

## ZASTOSOWANIE ZDMUCHIWACZY PAROWYCH I AKUSTYCZNYCH W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH

Beata ŚNIECHOWSKA\*

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, ul. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono negatywny wpływ osadów pyłowych na powierzchniach grzewczych w kotle energetycznym oraz wykazano konieczność utrzymywania ich w czystości. Opisano wybrane sposoby oczyszczania powierzchni konwekcyjnych kotłów z wykorzystaniem zdmuchiwaczy parowych i generatorów akustycznych. Przedstawiono ich budowę, zasadę działania i na podstawie analizy innych badań zaproponowano najlepszy wariant.

*Słowa kluczowe:* zdmuchiwacze parowe, generatory akustyczne, czyszczenie powierzchni wymiany ciepła.

### 1. Wprowadzenie

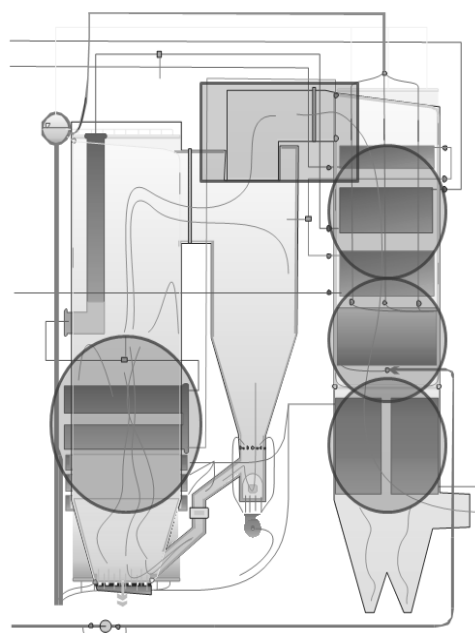
Podczas spalania paliw organicznych w kotłach energetycznych zachodzi proces przemiany energii chemicznej paliw w energię termiczną. Produktami ubocznymi tego procesu są stałe i gazowe produkty reakcji spalania (Kruczek, 2001). Pod wpływem wysokiej temperatury powstaje popiół stanowiący mieszaninę składników niepalnych oraz cząstek niespalonego paliwa. W trakcie spalania paliwa w palenisku kotła lotne cząstki popiołu porywane są przez strumień przepływających spalin i osadzają się bezpośrednio na wymiennikach ciepła w ciągu konwekcyjnym. Powierzchniami narażonymi na osadzanie się popiołu i pogarszanie pracy całego układu są między innymi powierzchnie przegrzewaczy pary, podgrzewaczy powietrza, podgrzewaczy wody, przewału oraz komór konwekcyjnych w kotłach energetycznych oraz reaktorów w instalacjach odsiarczania spalin (rys. 1). Popiół w postaci spieczonej jak i lotnej stanowi warstwę izolacyjną na powierzchniach wymiany ciepła i obniża sprawność kotła a tym samym całego bloku energetycznego (rys. 2).

Negatywne działanie skumulowanej warstwy sadzy i popiołu objawiać się może przez (Pronobis, 2002; Śniechowska, 2009):

- wzrost temperatury spalin;
- spadek temperatury pary poniżej wartości nominalnych;
- zwiększenie strumienia objętości spalin na dolocie;
- potrzebę dostarczania większej ilości paliwa do paleniska celem wyrównania powstałych strat;
- wyższą emisję CO<sub>2</sub>.

Spieczone osady popiołowe mogą osiągać tak duże rozmiary, iż zachodzi konieczność przestoju kotła,

podczas którego należy doprowadzić powierzchnie do zadawalającego stanu czystości. Takie zabiegi zwiększają koszty eksploatacyjne oraz pociągają za sobą znaczne straty ekonomiczne, spowodowane m.in. przerwaniem produkcji energii elektrycznej, ciepłej oraz kosztami odstawienia i ponownego rozruchu bloku energetycznego.



