

Gerard KOSMAN

KIERUNKI BADAŃ W ZAKRESIE PODSTAW KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN ENERGETYCZNYCH

Streszczenie. Omówiono główne kierunki badań w dziedzinie podstaw projektowania i konstruowania maszyn energetycznych oraz rozwoju nowych metod ich eksploatacji i diagnostyki. Przedstawiono następujące zagadnienia: rozwój metodologii projektowania i konstruowania maszyn, komputerowo wspomagane projektowanie elementów i zespołów maszyn obciążonych cieplnie z uwzględnieniem wymaganej trwałości, kompleksową ocenę stanu technicznego turbin, system ciągłej analizy stanu cieplnego i wytrzymałościowego turbiny, modernizację warunków eksploatacji turbin oraz zastosowanie metod akustycznych do zmniejszenia intensywności osadzania się części lotnych na powierzchniach grzewczych kotłów.

DIRECTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF DESIGN AND OPERATION BASIS OF POWER PLANT MACHINES

Summary. In this paper a principal directions of the investigations in the field of the basis design and constructing principles of power plant machines and the development of the new methods of the operating and the diagnosis has been discusseed. The following problems were presented: the developments of methodology of design and constructing process. The CAD techniques for elements and part of thermal stand of turbines, the steady analysis of thermal load and strength of turbines, modernization of operational conditions of turbines, and the apply of acoustic methods to lowering of intensity of fly ash deposits on heating boiler surfaces.

HAUPTRICHTUNGEN DER FORSCHUNG IM BEREICH DER PLANNUNG, KONSTRUKTION UND DES BETRIEBES VON ENERGETISCHEN MASCHINEN

Zusammenfassung. Im Aufsatz wurden prinzipielle Ruchtungen der Untersuchungen auf dem Gebiet der Konstruktions- und Planungsgrundlagen energetischer Maschinen besprochen. Es wurde

folgende Probleme vorgestellt: Die Entwicklung der Methodologie der Planungs und Konstruktionprozesses von Maschinen, Computer unterstützter Konstruktionsprozeß von Bauelementen und Bauuntergruppen, die thermisch beansprucht sind mit einer Restlebensdauerberechnung, Komplexe Auswertung technischen Zustands von Dampfturbinen, System für eine kontinuierliche Überwachung des thermischen Zustands und der Festigkeit einer Turbine, Modernisierung Betriebsbedingungen von Dampfturbinen, Anwendung akustischer Methoden zur Verminderung der Intensität der Absetzung von Flugasschepartikeln auf Kesselheizflächen.

1. WPROWADZENIE

Działalność naukowo–badawczą, projektową i dydaktyczną Zakładu Podstaw Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Energetycznych (PKiEME) można podzielić na 2 zasadnicze grupy tematyczne:

1. Podstawy projektowania i konstruowania maszyn.
2. Eksploatacja i diagnostyka maszyn energetycznych.

W ostatnim 5–leciu w ramach pierwszej grupy tematycznej prowadzono badania dotyczące:

- ogólnej metodologii projektowania i konstruowania maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem metody doboru cech konstrukcyjnych uzębień przekładni zębatej,
- komputerowo wspomaganego projektowania elementów maszyn obciążonych cieplnie z uwzględnieniem wymaganej trwałości (pełzaniowej i zmęczeniowej).

Prace naukowo–badawcze drugiej grupy tematycznej obejmowały w latach 1990 – 1994 następujące zagadnienia:

- Kompleksowa ocena turbin z uwzględnieniem kryterium trwałości i efektywności pracy.
- Komputerowo wspomagany monitoring i sterowanie eksploatacją turbin parowych.
- Modernizacja warunków eksploatacji turbin parowych z uwzględnieniem zadanych ograniczeń, aktualnego stanu technicznego i planowanego czasu pracy.
- Adaptacja turbin do pracy w warunkach odbiegających od nominalnych.
- Zastosowanie infradźwięków do czyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotłów energetycznych i elektrofiltrów.
- Bezpośredni nadzór eksploatacyjny maszyn energetycznych.

W niniejszej pracy omówiono niektóre aktualnie prowadzone badania w dziedzinie podstaw projektowania i konstruowania maszyn energetycznych oraz rozwoju nowych metod ich eksploatacji i diagnostyki. Przedstawiono

przegląd własnych publikacji oraz omówiono wybrane wyniki najnowszych badań.

2. ROZWÓJ METODOLOGII PROJEKTOWANIA I KONSTRUOWANIA MASZYN

Badania podstaw ogólnej teorii projektowania i konstruowania maszyn są prowadzone w Zakładzie PKiEME już od wielu lat. Badania te są współbieżne z podobnymi pracami prowadzonymi w innych ośrodkach krajowych i zagranicznych. Celem badań jest: po pierwsze – określenie uogólnień pojęciowych i zasad właściwych dla dziedziny projektowo–konstrukcyjnej, po drugie – wskazanie możliwości praktycznego ich zastosowania w pracy projektowo–konstrukcyjnej i w dydaktyce. Najnowsze wyniki badań z tego zakresu opublikowano między innymi w pracach [3 i 26].

W pracy [3] uzupełniono i pogłębiono treści, które odnoszą się do obciążenia, tworzywa konstrukcyjnego, stateczności i współzależności funkcyjnej różnych wielkości. Wskazane zostało, jakie przedmioty badań są związane z poszczególnymi zasadami i jaki jest ich wpływ na jakość rozwiązania konstrukcyjnego.

Bardzo ważnym uzupełnieniem prac z zakresu rozwoju metodologii projektowania i konstruowania maszyn są skrypty uczelniane. W ostatnim okresie wydano dwa nowe opracowania z tego zakresu [6 i 7]. Zmiana planu i programu studiów na kierunkach budowa i eksploatacja maszyn oraz ochrona i inżynieria środowiska wywołała konieczność zmian i uzupełnień wcześniejszych wydanych skryptów oraz opracowania nowych, zwłaszcza z zakresu eksploatacji i diagnostyki maszyn. W związku z tym podjęto działania zmierzające do przygotowania cyklu skryptów pod ogólnym tytułem „Podstawy konstrukcji i eksploatacji maszyn”.

Do podstawowych własnych osiągnięć badawczych należy zaliczyć prace związane z badaniami konstrukcyjnymi przekładni zębatych. Podstawowym celem tych badań jest wdrożenie do praktyki projektowo–konstrukcyjnej zaleceń normy obliczeń nośności i wytrzymałości uzębień. Początkowo badania były oparte na zaleceniu normatywnym wydanym przez Stałą Komisję ds. Standaryzacji przy RWPG. Obecnie badania są prowadzone zgodnie z normą DIN 3990.

Na obecnym etapie badań, które są prowadzone zgodnie z założeniami metodologicznymi ogólnej teorii projektowania i konstruowania maszyn, przystąpiono do opracowania metody badania i oceny wytrzymałości uzębień oraz ich nośności [46, 47 i 59].

Celem jest przystosowanie metody do współczesnych wymagań norm jakości. W pracy uwzględniono zalecenie normy DIN 3990 wyróżniającej metody, które oznaczone zostały jako A, B, B_R, B_K, B_P. Badania własne są prowadzone

zgodnie z metodą B, która w ocenie własności wytrzymałościowych uzębień wyróżnia trzy klasy jakości: ML, MQ, ME.

W wyniku przeprowadzonych badań porównane zostały dwa kryteria bezpieczeństwa: współczynnik bezpieczeństwa i wskaźnik bezpieczeństwa, co rozszerza tradycyjny sposób oceny bezpieczeństwa zazębienia. Opracowano również pierwszą wersję programu obliczeń sprawdzającego wytrzymałość i nośność uzębienia [59].

3. KOMPUTEROWO WSPOMAGANE PROJEKTOWANIE ELEMENTÓW I ZESPOŁÓW MASZYN OBCIĄŻONYCH CIEPLNIE Z UWZGLĘDNIENIEM WYMAGANEJ TRWAŁOŚCI

Komputerowym wspomaganie projektowania w sensie opisowym nazywa się proces użytkowania zbioru metod i środków informatycznych (komputerowych) wzmacniający możliwości twórcze konstruktora czy projektanta.

Celem prac podjętych w Zakładzie PKiEME jest opracowanie systemu komputerowego wspomaganie projektowania elementów i zespołów maszyn energetycznych (głównie turbin parowych) obciążonych cieplnie z uwzględnieniem wymaganej trwałości. Najważniejsze korzyści wynikające z stosowania takiego systemu są następujące^{*)}:

1. Ułatwienie (umożliwienie) wyznaczenia rozwiązania optymalnego.
2. Podwyższenie jakości uzyskanego rozwiązania, np. przez zastosowanie w obliczeniach dokładniejszych modeli matematycznych.
3. Odciążenie projektanta od czasochłonnych i często nudnych prac rutynowych (np. kreśleń), co zachęca go do kontynuowania działań twórczych, np. projektowania wielowariantowego.
4. Zwiększenie możliwości korzystania z istniejących (sprawdzonych w praktyce) rozwiązań projektowych, dzięki wykorzystaniu komputerowych baz danych, istniejących norm, katalogów itp.
5. Przeprowadzenie symulacji zachowania się projektowanego obiektu w różnych warunkach, jeszcze na etapie projektowania, bez konieczności budowy prototypu i przeprowadzania kosztownych badań laboratoryjnych lub eksploatacyjnych.

Opracowane w Zakładzie PKiEME programy obliczeniowe przeznaczone są do wspomaganie projektowania elementów maszyn i służą do wyznaczenia stanu wytrzymałościowego (zadanie analizy) lub do wyznaczenia postaci konstrukcyjnej i wymiarów projektowanego elementu (zadanie syntezy).

