

# Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości

## Improving the flexibility of 200 MW class units by using capabilities and reserves of the control-side as well as remaining life

Zdobyta wiedza i doświadczenie skłoniły *Pro Novum* do opracowania *Metody*, której podstawowymi atutami są uniwersalność i niskie koszty wdrożenia, co sprawia, że może zostać zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka z uwagi na niespełnienie wszystkich wymagań emisyjnych oraz braku korzyści z Rynku Mocy, a także wykonywania specjalnych usług systemowych. W artykule przedstawiono genezę, podstawowe założenia, warunki wdrożenia, opis funkcjonalny oraz atuty *Metody Pro Novum*.

**Słowa kluczowe:** *Metoda Pro Novum*, uniwersalność, niskie koszty wdrożenia *Metody*

The acquired knowledge and experience moved *Pro Novum* to develop a *Method*, the main advantages of which are universality and low implementation costs, which means that it can be implemented with an economic benefit even on units whose further operation may be relatively short due to failure to meet all emission requirements and no benefits from the Power Market as well as special system services. The article presents the genesis, basic assumptions, implementation conditions, functional description and advantages of the *Pro Novum Method*.

**Keywords:** *Pro Novum Method*, universality, low implementation cost

Aktualnie, w jeszcze większym stopniu niż dotąd, trudno sobie wyobrazić bezpieczną dla polskiej elektroenergetyki, gospodarki i gospodarstw domowych, transformację bez wsparcia jej przez odpowiedni czas, przez bloki klasy 200 MW. Bloki te stanowią nadal jedną z najważniejszych części polskiego systemu elektroenergetycznego zarówno ze względu na volumen energii, który generują, jak również ze względu na elastyczność, jaką mu zapewniają poprzez swą liczbę oraz indywidualne predyspozycje. Te ostatnie udało nam się zidentyfikować i wykorzystać poprawiając elastyczność bloku referencyjnego nr 1 w *Enea Elektrownia Połaniec*. Wykazaliśmy, że poprawę elastyczności można uzyskać wykorzystując odpowiednio możliwości i rezerwy po stronie sterowania oraz zapasy trwałości.

### Geneza *Metody Pro Novum*

Źródłem *Metody Pro Novum* jest wiedza oraz ponad 30-letnie doświadczenie zdobyte podczas:

- badań diagnostycznych 42 bloków klasy 200 MW [1, 2],
- monitorowania stanu technicznego 26 bloków 200 MW [3, 4],
- współpracy ze specjalistami wszystkich użytkowników bloków klasy 200 MW przy opracowaniu „Wytucznych przedłużania eksploatacji bloków jw. do 350 000 godzin” [5-7],
- rewitalizacji stalowych elementów 21 turbin klasy 13K215 [8],
- badań niszczących krytycznych elementów kotłów (walczaki), głównych rurociągów parowych (kolan) oraz wirników, kadłubów i komór zaworowych turbin po przekroczeniu 250 000 godzin pracy [9].

Nasza wiedza zdobyta w wyżej opisany sposób wskazuje, że elementy krytyczne (grubościenne) niewymienione dotąd na nowe oraz poddane rewitalizacji wykazują znaczny zapas trwałości pozwalający na ich eksploatację co najmniej do 350 tys. godzin, nawet jeśli warunki pracy ulegną zmianie w odpowiedniej relacji do posiadanego zapasu trwałości [4].

