

Gerard KOSMAN

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

DOBÓR WARUNKÓW EKSPLOATACJI TURBIN PAROWYCH DO AKTUALNEGO STANU TECHNICZNEGO, PLANOWANEGO CZASU PRACY I ZADANYCH OGRANICZEŃ

Streszczenie. Przedmiotem rozważań są wybrane problemy związane z modernizacją warunków eksploatacji turbin parowych i wprowadzeniem nowych technik eksploatacyjnych tych maszyn. Nowe warunki eksploatacji, odpowiednie do aktualnego stopnia zużycia elementów i planowanego czasu dalszej pracy należy dobrać wtedy, gdy możliwości bezpiecznej i efektywnej eksploatacji turbiny w dotychczasowych warunkach są ograniczone. W artykule omówiono metody i procedury modernizacji warunków eksploatacji turbin. Podano przykłady zastosowań.

THE SELECTION OF STEAM TURBINES OPERATING CONDITIONS FOR THEIR TECHNICAL STATE, PLANNING WORKTIME AND GIVEN LIMITATIONS

Summary. The subjects of this article are selected problems connected with the modernisation of steam turbines operating conditions and introducing new operating technologies. If safe and effective operatings are limited, new operating conditions, for actual component life consumption and planning worktime should be selected. Methods and procedures of the modernisation of turbines operating conditions has been described. Examples of applications has been given.

AUSWAHL DER BETRIEBSBEDINGUNGEN VON DAMPFTURBINEN ZUM AKTUELLEN TECHNISCHEN ZUSTAND, ZUR VORGESEHENE BETRIEBSZEIT UND VORGELEGEBENE BEGRENZUNGEN

Zusammenfassung. Im Aufsatz wurden ausgewählte Probleme erwägt, die mit einer Verbesserung des Betriebes von Dampfturbinen und der Einführung neuen Betriebstechniken der Maschinen verbunden sind. Die neue Betriebsbedingungen entsprechend der aktuellen Abnutzung von Dampfturbinenbaugruppen und vorgesehener Zeit

eines weiteren Betriebs sollen nur ausgewählt werden, wenn die Möglichkeiten eines sicheren und effektiven Betriebs arbeitenden in der bisherigen Bedingungen Dampfturbinen begrenzt sind. Im vorliegenden Arbeit wurden die Methoden und Prozeduren der Modernisierung der Betriebsbedingungen von Dampfturbinen erläutert. Es sind einige Beispiele der Anwendungen und Lösungen hinzugefügt worden.

1. WPROWADZENIE

W eksploatacji turbin parowych spotykamy się z faktami, które wymuszają modernizację (dobór nowych) warunków prowadzenia rozruchów, zmiany mocy, a nawet pracy ciągłej przy obciążeniu nominalnym lub częściowym. Do najważniejszych należą:

- aktualny stan techniczny głównych elementów,
- planowany czas dalszej pracy,
- zmiana zakresu użytkowania turbiny, np. wprowadzenie dodatkowych odbiorów pary do celów technologicznych, przystosowanie turbin kondensacyjnych dla celów ciepłowniczych, wprowadzenie ruchu skojarzonego turbin gazowych z blokami konwencjonalnymi,
- zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną, powodujące pracę przy obciążeniu minimalnym lub częstsze odstawianie i uruchamianie bloków energetycznych.

Modernizacja powinna przebiegać w dwóch płaszczyznach: technologicznej i eksploatacyjnej. W pierwszym przypadku chodzi o doskonalenie procesów ciepło–przepływowych w poszczególnych węzłach instalacji i wynikające stąd nowe rozwiązania konstrukcyjne. Druga sprawa jest związana z rozwojem metodologii eksploatacji oraz z opracowaniem i wdrożeniem nowych technik diagnostycznych i eksploatacyjnych [2].

Rozwiązywanie wymienionych wyżej problemów powinno odbywać się przy możliwie szerokim zaangażowaniu krajowych ośrodków naukowych. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej od szeregu lat podejmuje różne przedsięwzięcia badawcze, projektowe i eksploatacyjne zmierzające do zwiększenia efektywności procesów i urządzeń oraz zwiększenia ich dyspozycyjności. Świadczą o tym publikacje cytowane, np. w [1] i [2] oraz prace naukowo – badawcze wykonane na zlecenie energetyki, z których więk szość została zastosowana w praktyce.

2. CEL, ZAKRES I ZNACZENIE PROPONOWANYCH BADAŃ

Punktem wyjścia do określenia warunków dalszej bezpiecznej eksploatacji turbiny jest ocena stanu technicznego jej głównych elementów. Na tej podsta-

wie określa się możliwość dalszej, bezpiecznej i efektywnej eksploatacji turbiny w dotychczasowych warunkach. Jeżeli możliwości te są ograniczone, to należy dobrać nowe warunki pracy [2]. Kolejność postępowania jest więc następująca:

- I. Kompleksowa ocena stopnia zużycia głównych elementów turbiny.
- II. Analiza możliwości dalszej eksploatacji w dotychczasowych warunkach.
- III. Dobór nowych warunków eksploatacji, adekwatnych do aktualnego stopnia zużycia i planowanego czasu pracy.

Z analizy dostępnych danych wynika, że dotychczas rozpatrywane są wyłącznie dwa pierwsze problemy. Brak jest natomiast badań dotyczących optymalnej eksploatacji turbin z uwzględnieniem aktualnego stanu technicznego maszyny i planowanego czasu dalszej pracy.

Przy formułowaniu zasad i warunków przyszłej eksploatacji należy również skorzystać z dodatkowych, obok oceny stanu technicznego, danych, a mianowicie:

- doświadczeń z eksploatacji innych turbin w szczególności turbin tego samego typu, które pracują dłużej niż analizowana maszyna,
- symulacji numerycznych pozwalających na modelowanie różnych warunków przyszłej pracy i na tej podstawie pozwalających oszacować przyszłe ubytki trwałości. Symulacje te pozwalają ocenić wpływ zmienionych warunków pracy (np. inne parametry pary, inny sposób prowadzenia rozruchów) oraz dobrać optymalny – dla danej turbiny – sposób przyszłej eksploatacji,
- wyników badań laboratoryjnych polegających na badaniu próbek pobranych z elementów turbiny w warunkach powodujących intensyfikację procesów zużycia. Wyniki tych badań prowadzonych w wyższej temperaturze i przy większym obciążeniu ekstrapoluje się następnie na typowe warunki eksploatacyjne i na tej podstawie szacuje się bezpieczny czas dalszej eksploatacji.