Programy grupy pierwszej oparte są na metodzie elementów skończonych lub różnic skończonych i w większości wymagają dłuższych czasów obliczenio-

*) Osiński Z., Wróbel J.: Teoria konstrukcji maszyn. PWN, Warszawa 1982.

wych. Programy te zostały opracowane zarówno w wersji dydaktycznej przeznaczonej do wspomagania procesu dydaktycznego w szczególności w przedmiotach termowyrztrzymałości oraz podstaw konstrukcji maszyn, a także jako pomoc przy wykonywaniu samodzielnych prac projektowych.

Drugim istotnym zastosowaniem przedstawionych programów jest zastosowanie przemysłowe. Programy te mogą wchodzić w skład systemów oceny stanu technicznego elementów maszyn i urządzeń energetycznych, a także mogą wspomagać proces projektowania elementów maszyn.

Druga grupa programów, przygotowana przede wszystkim z myślą o zastosowaniach dydaktycznych, pozwala demonstrować ich praktyczne zastosowanie do optymalnego projektowania. Programy te znajdują również zastosowanie w prowadzonej działalności projektowej. Jest ona ukierunkowana głównie na odtworzenie dokumentacji, rekonstrukcję i modernizację maszyn lub ich elementów [np. 51].

3.1. Programy analizy

■ Zbiór programów SIGMA–MES

Są to programy przeznaczone do analizy stanu naprężenia i odkształcenia w ciałach płaskich (**pso** – płaski stan odkształcenia i **psn** – płaski stan naprężenia) i osiowo–symetrycznych metodą elementów skończonych. Programy te umożliwiają analizę stanu naprężenia w konstrukcjach poddanych działaniu obciążeń skupionych (sił), obciążeń powierzchniowych (np. ciśnienia), obciążeń objętościowych (np. siły odśrodkowe wirujących mas) oraz obciążeń termicznych wywołanych nierównomiernym rozkładem temperatury. W obliczeniach wykorzystywane są elementy ośmiowęzłowe. System programów NAP–MES jest stosowany w zajęciach dydaktycznych. Nadaje się również do profesjonalnego stosowania w zagadnieniach projektowych. W Zakładzie PKiEME programy te znalazły zastosowanie w pracach naukowo–badawczych wykonywanych na zlecenie przemysłu.

■ System LUSAS

Jest to profesjonalny systemem elementów skończonych opracowany w London Univeristy. Program przeznaczony jest do analiz statycznych i dynamicznych ciał jedno–, dwu– i trójwymiarowych. Program dysponuje szeroką gamą typów elementów skończonych, a także fizycznych modeli materiałów (np. modele liniowe, sprężysto–plastyczne, materiały kompozytowe, materiały izotropowe, amizotropowe, ortotropowe itd).

Program umożliwia analizę nieliniowych zagadnień statycznych metodą przyrostową, dużych deformacji, nieliniowości geometrycznych, analizę 1–, 2– i 3–wymiarowych pól temperatur, częstotliwości drgań własnych elementów oraz nieliniowych analiz dynamicznych.

■ Zbiór programów ELEMENT

Są to programy służące do analizy stanu naprężenia i odkształcenia wybranych, konkretnych elementów maszyn (np. tarcze wirnikowe, wały, wirniki stopni osiowo–promieniowych, grubościennie powłoki walcowe i kuliste, łopatki robocze, tarcze kierownicze). W przeciwieństwie do wcześniej opisanych ogólnych systemów obliczeniowych, są to programy szczegółowe, dotyczące konkretnej postaci konstrukcyjnej. I tak np. grupa programów **TARCZA** umożliwia analizę płaskiego stanu naprężenia wirujących tarcz z otworem o zmiennej grubości. Algorytm obliczeń oparto na metodzie różnic skończonych. Jako obciążenie przyjmuje się siły odśrodkowe wirujących mas oraz nierównomierny promieniowy rozkład temperatury. Analizuje się stan sprężysty i sprężysto–plastyczny tarczy z umocnieniem liniowym lub wykładniczym. Z kolei programy **WAL** służą do analizy naprężeń w wirującym wale w płaskim stanie odkształcenia. Algorytm oparty na metodzie różnic skończonych umożliwia analizę obciążeń masowych pochodzących od wirujących mas, obciążeń termicznych oraz obciążeń powierzchniowych na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni wału.

3.2. Dobór cech konstrukcyjnych z uwzględnieniem kryteriów wytrzymałościowych

Opracowanie ogólnego systemu projektowania elementów i zespołów maszyn nie jest praktycznie możliwe. Nie można podać ogólnego, zawsze skutecznego algorytmu optymalizacyjnego. Metodę rozwiązania zadania projektowego należy dobrać indywidualnie do sformułowanego problemu. W związku z tym w Zakładzie PKiEME opracowano szereg szczegółowych procedur doboru cech konstrukcyjnych elementów maszyn z uwzględnieniem kryteriów wytrzymałościowych. Są to programy służące do projektowania wybranych, konkretnych elementów maszyn (np. tarcze wirnikowe, wały, wirniki stopni osiowo–promieniowych, grubościennie powłoki walcowe i kuliste, łopatki robocze). I tak np. grupa programów **PRO-TAR** służy do optymalnego projektowania tarcz wirnikowych stopni osiowych i osiowo–promieniowych z uwagi na różnie formułowane kryteria wytrzymałościowe. Najprostszy algorytm programu opiera się na iteracyjnym procesie zmian geometrii tarczy (tzn. grubości tarczy na poszczególnych promieniach) w zależności od aktualnej wartości stosunku naprężeń zredukowanych do naprężeń dopuszczalnych w danym przekroju, tzn.

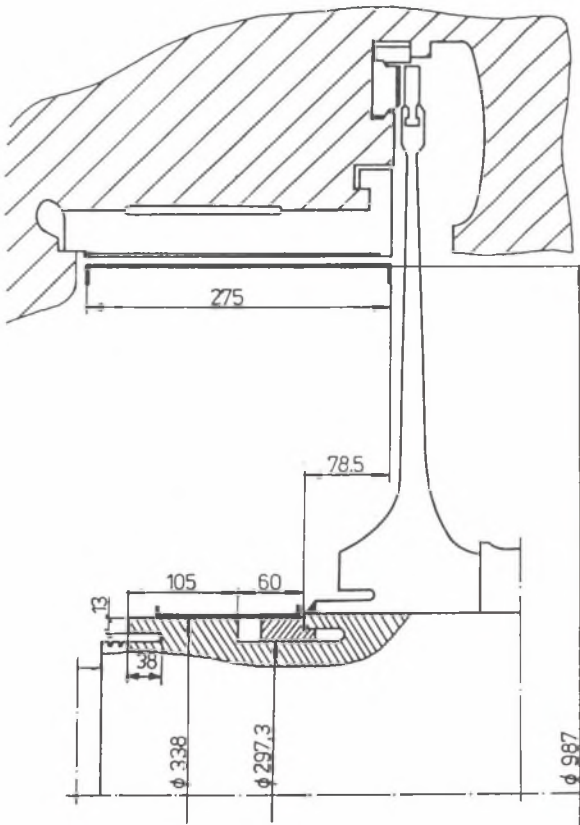
$$\frac{h_i^{j+1}}{h_i^j} = \left(\frac{\sigma_i}{\delta_d} \right)^a \quad (1)$$

Integralną częścią programu jest procedura wyznaczenia stanu naprężenia w wirującej tarczy o zmiennej grubości.

W bardziej złożonych procedurach optymalizacyjnych (projektowych) wykorzystano z powodzeniem metody Monte Carlo, Powella, Rosenbrucka i systematycznego przeszukiwania.

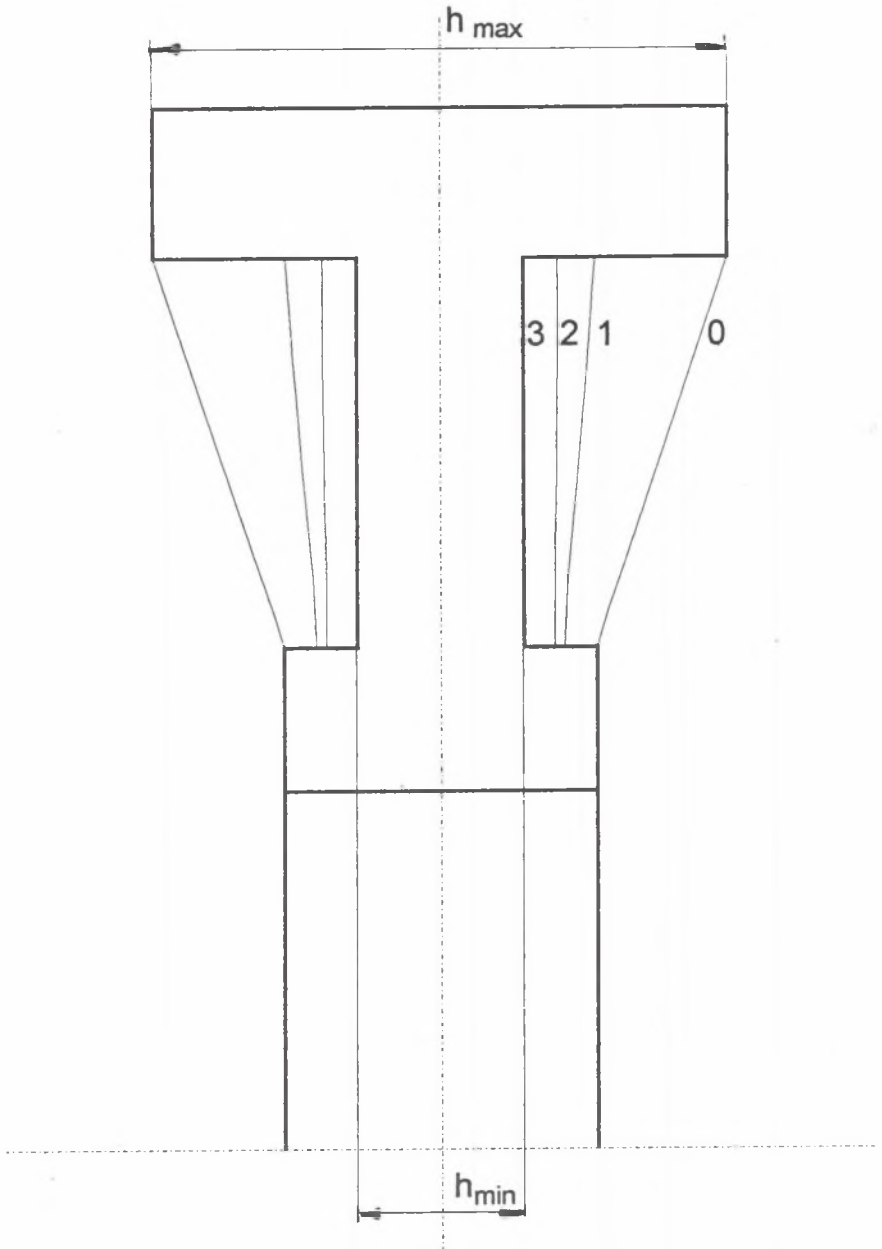
Wybrane wyniki badań w zakresie komputerowego wspomaganie procesu doboru cech konstrukcyjnych elementów i zespołów maszyn omówiono w pracach [9, 17, 19, 22, 23, 30, 51, 52, 53]. Szerszy przegląd publikacji i opracowań naukowo-badawczych podano w [51].