Rys. 1. Schemat kotła fluidalnego z zaznaczeniem miejsc szczególnie narażonych na nadmierną kumulację popiołu (www.est.net.pl, 2009)

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: beata.sniechowska@pwr.wroc.pl



Rys. 2. Spieczone osady popiołowe na powierzchni wymiany ciepła w kotle

Aby kocioł stanowił źródło wytwarzania taniej energii, musi być zachowany wysoki poziom wydajności cieplnej całej instalacji i z tego powodu konieczne jest zapewnienie czystości powierzchni wymienników ciepła.

Do utrzymywania powierzchni grzewczych w kotle w czystości stosuje się m.in. (Pronobis, 2002; Gancarzewicz, 2007; Pietrusiński, 2007):

- zdmuchiwacze strumieniowe i akustyczne;
- grawitacyjny ruch metalowych kulek o średnicy około 4mm przez pęczki rur wymiennika;
- pokrywanie powierzchni narażonych na osadzanie się popiołu substancjami chemicznymi zmniejszającymi przyczepność osadów.

Podczas remontowego odstawienia kotła stosować można także technologie wykorzystujące środki chemiczne w postaci piany rozpuszczającej osady, a następnie osad usuwa się za pomocą materiałów pochodzenia roślinnego lub czyści się powierzchnie metodą udarową (ostukiwanie z określoną energią czyszczonych powierzchni). Najefektywniej działające urządzenia powinny utrzymywać powierzchnie grzewcze w czystości podczas ciągłej eksploatacji bloku energetycznego nie wpływając na jego pracę.

## 2. Technologie i urządzenia do utrzymywania w czystości powierzchni ogrzewalnych w kotle

### 2.1. Zdmuchiwacze strumieniowe

Do czyszczenia grodziowych przegrzewaczy pary i pęczków rur w części konwekcyjnej kotła zastosować można także zdmuchiwacze typu ZP-5 produkowane przez Instytut Techniki Ciepłej w Łodzi ([www.itc.edu.pl](http://www.itc.edu.pl)). Urządzenie posiada specjalną dyszową głowicę szczelinową (rys. 3), zapewniającą obwodowy wypływ pary w postaci płaskiej strugi. W zdmuchiwaczach wyeliminowano obrotowy obrót lancy, w wyniku czego rura dyszowa wykonuje wyłącznie ruch posuwisto-zwrotny.

Gdy pęczki wymiennika ciepła są ożebrowane zaleca się stosowanie tak zwanych zdmuchiwaczy grabkowych (Pronobis, 2002). Lanca zdmuchiwaczy grabkowych przemieszcza się w czasie eksploatacji do przodu i do tyłu po bocznych prowadnicach. Przesuw rury dyszowej możliwy jest dzięki specjalnemu wózkowi jezdnemu, który porusza się po belce nośnej. Czynnikiem zdmuchującym doprowadzany jest do rury dyszowej poprzez zawór zdmuchiwacza oraz zespół rury teleskopowej. Do czyszczenia rurek ściennych kotła w obszarze paleniska można wykorzystać zdmuchiwacze ścienne na stałe umieszczone wewnątrz kotła, które zajmują znacznie mniej miejsca niż rozwiązania konwencjonalne ([www.itc.edu.pl](http://www.itc.edu.pl)). Praca zdmuchiwaczy na stałe zabudowanych w kotle ograniczona jest działaniem wysokiej temperatury, która nie powinna przekraczać 1150°C.

Obszar czyszczenia zdmuchiwaczy parowych ograniczony jest do pola zasięgu strugi (efektywnego promienia oczyszczania), uzależnionego od ciśnienia czynnika roboczego oraz średnicy dyszy. Prędkości wypływu pary są największe przy wylocie z dyszy i maleją wraz z oddalaniem się od niej. Niektóre konstrukcje zaopatrują zdmuchiwacze w dysze Lalava, dzięki którym prędkość wypływu pary przekraczać może prędkość dźwięku (Pronobis, 2002).

