

## SPOSOBY REGENERACJI ELEKTROD ZBIORCZYCH W ELEKTROFILTRACH

Monika Wierzińska<sup>1</sup>, Beata Kędzior<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, e-mail: mwierzbinska@ath.bielsko.pl

<sup>2</sup> Studentka Akademi Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej

### STRESZCZENIE

W artykule omówiono sposoby regeneracji elektrod zbiorczych w elektrofiltrach. Usuwanie pyłu wydzielonego w procesie odpylania na elektrodach zbiorczych jest ważnym etapem procesu odpylania. W przypadku, gdy proces usuwania pyłu z powierzchni elektrody jest niewystarczający, dochodzi do spadku efektywności odpylania. Znanych jest kilka sposobów regeneracji elektrod w elektrofiltrach: metoda elektromagnetyczna, pneumatyczna, akustyczna, splukiwanie oraz strzepywanie mechaniczne. Najbardziej skuteczną i najczęściej stosowaną metodą usuwania nagromadzonego pyłu na elektrodach w elektrofiltrze suchym jest metoda strzepywania mechanicznego. Działanie mechanizmów strzepujących opiera się na cyklicznym wzbudzeniu drgań w elektrodach zbiorczych.

**Słowa kluczowe:** elektrofiltr, elektroda zbiorcza, regeneracja elektrod zbiorczych, trąbka (róg) akustyczna, warstwa pyłu, system strzepywania mechanicznego.

## METHODS OF DUST CAKE REMOVAL FROM COLLECTING PLATES IN ELECTROSTATIC PRECIPITATORS (ESP)

### ABSTRACT

In this paper methods of dust cake removal from collecting plates in electrostatic precipitators are presented. If dust cake removal from the collecting plates surface is not enough, the dust collection effectivity decreases. Some methods of dust cake removal from collecting plates are known: electromagnetic method, pneumatic method, acoustic method, plushing and mechanical rapping. The most effective and the most often used method of removal of dust cake, which is accumulated on the collecting plates in dry electrostatic precipitators, is mechanical flicking off method. Mechanism of action by using this method depends on the serial inducing of vibrates by hitting of special hammers on the collecting plates.

**Keywords:** electrostatic precipitator (ESP), collecting plate, dust cake removal from collecting plates, sonic horn, dust cake, mechanical rapping system.

## WSTĘP

Zjawisko przyciągania dymów w polu elektrycznym opisano już w roku 1600 [1], czyli około 300 lat przed wybudowaniem pierwszego elektrofiltru. W roku 1880, rozpoczęto badania nad usuwaniem cząstek stałych z fazy gazowej [2], a w 1884 podjęto próbę zbudowania przemysłowego odpylacza elektrostatycznego [3]. Pierwszy przemysłowy elektrofiltr skonstruował Cotrell 1908 roku, co nadało początek rozwojowi i doskonaleniu tych urządzeń na szeroką skalę [4]. Główne dziedziny zastosowań elektrofiltrów obejmują przemysł energetyczny, cementowy, metalurgiczny, chemiczny i spalarnie odpadów.

Podstawą działania elektrofiltru jest oddziaływanie pola elektrycznego w przestrzeni pomiędzy różnoimiennymi elektrodami, oddziałującego na naładowane cząstki pyłu. Proces usuwania zanieczyszczeń pyłowych z gazu w elektrofiltrze można podzielić na etapy:

- ładowanie cząstek pyłu
- gromadzenie pyłu na elektrodach osadczych (zbiorczych)
- oczyszczanie elektrod (strzepywanie)
- transport popiołu z lejów zbiorczych zsypowych do zbiorników [4].

W procesie wytrącania zanieczyszczeń pyłowych z gazu w elektrofiltrze istotną rolę odgrywa siła elektryczna oraz siła oporu ośrodka gazowego [5]. Zgromadzona na elektrodach zbiorczych warstwa pyłu stanowi ośrodek o dużym oporze elektrycznym, przez który przepływa prąd elektryczny. Procesowi temu towarzyszy scalenie aglomeratu pyłu na elektrodzie [4]. Gdy warstwa pyłu na elektrodach narosnie do odpowiedniej grubości, konieczne jest jej usuwanie, czyli regeneracja elektrod zbiorczych. W przypadku, gdy proces usuwania pyłu z powierzchni elektrody jest niewystarczający, dochodzi do spadku efektywności odpylania, gdyż nagromadzony pył powoduje pogorszenie parametrów elektrycznych pracy elektrofiltru (rys. 1.) [6].