W pracy [51] rozpatrywano przykład rekonstrukcji (odtworzenia) tłoka odciążającego turbiny reakcyjnej. Zakres badań obejmował: dobór cech kon-



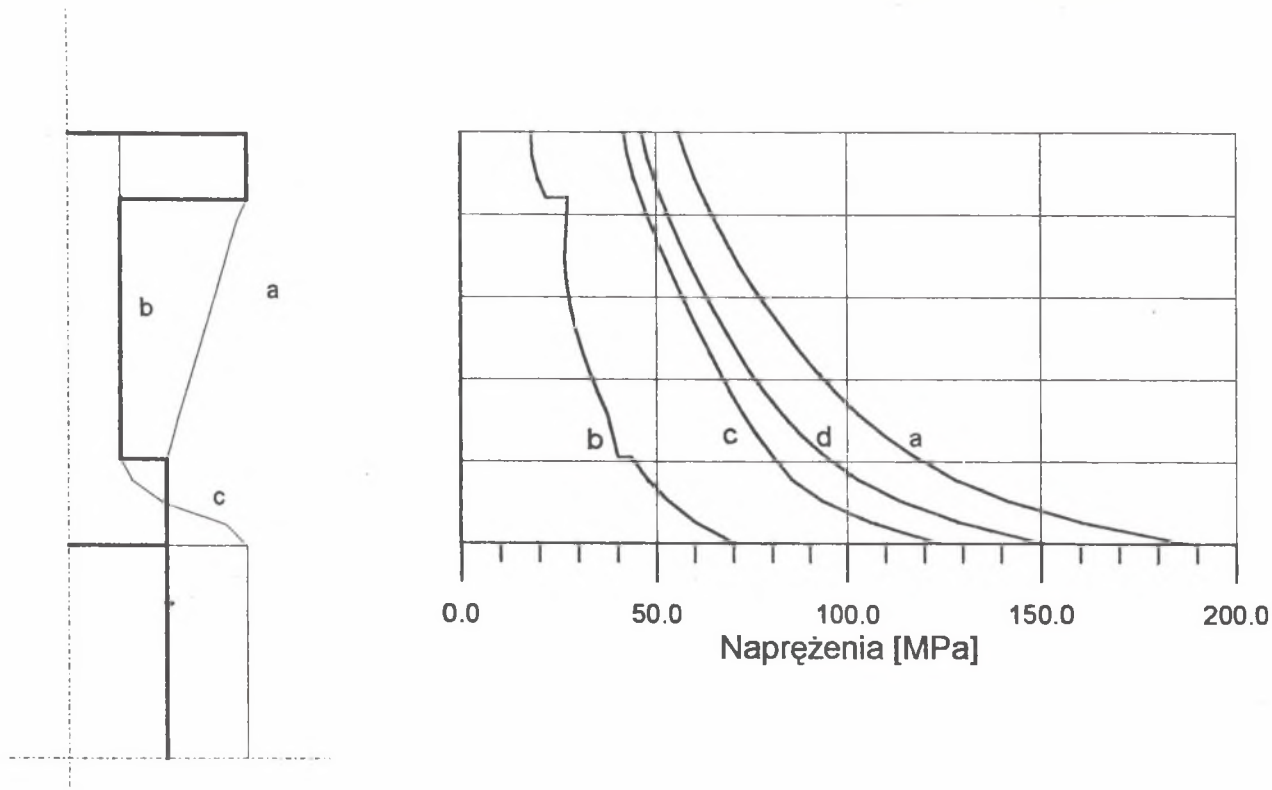
Rys. 1. Stopień regulacyjny i obszar tłoka odciążającego turbiny [51]

Fig. 1. The control stage and zone of a unloading piston of the turbine



Rys. 2. Proces iteracyjnego doboru wymiarów tarczy

Fig. 2. Iterative process of rotor disc's sizing selection

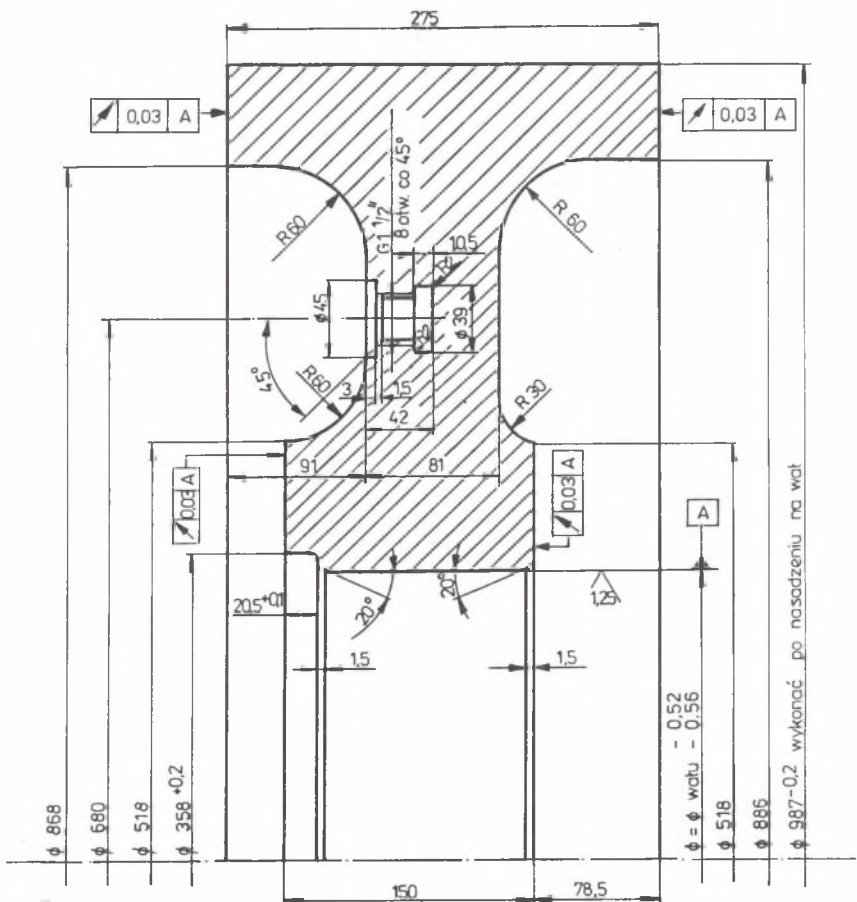


Rys. 3. Rozkład naprężeń: a – tarcza trapezowa z piastą i wieńcem, b – tarcza optymalna z piastą i wieńcem, c – tarcza optymalna bez piasty i wieńca, d – tarcza o stałej grubości

Fig. 3. Stress distribution: a – trapezoidal disc with hub and rim, b – the optimal disc with hub and rim, c – the optimal disc without hub and rim, d – the constant thickness disc

strukcyjnych tłoka, obliczenia wytrzymałościowe, analizę warunków pracy połączenia wciskowego tłoka z wałem oraz dobór wcisku montażowego.

Fragmęt turbiny obejmujący stopień regulacyjny i przestrzeń tłoka odciążającego pokazano schematycznie na rys. 1. Należało zaprojektować (zrekonstruować) tłok odciążający o średnicy zewnętrznej $\phi 987$ osadzony na wale o średnicy $\phi 338$. Znane są również wymiary osiowe tłoka, tzn. szerokość na promieniu wewnętrznym i zewnętrznym (rys. 1). Uszczelnienia labiryntowe w postaci blaszek są umieszczone na wieńcu tłoka o szerokości 275 mm. Szerokość piasty nie może przekroczyć 165 mm (105 mm + 60 mm na rys. 1).