W nawiązaniu do podanych uwag celem prowadzonych badań jest opracowanie **metod i procedur modernizacji** warunków eksploatacji turbin parowych z uwzględnieniem zadanych ograniczeń, aktualnego stanu technicznego i planowanego czasu dalszej pracy.

Szczególne problemy badawcze podano w punkcie następnym. Znaczenie wymienionych problemów podkreślają następujące fakty:

- a. wyraźnie zauważalny od początku lat osiemdziesiątych regres w budowie nowych instalacji turbin parowych,
- b. starzejące się maszyny i urządzenia,
- c. trudności w uzyskaniu środków finansowych na szerszą modernizację elektrowni,
- d. przejściowe zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną,
- e. konieczność dostosowania się do standardów europejskich,
- f. rozwój ciepłownictwa,

Pierwsze trzy sprawy (punkty a, b i c) nie wymagają szerszego komentarza. Większość turbin parowych zainstalowanych w elektrowniach osiągnęła projektowany czas eksploatacji i wykazuje znaczny stopień zużycia. Konieczność dalszej ich eksploatacji nie podlega dyskusji. Do tego dochodzą pewne dodatkowe ograniczenia (np. punkty d, e i f), które należy uwzględnić w procesie doboru nowych warunków pracy tych maszyn.

Ad d.

W związku z przejściowym zmniejszeniem zapotrzebowania na energię elektryczną część bloków energetycznych jest odstawiona do rezerwy, część pracuje przy mniejszym obciążeniu lub w ruchu przerywanym z częstymi odstawieniami i ponownymi rozruchami. Prowadzi to generalnie do zmniejszenia godzin pracy turbin i zwiększenia liczby uruchomień. Drugą cechą charakterystyczną w tych warunkach pracy jest dążenie do pracy przy możliwie małym obciążeniu (minimum techniczne bloku). Pod względem merytorycznym pojawiają się trzy nowe problemy:

- określenie minimum technicznego bloku,
- określenie sposobu osiągnięcia minimalnego obciążenia przy uwzględnieniu wszystkich ograniczeń,
- określenie skutków techniczno–ekonomicznych pracy bloku przy niskich obciążeniach.

Ad e.

Plany rozwoju Krajowego Systemu Energetycznego (KSE) przewidują przyłączenie do systemów zachodnio–europejskich zjednoczonych w UCPTE. Wymagać to będzie spełnienia szeregu kryteriów stawianych przez UCPTE swoim współpartnerom. Kryteria te wymuszają podjęcie różnych działań techniczno–modernizacyjnych dotyczących bloków energetycznych. Niektóre przedsięwzięcia są obecnie sukcesywnie wdrażane w energetyce krajowej, jak np.: uruchomienie regulacji pierwotnej na blokach dużej mocy, modernizacja układów regulacji obciążenia, rozszerzenie pasma regulacji wtórnej ARCM. Wdrożenie innych wymaga podjęcia prac badawczych. Należą do nich działania mające zapewnić spełnienie, ostrzejszych, niż dotychczasowe wymagania Krajowej Dyspozycji Mocy, zaleceń UCPTE dotyczące szybkości zrzutów i naborów mocy, obniżenie minimum technicznego bloku, zmniejszenie czasu rozruchu, zrzutów mocy oraz długotrwałej pracy na potrzeby własne lub bieg luzem.

3. PODSTAWOWE PROBLEMY BADAWCZE

Rozpatrywane zagadnienia podzielono na kilka grup tematycznych obejmujących następujące zadania analizy i syntezy [2]:

Grupa A

Opracowanie metod i procedur modernizacji warunków eksploatacji turbin parowych z uwzględnieniem zadanych ograniczeń, aktualnego stanu technicznego i planowanego czasu dalszej pracy.

Grupa B

Ocena skutków techniczno–ekonomicznych (głównie wytrzymałościowych i trwałościowych) pracy turbin parowych w zadanych, zmienionych warunkach (**zadania analizy**).

- Analiza wpływu warunków eksploatacji turbin parowych na trwałość głównych elementów.
- Ocena skutków techniczno–ekonomicznych pracy turbin przy minimalnym i maksymalnym obciążeniu. Analiza warunków determinujących osiągnięcie minimalnej lub maksymalnej mocy.
- Analiza możliwości i skutków przyspieszonych rozruchów turbin z różnych początkowych stanów cieplnych zgodnie z wymaganiami UCPTA.
- Ocena skutków szybkich, cyklicznych zmian obciążenia turbiny zgodnie z wymaganiami UCPTA.

Grupa C

Dobór warunków eksploatacji do aktualnego stanu technicznego i planowanego czasu pracy (**zadania syntezy**).

- Opracowanie metody modernizacji temperaturowych kryteriów rozruchu turbiny.
- Optymalizacja procesu rozruchu turbiny. Numeryczna symulacja charakterystyk rozruchowych z uwzględnieniem aktualnego stopnia zużycia i planowanego czasu dalszej pracy.
- Modernizacja warunków zmian obciążenia turbiny w zakresie maksimum – minimum.
- Zmiana (obniżenie) parametrów pary przed turbiną.
- Dobór nowych parametrów nastawczych bloku ograniczeń termicznych z uwzględnieniem aktualnego stopnia zużycia.

