

Diagnostyka kotłów i rurociągów pary wysokoprężnej w świetle wytycznych UDT

Diagnostics of boilers and high-pressure steam pipelines under the Guidelines of the Office of Technical Inspection (UDT)

Jednym z głównych problemów w diagnostyce elementów krytycznych bloków energetycznych był do niedawna brak jednolitych zasad, które obejmowałyby podejście do oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości urządzeń, zwłaszcza urządzeń po przepracowaniu obliczeniowego czasu. Skala problemu jest olbrzymia, gdyż zdecydowana większość urządzeń wytórczych w krajowej elektroenergetyce przepracowała ponad 200 tysięcy godzin. Przeprowadzone w ostatnich latach remonty kapitalne oraz modernizacyjne urządzeń miały na celu głównie dostosowanie ich do wymogów środowiskowych, ewentualnie zwiększenia mocy lub sprawności. Zwłaszcza remonty modernizacyjne były świetną okazją do rzetelnej oceny stanu starych, niewymienianych elementów oraz rzetelnej oceny ich dalszej przydatności eksploatacyjnej. Okazją, gdyż czas postoju urządzeń był na tyle długi, że można było te urządzenia dobrze sprawdzić pod kątem czasu ich dalszej przydatności. Nie stało się tak w wielu przypadkach, a powodów było wiele. Z pewnością jedną z najistotniejszych przyczyn był brak jakichkolwiek przepisów prawnych w tym zakresie.

Podstawową zaletą opracowanych przez Urząd Dozoru Technicznego wytycznych jest ujednoczenie podejścia do diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej kotłów i rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Z uwagi na to, iż standaryzacja ta obejmuje elementy urządzeń podlegających pod UDT nie powinien dziwić fakt ich wprowadzenia. Można nawet powiedzieć, iż takie zasady powinny obowiązywać wcześniej. Oczywistym również jest fakt, iż decyzję o dopuszczeniu do dalszej eksploatacji tych urządzeń UDT chce opierać na rzetelnej ocenie uwzględniającej najlepszy na obecną chwilę poziom wiedzy inżynierskiej. Tym bardziej że proponowane metody diagnostyczne są ogólnie znane i laboratoria zajmujące się diagnostyką i oceną stanu technicznego elementów ciśnieniowych nie powinny mieć problemu, aby się nimi postugiwać.

Doświadczenie „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. w zakresie diagnostyki ciśnieniowych elementów kotłów oraz rurociągów wskazuje na celowość, wręcz konieczność wprowadzenia w życie jednolitych zasad w tym zakresie. Zasad, które obejmowałyby wszystkich – począwszy od inspektorów UDT, poprzez eksploatujących urządzenia aż po firmy diagnostyczne i osoby oceniające uzyskane wyniki badań i pomiarów.

Stan prawny

Na mocy ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym [1] UDT ma określone zadania obejmujące zapewnienie bezpieczeństwa użytkowania urządzeń technicznych, wśród których wymienione są również urządzenia energetyczne, w tym elementy ciśnieniowe. Ich stan techniczny jest okresowo potwierdzany kolejnymi rewizjami, a zakres uzależniony jest od rodzaju urządzenia i warunków jego eksploatacji.

Elementy urządzeń pracujących w warunkach pełzania projektowane są na określony czas eksploatacji. Wynika to z faktu, iż jednym z kryteriów przyjmowanych do obliczeń wytrzymałościowych jest czasowa wytrzymałość na pełzanie materiału w danej temperaturze. Normy materiałowe podają, w jaki sposób spada wytrzymałość na pełzanie w czasie ekspozycji materiału na zadane warunki pracy. Problematyczne dla tych elementów jest określenie i przedstawienie dowodów na to, że dany element – mimo iż pracuje ponad projektowy czas pracy – można nadal bezpiecznie eksploatować.

