwóch nieliniowych miar odkształceń w ośrodku Cosserat: a) metodę geometryczną, b) określając te miary jako wymagane przez strukturę równań bilansu ośrodka, oraz c) wykorzystując zasadę obiektywności materiałowej. Te trzy sposoby pozwoliły sformułować w sposób jednoznaczny w zapisie absolutnym dwie tzw. naturalne miary odkształceń, które są ważne przy nieograniczonych translacjach, odkształceniach i obrotach oraz znikają przy braku deformacji ośrodka. Przedyskutowano różnice i podobieństwa tych wprowadzonych miar w stosunku do miar odkształceń podanych w 14-tu innych reprezentatywnych publikacjach z tego tematu. Te naturalne miary odkształceń zostały następnie wyrażone poprzez ogólną postać wektora obrotu skończonego. Dla siedmiu szczególnych definicji tego wektora podano jawne wzory dla naturalnego tensora rozciąg-

sis, whose size depends on a number of parameters of the load. Developed thermodynamic theory of phase transition in the shell is the first two-dimensional theory in the literature.

Proposed three different ways to define two measures of nonlinear deformations in the Cosserat medium: a) the geometric method; b) setting out those measures, as required by the structure, balance equation of the medium; and c) using the principle of material objectivity. These three ways made it possible to formulate, in the unambiguously and absolute way, the two so-called natural measures of deformation, which are important for unlimited translations, deformations and rotations, and disappear in the absence of deformation of the medium. Discussed were the differences and similarities of these introduced measures in relation to measures of deformation given in 14 other representative publications of this topic. The natural strain measurement was then expressed by the general form of the finite rotation vector. For seven specific definitions of this vector are given explicit formulas of natural tension tensor and a natural tensor of reorientation of Cosserat's medium. The resulting expressions are new in literature.

In terms of nonlinear theory of thin elastic shells, defined by the principle of virtual work on the basic shell, elaborated was the new boundary issue, containing the modified equilibrium equations and new, energy-efficient, natural and geometric boundary conditions.

nięcia i naturalnego tensora zmiany orientacji ośrodka Cosserat. Uzyskane wyrażenia są nowe w literaturze.

W zakresie nieliniowej teorii cienkich powłok sprężystych, definiowanej poprzez zasadę pracy wirtualnej na powierzchni podstawowej powłoki, opracowano nowe zagadnienie brzegowe, zawierające zmodyfikowane równania równowagi oraz nowe, energetycznie zgodne naturalne i geometryczne warunki brzegowe. W procesie generacji tych warunków wykorzystano nową definicję parametru opisującego obrót brzegu powłoki w ramach teorii powłok cienkich. Zagadnienie brzegowe i odpowiednie liniowe zagadnienie stateczności są generowane automatycznie i bez dalszych uproszczeń przy użyciu analizy symbolicznej programu MATHEMATICA. To nowe zagadnienie stateczności było podstawą obszernej analizy utraty stateczności ściskanego osiowo cienkiego cylindra przy 14 typach warunków brzegowych i dla stosunków długości do promienia cylindra w zakresie od 0,05 do 60. Wyniki numeryczne pozwoliły zidentyfikować szereg nowych, nieznanych dotąd w literaturze czynników odpowiedzialnych za spadek wartości krytycznego obciążenia ściskanego osiowo cylindra.

Wykonano obszerną analizę przeglądową rzeczywistych połączeń w konstrukcjach powłokowych, stanowiącą bogate źródło sposobów modelowania połączenia dwóch regularnych konstrukcji powłokowych oraz pewien zbiór wyników badań doświadczalnych.

In the process of generation of these conditions, were used a new definition of the parameter, describing boundary rotation of the shell under the theory of thin shells. The boundary issues and the corresponding linear stability issues are generated automatically and without further simplification by using symbolic analysis of the MATHEMATICA software. This new stability issue was the basis for a comprehensive analysis of a loss of stability of axially compressed thin cylinder, with 14 types of boundary conditions, and for the ratio of length to radius of the cylinder in the range from 0.05 to 60. Numerical results helped to identify a number of new, previously unknown in the literature, factors responsible for the decline of the value of critical load of axially compressed cylinder.

Performed was an extensive analysis of the actual connections in shell constructions, representing a rich source of modeling of connection of two regular shell structure, and a set of experimental test results.