Grupa D

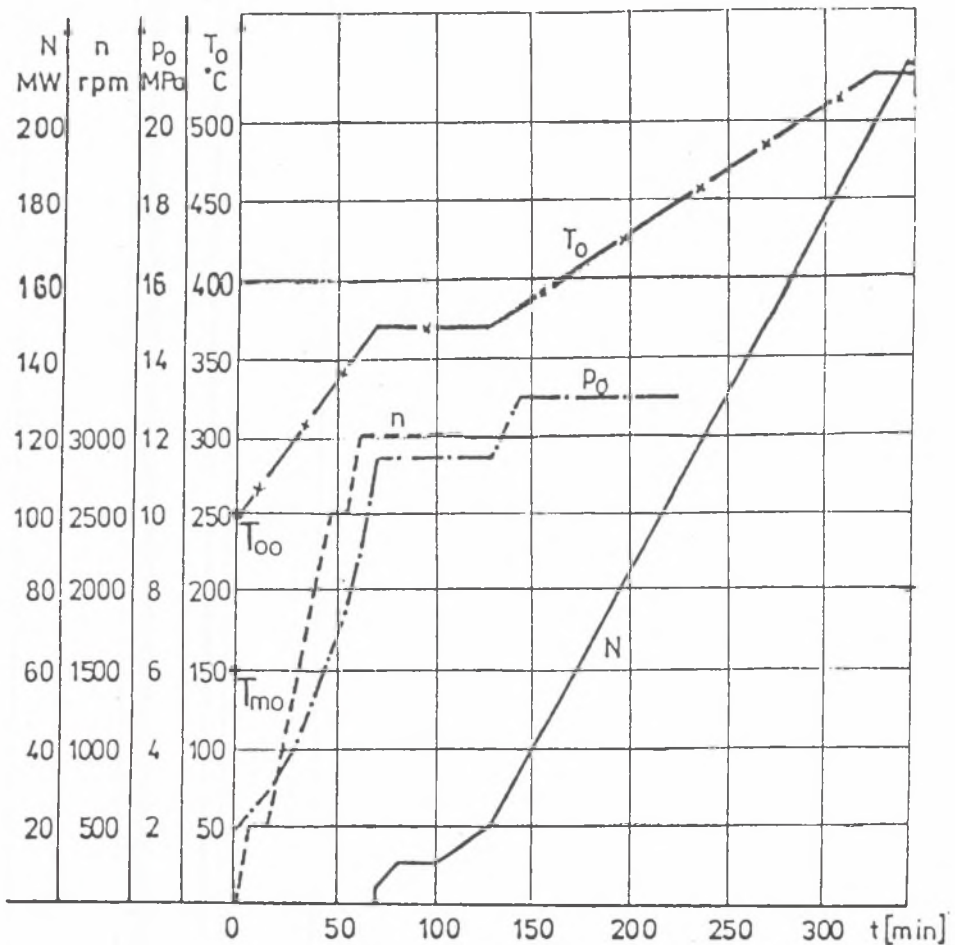
Adaptacja turbin parowych do zmienionych warunków pracy.

Każda grupa wymienionych zagadnień stanowi odrębną, bardzo obszerną całość i wymaga w zasadzie omówienia w oddzielnych publikacjach. W niniejszej pracy podano uwagi na temat optymalizacji procesu rozruchu turbiny (grupa C) oraz adaptacji tych maszyn do pokrycia zwiększonych potrzeb odbiorów pary do celów ciepłowniczych (grupa D). Przedstawiono wybrane wyniki własnych badań prowadzonych w tym zakresie oraz przykłady praktycznych zastosowań opracowanych metod i procedur zapewniających optymalną eksploatację turbin parowych.

4 OPTIMALIZACJA PROCESU ROZRUCHU TURBINY

4.1. Korekta charakterystyk rozruchowych

Rozruch turbiny w układzie blokowym prowadzony jest poprzez zmianę strumienia i parametrów pary na wejściu do turbiny. Dotyczy to zwłaszcza rozruchów po dłuższych postojach, np. rozruchu ze stanu zimnego. Przykładową charakterystykę dla tego przypadku pokazano na rys. 1. W czasie rozru-

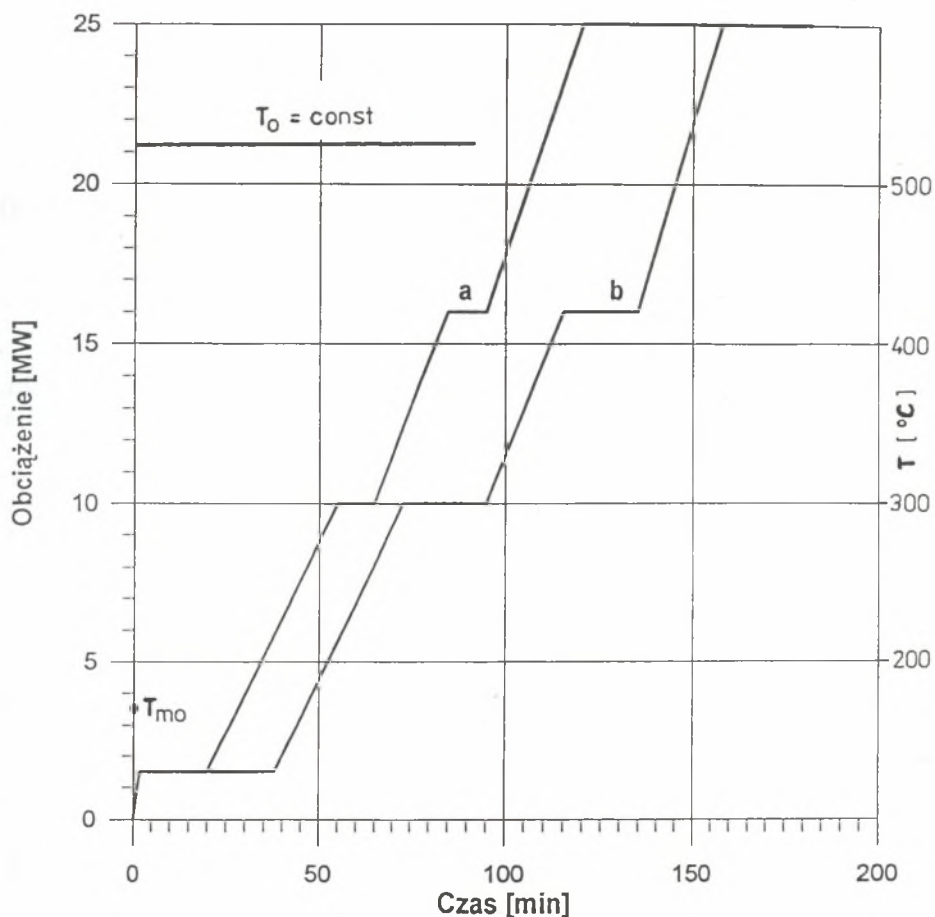


Rys. 1. Charakterystyka rozruchowa turbiny (układ blokowy)

Fig. 1. Start-up turbine characteristic (unit system)

chu turbiny w układzie kolektorowym parametry pary przed turbiną są stałe. Zmienia się jedynie obciążenie (moc elektryczna) maszyny (rys. 2).