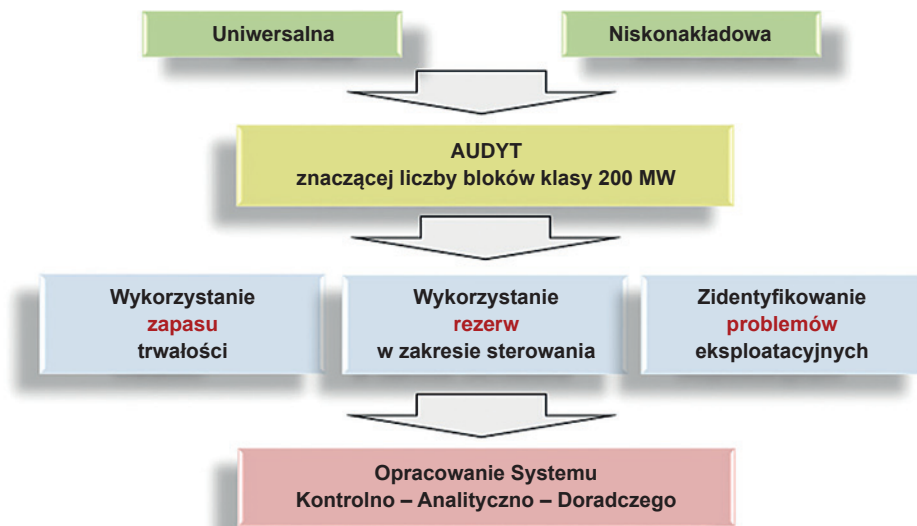
Wyniki monitorowania warunków eksploatacji i bieżącego stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW dowiodły, że:

- bloki można uruchamiać w różnym czasie, także względnie krótkim, jeśli stan techniczny urządzeń, zwłaszcza wykonawczych AKPiA, oraz kompetencje techniczne obsługi są odpowiednio wysokie;
- gradienty temperatury i poziomy naprężeń bywają znacznie wyższe od wartości uznawanych (np. w instrukcjach) za akceptowalne;
- uszkodzenia zarówno o charakterze pętlaniowym jak i zmęczeniowym oraz zmęczeniowo-pętlaniowym są w większym stopniu skutkiem błędów konstrukcyjnych, montażowych oraz niesprawności urządzeń automatyki (np. praca schładzaczy) niż warunków pracy, nawet intensywnie regulacyjnej (nie tylko bloków 200 MW).

### *Metoda Pro Novum* – podstawowe założenia

Zdobyta dotąd wiedza i doświadczenie skłoniły nas do opracowania *Metody*, której podstawowymi atutami są: uniwersalność i niskie koszty wdrożenia, co sprawia, że może zostać

## Metoda Pro Novum



Rys. 1. Istota *Metody Pro Novum* – powiększenie elastyczności bloków klasy 200 MW

zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka ze względu na niespełnienie wymagań emisyjnych według konkluzji BAT, jak również bez znaczących profitów z Rynku Mocy. Istotę *Metody* przedstawiono na rysunku 1.

W celu potwierdzenia zapasów/rezerw po stronie trwałości i sterowania zaprojektowano narzędzia dla:

- ich identyfikacji;
- weryfikacji, z wykorzystaniem modelowania i symulacji procesów, analizy stanów termicznych, naprężeń i utraty trwałości;
- oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości do jej całkowitego wyczerpania na skutek:
  - zmęczenia,
  - pęcznienia,z uwzględnieniem pracy warunkowej na podstawie metod i kryteriów mechaniki pęknięcia [10, 11];
- bieżącego monitorowania:
  - stanów termicznych i naprężeniowych w wybranych elementach krytycznych kotła, głównych rurociągów parowych oraz turbiny,
  - emisji podstawowych zanieczyszczeń w spalinach w kontekście intensywności regulacji,
  - efektywności wytwarzania energii z wykorzystaniem pomiaru w trybie *on-line* Wskaźnika Jednostkowego Zużycia Energii Chemicznej Paliwa;
- optymalizacji pracy pompy wody chłodzącej z uwzględnieniem pracy regulacyjnej.

### Warunki wdrożenia *Metody Pro Novum*

W celu weryfikacji założeń *Metody* przyjęto, że jej wdrożenie będzie przebiegało na bloku referencyjnym, który:

- w przeszłości został zmodernizowany w niewielkim zakresie;
- w okresie wdrażania podlegał będzie wyłącznie typowym, wcześniej zaplanowanym remontom bieżącym;

- plany produkcyjne zachowa bez zmian, z wyjątkiem okresów testów i optymalizacji po zmianach w systemie sterowania oraz podczas Pomiaru I i Pomiaru II (według wymagań NCBiR);
- Instrukcje Eksploatacji zachowa z możliwie najmniejszą liczbą zmian;
- poza instalacją czujników dla dodatkowych pomiarów temperatury metalu i czynnika (w możliwie najmniejszym zakresie) nie dozna żadnych zmian konstrukcyjnych, zarówno w obszarze urządzeń głównych jak i pomocniczych;
- nie będzie udostępniał sygnałów o charakterze obliczeniowym zaimplementowanych wcześniej na potrzeby kontroli eksploatacji i sterowania.