Rys. 4. Cechy konstrukcyjne tłoka [51]

Fig. 4. Constructional feature of a piston

W procesie doboru cech konstrukcyjnych tłoka wykorzystano opisaną wyżej procedurę iteracyjną (1). Uwzględniono wszystkie zadane ograniczenia. Minimalną i maksymalną grubość tłoka przyjęto równą odpowiednio: 80 mm i 275 mm. Przebieg procesu iteracyjnego (grubość tarczy w kolejnych przybliżeniach) pokazano na rys. 2. Jako przybliżenie zerowe (wstępne) przyjęto tarczę trapezową z piastą i wieńcem. Na rys. 3 porównano rozkład naprężeń zredukowanych wzdłuż promienia tłoka dla kilku wariantów cech konstrukcyjnych. Ostateczną postać i wymiary tłoka przedstawiono na rys. 4.

4. KOMPLEKSOWA OCENA TURBIN Z UWZGLĘDNIENIEM KRYTERIUM TRWAŁOŚCI I EFEKTYWNOŚCI PRACY

Opracowaną w Instytucie MiUE i stosowaną obecnie metodologię oceny stanu technicznego turbin opisano w artykule [43] oraz w pracach [10, 12 – 16, 20, 30, 36]. Według opracowanych metod i algorytmów przeprowadzono szczegółową ocenę stanu technicznego i warunków eksploatacji szeregu turbin różnego typu [43]. Stosowana metodologia badań jest ciągle rozwijana. Informacje na ten temat podano również w [43].

Zakres kompleksowej oceny turbin obejmuje 3 grupy zagadnień:

- ocena stanu technicznego i warunków pracy głównych elementów,
- ocena turbin ze względu na kryterium efektywności pracy (ocena charakterystyk energetycznych),
- określenie aktualnego stanu dynamicznego.

W ramach drugiej grupy zagadnień wyznacza się stopień zużycia eksploatacyjnego głównych elementów turbiny (kadłuby, wirniki, komory zaworów). Sprawa ta ma najistotniejsze znaczenie dla określenia czasu dalszej bezpiecznej pracy turbiny.

W proponowanych badaniach ocenę stanu technicznego i warunków pracy głównych elementów turbiny prowadzi się na podstawie:

- wyników pomiarów cieplnych (bilansowych i ruchowych),
- modelowania pracy obiegu cieplnego turbiny,
- analizy stanu wytrzymałościowego elementów turbiny,
- obliczenia stopnia zużycia eksploatacyjnego,
- wyników badań nieniszczących,
- wyników pomiarów drgań.

Szczegółowy zakres prac obejmuje zagadnienia podane w tabl. 1 [48]. Z podanego zakresu badań wynika, że do oceny stanu technicznego turbin i prognozowania czasu dalszej pracy są konieczne informacje wynikające z analizy wszystkich postaci osłabienia materiału. Tylko synteza wyników badań teoretycznych i doświadczalnych może zapewnić właściwą ocenę stanu technicznego badanego obiektu [48].

Tablica 1

Ocena stanu technicznego elementów turbin

Etap	Zakres badań i obliczeń
1.	Przegląd dokumentacji dotyczącej eksploatacji badanej turbiny: – dokumentacja odzwierciedlająca działalność konserwacyjno–remontową, – protokoły i raporty z badań i pomiarów diagnostycznych, – informacje o zdarzeniach wyjątkowych (awariach itp.).
2.	Wybór danych do oceny stanu technicznego głównych elementów badanej turbiny (wirniki, kadłuby i komory zaworów WP i SP)
3.	Ocena dotychczasowych warunków pracy turbiny, z uwzględnieniem tych faktów, które wpływają na naprężenia w elementach turbiny.
4.	Analiza dotychczas wykonanych różnych pomiarów i badań. Opis rzeczywistych procesów eksploatacyjnych (raporty, taśmy i wskazania przyrządów ruchowych) – opracowanie danych do modelowania stanów cieplnych i wytrzymałościowych elementów.
5.	Numeryczna symulacja ekspansji pary w układzie przepływowym turbiny dla rzeczywistych procesów rozruchu (pkt 4).
6.	Analiza obciążeń cieplnych elementów turbiny, obliczenie ustalonych i niestabilnych pól temperatury w elementach – dla rozruchu wg danych rzeczywistych (pkt 4 i 5)
7.	Analiza stanu wytrzymałościowego elementów: – obliczenia rozkładów naprężeń zmiennych i ich amplitudy, – wyznaczenie naprężeń w warunkach pełzania, – lokalizacja miejsc najbardziej obciążonych.
8.	Wybór miejsc do badań nieniszczących.
9.	Wykonanie badań nieniszczących lub wykorzystanie wyników badań wykonanych w czasie dotychczasowej eksploatacji turbiny.
10.	Analiza wyników obliczeń teoretycznych i badań nieniszczących. Ocena stopnia zużycia.
11.	Analiza możliwości dalszej, bezpiecznej i efektywnej eksploatacji turbiny. Zalecenia niezbędnych zmian w procesie eksploatacji.

5. SYSTEM CIĄGŁEJ ANALIZY STANU CIEPLNEGO I WYTRZYMAŁOŚCIOWEGO TURBIN

Opracowany system [10, 16, 31 – 33, 36, 48] przeznaczony jest do zdalnego, ciągłego monitorowania stanu cieplnego i wytrzymałościowego elementów turbozespołu opartego na sygnałach pochodzących z zestawu CRD – Centralnej Rejestracji Danych. System zapewnia cykliczną rejestrację i zdalną obserwację sygnałów i danych z obiektu w trybie automatycznym, jak i na polecenie operatora systemu. W przypadku wykrycia odstępstwa od zadeklarowanych wcześniej wartości granicznych powiadamia operatora systemu i rejestruje zaistniałe zdarzenie.

Sygnały – dane z turbozespołów gromadzone są w bazie danych. Opracowane oprogramowanie diagnostyczne, zainstalowane w komputerze umożliwia przeprowadzanie diagnozowania w trybie ON–LINE jak i OFF–LINE, z uwzględnieniem analiz długoterminowych. Zakres monitorowania obejmuje określenie efektywności pracy turbiny, analizę stanów cieplnych, wytrzymałościowych i dynamicznych oraz ocenę stanu technicznego elementów (obciążenia cieplne, trwałość pełzaniowa, niskocykliczna trwałość zmęczeniowa, stany dynamiczne).

Wymagany układ pomiarów dla systemu ciągłej analizy stanu cieplnego i wytrzymałościowego elementów turbiny obejmuje 3 grupy danych:

1. Sygnały wolnozmiennne:

- parametry pary w punktach charakterystycznych, np. wlot, wylot,
- temperatury metalu,
- temperatury wody i skroplin,
- wydłużenia cieplne,
- moc elektryczna i obroty.

2. Sygnały szybkozmiennne:

- pomiar wielkości określających stan dynamiczny maszyny.

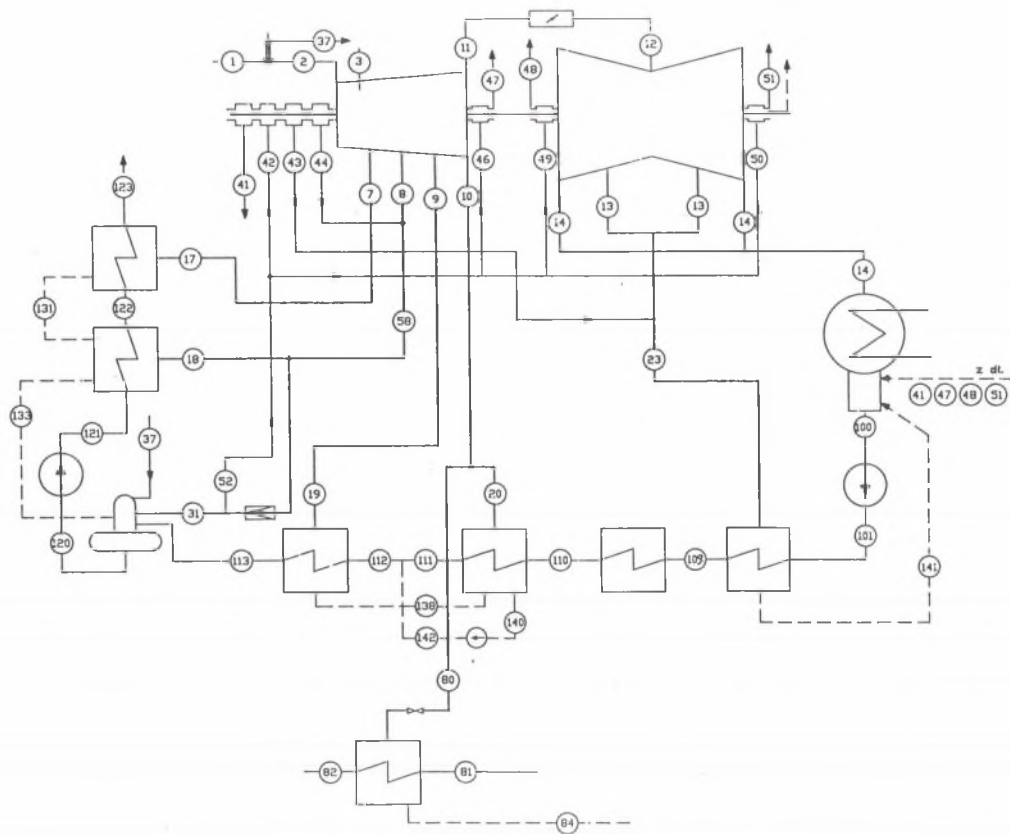
3. Wejścia dwustanowe.