Sposób prowadzenia rozruchu decyduje o wartości naprężeń i ich amplitudach w elementach turbiny. W normalnych warunkach eksploatacji turbiny o wartości naprężeń w czasie rozruchu decyduje początkowy stan termiczny elementów i prędkość ich nagrzewania.



Rys. 2. Charakterystyka rozruchowa turbiny (układ kolektorowy)

Fig. 2. Start-up turbine characteristic (collector system)

Początkowy stan termiczny elementów zależy od czasu postoju turbiny. Stan ten opisuje początkowa różnica temperatury para – metal:

$$\Delta T = T_{o0} - T_{m0} \quad (1)$$

Prędkość nagrzewania elementów:

$$V_m = \frac{dT_m}{dt} \quad (2)$$

zależy od przebiegu czasowego temperatury pary świeżej $T_o = T_o(t)$ i obciążenia maszyny $N = N(t)$. W związku z tym:

$$\sigma = f(\Delta T, V_o, V_n, \dots) \quad (3)$$

gdzie:

$$V_o = \frac{dT_o}{dt} \quad V_N = \frac{dN}{dt} \quad (4)$$

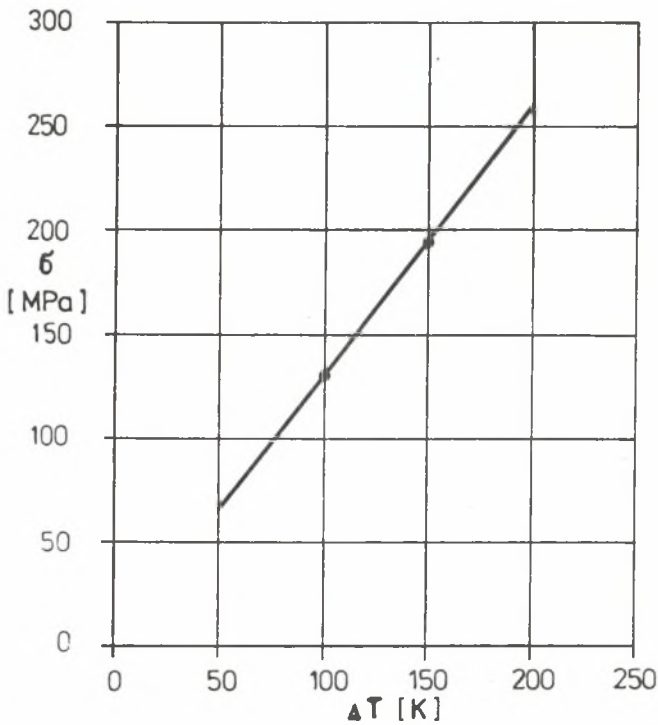
- $N = N(t)$ – przebieg czasowy obciążenia turbiny,
- $T_o = T_o(t)$ – przebieg czasowy temperatury pary świeżej,
- T_{o0} – początkowa wartość temperatury pary świeżej,
- $T_m = T_m(t)$ – przebieg czasowy temperatury w wybranym punkcie metalu,
- T_{m0} – początkowa wartość temperatury w wybranym punkcie metalu.

Charakterystyki turbin (przebiegi czasowe $T_o = T_o(t)$ i $N = N(t)$ oraz początkową różnicę temperatury ΔT) należy dobrać tak, by naprężenia, wyznaczone z (3) dla każdego elementu były mniejsze od przyjętych wartości dopuszczalnych.

Poprzez odpowiednią korektę charakterystyk można zmieniać stan naprężenia elementów turbin, amplitudy naprężeń i w konsekwencji tempo zużycia zmęczeniowego niskocyklicznego. Wspomniana korekta może dotyczyć przebiegu $T_o = T_o(t)$ lub $N = N(t)$, tzn. prędkości V_o lub V_N oraz początkowej różnicy temperatury ΔT .

Na rys. 3 pokazano uproszczoną zależność maksymalnych naprężeń w wirniku od początkowej różnicy temperatury ΔT . Uproszczenie polegało na przyjęciu prostego modelu geometrycznego wirnika w postaci grubościennego wału. Zmniejszenie ΔT o 50 K prowadzi do zmniejszenia naprężeń o ok. 60 MPa.

Przykładowy wpływ podgrzania wstępnego kołnierza kadłuba w obrębie stopnia regulacyjnego o 100 K na naprężenia pokazano na rys. 4 [1]. W porównaniu ze stanem bez podgrzewu wstępnego amplituda naprężeń jest mniejsza o około 28%. Rozruch prowadzono zgodnie z charakterystyką podaną na rys.2.



Rys. 3. Zależność maksymalnych naprężeń wirnika od początkowej różnicy temperatury ΔT