Ewentualne awarie bloku będą analizowane pod kątem ich związku z pracami realizowanymi na potrzeby *Metody*. Dotąd, w całym okresie wdrażania *Metody* na bloku referencyjnym oraz dalszej jego eksploatacji nie zarejestrowano takiego przypadku.

### Opis funkcjonalny *Metody Pro Novum*

Wdrożenie *Metody Pro Novum* na bloku referencyjnym wymagało wykonania poniżej wymienionych prac oraz przedsięwzięć.

1. Audyt bloku – przez który należy rozumieć:
  - a) analizę historii i warunków pracy w okresie od ostatniego remontu kapitalnego,
  - b) inwentaryzację systemu pomiarowego,
  - c) ocenę stanu technicznego z prognozą trwałości na podstawie retrospekcji i własnych badań diagnostycznych,
  - d) analizę Instrukcji Eksploatacji,
  - e) analizę systemu sterowania, w tym przypadku Systemu Ovation w wersji Solaris,

- f) identyfikację podczas testów ograniczeń naprężeniowych oraz poszczególnych rodzajów ograniczeń ruchowych towarzyszących zwiększaniu prędkości naboru mocy i temperatur pary,
  - g) sposób redukcji poziomu emisji, zwłaszcza w zakresie  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  oraz pyłu,
  - h) analizę strategii eksploatacji bloku w możliwie najdłuższym horyzoncie czasowym,
- oraz opracowanie wniosków dotyczących możliwości wdrożenia *Metody* i listy problemów wymagających rozwiązania.

2. Instalacja dodatkowych czujników oraz doprowadzenie sygnałów pomiarowych do DCS bloku.  
Na stałe zainstalowano dodatkowo 72 czujniki. Sygnały doprowadzono do DCS oraz Stacji Inżynierskiej *Pro Novum* (rys. 2).
3. Instalacja Systemu Zdalnej Komunikacji pomiędzy blokiem referencyjnym, jego DCS, Stacją Inżynierską EFSPRO oraz Informatycznym Środowiskiem Testowym (IŚT), którego architekturę przedstawiono na rysunku 2.

System składa się z dwóch głównych komponentów.

- A. Stacji Inżynierskiej EFSPRO połączonej z DCS bloku wykorzystywanej do archiwizacji i przetwarzania dodatkowych sygnałów pomiarowych (pkt 2) oraz implementacji Bloku Kontroli Trwałości (BKT) do obliczeń naprężeń, w trybie *on-line*, w wybranych elementach krytycznych bloku, także do nadzorowania zapasów naprężeń i trwałości podczas pracy bloku, jak również podczas jego testów, strojenia i optymalizacji po zmianach w systemie sterowania.
- B. Informatycznego Środowiska Testowego (IŚT), w którym zaimplementowano:
  - Wirtualny Blok klasy 200 MW, WBK200,
  - Platformę Informatyczną BLOKI200PRO+ integrującą programy wspierające audyt bloku, komercjalizację *Metody* oraz bezpieczeństwo, dyspozycyjność i efektywność eksploatacji.