Para do zasilania zdmuchiwaczy może być pobierana z przegrzewacza pary umieszczonego w ciągu konwekcyjnym kotła. Dostarczany do zdmuchiwaczy



Rys. 3. Zdmuchiwacz typu ZP-5 produkowany przez Instytut Techniki Ciepłej w Łodzi ([www.est.net.pl](http://www.est.net.pl), 2009)

strumień pary jest stratą energii i zwiększa koszty eksploatacyjne całego systemu. Ważne jest, aby zachować równowagę pomiędzy wpływem zdmuchiacza na pracę kotła oraz wzrostem kosztów eksploatacyjnych poprzez odpowiedni czas pracy zdmuchiawania.

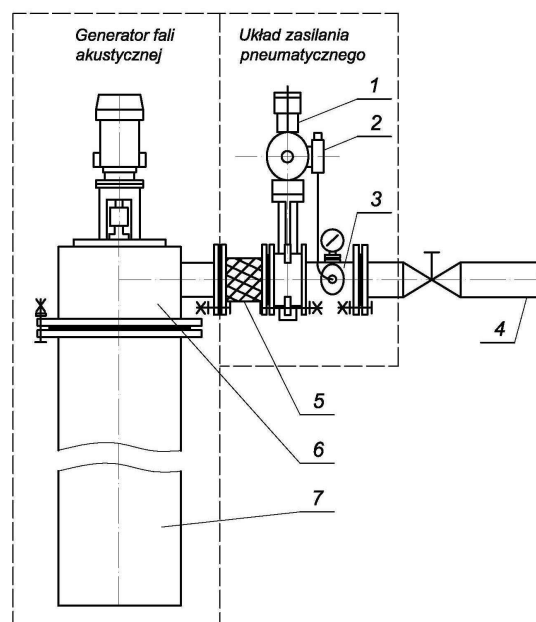
## 2.2. Generatory akustyczne

Zdmuchiawce akustyczne zwane pyłofonami lub frafonami są urządzeniami przeznaczonymi do usuwania cząstek pyłu z powierzchni grzewczych w kotle bez konieczności przerywania procesu technologicznego. Zasada działania pyłofonów polega na wytwarzaniu fali akustycznej o mocy ciśnienia akustycznego wyższego niż siła adhezji cząstek popiołu rozproszonych w gazie (Gancarzewicz, 2007). Badania dowodzą, że efekty pracy urządzeń czyszczących są najlepsze, gdy emitowane są fale o niskiej częstotliwości, między innymi ze względu na skuteczniejsze wypełnianie dźwiękiem przestrzeni ukrytych za przegrodami lub przeszkodami oraz możliwość penetracji rezonującym dźwiękiem w kierunku przeciwnym do przepływu spalin. Za pomocą fali akustycznej cząsteczki pyłu wprowadzane są w drgania i porywane są przez przepływające z dużą prędkością spaliny lub usuwane są z obszaru czyszczonego grawitacyjnie. Technika akustycznego czyszczenia ma za zadanie nie dopuszczać do tworzenia się nowych twardniejących warstw spieczonego osadu na elementach konstrukcyjnych w kotle. Czyszczenie akustyczne jest najbardziej efektywne, gdy spełnione są następujące warunki (według KWANT):

- minimalny poziom ciśnienia akustycznego wynosi 130dB;
- fala akustyczna generowana jest w przestrzeni zamkniętej;
- zachowany jest ciąg gazu transportujący cząstki pyłu do urządzeń odpylających.