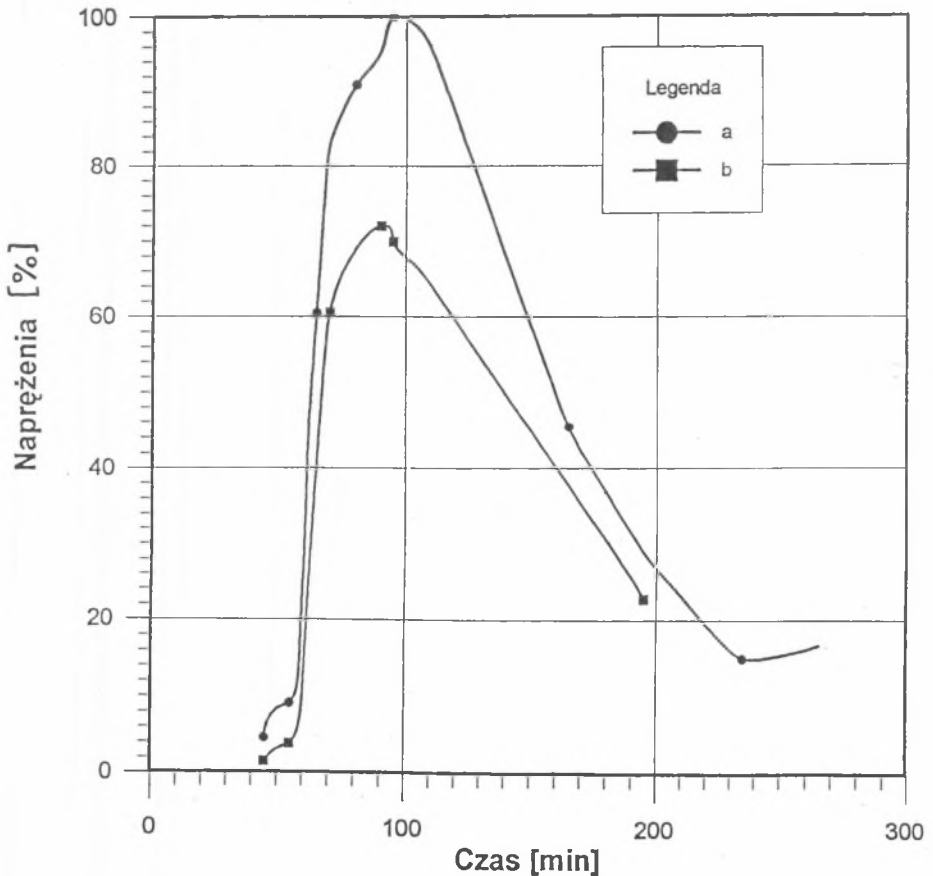
Fig. 3. Maximal rotor stresses as a function of the initial temperature difference

Na rys. 5 pokazano uproszczoną zależność maksymalnych naprężeń w wirniku od prędkości zmian obciążenia V_N . Zmniejszenie V_N z 0,3 MW/min na 0,2 MW/min zmniejsza naprężenia o ok. 40 MPa.

Zmianę naprężeń można również uzyskać poprzez zmianę sposobu rozruchu turbiny (rys. 2). Proponowane zmiany polegają na wydłużeniu okresów wytrzymania mocy na poziomach 10 MW oraz 16 MW. Dla tak prowadzonego rozruchu przebiegi czasowe naprężeń w kadłubie pokazano na rys. 6. Porównano maksymalne naprężenia w kadłubie dla 2 typów rozruchu (dotychczasowego i zmodernizowanego) [1].

4.2. Opracowanie nowych charakterystyk rozruchowych, próba optymalizacji procesu rozruchu

Podane w punkcie poprzednim wyniki obliczeń stanowią szczególne (uproszczone) przypadki pełnego rozwiązania zagadnienia optymalizacji procesu rozruchu i wyznaczenia charakterystyk rozruchowych. Optymalizację przebiegu czasowego temperatury pary na wejściu do turbiny można podzielić na następujące etapy [3]:



Rys. 4. Porównanie maksymalnych naprężeń w kołnierzu dla 2 typów rozruchu: a – aktualny, b – proponowany [1]

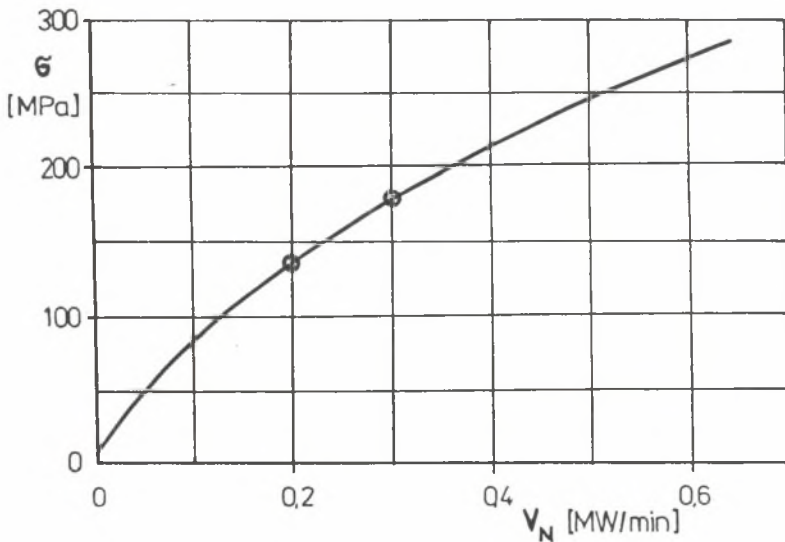
Fig. 4. The comparison of maximal stresses in the flange for 2 types of start-up, a – actual, b – suggested [1]

- dobór początkowej temperatury pary,
- wyznaczenie optymalnych prędkości,
- wyznaczenie optymalnych odcinków czasowych wygrzewania turbiny.

Podane niżej przykłady stanowią ilustrację rozpatrywanych zagadnień.

Celem optymalizacji w przykładzie pierwszym jest osiągnięcie jak najmniejszych naprężeń podczas rozruchu. Podstawowym ograniczeniem jest zadany czas rozruchu. Zmienną optymalizowaną jest prędkość przyrostu temperatury pary. Parametrami są wymiary geometryczne, dane materiałowe oraz początkowe wartości temperatury pary i metalu. Wyniki optymalizacji przedstawiono na rys. 7. Przebiegi te uzyskano dla początkowej różnicy temperatury pary i metalu równej 100 K [3].

Drugie zadanie sprowadza się do minimalizacji czasu rozruchu turbiny. Zmienną optymalizowaną jest podobnie, jak poprzednio przyrost temperatury pary. Przyjętym ograniczeniem jest poziom naprężeń w wirniku. W analizie numerycznej przyjęto $\sigma_{\max} = 100$ MPa. Dodatkowo założono szybkie przejście przez obroty krytyczne wirnika (od 2000 do 2100 obr/min). Wielkościami danymi były wymiary geometryczne, dane materiałowe i warunki początkowe. Wyniki optymalizacji przedstawiono na rys. 8. Podobnie jak poprzednio przyjęto początkową różnicę temperatury pary i metalu równą 100 K [3].