Accomplished was an overview of modeling of contact stress and numerical calculation of friction and pressure forces. The development of friction models identifies phenomenological and micromechanical models, description in the atomic and multiscale, and non-classical models of anisotropic and heterogeneous friction. A more subtle models appear in specific areas of application, such as vibrating systems, processing materials, polymers and elastomers, geomechanics and biomedical

Opracowano przegląd zagadnień modelowania naprężeń kontaktowych oraz obliczeń numerycznych sił docisku i tarcia. Rozwój modeli tarcia wyznaczają modele fenomenologiczne, mikromechaniczne, opisy w skali atomowej i wieloskalowe, oraz nieklasyyczne modele tarcia anizotropowego i niejednorodnego. Bardziej subtelne modele występują w specjalnych obszarach zastosowań, takich jak układy drgające, obróbka materiałów, polimery i elastomery, geomechanika i inżynieria biomedyczna. Omówiono metodę mnożników Lagrange’a, metodę funkcji kary, metodę perturbacyjną Lagrange’a, uogólnioną metodę Lagrange’a i metody programowania matematycznego.

W popularnonaukowym artykule przedstawiono syntezę historii rozwoju nauki o tarcu. Omówiono znaczenie obszarów styku i sił kontaktowych. Opisano początki nauki o tarcu, tj. pierwszych badaczy i ich osiągnięcia, przedstawiono trudności z wyjaśnieniem przyczyn tarcia oraz omówiono problemy, którymi zajmuje się współczesna nauka o tarcu i przyszłe jej perspektywy.

O4/Z3/T1: Teoretyczne i eksperymentalne badania oddziaływań dynamicznych w układach wirnik – łożyska Mikroturbiny i mikrołożyska

Nurt prac dotyczących dynamiki mikroturbin kogeneracyjnych, o mocach rzędu do ok. 20 kWe. Opracowano metodologię obliczania łożysk foliowych dla szybkoobrotowych mikroturbin koge-

engineering. Discusses was the method of Lagrange multipliers, penalty function method, Lagrange perturbation method, generalized Lagrange method, and mathematical programming methods. Presented was at the popular-science article a synthesis of history of development of friction science. Discussed was the importance of area of contact and contact forces. Described were the origins of friction science, i.e. the first researchers and their achievements, presented were the difficulties in explaining the causes of friction and discussed issues of concern to the modern science of friction and its future prospects.

O4/Z3/T1: Theoretical and experimental study of dynamic effects in rotor – bearings systems

Microturbines and micro-bearings

The mainstream of work were the dynamics of cogeneration microturbines of capacities up to about 20 kWe. Developed was a methodology for calculating the foil bearings for fast-rotating cogeneration microturbines. At the same time was used the opportunity to interact with the original and commercial software. The methodology is based on the integration of the commercial package ABAQUS to calculate properties of the film with the software MESWIR for calculation of properties of bearing and rotor systems.

neracyjnych. Wykorzystano przy tym możliwości współpracy programów oryginalnych i komercyjnych. Metodologia bazuje na integracji pakietu komercyjnego ABAQUS do obliczeń własności folii z programami serii MESWIR do obliczeń własności łożysk oraz układów wirnikowych.

Przeprowadzono analizę własności dynamicznych mikrowirników dla warunków pracy typowych dla mikroturbin, w szerokim zakresie prędkości obrotowych (do 100 tys. obr/min). Przeanalizowano możliwość zastosowania zarówno łożysk foliowych jak również klasycznych łożysk ślizgowych. Dokonano oceny możliwości zastosowania czynników niskowrzących do smarowania wysokoobrotowych łożysk mikroturbin. Obliczenia symulacyjne potwierdziły przydatność substancji mających własność typowych czynników niskowrzących do smarowania wysokoobrotowych łożysk mikroturbiny.

Na podstawie wykonanych badań dokonano wstępnego doboru systemu łożyskowania wirnika mikroturbiny oraz przeanalizowano możliwość wykorzystania czynników niskowrzących jako czynników smarnych łożysk. Modelowanie i analiza stanów dynamicznych wirników mikroturbin będą miały w dalszej perspektywie na celu opracowanie projektu rzeczywistego wirnika lub typoszeregu wirników.