Układ punktów pomiarowych powinien zapewnić wykonanie wszystkich zadań diagnostycznych. Przyjęto założenie, że istniejąca aparatura kontrolno–pomiarowa zostanie wykorzystana w maksymalnym stopniu. W związku z tym przed przystąpieniem do doboru układu punktów pomiarowych analizuje się istniejący układ pomiarowy turbiny.

Pomiary wolnozmiennne ze względu na zakres ich wykorzystania można podzielić następująco:

- A – pomiary podstawowe, obejmujące najważniejsze wielkości opisujące pracę turbiny. Pomiary te są wykorzystywane do analizy efektywności turbiny oraz do oceny stanów cieplnych i wytrzymałościowych,
- B – pomiary temperatury metalu w wybranych punktach turbiny. Pomiary te są wykorzystywane do analizy stanów cieplnych i wytrzymałościowych,
- C – pomiary parametrów i strumienia pary i wody do bilansu cieplnego i analizy efektywności pracy układu.

Rozpatrzmy dla przykładu turbinę kondensacyjną, dwukadłubową, bez przerwu międzystopniowego z 7 upustami regeneracyjnymi. Na rys. 5 przedstawiono uproszczony schemat układu cieplnego turbiny i zaznaczono punkty charakterystyczne obiegu. W tablicy 2 podano wykaz punktów pomiarowych niezbędnych do ciągłego nadzoru stanów cieplnych i wytrzymałościowych (w zakresie pomiaru parametrów pary i wody). Stosowano oznaczenia punktów wg rys. 5. W tabl. 3 zawarto wyniki bilansu cieplnego uzyskanego na podstawie pomiaru parametrów pary i wody w punktach zaznaczonych na rys. 5.



Rys. 5. Schemat układu ciepłego turbiny z zaznaczeniem punktów charakterystycznych

Fig. 5. Thermal cycle of turbine with indication of characteristic points

Tablica 2

Wykaz punktów pomiarowych

A.	Parametry pary	
	* para przed turbiną (p, T, m)	– pkt 01
	* para w komorze stopnia regulacyjnego (p)	– pkt 03
	* para w upuście regulowanym (p, T)	– pkt 10
	* para za turbiną (p, T)	– pkt 14
B.	Temperatura skroplin	
	* woda za kondensatorem	– pkt 100
	* woda za odgrywaczem	– pkt 120
	* woda za wymiennikiem XW2 (przed kotłem)	– pkt 123
C.	Parametry wody sieciowej	
	* strumień wody sieciowej	– pkt 81
	* temperatura wody przed wymiennikiem	– pkt 81
	* temperatura wody za wymiennikiem	– pkt 82
D.	Temperatura wody chłodzącej kondensator	
	* temperatura na wlocie	– TWL
	* temperatura na wylocie I	– TWY1
	* temperatura na wylocie II	– TWY2
E.	Dodatkowe wielkości mierzone	
	* moc elektryczna,	
	* strumień wody zasilającej	– pkt 123
	* strumień pary do kolektora	– pkt 77

Tablica 3

Bilans cieplny turbiny

1.	PARAMETRY PARY W OBRĘBIE TURBINY – POMIAR				
	Wlot	8,730 [MPa]	507,9 [°C]	183,8	[T/h]
	Wylot WP	0,210 [MPa]	–	–	
	Wylot NP	0,009 [MPa]	–	–	
	Para do kolektora			5,0	[T/h]
	Para do XP z przelotni			43,0	[T/h]
2.	TURBINA				
	Moc wewnętrzna turbiny			39,2	[MW]
	Moc elektryczna turbiny			37,3	[MW]
	Moc cieplna			26,2	[MW]
	Sprawność wewnętrzna turbiny			81,25	[%]
3.	EFEKTYWNOŚĆ PRACY BLOKU				
	Jednostkowe zużycie ciepła			7326,7	[kJ/kWh]
	Jednostkowe zużycie pary			4,93	[T/MWh]
	Sprawność obiegu			49,14	[%]
	Wskaźnik zużycia en. chem.			8421,4	[kJ/kWh]
	Jednostkowe zużycie węgla um.			287	[kJ/kWh]

cd. tablicy 3

4.	BILANS CIEPLNY BLOKU			
	Ciepło doprowadzone		133,63	[MW]
	Moc wewnętrzna turbiny		39,22	[MW]
	Moc cieplna pary do XP		26,19	[MW]
	Ciepło do kolektora		3,88	[MW]
	Ciepło do kondensatora		58,99	[MW]
	Strata ciepła (uszczelnienia, wymienniki regen.)		5,35	[MW]
5.	BILANS PARY			
	Strumień na wlocie		183,80	[T/h]
	Regeneracja WP		14,84	[T/h]
	Para do odgazowywacza		6,52	[T/h]
	Regeneracja NP		18,41	[T/h]
	Para do XP z przelotni		42,98	[T/h]
	Para do kolektora		5,00	[T/h]
	Uszczelnienia		2,30	[T/h]
	Strumień wylotowy		93,75	[T/h]
6.	WYMIENNIK CIEPŁOWNICZY			
	Strumień wody	– max	1397,0	[T/h]
		– dany	900,0	[T/h]
		– min	470,9	[T/h]
	Temperatura na wylocie	– max	117,8	[°C]
		– dana	95,0	[°C]
		– min	86,1	[°C]
	Temperatura na wlocie	– max	101,7	[°C]
		– dana	70,0	[°C]

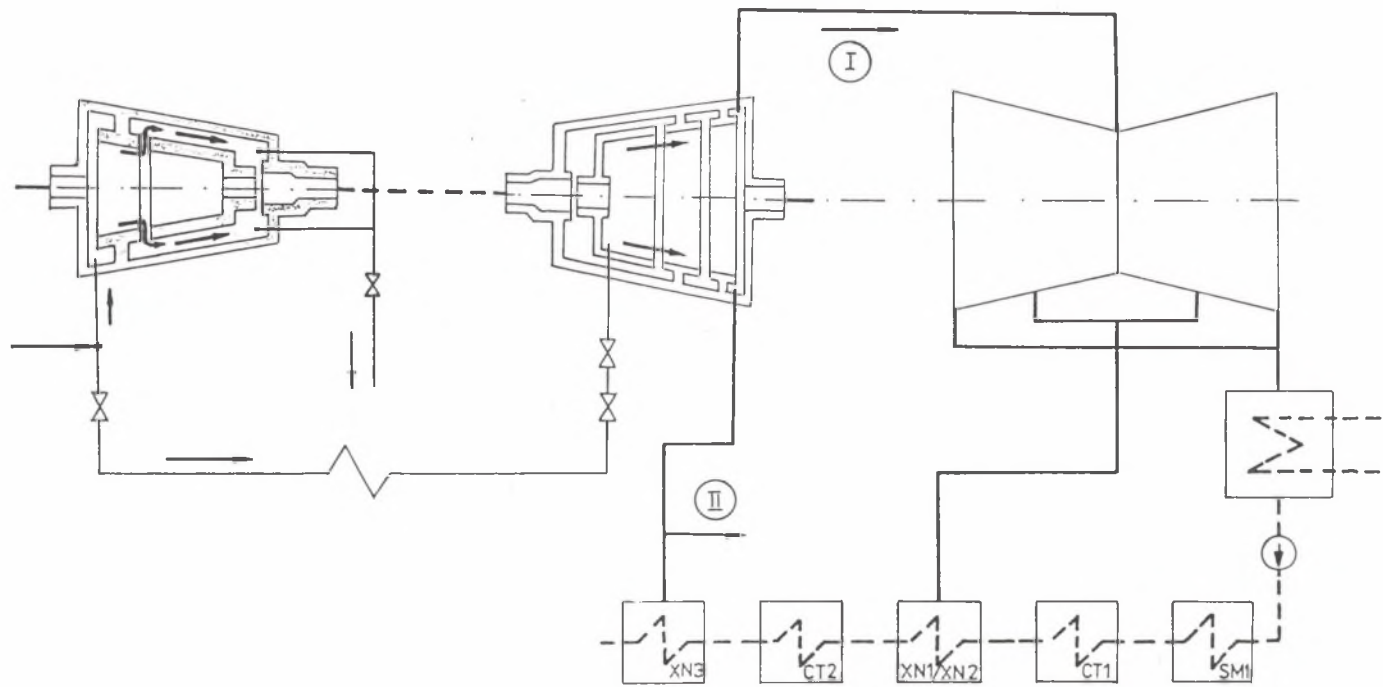
6. MODERNIZACJA WARUNKÓW EKSPLOATACJI TURBIN PAROWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ZADANYCH OGRANICZEŃ, AKTUALNEGO STANU TECHNICZNEGO I PLANOWANEGO CZASU PRACY

Główne badania prowadzone w tym zakresie w Zakładzie PKiEME dotyczą doboru warunków eksploatacji do aktualnego stanu technicznego i planowanego czasu pracy [48]. Szersze informacje na ten temat podano w opracowaniu [60].