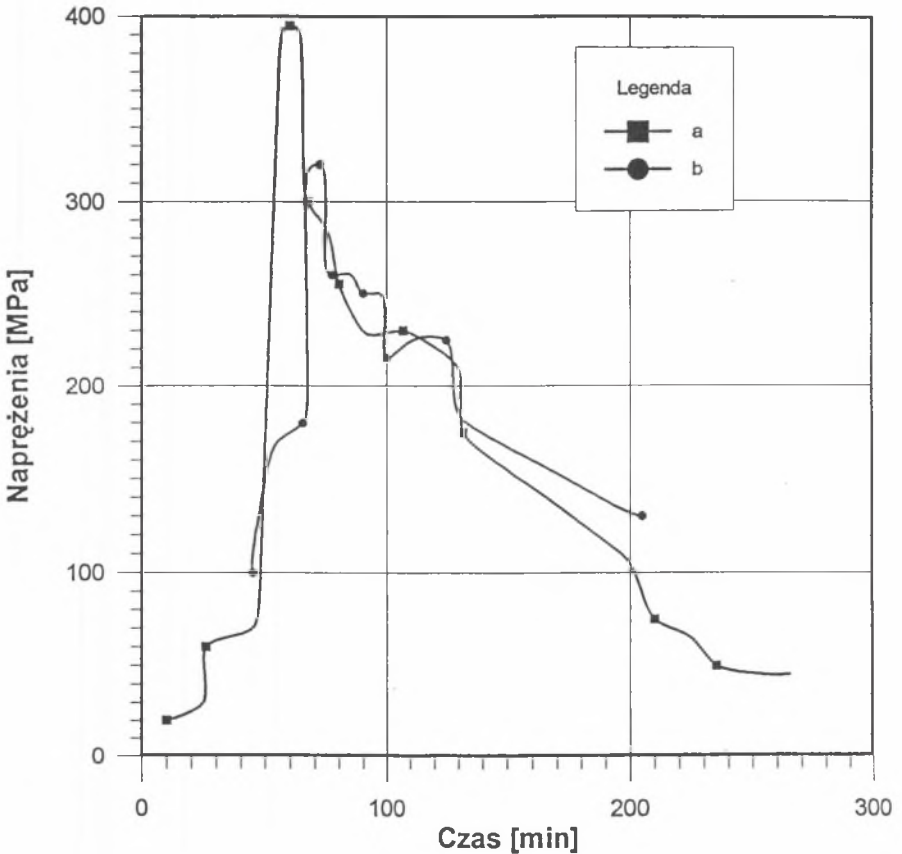


Rys. 5. Zależność maksymalnych naprężeń w wirniku od prędkości zmian obciążenia V (drugie maksimum)

Fig. 5. Maximal rotor stresses as a function of the loading changes V (second maximum)

5. ADAPTACJA TURBIN PAROWYCH DO ZMIENIONYCH WARUNKÓW PRACY

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 dla celów ciepłowniczych i wprowadzenia dodatkowych odbiorów pary do celów technologicznych.



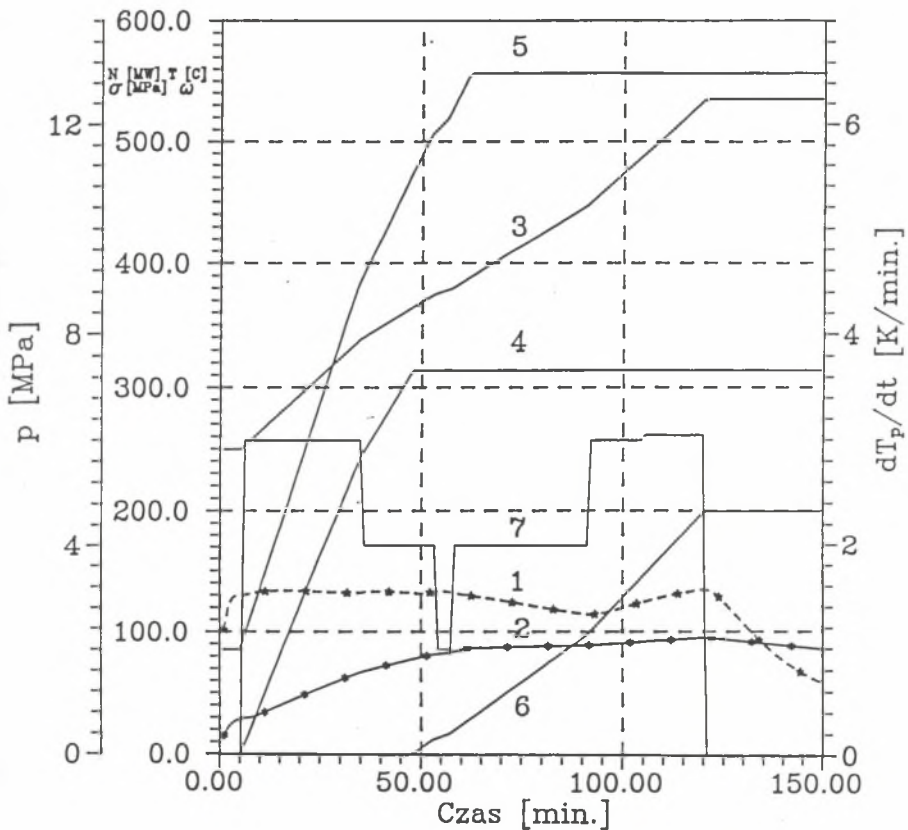
Rys. 6. Porównanie maksymalnych naprężeń w kadłubie w obrębie stopnia regulacyjnego dla 2 typów rozruchu: a – aktualny, b – proponowany [1]

Fig. 6. The comparison of maximal stresses in the turbine cylinder in the regulation stage area for 2 types of start-up a – actual, b – suggested [1]

Rozwiązanie sformułowanego zadania może być bardzo różne. W dotychczasowych pracach własnych rozpatrywano następujące możliwości:

■ Zwiększenie poborów pary z upustów nieregulowanych

- ograniczenia poborów pary z turbiny,
- analiza pracy turbiny z uwzględnieniem dodatkowych poborów pary do ciepłownictwa,
- niezbędne modernizacje.