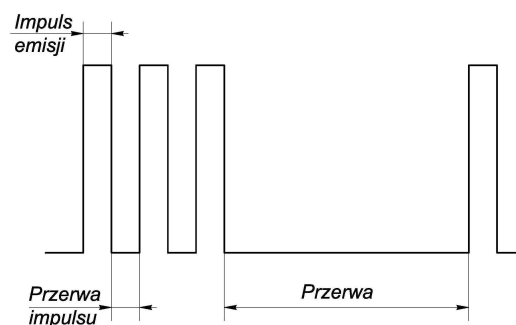
Fala akustyczna nie tylko wprawia przepływające spaliny oraz cząsteczki pyłu w oscylacyjny ruch, uniemożliwiając tym samym osadzanie się popiołu na powierzchniach grzewczych, ale i wywołuje drgania mechaniczne powierzchni zanieczyszczonych pyłem powodując jego spękanie i odrywanie. Klasyczna instalacja pyłofonu (rys. 4) zbudowana jest z impulsatora (generatora) fali akustycznej i układu sterowania zasilana jest sprężonym powietrzem.

Nowoczesne pulsacyjne zdmuchiawce akustyczne, zwane potocznie nirafofonami, produkowane przez fińską firmę Nirafon OY wytwarzają impuls akustyczny poprzez wybuchowe spalanie około 4 gramów gazu (propan, butan). Poziom mocy ciśnienia akustycznego wytwarzany przez pulsacyjny zdmuchiawca popiołu wynosi około 170dB przy częstotliwości 110Hz (Śniechowska, 2009; według Nirafon OY).



Rys. 4. Budowa zdmuchiacza akustycznego (według KWANT): 1 – zawór odcinający z napędem pneumatycznym, 2 – zawór elektromagnetyczny, 3 – filtr powietrza, manometr, 4 – sieć sprężonego powietrza, 5 – łącznik amortyzacyjny, 6 – impulsator, 7 – rezonator

Zalecana przez producentów sekwencja pracy zdmuchiacza akustycznego przedstawiona jest na rys. 5. Długość impulsu emisji dźwięku wynosi od 1-30 sekund, przerwa pomiędzy emisjami powinna trwać 2-5 sekund. Odstęp czasowy pomiędzy całymi sekwencjami pracy nirafofonu wynosić może od 1-60 minut. Emisja dźwięku trwa dłużej, gdy na powierzchniach konstrukcyjnych w kotle zalegają znaczne pokłady osadów popiołowych.



Rys. 5. Sekwencja pracy zdmuchiacza akustycznego (według Nirafon OY)

Zdmuchiawce akustyczne mogą być zastosowane w przypadku powierzchni, których nie można oczyścić tradycyjnymi metodami, m.in. dzięki właściwości wypełniania dźwiękiem we wszystkich kierunkach, nawet w rejonach ukrytych za załamaniem ścian oraz za strumieniem spalin. Czyszczenie techniką dźwiękową nie emituje żadnych niebezpiecznych gazów, nie powoduje erozji, korozji ani zużycia elementów konstrukcyjnych kotła.