Diagnostyka symulacyjna maszyn wirnikowych

Kontynuowano prace związane z szeroko rozumianą wibracyjną diagnostyką

Carried out was an analysis of dynamic of microrotors for the typical working conditions for microturbines, in a broad range of speed (up to 100 thousands rpm). Analyzed was the possibility of using both foil bearings as well as the classic sliding bearings. An assessment have been done of the potential use of low-boiling fluids for lubrication of high speed bearings of microturbines. Simulation calculations have confirmed the usefulness of typical low-boiling point substances for lubrication of high speed microturbine bearings.

On the basis of carried out research, was made an initial selection of bearing system of microturbine rotor and analyzed the possibility of using the low-boiling point fluids as lubrication fluids of bearings. Modeling and analysis of the dynamic states of microturbine rotors will be in the long term activity to develop a project of the actual rotor or sets of rotors.

Diagnostic simulation of rotor machines

Continued was the research related to the diagnostic vibration simulation of rotor machines, with particular emphasis on the 200 MW turbo generator. This work was conducted under a ordered research project DIADYN and two individual grants.

As part of a research project DIADYN (completed in 2008), was developed the concept of taking into account the uncertainty of input data in the dynamics model of the rotor with slide be-

symulacyjną maszyn wirnikowych, ze szczególnym uwzględnieniem turbozespołów 200 MW. Prace te prowadzono w ramach projektu badawczego zamawianego DIADYN oraz dwóch grantów indywidualnych.

W ramach projektu badawczego DIADYN (zakończonego w 2008) powstała koncepcja uwzględnienia niepewności danych wejściowych w modelu dynamiki wirnika łożyskowanego ślizgowo, opracowano pełny model MES konstrukcji podpierającej wirnik (w odniesieniu do wielkogabarytowego wirnika laboratoryjnego). Powstało szereg nowych modułów oprogramowania środowiska MESWIR. Pracownicy Zakładu są współautorami dwóch monografii przedstawiających niektóre wyniki PBZ DIADYN, odnoszące się bezpośrednio do dynamiki maszyn wirnikowych.

W dalszej części prac związanych z diagnostyką maszyn wirnikowych dużej mocy zaprezentowano metodykę tworzenia zbiorów relacji diagnostycznych związanych z defektem wielopodporowych maszyn wirnikowych polegającym na rozosiowaniu łożysk, która może być zastosowana praktycznie do diagnostyki turbozespołu. Istotę pracy stanowi innowacyjna metodyka przedstawiania złożonych relacji diagnostycznych w formie symulacyjnych map symptomów defektu. Ponadto praca zawiera analizę wpływu odkształcenia linii wałów złożonej maszyny wirnikowej, podpartej w wielu łożyskach, spowodowanego rozosiowa-

aring and developed was a complete MES model of the construction supporting the rotor (relative to the large-size laboratory rotor). Come into existence was a number of modules of a new software MESWIR. Employees of Department are co-authors of two monographs presenting some results of PBZ DIADYN, relating directly to the dynamics of rotor machinery.

The remainder of the work related to the diagnosis of high power rotor machinery, presented a methodology for creating sets of diagnostic relationships, related to the defect multi-supported rotor machines, depending of bearing misalignment, that can be practically applied to the turbogenerator diagnostics. The importance of the work is an innovative methodology to present complex diagnostic relationships in the form of simulation map of the defect symptoms. In addition, the work contains an analysis of the deformation impact of a line of shafts of a complex rotor machine, underpinned by a series of bearings, caused by the bearing misalignment due to its dynamic and kinetostatic state for in the image of the bearings vibrations and the distribution of load at the bearing sleeve.

Also the works were conducted to verify the newly developed research tools, particularly for the analysis of stress fields and mechanical deformations in the rotating shaft. Also continued were works on the impact of cracks in the rotating shaft on the dynamics of large rotating machine. Completion of this work is planned for in the

niem łożysk na jej stan dynamiczny i kinetostatyczny na obraz drgań łożysk oraz na rozkład obciążenia panwi łożyskowych.

Prowadzone były też prace zmierzające do weryfikacji nowoutworzonych narzędzi badawczych, szczególnie do analizy pól naprężeń i odkształceń mechanicznych w wirującym wale. Kontynuowano również prace dotyczące wpływu pęknięć w wirującym wale na dynamikę dużej maszyny wirnikowej. Zakończenie tych prac jest przewidziane w roku 2009.