Urząd Dozoru Technicznego podejmuje decyzje dotyczące warunków dopuszczenia do dalszej eksploatacji urządzenia na podstawie badań własnych oraz laboratoriów diagnostycznych posiadających uznanie CLDT. Do niedawna nie było jednolitych w skali kraju zasad diagnostyki i kompetencji zespołów, które oceniają uzyskane wyniki badań. Zasad, które obowiązywałyby wszystkich. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 lipca 2003 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji niektórych urządzeń ciśnieniowych* [2] w sposób pobieżny podaje zakresy i okresy badań technicznych w zależności od rodzaju urządzenia. Tabela 1 przedstawia wybrane informacje z załącznika do wspomnianego rozporządzenia.

Rozporządzenie określa w sposób ogólnikowy, co wchodzi w skład poszczególnych badań technicznych, lecz faktycznie nie podaje jasnych wytycznych co z urządzeniami, których czas pracy przekroczył czas projektowy. Rozporządzenie nie definiuje zakresu niezbędnych informacji do określenia stanu technicznego będącego podstawą do wydania orzeczenia o warunkach dopuszczenia do dalszej eksploatacji, a co najbardziej niebezpieczne – nie określa kompetencji zespołów

Wybrane informacje dotyczące formy dozoru technicznego i terminów badań technicznych według załącznika do [2]

Rodzaj urządzenia	Forma dozoru	Terminy badań		
		rewizja zewnętrzna	rewizja wewnętrzna	próba ciśnieniowa
KOTŁY				
Kotły parowe o PD>0,5 bara, w których nośnikiem ciepła jest woda				
Kotły o wydajności ≥ 100 t/h inne niż w lp. 2	pełny	1 rok	4 lata	8 lat
Kotły o wydajności ≥ 100 t/h nowe lub zmodernizowane *	pełny	1 rok	5 lat	10 lat
Kotły bezpaleniskowe (odzysknicowe)	pełny	1 rok	4 lata	8 lat

*) dotyczy urządzeń, których budowa lub kompleksowa modernizacja została ukończona po 1998 r.

odpowiedzialnych za wydawanie orzeczeń, opinii o stanie technicznym na podstawie wyników badań, ani ich interpretacji. Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015 [3] powstały, aby tę lukę uzupełnić.

Przedmiot i zakres wytycznych

Przedmiotem opracowania są zasady diagnostyki oraz sposób dokonywania oceny stanu elementów ciśnieniowych kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania w celu oszacowania lub wyznaczenia ich trwałości eksploatacyjnej. W procesie oceny stanu i prognozowania bezpiecznego czasu dalszej eksploatacji elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania stosowane są metody, które można przyporządkować do następujących grup:

- związane z wykonywaniem obliczeń, głównie na podstawie dostępnych zapisów temperatury i ciśnienia roboczego przy wykorzystaniu charakterystyki wytrzymałości na pełzanie materiałów w stanie wyjściowym, które zawarte są w normach dla wyrobów hutniczych (np. metoda ułamków trwałości Robinsona),
- obejmujące pomiary cech geometrycznych i odkształceń trwałych oraz badania nieniszczące i niszczące w celu oceny stanu materiału elementów po eksploatacji.

Celem opracowania jest przedstawienie jednolitej metodologii oceny stanu materiału i sposobu szacowania/wyznaczenia pozostałej, bezpiecznej trwałości eksploatacyjnej elementów części ciśnieniowej kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania. Zaproponowany tryb postępowania wykorzystuje współcześnie dostępne narzędzia i metody badawcze zweryfikowane w praktyce na podstawie doświadczeń z pozytywnych wyników wieloletnich diagnostycznych badań materiałowych. Opracowaną metodologię przedstawiono w formie algorytmu pokazującego wymagany lub zalecany sposób postępowania przy diagnozowaniu i wyznaczeniu czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania. Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015 określają m.in.:

- główne etapy oceny stanu elementów pracujących w warunkach pełzania,
- wybór miejsc do badań,
- wybór metody badań,
- metodykę obliczeniową oceny stanu materiału,
- badania nieniszczące i niszczące w celu określenia stanu materiału i jego trwałości eksploatacyjnej [3].

Algorytm funkcyjny, który opracowany został na podstawie praktyki inżynierskiej i stosowany jest od niedawna w UDT, wykorzystuje się do weryfikacji metodyki diagnostycznej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania. Bazuje on na ocenie stanu technicznego badanych urządzeń.