### 2.3. Skuteczność czyszczenia zdmuchiwaczy parowych i generatorów akustycznych

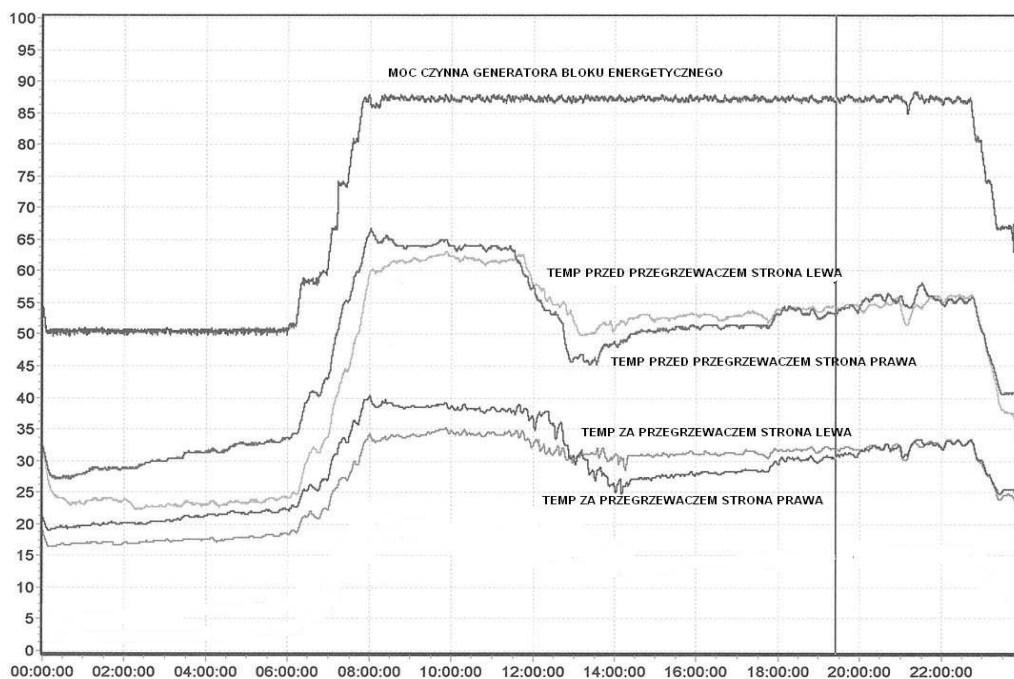
Ocenę efektywności czyszczenia zdmuchiwaczy parowych i akustycznych określono badając temperatury przepływających spalin przed i za przegrzewaczem pary świeżej w jednościagowym kotle parowym typu BP 1150 (Gancarzewicz, 2007). Do analizy wykorzystano zdmuchiwacze parowe typu RKS-81E oraz generatory akustyczne typu SONOFORCE IKT. Początkowo zastosowano 42 zdmuchiwacze parowe, które zainstalowano na siedmiu poziomach (50,3-76,6m), po 6 sztuk na każdym poziomie. Do analizy skuteczności pracy zdemontowano 4 zdmuchiwacze strumieniowe zastępując je 4 pyłofonami. Trzy zdmuchiwacze akustyczne zainstalowano w rejonach pary świeżej na lewej ścianie kotła na poziomie 67,3m przed przegrzewaczem pary świeżej, z kolei cztery generatory umieszczono za przegrzewaczem w miejsce dawniej istniejącego środkowego zdmuchiwacza parowego. Na prawej ścianie kotła, przed i za przegrzewaczem pary świeżej pozostawiono po 3 zdmuchiwacze parowe na poziomie 67,3m oraz 72,0m.

Harmonogram pracy zdmuchiwaczy zakładał pracę zdmuchiwaczy parowych jeden raz w ciągu doby. Zdmuchiwacze akustyczne pracowały według przyjętego automatycznie odbywającego się cyklu pracy: 15 sekundowy impuls akustyczny generowany do wnętrza kotła przez dwa generatory, 10 minut przerwy, praca 2 kolejnych zdmuchiwaczy akustycznych, 10 minut przerwy. Na rys. 6 przedstawiono wykres zależności temperatury spalin przed i za przegrzewaczem pary świeżej oraz mocy bloku energetycznego. Od godziny 12<sup>30</sup> do 14<sup>30</sup> uruchomione były zdmuchiwacze parowe, które spowodowały większe obniżenie temperatury spalin przed i za przegrzewaczem pary świeżej, w porównaniu