O4/Z4/T1: Analiza numeryczna wybranych zagadnień mechaniki elementów maszyn i materiałów

Celem prowadzonych badań była analiza termosprężysta turbiny parowej podczas rozruchu ze stanu zimnego bez podgrzewu a także z pełnym podgrzewem. Na podstawie obliczeń przepływowych w programie FLUENT otrzymano dla zadanego sposobu rozruchu wartości współczynników przenikania ciepła zmienne w czasie. Przeniesiono te współczynniki na odpowiednie powierzchnie wału i korpusu. Obliczono rozkładu temperatur, naprężeń i przemieszczeń w czasie. Wyniki obliczeń numerycznych porównano z wynikami badań eksperymentalnych uzyskując bardzo dobrą zbieżność.

Kolejnym zadaniem badawczym realizowanym w r. sprawozdawczym była analiza wzajemnego położenia łopatek kierowniczych w pierwszym stopnia sprężarki silnika SO-3 na wielkość sił

year 2009.

O4/Z4/T1: Numerical analysis of selected topics of mechanics of machine elements and materials

The aim of the study was a thermoelastic analysis of the steam turbine during start-up from the cold state without warming up and fully warmed state. Based on the flow calculation using the FLUENT software, were received for required start-up, variable in time heat transfer coefficients. These coefficients have been transferred to the required surfaces of the shaft and the body of steam turbine. Calculated was the decomposition of temperatures, stresses and displacements in time. The results of numerical calculations were compared with experimental results, obtaining a very good consistency.

Another task of research carried out during the review year, was the analysis of the relative positions of stator blades in first stage of the engine compressor SO-3 on the size of non-stationary forces acting on the rotor's blade. The algorithm was based on the three-dimensional Euler equations and the finite volume method (own software and FLUENT software). Calculated were non-stationary forces acting on the rotor blades of the I stage of compressor at speed of 15.400 rpm. It was found that there is a relative position of stator blades to each other, where non-stationary forces acting on the rotor blades are the smallest. Finding the optimal position of stator blades to each is a great importance for the project of

niestacjonarnych działających na łopatkę wirnikową. Algorytm programu oparty był na trójwymiarowych równaniach Eulera i metodzie objętości skończonych (program własny i program FLUENT). Obliczone zostały niestacjonarne siły działające na łopatki wirnikowe I stopnia sprężarki dla prędkości 15400 obr/min. Stwierdzono, że istnieje wzajemne położenie łopatek kierowniczych względem siebie dla których siły niestacjonarne działające na łopatki wirnikowe są najmniejsze. Znalezienie optymalnego położenia łopatek kierowniczych względem siebie ma duże znaczenie projektowe dla obliczenia żywotności łopatek wirnikowych.

W roku sprawozdawczym opracowano dwu i trójwymiarowy model strukturalny MES warstwy nośnej łożyska foliowego analizowanego eksperymentalnie przez Rubio i San Andres. Obliczono odkształcenia warstwy nośnej łożyska foliowego. Stwierdzono, że wyniki przemieszczeń otrzymane z modelu dwuwymiarowego i trójwymiarowego są porównywalne. Uzyskano bardzo dobrą zgodność z eksperymentem dla przypadku maksymalnej nośności łożyska. W zakresie do 50 N folia łożyska w eksperymencie odkształca się nieregularnie, co jest trudne do zamodelowania numerycznie. Różnice w zakresie od 50 do 150 N mogą być spowodowane niewystarczającym modelem zastosowanego tarcia, jak też nie uwzględnieniem w analizie numerycznej modelu wału.

calculation of viability of rotor blades.

In the last review year was developed the two and three-dimensional structural model (MES) of the loading layer of foil bearing, analyzed experimentally by Rubio and San Andres. Calculated were deflections of the loading layer of foil bearing. It was found that the displacements results obtained from the two-dimensional and three-dimensional models are comparable. Achieved was a very good consistency with experiment for the case of maximum load capacity of bearings. In experiment, in a range up 50 N, the foil of the bearing deformed irregularly, which is difficult to numerical modeling. Differences in the range from 50 to 150 N may be caused by insufficient model of used friction, as well as not taking into account in the numerical analysis of the model of the shaft.

Wiesław Ostachowicz

Translated by Dariusz Mikielawicz