Do grupy działań modernizujących warunki eksploatacji turbin parowych należy zaliczyć własną, oryginalną metodę przyspieszonego (wymuszonego) chłodzenia grubościennych elementów maszyn i urządzeń, ze szczególnym uwzględnieniem:

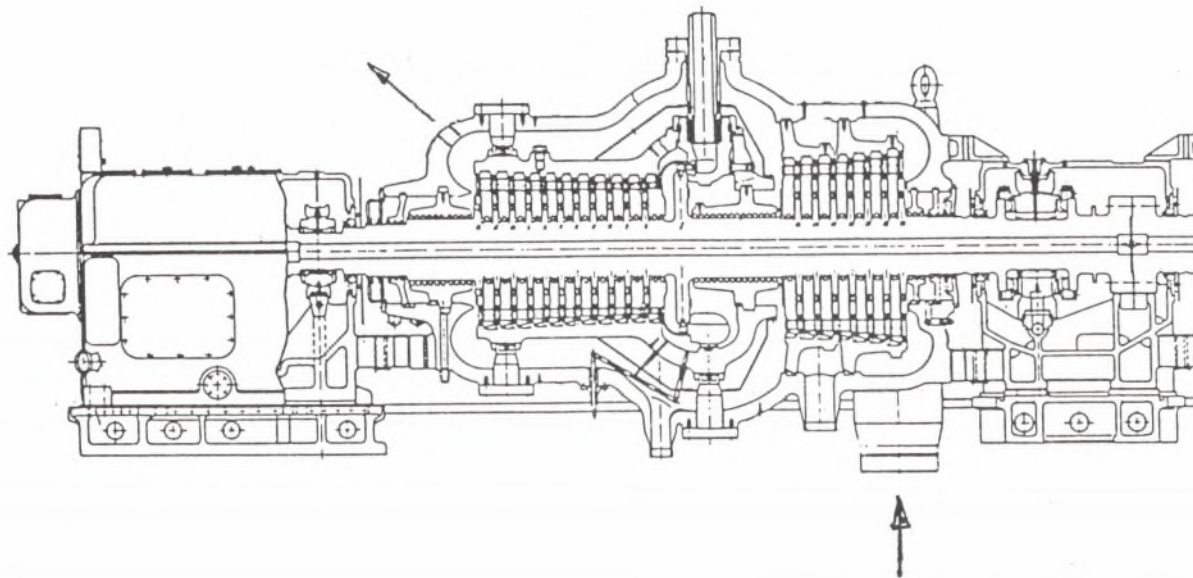
- części wysoko- i średnioprężnych turbin parowych,
- grubościennych kolektorów kotłów parowych.

Opracowaną metodę chłodzenia zastosowano z powodzeniem na wielu jednostkach różnego typu. Najnowsze wyniki badań z tego zakresu podano w pracach [15, 40, 54 i 55]. Dla turbin parowych opracowano pewien modelowy



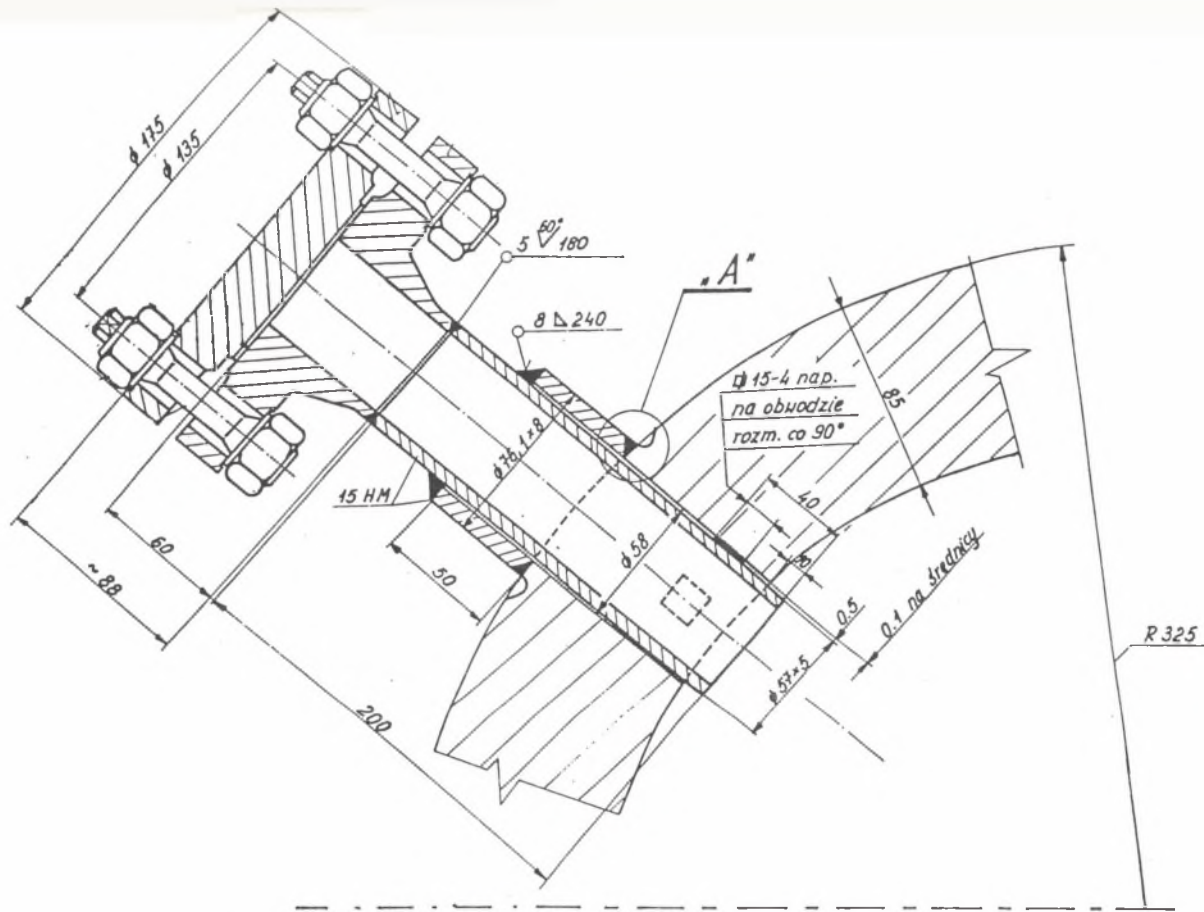
Rys. 6. Przepływ powietrza chłodzącego przez turbinę

Fig. 6. Flow of the cooling air through the turbine



Rys. 7. Przykład turbiny z „nawrotnym” przepływem

Fig. 7. Example of a turbine with „reverse” flow



Rys. 8. Króciec do odprowadzenia powietrza chłodzącego

Fig. 8. Stub pipe for extraction of the cooling air

(podstawowy) układ przepływu czynnika chłodzącego przez maszynę, spełniający najlepiej przyjęte założenia. Jest to układ, w którym zastosowano pośrednie chłodzenie zespołu wirującego. Powietrze przepływa w cz. WP pomiędzy kadłubami. Praktyczna realizacja przyjętej koncepcji może być bardzo różna. Na rys. 6 pokazano przepływ powietrza przez turbinę 13K215. Dla turbin z nawrotnym przepływem (rys. 7) optymalnym rozwiązaniem okazało się zastosowanie dodatkowych króćców (rys. 8). W trakcie opracowania dokumentacji i warunków chłodzenia konkretnej turbiny lub kotła szczególną uwagę zwraca się na dobór optymalnej prędkości chłodzenia i ocenę wpływu tego procesu na trwałość głównych elementów [54].

Ostatnią grupą zagadnień związanych z modernizacją warunków eksploatacji turbin parowych jest adaptacja tych maszyn do pracy w warunkach odbiegających od nominalnych. Najczęściej adaptacja ta wiąże się z koniecznością przystosowania turbin kondensacyjnych do celów ciepłowniczych i wprowadzenia dodatkowych odbiorów pary do celów technologicznych [60].

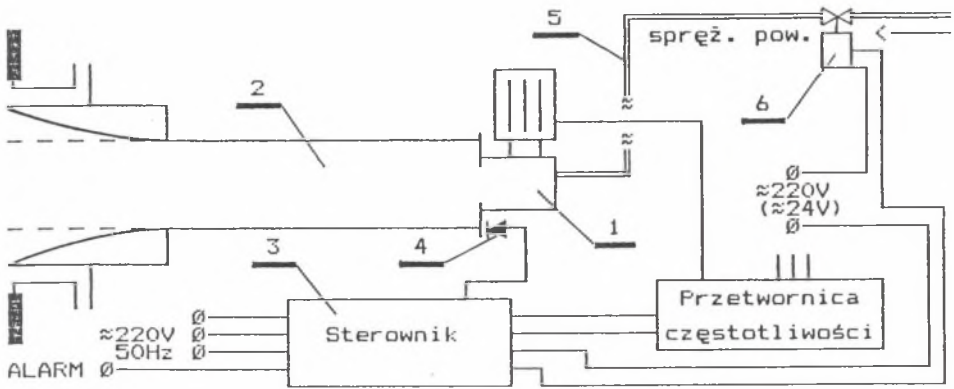
7. ZASTOSOWANIE METOD AKUSTYCZNYCH DO ZMNIEJSZENIA INTENSYWNOŚCI OSADZANIA SIĘ CZĘŚCI LOTNYCH NA POWIERZCHNIACH GRZEWCZYCH KOTŁÓW

Grubość osadów sadzy i popiołu rośnie w czasie eksploatacji kotła i powoduje obniżenie jego wydajności. Stosowane w praktyce parowe zdmuchiwalce sadzy zużywają kilka procent wytworzonej pary i niejednokrotnie ich działanie nie jest skuteczne. Firmy Infrasonic AB i Clyde Blowers PLC opracowały nową metodę czyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotłów za pomocą specjalnych urządzeń (infracfonów), generujących dźwięki o niskiej częstotliwości (tzw. infradźwięki). Przy odpowiednio dużej mocy akustycznej infradźwięki pobudzają do drgań (ruchu) w zamkniętych przestrzeniach cząsteczki lotne sadzy i popiołu, przemieszczając je w kierunku przepływu spalin.

W Zakładzie PKiEME podjęto własne badania nad zastosowaniem metod akustycznych do zmniejszenia intensywności osadzania się części lotnych na powierzchniach grzewczych kotłów energetycznych. Opracowano konstrukcję oraz prototyp urządzenia INF [25] – rys. 9 i 10.