do generatorów akustycznych. Zdmuchiwacze parowe skutecznie oczyszczają powierzchnie wymiennika ciepła, jednak mają mniejszy zasięg niż pyłofony, których fala akustyczna dociera zarówno do lewej jak i prawej strony kotła. Po zakończeniu pracy zdmuchiwaczy parowych temperatura spalin stopniowo wzrasta aż do osiągnięcia temperatur spalin sprzed włączenia urządzeń czyszczących. W miejscach, gdzie zainstalowane zostały generatory akustyczne wzrost temperatury spalin był wolniejszy niż po prawej stronie kotła, między innymi dlatego że pracują one cyklicznie przez całą dobę nie dopuszczając do tworzenia się trwałych osadów oraz powodując dłuższe utrzymanie temperatury spalin na tym samym poziomie. Ocena wizualna przegrzewacza pary dowiodła, że środkowa część wymiennika ciepła, w której nie ma żadnych zdmuchiwaczy z lewej strony jest znacznie mniej zapyłona niż z prawej strony. Dodatkowo z prawej strony zaobserwowano usypane stożki popiołu na rurach wymiennika ciepła. Zdmuchiwacze akustyczne nie są ograniczone lokalnie i działają skutecznie w znacznie szerszym zasięgu, jednak nie usuwają popiołu tak dokładnie jak zdmuchiwacze parowe.

Określenie skuteczności czyszczenia powierzchni grzewczych w kotle na podstawie temperatury spalin jest dość trudne, gdyż jej wartość zależy od wielu czynników: obciążenia kotła, poziomu czystości wymiennika, częstości uruchamiania systemów zdmuchujących na innych wymiennikach, stopnia zabrudzenia komory paleniskowej, rodzaju paliwa oraz konfiguracji pracujących zespołów młynowych (Gancarzewicz, 2007). Można stwierdzić, że współpraca zdmuchiwaczy parowych z akustycznymi może korzystnie wpływać na stopień czystości powierzchni grzewczych podnosząc tym samym sprawność całego kotła.

Współpraca zdmuchiwaczy parowych z techniką czyszczenia akustycznego odniosła dobre rezultaty także



Rys. 6. Moc czynna generatora bloku energetycznego oraz temperatury spalin przed i za przegrzewaczem pary świeżej po lewej i prawej stronie kotła (Gancarzewicz, 2007)

w elektrowni Xcel's Roy Tolk Station w Teksasie (Freund i Randy, 2002). W pierwszym etapie badań wykorzystano zarówno zdmuchiwacze parowe, jak i generatory akustyczne. Jeden generator akustyczny wytwarzał falę infradźwiękową o częstotliwości 20Hz i mocy 800W. Po kilku latach eksploatacji zdemontowano generatory akustyczne poddając pod wątpliwość ich korzystne działanie. Po kolejnych latach powrócono do techniki czyszczenia akustycznego przy użyciu wyłącznie pyłofonów o wyższych parametrach pracy (22Hz i 5000W). Badania wykazały, że samodzielna praca generatorów akustycznych nie zapewnia trwałej czystości wymienników ciepła. Podczas wieloletniej eksploatacji podgrzewaczy dokonano porównania skuteczności pracy zdmuchiwaczy parowych we współpracy z akustycznymi, samych zdmuchiwaczy parowych oraz wyłącznie generatorów akustycznych. Po ponad dziesięciu latach badań systemów zdmuchujących pracujących w różnych konfiguracjach stwierdzono, że dla elektrowni opalanych węglem bardzo dobrym rozwiązaniem jest współpraca obydwu układów oczyszczania. Równoczesne oczyszczanie za pomocą zdmuchiwaczy parowych oraz infradźwięków wyeliminowało potrzeby odstawiania kotła w celu przemywania powierzchni podgrzewacza powietrza z osadów popiołowych.