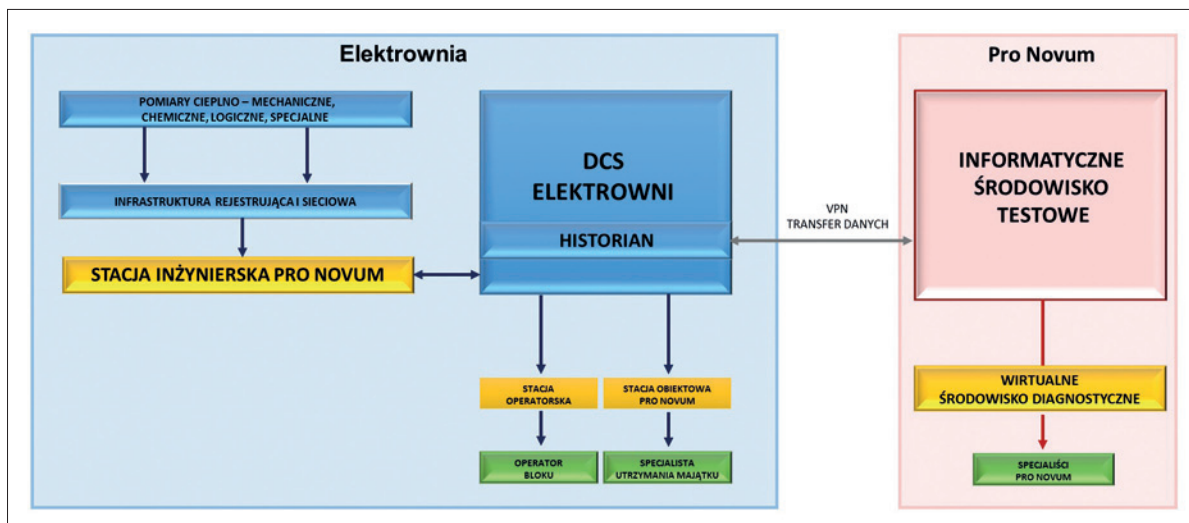
Architekturę IŚT przedstawiono na rysunku 3. Informatyczne Środowisko Testowe wykorzystywane jest do:

- organizowania pracy specjalistom *Pro Novum* oraz partnerom/podwykonawcom, w dowolnej lokalizacji, którym udostępniono maszyny wirtualne wyposażone w oprogramowanie podstawowe oraz specjalistyczne: MatLab, IpsePro, ANSYS;
- zapewnienia dostępu do sygnałów procesowych w trybie *off-line* oraz *on-line*, np. dla zdalnej obserwacji pracy bloku, zwłaszcza podczas testów, strojenia systemu sterowania oraz optymalizacji pracy bloku;
- modelowania procesów i ich symulacji, co odbywa się z wykorzystaniem zaawansowanych, parametrycznych bliźniaków cyfrowych elementów krytycznych kotła i turbiny oraz całych instalacji: rurociągi pary świeżej i wtórnie przegrzanej;
- demonstracji/udostępniania wyników specjalistom Urzędu Dozoru Technicznego (UDT Room) oraz Elektrowni (Pomieszczenie EEP);
- udostępniania i przekazywania dokumentów i informacji, poprzez Komunikator PRO, pomiędzy specjalistami *Pro Novum* i podwykonawcami oraz weryfikujących je firm na potrzeby Programu Bloki 200+.

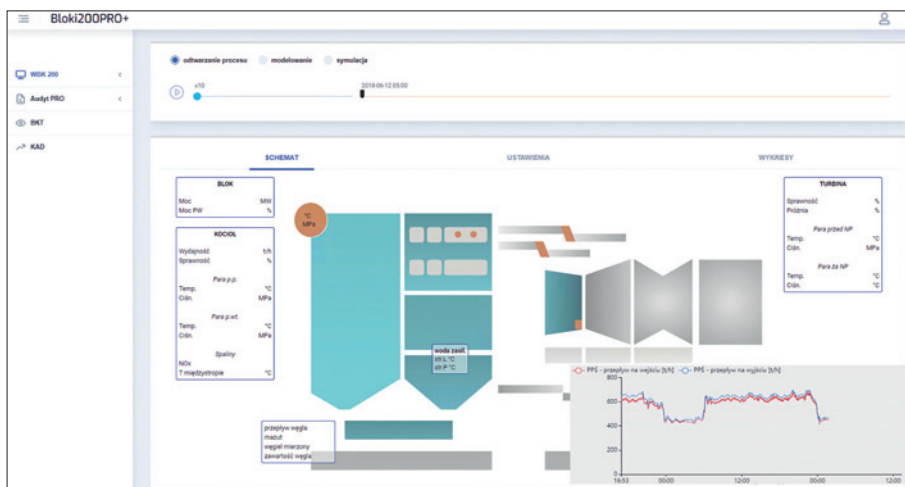
Wirtualny Blok klasy 200 MW (rys. 3 i 4) to informatycznie zaimplementowana architektura bloku z zamodelowanymi urządzeniami: głównymi oraz pomocniczymi (według potrzeb), wyposażona w interfejsy do:

- demonstracji pracy bloku w trybie *on-line* oraz *off-line*,
- modelowania i symulacji procesów:
  - termodynamicznych w głównych komponentach kotła i turbiny w środowisku Matlab/Simulink,
  - cyrkulacji czynnika w konturze parownika,
  - obiegu cieplnego z wykorzystaniem IPSEpro;
- modelowania i symulacji stanów termicznych i naprężeniowych.