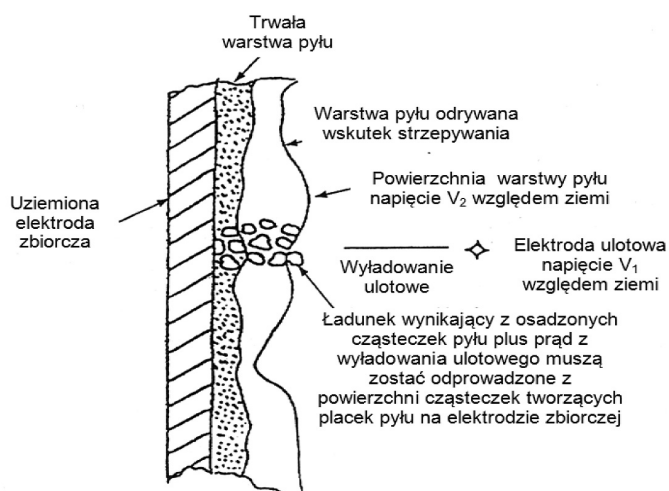
Rys. 1. Nagromadzony pył na elektrodach zbiorczych i ulotowych [7]

## USUWANIE PYŁU Z POWIERZCHNI ELEKTROD ZBIORCZYCH

Pył, osadzony na elektrodach musi być usuwany przed osiągnięciem krytycznej grubości warstwy ok. 1 cm. Problem jednak istnieje w przypadku drobniejszego pyłu lub takiego, którego oporność właściwa jest większa od oporności elektrody. Cienka warstwa pyłu pozostaje na elektrodach, ponieważ nigdy nie uzyskuje się metalicznie czystych powierzchni [4].

Usuwanie materiału w elektrofiltrach suchych odbywa się przez strzepywanie mechaniczne, natomiast w elektrofiltrach mokrych, za sprawą splukiwania wodą, instalacji ciągłego zraszania lub za pomocą flotacji powierzchniowej. W suchych elektrofiltrach intensywność jak i częstotliwość strzepywania muszą być dokładnie dobrane, by nie rozbijać warstwy materiału, a jedynie oderwać ją z powierzchni elektrody. Z powodu zmniejszającej się ilości zgromadzonego osadu na elektrodach wraz z długością elektrofiltru, częstotliwość strzepywania również jest maleje. Dzięki temu materiał, który jest wytrącany osiąga odpowiednią grubość, by można go było zerwać z powierzchni elektrody w postaci bryły optymalnej wielkości i zminimalizować ryzyko wystąpienia wtórnej emisji [6].

Warstwa osadzonego materiału na elektrodzie, zawiera też warstwę trwale związaną z podłożem (rys. 2). Jest ona efektem powtarzających się włączeń i wyłączeń elektrofiltru, w trakcie których temperatura przechodzi przez punkt rosy. Taka warstwa jest następnie przykryta warstwą luźnego pyłu stosunkowo niedawno osadzonego. Oderwaniu podczas strzepywania, ulegnie tylko część spodniej warstwy pyłu, a nie pył przytwierdzony bezpośrednio do elektrody. Trwale związana z podłożem warstwa dodatkowo zwiększa wymaganą grubość pyłu występującego na powierzchni elektrody, niezbędnej do uzyskania odpowiedniej wielkości odrywanej bryły, zapewniając jej dotarcie do leja [6].



Rys. 2. Schemat nagromadzonego pyłu na elektrodzie zbiorczej [6]

## SPOSOBY REGENERACJI ELEKTROD ZBIORCZYCH

Osad gromadzący się na elektrodach zbiorczych, powoduje zmniejszenie skuteczności odpylania. Dzieje się tak, ponieważ duża część spadku napięcia między elektrodami przypada na warstwę pyłu zgromadzonego na elektrodzie zbiorczej. Dlatego by zapobiec takim sytuacjom konieczne jest ich czyszczenie. Najskuteczniejszym sposobem oczyszczania byłoby zmiatanie lub zgarnianie osadu. Jest to jednak niemożliwe ze względu na duże rozmiary elektrod [8].