Próbę porównawczą zdmuchiwaczy parowych ze zdmuchiwaczami z ładunkiem gazowym przeprowadzono między innymi w elektrowni Suomenoja w Finlandii. Celem badań było oszacowanie oszczędności wynikających z zastosowania zdmuchiwaczy akustycznych. W marcu 2000 roku przetestowano 18 zdmuchiwaczy parowych znajdujących się w głównej części konwekcyjnej kotła. Podczas letniego odstawienia elektrowni zastąpiono zdmuchiwacze parowe 20 akustycznymi. Badania rozpoczęto w listopadzie 2000 roku. Mierzone były następujące wartości: energia chemiczna paliwa, przepływ spalin przed podgrzewaczami powietrza, różnica temperatury spalin, moc cieplna podgrzewacza wody, różnica ciśnień spalin, różnica temperatury spalin na podgrzewaczach powietrza, przepływ pary do zdmuchiwania. Analiza pracy obydwu systemów wykazała wyższość zdmuchiwaczy akustycznych nad parowymi, oszacowano, że możliwe do uzyskania oszczędności w wyniku pracy niraforonów to 50 tys. euro w skali roku. Podniesiona sprawność obiektu, wyższe wskaźniki produkcyjne, zmniejszony czas przestoju, mniejsze koszty eksploatacji i konserwacji a także oszczędności kosztów pary wynikające z zastosowania nowoczesnych akustycznych urządzeń czyszczących z ładunkiem gazowym sprawiły, że koszty inwestycji systemu niraforon zwracają się w 3-4 lata.

### 3. Podsumowanie

Zachowanie powierzchni grzewczych w czystości podczas eksploatacji kotłów energetycznych jest zadaniem bardzo ważnym i jednocześnie trudnym do wykonania. Sypkie

oraz spieczone osady na powierzchniach wymiany ciepła powinny być usuwane w sposób skuteczny oraz ekonomiczny, w przeciwnym wypadku pogarszają pracę i zmniejszają sprawność urządzeń energetycznych. Z przeprowadzonych w kraju i za granicą badań oraz doświadczeń wynika, że zdmuchiwacze parowe są urządzeniami skutecznie czyszczącymi, ale w wąskim zakresie, natomiast generatory akustyczne działają zarówno w obszarach ukrytych jak i w kierunku przeciwnym do przepływu spalin. W niektórych zakładach najlepsze efekty pracy uzyskano poprzez równoczesną eksploatację zdmuchiwaczy parowych i akustycznych, które charakteryzują się odmiennymi efektami pracy. Ograniczony dostęp do niektórych powierzchni podczas zdmuchiwania zanieczyszczeń parą prowadzi do stałego tworzenia się zanieczyszczeń, które mogą być usuwane przez urządzenia akustyczne. Technologia zdmuchiwania akustycznego stanowić może uzupełnienie dla tradycyjnych rozwiązań.

### Literatura

- Freund M., Randy V. (2002). Acoustic Cleaning Combats PRB Ash Deposits on Regenerative Air Heaters. *Power Engineering*, Vol. 106, No. 9, 48-52.
- Ganczarzewicz A. (2007). Badanie skuteczności oczyszczania kotłów z osadów pyłowych z wykorzystaniem zdmuchiwaczy parowych i generatorów akustycznych, W: Ochrona i inżynieria środowiska: zrównoważony rozwój. pod red. Banaś M., *Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica*, Kraków 2007.
- Kruczek S. (2001). Kotły. Konstrukcje i obliczenia. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*. Wrocław.
- Pietrusiński P. (2007). Utrzymanie w czystości powierzchni ogrzewalnych. Technologie chemiczne. W: *Materiały Konferencyjne. Kotły rusztowe. Rafako*, Słok k/Bełchatowa 2007.
- Pronobis M. (2002). Modernizacja kotłów energetycznych. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa.
- Śniechowska B. (2009). Oczyszczanie powierzchni wymiany ciepła z osadów popiołowych w kotłach energetycznych. Efektywność układów grzewczych i klimatyzacyjnych, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*. Wrocław.
- Materiały informacyjne firmy Nirafon OY
- Materiały informacyjne firmy KWANT

### APPLICATION OF STEAM SOOTBLOWERS AND ACOUSTIC GENERATOR IN POWER BOILERS

**Abstract:** The adverse influence of contaminated surfaces on boiler's efficiency was described. The necessity of cleaning of heating surfaces in boilers was described. The paper presents the selected cleaning methods, with the application of steam soot blowers and acoustic generators in power boilers. The construction and rule of operation of cleaning devices were presented. Additionally various research was analysed and the best variant was introduced.