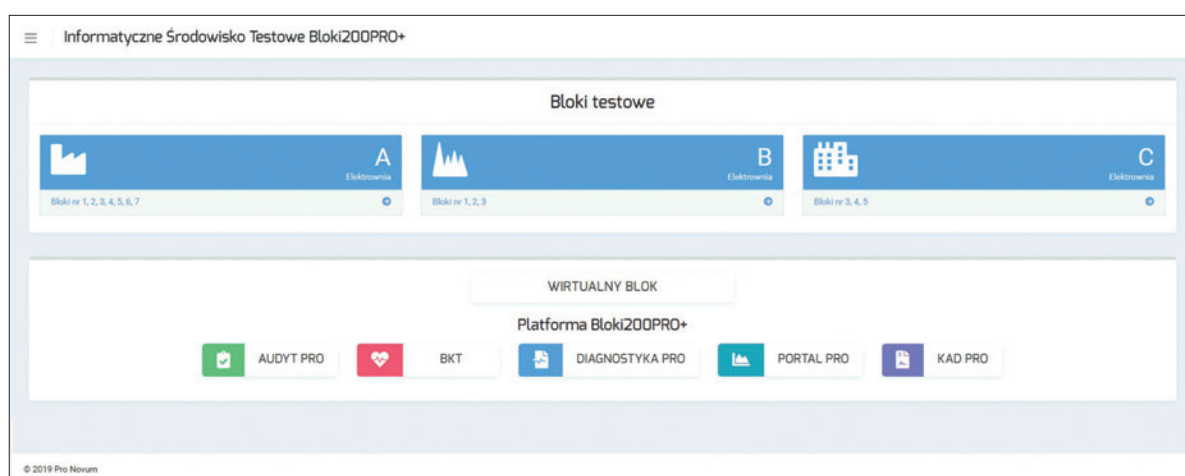
Dostęp do Informatycznego Środowiska Testowego zapewnia interface przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 2. System Zdalnej Komunikacji pomiędzy blokiem referencyjnym w *Elektrowni Potaniec* oraz Informatycznym Środowiskiem Testowym w *Pro Novum*



Rys. 3. Jeden z Interfejsów Wirtualnego Bloku klasy 200 MW



Rys. 4. Interface do Informatycznego Środowiska Testowego

Programy z Platformy BLOKI200PRO+ przeznaczone są, uogólniając, do:

- 1) wspierania wdrożenia *Metody Pro Novum* na dowolnym bloku klasy 200 MW – Program Audyt PRO;
- 2) zapewnienia bezpiecznej pracy bloku o zwiększonej elastyczności oraz w trybie jeszcze bardziej intensywnej niż dotąd pracy regulacyjnej poprzez zastąpienie Bloku Ograniczeń Termicznych (BOT) dokładniejszymi dla oceny stopnia wyczerpania trwałości, kryteriami naprężeniowymi (Blok Kontroli Trwałości, BKT);
- 3) zdalnej diagnostyki z wykorzystaniem programu Diagnostyka PRO, opartej na bieżącej analizie rzeczywistych warunków pracy; standardowe podejście wykorzystujące czas pracy i liczbę uruchomień z poszczególnych stanów cieplnych może prowadzić do nieakceptowalnych niedoładności;
- 4) nadzoru nad bezpieczną i dyspozycyjną pracą bloku eksploatowanego w intensywnej regulacji, z przyspieszonymi uruchomieniami i naborami mocy, z dużą ilością uruchomień lub pracy bloku przy obniżonym minimum technicznym; taką funkcjonalność posiada Program Kontrolno-Analityczno-Doradczy (KAD PRO), który na bieżąco analizuje związek

między stopniem intensywności regulacji a stanem technicznym głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych, ich dyspozycyjnością oraz efektywnością elastycznego trybu pracy bloku;

- 5) wsparcia komercjalizacji *Metody Pro Novum* (Portal PRO), ale także procesu zachowania kompetencji, których wyczerpanie może stwarzać zagrożenie dla bezpieczeństwa, równie duże jak wyczerpanie trwałości [12].