W zależności od rodzaju elektrofiltrów stosowane są różne sposoby usuwania pyłu z powierzchni zbiorczej. Stosowane są między innymi: strzepywacze, wibratory, urządzenia akustyczne lub pneumatyczne. A w przypadku mokrych elektrofiltrów są to metody: splukiwania, zraszania, czy flotacji powierzchniowej. Oprócz bezpośredniego działania mechanicznego na zebrany pył, oczyszczanie można przyspieszyć stosując odpowiednie zabiegi. Przykładowo można wyłączyć zasilanie elektrod, lub obniżyć napięcie do momentu osiągnięcia krytycznego napięcia ulotu elektrycznego. Podczas tego procesu następuje stopniowe rozładowanie powierzchni pyłu, co prowadzi do zaniku sił przyczepności. Jeśli pozostałe siły przyczepności są wciąż za duże, to można zastosować zmianę biegunowości elektrod, która może być jedno- lub wielorazowa. W trakcie takiego procesu, konieczne jest zamknięcie przepływu gazów [8].

### Metoda elektromagnetyczna

W metodzie tej wykorzystywany jest wibrator elektromagnetyczny (rys. 3), który powoduje powstawanie drgań mechanicznych. Z tego względu wykorzystywany jest między innymi do oczyszczania elektrod zbiorczych w elektrofiltrach. Cechuje go możliwość płynnej regulacji wydajności, zasilany dzięki zasilaczowi tyrystorowemu, który pozwala na zmianę napięcia wyjściowego w trakcie pracy, a co się z tym wiąże zmianą wielkości amplitudy drgań wibratora. Zasilacz tyrystorowy umożliwia również zdalne sterowanie procesem technologicznym poprzez prąd wyjścia. Do dokładnego dozowania można stosować dwa przelączalne zakresy sterowania pracą wibratora [15].



Rys. 3. Wibrator elektromagnetyczny [16]

Wibrator elektromagnetyczny składa się z podstawy służącej do umocowania wibratora do urządzenia napędzanego, korpusu, pakietu sprężyn płaskich i elektromagnesu ze zworą. Całość zamknięta jest osłoną. Elektromagnes umocowany jest do korpusu, w którym osadzone są końce pakietu sprężyn. Środkowa część pakietu sprężyn skrecona jest śrubami z podstawą wibratora i zworą elektromagnesu. Pomiedzy elektromagnesem a zworą w wyniku regulacji uzyskuje się określonej wielkości szczelinę. Urządzenie nie ma części trących, a więc nie podlega znacznemu zużyciu, konieczności konserwacji i smarowania. Włączenie elektromagnesu (poprzez zasilacz tyrystorowy) do sieci powoduje drgania zwory i podstawy wibratora. Wielkość amplitudy drgań zależna jest od sztywności pakietu sprężyn i wielkości napięcia zasilającego cewki elektromagnesu [15].

### Metoda pneumatyczna

Prosty i niezawodny ubijak EGR-1, którego prototyp był używany przez dekady w codziennym życiu na całym świecie, pokazano na rysunku 4. Miedziany zwój wewnątrz górnego nakrycia wywołuje pole elektromagnetyczne, które podnosi przepychacz stalowy do wybranej wysokości. Kiedy prąd jest zatrzymany, grawitacja przyspiesza przepychacz w dół uderzając trzonek ubijaka, by wyczyścić pył [14].

Magnetyczno-Grawitacyjny Impulsowy Ubijak (MIGI), udoskonalony i opatentowany w 1950 roku przez Research-Cottrell, jest powszechnie używanym ubijakiem do czyszczenia elektrod zbiorczych i elektrod ulotowych elektrofiltru. Ubijak ten jest idealny dla większości zastosowań. MIGI (rys. 5) jest w stanie dostarczyć silnych sił ścinających, aby usunąć nawet najtrudniejsze do usunięcia pyły z powierzchni elektrod zbiorczych i ulotowych [17].