Rys. 7. Optymalny przebieg rozruchu dla zadanego czasu 120 min dla $\Delta T = 100$ K [3]: 1 - naprężenia w wale [MPa], 2 - naprężenia w kadłubie [MPa], 3 - temperatura pary [°C], 4 - obroty [1/s], 5 - ciśnienie [MPa], 6 - moc [MW], 7 - dT_p/dt [K/min]

Fig. 7. The optimal start-up for given time $t = 120$ and $\Delta T = 100$ K [3]: 1 - rotor stresses [MPa], 2 - coupling stresses [MPa], 3 - steam temperature [°C], 4 - rotational speed [1/s], 5 - pressure [MPa], 6 - power [MW], 7 - dT_p/dt [K/min]

W każdym rozpatrywanym przypadku należy jeszcze rozpatrzyć zagadnienia techniczno-ekonomiczne przebudowy turbiny, w tym ocenę stanu technicznego turbiny oraz uwarunkowania techniczne adaptacji turbiny do pracy w nowym układzie ciepłowniczym i zakres niezbędnych modernizacji (np. układ przepływowy, kondensator, łożyska, siła osiowa, regulacja, aparatura pomiarowa i zabezpieczenia). Należy również wyznaczyć nową charakterystykę energetyczną turbiny.

Przystosowanie turbiny kondensacyjnej do pracy ciepłowniczej wymaga w zasadzie indywidualnego podejścia do każdego rozwiązywanego przypadku. Dotyczy to zarówno koncepcji rozwiązania problemu, jak i szczegółów technicznych realizowanego wariantu modernizacji. Wyniki badań własnych zawarłto między innymi w następujących opracowaniach:

- Ocena możliwości pracy bloku 200 MW w El. Rybnik w układzie gospodarki skojarzonej bez obniżenia mocy elektrycznej.
- Koncepcja i analiza układów stacji ciepłowniczych i technologicznych współpracujących z turbinami kondensacyjnymi 13K215 w El. Połaniec.
- Charakterystyki turbin kondensacyjnych z dodatkowymi poborami ciepła dla celów technologicznych i ciepłowniczych.
- Analiza możliwości pracy turbin TG1 – TG4 w nowym układzie ciepłowniczym EC–1 Bielsko–Biała.
- Przystosowanie turbiny 3K6.3 do pracy ciepłowniczej w Elektrociepłowni KWK Moszczenica.
- Analiza możliwości pracy turbin 1 – 4 w nowym układzie ciepłowniczym Elektrowni Halemba.
- Zwiększenie upustu nieregulowanego oraz przystosowanie turbiny AEG 15 MW do pracy z pogorszoną próżnią.
- Analiza możliwości przystosowania turbiny AEG (TG–4) w Elektrowni Chorzów na potrzeby pracy ciepłowniczej.
- Przystosowanie turbiny 9C50 do pracy w warunkach EC „Zabrze” SA.

Jeżeli wymagane dodatkowe pobory pary nie są zbyt duże, to bardzo często wystarczy zwiększony pobór pary z istniejących upustów regeneracyjnych. Podstawowym kryterium ograniczającym strumień pobranej pary jest spadek ciśnienia pomiędzy kolejnymi upustami. Przykładowe, dopuszczalne spadki ciśnienia w cz. WP i SP turbiny (rys. 9) są równe:

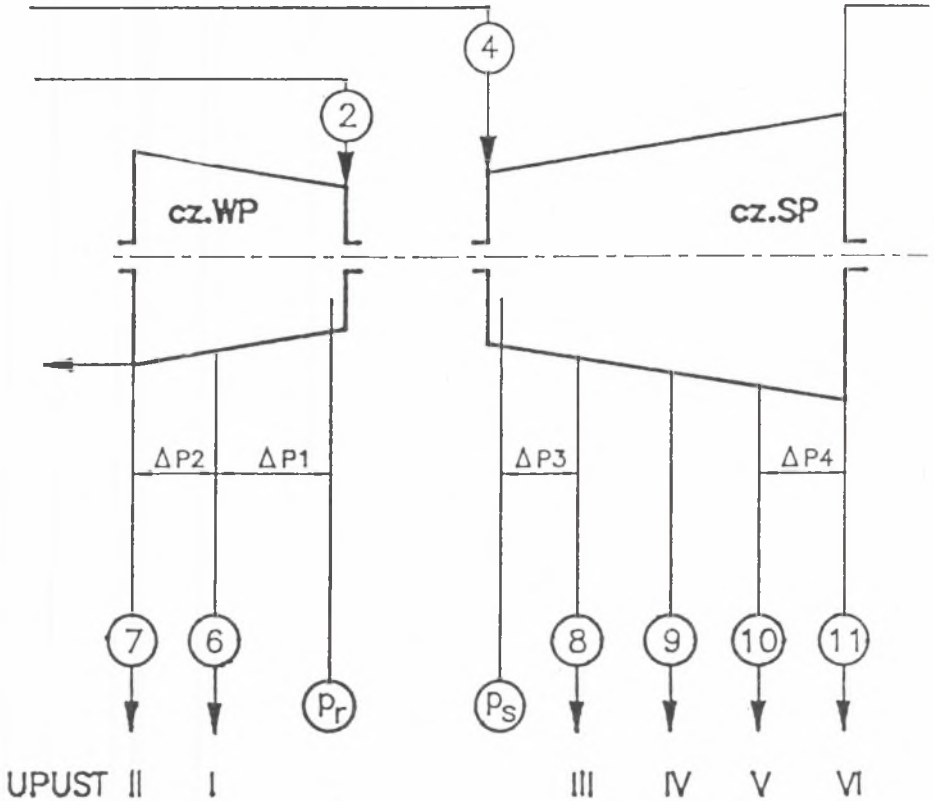
$$\Delta p_{1,dop} = 5,5 \text{ MPa}$$

$$\Delta p_{2,dop} = 1,4 \text{ MPa}$$

$$\Delta p_{3,dop} = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\Delta p_{4,dop} = 0,16 \text{ MPa}$$

Wartości te wynikają bezpośrednio z ograniczeń wytrzymałościowych.