Wytyczne podają dość szczegółowo zakresy badań, ocen i analiz w zależności od rodzaju elementu, jego konstrukcji oraz procesów niszczenia. Zapisy wytycznych ograniczają w dość istotny sposób zakres stosowania i użyteczności badań metalograficznych z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej. Mikroskop świetlny może być wykorzystany w przypadku ujawnienia ogólnego stanu degradacji mikrostruktury oraz uszkodzeń wewnętrznych na poziomie mikroszczelin oraz mikropęknięć przy zastosowaniu powiększenia 500–1000x.

Trudno nie zgodzić się z faktem, iż ocenę struktury materiałów przy zastosowaniu replik i użyciu mikroskopu świetlnego cechuje mała obiektywność i często trudność w ujawnianiu stadiów wcześniejszych generacji izolowanych pustek pełzaniowych. Z uwagi na powyższe, wytyczne zalecają stosowanie skaningowej mikroskopii elektronowej do oceny stanu struktury materiału. Dodatkowym atutem wytycznych są załączone modele degradacji mikrostruktury stali i staliw pracujących w warunkach pełzania w części ciśnieniowej kotłów energetycznych. Modele te obejmują stale w gatunku: 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10, 14MoV6-3 i X20CrMoV11-1 oraz staliwa w gatunku L17HMF i L21HMF – materiały te najczęściej stosowane są na elementy urządzeń ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania w przeważającej części krajowej energetyki, zwłaszcza długo eksploatowanych urządzeń. Dla każdego z wymienionych materiałów podano klasy struktury w zależności od stanu jego podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania. W postaci graficznej przedstawiono odniesienie klas mikrostruktury do stopnia wyczerpania dokonane na podstawie oceny następujących zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów perlitycznych lub bainitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń. Ponadto w postaci tabelarycznej zaproponowano okresy dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury i odpowiadającego jej stopnia wyczerpania. Dla każdego z wyżej wymienionych materiałów pokazano przykłady oceny ich stanu opartej na obserwacjach mikrostruktury, przeprowadzanych w mikroskopie świetlnym oraz skaningowym mikroskopie elektronowym z wykorzystaniem zglądów metalograficznych, a także replik matrycowych pobieranych bezpośrednio na obiektach przemysłowych [3].

Diagnostyka rurociągów wysokoprężnych w świetle wytycznych

Rurociągi pary wysokoprężnej są zaliczane do grupy elementów krytycznych. Wynika to z faktu, że ich stan techniczny w zasadniczy sposób wpływa na dyspozycyjność i niezawodność pracy bloku. Dodatkowo, z uwagi na przebieg trasy, większość rurociągów parowych w przypadku awarii stanowi bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Nie bez znaczenia jest również fakt, iż naprawy ewentualnych uszkodzeń lub wymiany zdegradowanych elementów są czasochłonne i stosunkowo kosztowne. Dlatego tak istotne jest zapewnienie wysokich standardów eksploatacji i serwisu rurociągów wysokoprężnych oraz ich diagnostyki.

Rurociągi pary wysokoprężnej podlegają pod UDT, dlatego ich stan techniczny jest okresowo sprawdzany w ramach rewizji. Niestety brakowało jednolitych zasad diagnostyki i kompetencji zespołów oceniających uzyskane wyniki badań – zasad, które obowiązywałyby wszystkich. Spowodowało to, że wiedza o stanie technicznym urządzeń jest bardzo zróżnicowana i zależy od tego, czy i jakie badania wykonywane były w przeszłości. Największy problem dotyczy urządzeń i instalacji, dla których przepisy wymusiły rejestrację w trakcie eksploatacji. W przypadku

niektórych urządzeń, zwłaszcza rurociągów wysokoprężnych, rejestracja następowała przy czasach eksploatacji na poziomie 150 tysięcy godzin i więcej. Dla urządzeń tych, z uwagi na brak konieczności, nie przeprowadzano wcześniej rewizji, a co z tym związane – nieznaną była dokładna historia eksploatacji. Sporym wyzwaniem był wówczas proces ich rejestracji, gdyż konieczna była ocena stanu technicznego i prognoza możliwości eksploatacyjnych bez rzeczywistego odzwierciedlenia tempa postępowania procesów niszczenia.