Rys. 4. Ubijak typu EGR-1 [14]



Rys. 5. Ubijak typu MIGI [17]

## Metoda akustyczna

Metoda akustyczna jest jedną z metod konkurencyjnych dla strzepywania mechanicznego. Trąbki akustyczne (rys. 6) są to urządzenia, które mogą znacząco zmniejszyć, jeżeli nie wyeliminować zastosowania mechanicznych systemów strzepywania w elektrofiltrach. Główną zaletą tych urządzeń jest, że nie powodują żadnych fizycznych uszkodzeń elementów konstrukcyjnych elektrofiltrów [18].



Rys. 6. Trąbka akustyczna na dachu elektrofiltru [18]

Dźwiękowe dmuchawy (inaczej znane jako akustyczni czyściciele albo dźwiękowe rogi) instalowane są jako alternatywa dla innych metod i urządzeń lub jako dodatkowy element do mechanicznych systemów strzepywania. Akustyczna metoda regeneracji elektrod zbiorczych zwiększa skuteczność odpylania, wydłuża czas nieprzerwanej pracy odpylacza i zmniejsza koszty konserwacji filtra elektrostatycznego [19].

## Splukiwanie

Splukiwanie jest wykorzystywane w elektrofiltrach mokrych. *Elektrofiltry mokre (EFM)* są używane do usuwania cząstek trudnych i kłopotliwych do wydzielenia klasycznymi metodami suchymi i mokrymi. Stanowią je cząstki submikronowe typu sadzy, metali ciężkich, mgły kwasów i olei, dioksyn, furanów i in. Są one mało czułe na właściwości fizykochemiczne gazów i cząstek, i mogą być używane również do oczyszczania gazów w temperaturze ok. 1000 °C [9].

Elektrofiltry mokre cechują się znacznie prostszymi układami elektrod zbiorczych i znacznie łatwiejszym ich czyszczeniem, aniżeli odpylacze suche (brak mechanizmów strzepywania). Jako elektrody zbiorcze stosuje się tu wyłącznie gładkie blachy, bez jakichkolwiek elementów osłaniających. Blachy te omywane są spływającą z góry wodą, odprowadzającą gromadzące się na elektrodzie zanieczyszczenia do zbiornika szlamu. Woda natryskiwana jest na elektrody poprzez system dysz lub spływa po nich przez przelewy w gorze odpylacza [10].

Większość konstrukcji w przypadku mokrego oczyszczania stanowią elektrofiltry rurowe o przekroju poprzecznym kołowym, sześciokąta foremnego lub kwadratu z centralnie umieszczoną elektrodą drutową z ostrzami lub cylindryczną z dyskami o ostrych krawędziach zewnętrznych. Gazy zanieczyszczone są z reguły wstępnie oczyszczane w sekcji stanowiącej tzw. preskruber natryskowo-inercyjny lub z wypełnieniem ruchomym, po czym wpływają do elementarnych elektrofiltrów rurowych. Przestrzeń międzyrurowa może być chłodzona strumieniem wody, co jest korzystne dla procesu wydzielania zanieczyszczeń [9].

Metoda zmywania ma duży wpływ na pracę EFM. Zmywanie może się odbywać na skutek kondensacji gazu nasyconego na powierzchni elektrod przy małym stężeniu cząstek lub ciągłym albo okresowym natryskiem cieczy, dyszami hydraulicznymi czy pneumatycznymi. Okresowe zmywanie stosuje się tylko do cząstek łatwo zmywalnych, nieadhezyjnych. Istotnym jest, by spływająca warstewka cieczy miała odpowiednio dużą przewodność i korzystne właściwości przepływowe oraz spływała w postaci cienkiej gładkiej warstewki [9].

Problemy eksploatacyjne może, obok korozji, stwarzać nieodpowiednie zraszanie i osadzanie się ciała stałego ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ) na elektrodach, gdy roztwór cyrkulacyjny nie jest odpowiednio filtrowany. Gazy oczyszczane, nasycone parą wodną muszą być podgrzewane w celu likwidacji unoszonego strumienia pary wodnej, szczególnie w warunkach zimowych. Procesy oczyszczania w EFM są prowadzone w temperaturze poniżej nasycenia adiabatycznego, zwykle ok.  $10\text{ }^\circ\text{C}$  przy prędkości gazu  $0,9\text{--}4,6\text{ m/s}$ . Nie powoduje to unoszenia i wydzielania mgły. Materiał konstrukcyjny elektrod stanowi zwykle stal kwasoodporna, stopy z dużą zawartością niklu, kompozyty i tworzywa termoplastyczne. Dotyczy to wszystkich elementów elektrofiltru, a w największym stopniu elektrod [9].