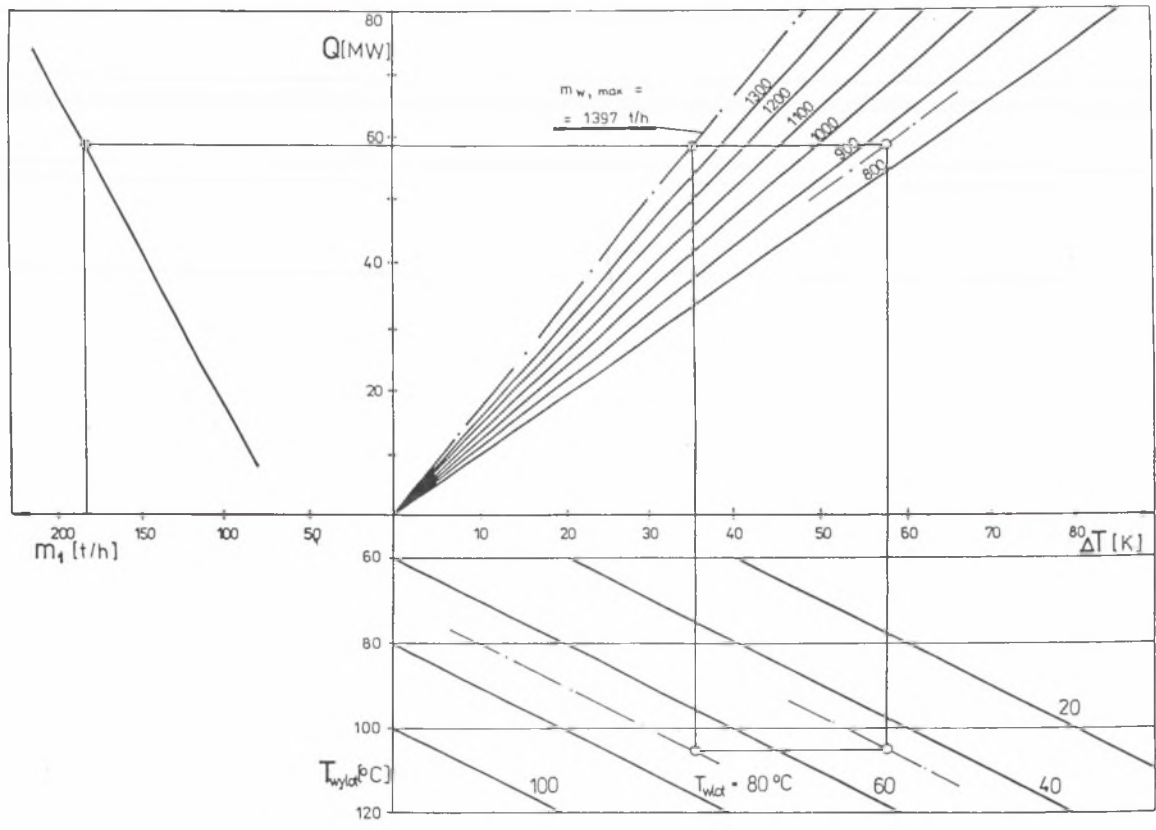
Rys. 9. Dopuszczalne spadki ciśnienia w cz. WP i SP turbiny

Fig. 9. Allowable pressure difference in HP and IP turbine parts

Dla większych mocy cieplnych wymagana jest modernizacja turbiny. Dla maszyn wielokadłubowych rozwiązaniem optymalnym jest zwiększony pobór pary z przelotni przed częścią NP.

Przykładowy schemat modernizowanego układu pokazano na rys. 10. Para pobrana z przelotni zasila wymiennik podstawowy XP. W nowym układzie nie pobiera się pary do celów ciepłowniczych z pozostałych upustów turbiny. Dalszy podgrzew wody sieciowej odbywa się w wymienniku szczytowym XS zasilanym parą upustową z innych turbin lub parą świeżą.

Wyniki analizy pracy turbiny z regulowanym poborem pary z przelotni zamieszczono na rys. 10. W wariantcie podstawowym przyjęto ciśnienie



Rys. 11. Zbiorcza charakterystyka układu

Fig. 11. The system characteristic

Podstawową wielkością wejściową, która decyduje o warunkach pracy całości jest wymagana moc cieplna lub (co jest prostsze do analizy) strumień pary wylotowej z części WP turbiny. Strumień pary świeżej i moc elektryczna są wielkościami wynikowymi.

LITERATURA

- [1] Kosman G., Rusin A.: Kompleksowa ocena stanu technicznego turbin. Energetyka z. 9, 1994.
- [2] Kosman G.: Optymalna eksploatacja turbin parowych, dobór metod i środków dla osiągnięcia tego zamierzenia. Energetyka z. 2, 1995.
- [3] Kosman G., Rusin A., Roskosz M.: Symulacja procesu rozruchu turbiny i próba jego optymalizacji. Problemy badawcze energetyki cieplnej, Warszawa 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

Wpłynęło do Redakcji: 20. 02. 1995 r.

Abstract

The subjects of this article are selected problems connected with the modernisation of steam turbines operating conditions and introducing new operating technologies. If safe and effective operatings are limited, new operating conditions, for actual component life consumption and planning worktime should be selected. Methods and procedures of the modernisation of turbines operating conditions has been described. Examples of applications has been given.

The presented method allows for defining the approximate starting characteristics of a turbin already at the design stage. Nowadays, when a turbine is being designed, only the preliminary characteristics are considered, and these are based on the data pertinent to the similar units, and then, after the testing period of operation, measurements and thermal tests, the corrections are introduced.

The problem formulation is made very general. The assumed module structure of solution algorithm allows, further on, for making some of these fragments more precise. During the time-course optimization of flow and

inlet steam parameters. Modelling of thermal elongations was taken into consideration, together with the possibility of correcting the optimized courses in case of any dangerous reductions of axial gaps.