Diagnostyka elementów kotłów parowych w świetle wytycznych

Elementy ciśnieniowe kotłów energetycznych, takie jak komory przegrzewaczy pary i schładzacze, również są zaliczane do elementów krytycznych kotłów. Ich stan techniczny w zasadniczy sposób wpływa na dyspozycyjność i niezawodność pracy bloku, dodatkowo ewentualna wymiana tych elementów jest czasochłonna i kosztowna. Bardzo istotne jest – zwłaszcza dla dłużej pracujących urządzeń – zapewnienie wysokich standardów eksploatacji i serwisu oraz ich diagnostyki.

Tabela 2

Uogólniony sposób oceny dla określenia czasu dalszej, bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych według wytycznych [3]

Poniżej czasu obliczeniowego	Powyżej czasu obliczeniowego
<ul style="list-style-type: none"> Badania materiałowe nieniszczącą metodą replik matrycowych na pracujących w warunkach pełzania elementach najbardziej wyczerpanych: <ol style="list-style-type: none"> wyznaczenie elementów najbardziej wyczerpanych na podstawie łącznej analizy: dotychczasowej eksploatacji, wyników obliczeń dla parametrów roboczych, oględzin przeprowadzonych na obiekcie; badania dla min. 1/3 elementów; na każdym elemencie min. 3-5 replik w zależności od wielkości i rodzaju elementu (materiał rodzimy). Ocena stanu materiału i oszacowanie stopnia wyczerpania. Określenie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji dla zdefiniowanych parametrów pracy na podstawie oszacowanego stopnia wyczerpania. 	<ul style="list-style-type: none"> Badania materiałowe nieniszczącą metodą replik matrycowych na pracujących w warunkach pełzania elementach najbardziej wyczerpanych: <ol style="list-style-type: none"> wyznaczenie elementów najbardziej wyczerpanych na podstawie łącznej analizy: dotychczasowej eksploatacji, wyników obliczeń dla parametrów roboczych, oględzin przeprowadzonych na obiekcie; badania dla min. 2/3 elementów; na każdym elemencie min. 3-6 replik w zależności od wielkości i rodzaju elementu (materiał rodzimy i obwodowe złącza). Ocena stanu materiału i oszacowanie stopnia wyczerpania. Wybór reprezentatywnego wycinka do niszczących badań materiałowych na podstawie wyników badań metodą replik wspomaganych analizą: dotyczącą eksploatacji, wyników obliczeń dla parametrów roboczych, oględzin na obiekcie. Pobranie wycinka do badań. Badania mikrostruktury (obraz struktury, identyfikacja wydzielen) oraz właściwości mechanicznych (R_m; R_b; R_s; KV; próg kruchości; resztkowa wytrzymałość na pełzanie w próbach skróconych). Wyznaczenie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji dla zdefiniowanych parametrów pracy na podstawie wyznaczonej trwałości resztkowej i rozporządzałnej oraz stopnia wyczerpania.

Tabela 3

Uogólniony sposób oceny dla określenia czasu dalszej, bezpiecznej eksploatacji komór przegrzewacza pary i schładzaczy wg wytycznych [3]