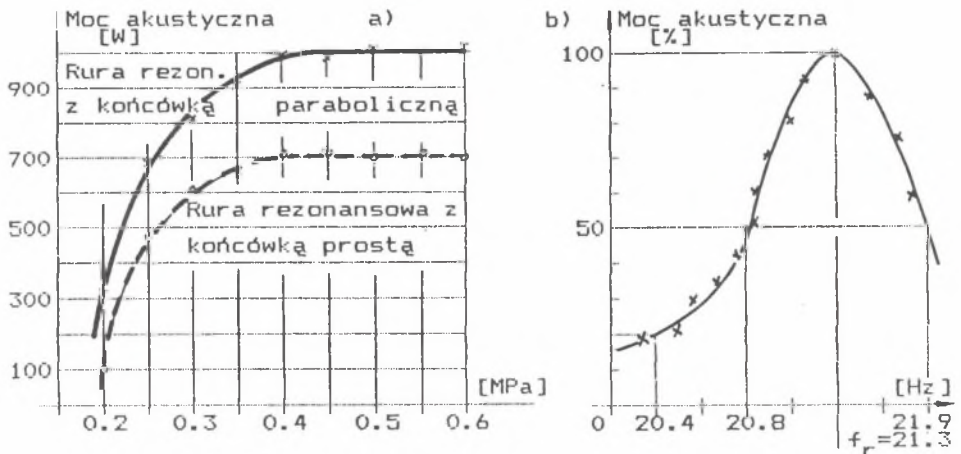
Istotą działania infrafonu jest emitowanie do wewnętrznej przestrzeni kotła dźwięku o określonej częstotliwości i odpowiednio dużej mocy akustycznej (600 – 1000 W). Własności emitowanego przez infrafon dźwięku zależą przede wszystkim od:

- długości rury rezonansowej infrafonu i temperatury ośrodka gazowego (np. powietrza) wypełniającego rurę i jej otoczenie, które to wielkości jednoznacznie określają jej częstotliwość rezonansową,
- średnicy rury rezonansowej i ciśnienia powietrza zasilającego, które to wielkości limitują poziom emitowanej mocy akustycznej,



Rys. 9. Schemat infrafonu

Fig. 9. Scheme of infra phone facility



Rys. 10. Moc akustyczna urządzenia INF w funkcji: a – ciśnienia powietrza zasilającego i rodzaju końcówki rury rezonansowej, b – częstotliwości impulsów pneumatycznych

Fig. 10. Acoustic power of INF facilities as function of: a – feed air's pressure and resonance pipe end, b – pneumatic pulse's frequencies

- rodzaju części wylotowej rury rezonansowej, która również ma wpływ na poziom generowanej mocy akustycznej.

Urządzenie INF opracowane przy współpracy z Elektrownią Rybnik charakteryzuje się własnym, oryginalnym rozwiązaniem głowicy oraz układu sterującego działaniem całego urządzenia. Poprawne działanie urządzenia INF zapewnia układ, który sterując prędkością obrotową silnika elektrycznego napędzającego głowicę powoduje, że częstość obrotów silnika a tym samym częstotliwość impulsów pneumatycznych będzie równa częstotliwości rezonansowej rury dla chwilowych warunków pracy urządzenia.

Badania własności i właściwości prototypu urządzenia INF przeprowadzono na stanowisku próbnym w Elektrowni Rybnik. Urządzenie ustawiono na otwartej przestrzeni w bezpośrednim sąsiedztwie źródła sprężonego powietrza o ciśnieniu 0,6 MPa. Celem prowadzonych badań była odpowiedź na następujące pytania:

- jaki jest maksymalny poziom mocy akustycznej generowanej przez urządzenie INF dla różnych końcówek rury rezonansowej,
- jak wpływa ciśnienie powietrza zasilającego na poziom generowanej mocy akustycznej,
- jak wpływa „rozstrojenie” częstotliwości rezonansowej na poziom mocy akustycznej,
- czy przyjęty sposób „strojenia” rezonansu jest skuteczny i celowy ze względu na działanie urządzenia.

Na podstawie przeprowadzonych badań prototypu urządzenia INF i uzyskanych wyników uznano, że:

- optymalne ciśnienie powietrza zasilającego urządzenie INF mieści się w zakresie 0,4 – 0,6 MPa,
- maksymalny poziom mocy akustycznej urządzenia INF przy ciśnieniu powietrza 0,4 MPa wynosi:
 - dla rury rezonansowej z końcówką prostą – 700 [W],
 - dla rury rezonansowej z końcówką paraboliczną – 1000 [W],
- różnica między częstotliwością generowanych impulsów pneumatycznych a częstotliwością rezonansową rury równa 0,5 Hz powoduje spadek mocy akustycznej o wartość $\approx 45 - 55\%$ (wyniki te zgadzają się z informacjami podawanymi przez firmy Infrasonc i Clyde Blowers),
- „strojenie” rezonansu urządzenia przy użyciu czujnika drgań sterującego przetwornicą częstotliwości jest rozwiązaniem skutecznym, które może być stosowane w praktyce eksploatacyjnej.

Po przeprowadzeniu badań, prototypowe urządzenie INF zainstalowano na obrotowym podgrzewaczu powietrza bloku 200 MW w Elektrowni Rybnik. Kilkumiesięczna jego eksploatacja wykazała, że optymalnym cyklem działania urządzenia ze względu na skuteczność „czyszczenia” jest 25 – 35 s emitowania mocy akustycznej co 15 – 20 min w ciągu całego okresu eksploatacji.

Skuteczność „czyszczenia” urządzenia INF w tym okresie określono jako wystarczającą do przedłużenia czasu eksploatacji obrotowego podgrzewacza powietrza o około 30%.

8. BEZPOŚREDNI NADZÓR EKSPLOATACYJNY MASZYN ORAZ OCHRONA ŚRODOWISKA PRZED SKUTKAMI NADMIERNEGO HAŁASU I DRGAŃ

Badania prowadzone w przemyśle związane są z bezpośrednim i stałym nadzorem eksploatacyjnym maszyn i urządzeń energetycznych. Istotną sprawą jest tutaj metodologia stałego nadzoru. Do pomiarów ciągłych wykorzystuje się istniejące układy pomiarowe. Badania okresowe prowadzi się własną aparaturą pomiarową.

Proponowany zakres stałego nadzoru i badań jest następujący:

- a. Okresowa ocena warunków eksploatacji turbiny, kontrola parametrów charakterystycznych, określenie tendencji zmian stanu technicznego oraz ocena strat związanych z jego pogorszeniem.
- b. Określenie aktualnego stopnia zużycia elementów. Prognozowanie dalszego bezpiecznego czasu pracy turbiny.
- c. Opracowanie zaleceń eksploatacyjnych uwzględniających aktualny stan techniczny turbiny oraz prognozowany czas dalszej pracy. Okresowa modernizacja warunków eksploatacji (np. charakterystyki rozruchowe, dopuszczalne prędkości nagrzewania i różnice temperatur).
- d. Weryfikacja charakterystyk energetycznych i sprawnościowych turbin oraz urządzeń pomocniczych.
- e. Optymalizacja rozdziału obciążenia turbin (głównie mocy cieplnej).
- f. Wykonanie okresowych badań i pomiarów kontrolnych w zakresie:
 - badań nieniszczących elementów turbin,
 - pomiarów drgań turbozespołów,
 - pomiarów cieplnych,
 - innych badań w zależności od aktualnych potrzeb siłowni (np. ocena jakości wykonania remontów).
- g. Ocena aktualnego stanu dynamicznego maszyn, opracowanie sposobów poprawy stanu dynamicznego tych maszyn, dla których poziom drgań jest niezadawalający:
 - badania wibroakustyczne dynamiki maszyn i urządzeń wraz z oceną ich stanu dynamicznego,
 - badania wibroakustyczne maszyn i urządzeń, których celem jest opracowania metod i środków poprawy ich stanu dynamicznego.
- h. Modernizacja istniejących układów pomiarowych oraz systemów nadzoru i diagnostyki maszyn.

- i. Opracowanie wytycznych do efektywnego oddziaływania służb kontroli eksploatacji na utrzymanie dobrego stanu technicznego turbiny i urządzeń pomocniczych.

Omówiona grupa badań związanych z stałym, bezpośrednim nadzorem maszyn ma charakter użytkowy. Podjęcie tych badań ma jednak dla nas bardzo duże znaczenie naukowe. Umożliwia dostęp do turbin i prowadzenie własnych badań w celu weryfikacji opracowanych koncepcji i rozważań teoretycznych.

LITERATURA

A. Monografie i skrypty

- [1] Chmielniak T., Kosman G.: Obciążenie cieplne turbin parowych. WNT, Warszawa 1990.
- [2] Chmielniak T., Kosman G., Rusin A.: Pełzanie elementów turbin ciepłych. WNT, Warszawa 1990.
- [3] Jaskóła Z.: Problemy metodologii i komputerowego wspomaganie technicznego. Rozdział pt.: Dobór cech konstrukcyjnych elementów maszyn na podstawie zasad konstrukcji. Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław 1994.
- [4] Kosman G., Rusin A.: Termowyrzymałość maszyn przepływowych. Zagadnienia plastyczności i pełzania. Gliwice 1991.
- [5] Kosman G., Rusin A.: Zagadnienia trwałości w budowie i eksploatacji maszyn energetycznych. ZN Pol.Śl. s. Energetyka z. 123, 1995 (Zeszyt zawiera publikacje nr 49 – 58).
- [6] Purzyński R.: Podstawy konstrukcji maszyn. Typowe układy i elementy łożyskowań. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1993]
- [7] Purzyński R.: Podstawy konstrukcji maszyn. Przekładnia zębata walcowa. Skrypt Pol. Śl., wyd. II, Gliwice 1993.