### Atuty *Metody Pro Novum*

- Pozwala zwiększyć elastyczność bloku w sposób niskonaładowy.
- Zwiększenie elastyczności można uzyskać względnie szybko, bez potrzeby istotnej zmiany planów produkcyjnych, w tym planów remontowych.
- Poprawia bezpieczeństwo i dyspozycyjność niezależnie od stopnia intensywności pracy regulacyjnej.
- Może być wdrażana w całości lub w formie implementacji wybranych komponentów w zależności od wymagań Operatora Systemu Energetycznego oraz specyficznych

uwarunkowań danej elektrowni czy konkretnego bloku. Wspiera racjonalną redukcję nakładów na utrzymanie stanu technicznego z zachowaniem bezpieczeństwa i oczekiwanej dyspozycyjności.

- Może zostać zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka, bez znaczących profitów z Rynku Mocy oraz bardziej wymagających niż dotąd usług systemowych.
- Stwarza dogodne warunki do współpracy z Urzędem Dozoru Technicznego, co powinno sprzyjać jej komercjalizacji.

Metodę *Pro Novum* wyposażono w narzędzia wsparcia jej komercjalizacji z możliwością wykorzystania pracy zdalnej, co uważamy za jej atut porównywalny do jej uniwersalności oraz względnie niskich kosztów wdrożenia. Możliwość przetwarzania informacji w wiedzę niezbędną dla zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności zwłaszcza w zakresie utrzymania stanu technicznego w skali nie tylko jednego bloku i nie tylko w jednej elektrowni sprawia, że kompetencje w tym zakresie można zachować zwłaszcza dla tych bloków, które mogą być nadal eksploatowane przez 10-15 lat.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Dobosiewicz J., *Przydatność elementów kotła po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy*. „Energetyka” 1983, nr 8.
- [2] Trzeczcyński J., *Eksploatacja urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni po przekroczeniu trwałości projektowej – Rekomendacje i doświadczenia Pro Novum*. „Nowa Energia” 2014, nr 1.
- [3] Trzeczcyński J., *System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych po przekroczeniu 300 000 godzin*. „Dozór Techniczny” 2012, nr 2.
- [4] Trzeczcyński J., Trzeczcyńska E., *Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants*. “VGB PowerTech” 2020, nr 9.
- [5] PN/20.2900/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych. Część III. Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych kotłów. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013. Niepublikowane.
- [6] PN/30.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013. Niepublikowane.
- [7] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. *Pro Novum*. Katowice 2013/2016.
- [8] Grzesiczek E., Trzeczcyński J., Rajca S., *Możliwości wydłużania czasu eksploatacji elementów części przepływowych turbin parowych*. „Energetyka” 2003, nr 12.
- [9] Sprawozdanie *Pro Novum* 049.3096/2014: Badania wybranych elementów krytycznych bloków 200 MW po długotrwałej eksploatacji dla określenia możliwości przedłużania ich eksploatacji do 350 000 godzin. Katowice 2014. Niepublikowane.
- [10] BS 7910 – 2013+A1:2015: Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.
- [11] Trzeczcyński J., Murzynowski W., *Nadzór diagnostyczny nad warunkową eksploatacją uszkodzonych schładzaczy do czasu ich wymiany lub naprawy*. „Energetyka” 2019, *Biuletyn Pro Novum* nr 1/2019.
- [12] Stanek R., Trzeczcyński J., Dąbrowski M., *Diagnostyka jednego typu urządzeń w skali KSE z wykorzystaniem portalu internetowego integrującego informacje eksploatacyjne*. „Energetyka” 2017, *Biuletyn Pro Novum* nr 2/2017.