Poniżej czasu obliczeniowego	Powyżej czasu obliczeniowego
<ul style="list-style-type: none"> Badania materiałowe nieniszczącą metodą replik matrycowych na płaszczu elementu pracującego w warunkach pełzania: <ol style="list-style-type: none"> wyznaczenie elementów najbardziej wyczerpanych na podstawie łącznej analizy: dotychczasowej eksploatacji, wyników obliczeń dla parametrów roboczych, oględzin przeprowadzonych na obiekcie; badania dla min. 2 obszarów każdego segmentu płaszczu elementu; na każdym segmencie min. 2 repliki. Ocena stanu materiału i oszacowanie stopnia wyczerpania. Określenie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji dla zdefiniowanych parametrów pracy na podstawie oszacowanego stopnia wyczerpania. 	<ul style="list-style-type: none"> Badania materiałowe nieniszczącą metodą replik matrycowych na płaszczu elementu pracującego w warunkach pełzania: <ol style="list-style-type: none"> wyznaczenie elementów najbardziej wyczerpanych na podstawie łącznej analizy: dotychczasowej eksploatacji, wyników obliczeń dla parametrów roboczych, oględzin przeprowadzonych na obiekcie; badania dla min. 2 obszarów każdego segmentu płaszczu elementu; na każdym segmencie min. 2 repliki; badania złączy spawanych łączących segmenty. Ocena stanu materiału i oszacowanie stopnia wyczerpania. Wybór reprezentatywnego miejsca do pobrania „korka” metodą trepanacji na podstawie wyników badań metodą replik wspomaganych analizą: dotychczasowej eksploatacji, wyników obliczeń dla parametrów roboczych, oględzin na obiekcie. Pobranie „korka” do niszczących badań materiałowych. Badania mikrostruktury (obraz struktury, identyfikacja wydzielen) oraz prędkości pełzania w próbie pełzania z pomiarem wydłużenia. Wyznaczenie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji dla zdefiniowanych parametrów pracy opartych na wyznaczonej prędkości pełzania odniesionej do rzeczywistej wielkości trwałego odkształcenia.

Komory przegrzewaczy pary, w tym pracujące w warunkach pełzania, podlegają pod UDT, a ich stan techniczny jest potwierdzany w ramach rewizji okresowych. Podobnie jak w przypadku rurociągów wysokoprężnych również dla komór przegrzewaczy brakowało jednolitych zasad diagnostyki. Z tego powodu zakresy badań dla takich samych urządzeń lub podobnych w skali kraju były różne, czego efektem jest zróżnicowana wiedza o stanie technicznym tych elementów. Programy badań diagnostycznych w ramach rewizji były na tyle różnorodne, że w niektórych przypadkach rewizja kończyła się na badaniach endoskopowych wewnętrznych powierzchni, ewentualnie badaniach defektoskopowych spoin. Często nie kontrolowano tempa degradacji materiału, a dalszą przydatność eksploatacyjną limitowały jedynie ewentualne uszkodzenia w postaci pęknięć. Wytyczne UDT i w tym przypadku podają sposób oceny stanu technicznego w zależności od typu komory, parametrów pracy i czasu eksploatacji. Badania niszczące zalecane są dla elementów, dla których grubość ścianki jest na tyle duża, aby wykonywanie badań mechanicznych miało sens.

Podsumowanie

Algorytm funkcyjny opracowany na podstawie praktyki inżynierskiej stosowany od niedawna w UDT, wykorzystywany do weryfikacji metodyki diagnostycznej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania, bazuje na ocenie stanu technicznego. Nadrzędną rolę odgrywa analiza obrazu struktury materiału określana przy zastosowaniu techniki SEM. Technika świetlna spełnia funkcję pomocniczą. Trwałość wyznaczana jest obligatoryjnie dla elementów pracujących ponad obliczeniowy czas pracy z wykorzystaniem skróconych prób pełzania. Algorytm UDT różnicuje maksymalny czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji dla takich samych klas struktury, w zależności od tego czy analizowany element przepracował czas obliczeniowy.

Jednym z głównych problemów w diagnostyce elementów krytycznych bloków energetycznych był do niedawna brak jednolitych zasad, które obejmowałyby podejście do oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości urządzeń, zwłaszcza urządzeń po przepracowaniu obliczeniowego czasu.