B. Artykuły i publikacje w materiałach konferencji, zjazdów sympozjów naukowych

- [8] Chmielniak T., Kosman G.: Badania przepływowe i wytrzymałościowe ciepłych maszyn przepływowych. Przegląd tematyki i wybrane wyniki badań. Zeszyty Naukowe Pol. Poznańskiej, seria Maszyny Robocze Ciężkie. Poznań 1990.
- [9] Kosman G., A. Rusin: Methoden zur optimalen Gestaltung von Strömungsmaschinen – Laufrädern. Maschinenbautechnik 39, 4, 1990.
- [10] Kosman G., Rusin A., Albrecht D., Theilig H.: Lebensdauerbewertung an Ventilgehäusen von Dampfturbinen. Maschinenbautechnik nr 11, 1990.

- [11] Ploch M.: Własności żeliwa sferoidalnego niskostopowego do produkcji obrabianych cieplnie kół zębatach. *Mechanik* nr 5–6, 1990.
- [12] Kosman G., Rusin A.: Koncepcja komputerowego wspomagania oceny trwałości elementów turbin. *Zeszyt Naukowe Pol. Śl., seria Mechanika* nr 103, Gliwice 1991.
- [13] Kosman G., Rusin A., Łukowicz H.: Modelowanie procesu rozprężania pary i nagrzewania elementów jako fragment systemu oceny trwałości turbin. *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Mechanika* nr 103, Gliwice 1991.
- [14] Kosman G., Rusin A., Łukowicz H.: Computer-aided evaluation of the durability of turbine elements. *VDI Berichte* 868, Aachen 1991.
- [15] Chmielniak T., Kosman G., Rusin A.: The examples of supervision and analysis of steam turbine operating conditions with life – time considered. *VDI Berichte* 858, Aachen 1991.
- [16] Chmielniak T., Kosman G., Rusin A.: The monitoring system of operational efficiency and thermal load in steam turbines based on measuring steam parameters. *1 International Congress on Fluid Handling System INTERFLUID Essen* 1990.
- [17] Kosman G., Rusin A.: Computer aided design of the elements of flow machinery. *Int. Conf. on Eng. Design-ICED 91, Zurich* 1991.
- [18] Kosman G., Rusin A.: Analiza naprężeń w warunkach pełzania w wirniku osiowo-promieniowym na podstawie izochronicznych krzywych pełzania. *Prace IMP PAN* nr 94, 1992.
- [19] Kosman G., Rusin A.: Ocena skuteczności działania połączenia wciskowego tarczy wirnikowej z wałem turbiny cieplnej w warunkach pełzania. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, z. 1, 1992.
- [20] Rusin A.: Numerical simulation of turbine valve creep. *Archive of Applied Mechanics* 62, 1992.
- [21] Chmielniak T., Kosman G., Rusin A., Galas R.: Przykłady oceny trwałości elementów turbin parowych. *Zeszyty Naukowe WSI w Opolu, seria Elektryka*, z. 34, Opole 1992.
- [22] Kosman G.: Projektowanie elementów maszyn przepływowych z uwzględnieniem wymaganej trwałości. *Symposium Podstaw Konstrukcji Maszyn*. Wyd. Pol. Warszawskiej, Warszawa 1993.
- [23] Kosman G., Rusin A.: Przykłady doboru cech konstrukcyjnych elementów maszyn z uwzględnieniem kryterium trwałości. jw.
- [24] Dziedzic S.: Diagnostyka przyczyn powstawania frettingu na ramach młynów węglowych. jw.
- [25] Giemza H., Kurowicz M.: Zastosowanie metod akustycznych dla zmniejszenia intensywności osadzania się części lotnych na powierzchniach grzewczych kotłów energetycznych. jw.
- [26] Jaskóła Z.: Problemy jakości i niezawodności środków technicznych. jw.

- [27] Rusin A.: Zastosowanie metody elementów skończonych do symulacji pełzania elementów maszyn energetycznych. jw.
- [28] Kurowicz M.: Niszczące badania wirników turbozespołów. jw.
- [29] Czepiel J., Kurowicz M.: Analiza konstrukcji tłumika wylotowego zaworów bezpieczeństwa. jw.
- [30] Kosman G., Chmielniak T., Rusin A.: Computer aided lifetime evaluation and its application to turbines design and their operation. ASME Paper nr 93-GT-277, 1993.
- [31] Chmielniak T., Kosman G., Ostrowski P.: Systemy monitorowania parametrów cieplnych i mechanicznych urządzeń cieplnych elektrowni. Aktualne problemy w elektroenergetyce, Gliwice – Kozubnik 1993.
- [32] Kosman G.: Eksploatacja turbin parowych z uwzględnieniem kryterium trwałości i efektywności pracy. Problemy badawcze energetyki cieplnej, Warszawa 1993.
- [33] Kosman G., Rusin A., Łuniewicz B.: Koncepcja bloku ograniczeń termicznych turbin parowych. jw.
- [34] Kosman G., Rusin A., Roskosz M.: Symulacja procesu rozruchu turbiny i próba jego optymalizacji. jw.
- [35] Rusin A.: Trwałość urządzeń energetycznych pracujących w wysokich temperaturach. jw.
- [36] Kosman G.: Trwałość eksploatacyjna turbin parowych i metody jej zwiększenia. Forum Materiałoznawstwa Energetycznego, Kraków 1993.
- [37] Kosman G., Rusin A.: Wpływ dodatkowych obciążeń na odkształcenia trwałe rurociągów parowych. Forum Materiałoznawstwa Energetycznego, Kraków 1993.
- [38] Rusin A.: Wpływ warunków eksploatacji na pełzanie rur spawanych. Zagadnienia eksploatacji maszyn, z. 3, 1993.
- [39] Kosman G.: Eksploatacja turbin parowych w warunkach maksymalnego obciążenia. Zeszyty Naukowe WSI, seria Elektryka, z. 38, Opole 1994.
- [40] Kosman G.: Wymuszone (przyspieszone) chłodzenie grubościennych kolektorów kotłów parowych. Zeszyty Naukowe WSI, seria Elektryka, z. 38, Opole 1994.
- [41] Kosman G., Wierzbicki Z.: Skutki techniczno-ekonomiczne pracy turbin parowych przy niskich obciążeniach. Zeszyty Naukowe WSI, seria Elektryka z. 38, Opole 1994.
- [42] Chmielniak T., Kosman G., Otte J., Rusin A.: Zagadnienia modernizacji turbin i wentylatorów energetycznych. Zeszyty Naukowe WSI, seria Elektryka z. 38, Opole 1994.
- [43] Kosman G., Rusin A.: Kompleksowa ocena stanu technicznego turbin. Energetyka z. 9, 1994.

- [44] Kosman G., Czepelak J.: Trwałość elementów ciśnieniowych obciążonych niesymetrycznie. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Energetyka z. 121, Gliwice 1994.
- [45] Kosman G., Czepelak J.: Wpływ osadów na powierzchniach rury na jej trwałość. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Energetyka z. 121, Gliwice 1994.
- [46] Ploch M.: Wybrane zagadnienia trwałości kół zębatach i wytrzymałości stopy zęba. III Konferencja nt.: „Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych”. Pol. Śl., Ustroń – Zawodzie, 9–10. 11. 1994.
- [47] Ploch M.: Nośność a trwałość uzębień kół zębatach. III Konferencja nt.: „Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych. Pol. Śl. Ustroń–Zawodzie, 9–10. 11. 1994.
- [48] Kosman G.: Optymalna eksploatacja turbin parowych, dobór metod i środków dla osiągnięcia tego zamierzenia. Energetyka z. 2, 1995.
- [49] Kosman G.: Obliczeniowa ocena wytrzymałości elementów turbin parowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Energetyka z. 123, 1995.
- [50] Kosman G., Rusin A.: Ocena tempa propagacji pęknięć w wirnikach turbin wywołanego rozruchami ze stanu zimnego. jw.
- [51] Kosman G., Rusin A.: Dobór cech konstrukcyjnych elementów i węzłów konstrukcyjnych turbin ciepłych z uwzględnieniem kryterium trwałości. jw.
- [52] Kosman G., Rusin A.: Koncepcja optymalizacji cech konstrukcyjnych kadłubów turbin ciepłych. jw.
- [53] Kosman, Rusin A.: Sformułowanie problemu projektowania wirników maszyn przepływowych. jw.
- [54] Kosman G.: Badania teoretyczne naturalnego i wymuszonego chłodzenia grubościennych elementów maszyn i urządzeń energetycznych. jw.
- [55] Kosman G.: Przyspieszenie procesu stygnięcia grubościennych kolektorów kotłów parowych z zachowaniem ograniczeń wytrzymałościowych. jw.
- [56] Rusin A.: Metoda naprężeń bazowych w analizie przemieszczeń wywołanych pełzaniem. jw.
- [57] Rusin A.: Trwałość wirników turbin w ujęciu kontynualnej mechaniki zniszczenia. jw.
- [58] Rusin A.: Analiza wpływu losowego charakteru obciążenia, geometrii stałych materiałowych na pełzania zginanego pręta. jw.
- [59] Jaskóła Z., Ploch M.: Zastosowanie wskaźnika bezpieczeństwa w obliczeniach wytrzymałościowych kół zębatach (w druku).
- [60] Kosman G.: Dobór warunków eksploatacji turbin parowych do aktualnego stanu technicznego czasu pracy i zadanych ograniczeń. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Energetyka z. 126, Gliwice 1995.