Podstawową zaletą opracowanych przez UDT wytycznych jest ujednoczenie podejścia do diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej kotłów i rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Z uwagi na to, iż obejmują one elementy urządzeń podlegających pod UDT, nie powinien dziwić fakt ich wprowadzenia. Proponowane metody diagnostyczne są ogólnie znane – laboratoria zajmujące się diagnostyką i oceną stanu technicznego elementów ciśnieniowych nie powinny mieć problemu, aby się nimi posługiwać. Ujednoczenie zasad diagnostyki, w tym porównywalność zakresów badań i analiz w skali całego sektora elektroenergetycznego, pozwoli z pewnością na uzyskanie szeregu korzyści, takich jak: porównywalność wyników badań, możliwość śledzenia tempa degradacji materiału oraz podniesienie poziomu merytorycznego raportów. W dalekiej przyszłości przełoży się to na podniesienie trafności i dokładności stawianych diagnoz. Warunkiem powyższego jest jednak stosowanie się wszystkich zainteresowanych stron (inspektorzy UDT, służby eksploatacji, firmy diagnostyczne) do zapisów zawartych w wytycznych i konsekwentna polityka remontowa w tym zakresie.

Opracowane przez UDT wytyczne są jedynym ogólnodostępnym dokumentem określającym zasady wykonywania badań diagnostycznych i oceny stanu technicznego elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania, niezależnie od wielkości urządzenia oraz parametrów jego eksploatacji. Wytyczne te są dokumentem kompleksowym w zakresie elementów, które obejmują, tj. elementów pracujących w warunkach pełzania, nie obejmują natomiast elementów pracujących poniżej temperatury granicznej. Wydaje się jednak kwestią czasu opracowanie i wdrożenie przez UDT wytycznych uwzględniających i te elementy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym*, Dz.U. 2000 nr 122 poz. 1321.
- [2] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 lipca 2003 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji niektórych urządzeń ciśnieniowych*, Dz.U. 2003 nr 135 poz. 1269.
- [3] Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015 „Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania”, Warszawa 2015.
- [4] Szyja R., Borcz B.: *Przedłużanie eksploatacji instalacji rurociągowych ponad czas obliczeniowy na podstawie wytycznych UDT oraz Pro Novum*, „Energetyka” 2016, nr 12.
- [5] Hernas A., Dobrzański J.: *Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [6] Jasiński A.: *System diagnostyczny jako sposób na wydłużenie czasu bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych*, „Energetyka” 2012, nr 9.
- [7] Kwiecień M., Gołowski A.: *Pełzanie jako zjawisko ograniczające długotrwałą eksploatację rurociągów parowych*, „Energetyka” 2013, nr 7.
- [8] Jasiński A.: *Modelowanie rozkładu naprężeń w systemie diagnostycznym rurociągów pracujących w warunkach pełzania*, „Energetyka” 2012, nr 2.
- [9] Jasiński A.: *Wydłużona eksploatacja krajowych bloków energetycznych – szanse i zagrożenia*, „Energetyka” 2013, nr 7.
- [10] Jasiński A.: *Diagnostyka jako element planowania*, „Chemia Przemysłowa” 2012, nr 2.
- [11] Zieliński A., Dobrzański J.: *Ocena stanu i przydatności do dalszej pracy materiału rurociągów parowych eksploatowanych powyżej obliczeniowego czasu pracy*, „Prace Instytutu Metalurgii Żelaza” 2013, nr 3, s. 42-55.
- [12] Jasiński A.: *Wymogi UDT stawiane urządzeniom ciśnieniowym eksploatowanym ponad obliczeniowy czas pracy*, „Nowa Energia” 2013, nr 5-6.
- [13] Zieliński A., Kwiecień M.: *Ocena stanu i przydatności do dalszej pracy rurociągów parowych z niskostopowych stali Cr-Mo i Cr-Mo-V eksploatowanych powyżej 200 tys. godzin pracy*, „Energetyka” 2015, nr 9.
- [14] Jasiński A.: *Jak typować elementy do badań w przypadku rurociągów wysokoprężnych*, „Energetyka” 2015, nr 9.
- [15] Jasiński A.: *Wpływ długotrwałej eksploatacji na własności wytrzymałościowe i dalszą przydatność eksploatacyjną materiału głównych rurociągów parowych bloków typu 200 MW*, „Dozór Techniczny” 2014, nr 3.
- [16] Zieliński A.: *Metodyka, ocena i prognoza eksploatacji powyżej obliczeniowego czasu pracy złączy spawanych elementów ciśnieniowych kotłów energetycznych*, sprawozdanie IMŻ nr PB0006/2015 (niepubl.).