## Strzeptywanie mechaniczne

Strzeptywacze elektrod zbiorczych (rys. 7) są mechanizmem, w którym do strzeptywania zastosowano system młotków obrotowo-przerzutowych osadzonych na obrotowych wałach z napędami umieszczonymi na bocznej ścianie komory elektrofiltru. Dzięki spiralnemu ustawieniu poszczególnych młotków na wale, następuje kolejne strzeptywanie poszczególnych elektrod poprzez uderzenia młotków w kowadła drągów strzeptywających elektrod zbiorczych [14].

Działanie strzeptywaczy polega na przekazaniu siły mechanicznej na elektrody zbiorcze. Siły te powodują drgania elektrod, a występujące siły bezwładności powinny przekraczać siły przyczepności pyłu tak, aby skutecznie oddzielić go od powierzchni osadczącej [8]. Rozróżnić można dwa podstawowe kierunki działania sił strzeptywających: prostopadle oraz równoległe (styczne) do płaszczyzny zbiorczej. Zależnie od kierunku działania tych sił rozróżniamy strzeptywanie poprzeczne i wzdłużne [8].

W przypadku strzeptywania wzdłużnego na warstwę pyłu działa głównie siła ścinająca, która w mniejszym stopniu odrywa pył z powierzchni elektrody, niż siła

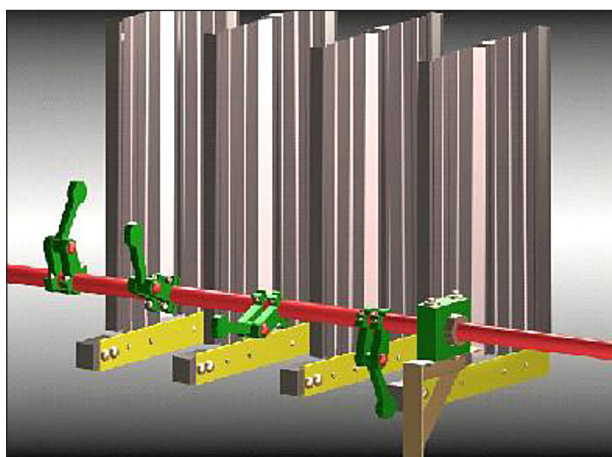
prostopadła do powierzchni elektrody zbiorczej [8]. Z badań przeprowadzonych przez Ruckelshausena [21], wynika, że siły strzepujące, prostopadłe do powierzchni płyty, są dwukrotnie skuteczniejsze niż siły styczne. Siły odrywające pył od elektrod zbiorczych zależą od przyspieszenia, jakie uzyskują elektrody podczas wzbudzenia drgań. Przyspieszenia te zależą od wielu parametrów konstrukcyjnych układu elektrod. W tym kierunku wykonano wiele badań doświadczalnych i teoretycznych [22–25].

Działanie mechanizmów strzepujących opiera się na cyklicznym uderzaniu młotków w elektrody zbiorcze. Analizę geometrii młotka strzepującego, pozwalającą na optymalizację jego kształtu i uzyskanie zerowej reakcji uderzenia na wale obrotowym, przeprowadził w swoich badaniach Nowak [11]. W zależności od siły przyczepności pyłu, częstotliwość uderzenia powinna być odpowiednio zaprogramowana. Można wyróżnić dwa podstawowe systemy strzepywania. Są to system ciągły i okresowy [12].

System ciągły opiera się na ciągłym obrocie wału z młotkami przerzutowymi i w konsekwencji uderzaniu w układy elektrod w niewielkich odstępach czasu (od 0,5 do 2 minut). Podczas strzepywania pewna ilość pyłu dostaje się ponownie do strumienia gazu powodując tzw. wtórną emisję pyłu. Zjawisko to można zmniejszyć poprzez jednoczesne oczyszczanie tylko kilku elektrod [12].

System okresowego strzepywania powoduje gromadzenie się na powierzchni elektrod warstwy pyłu. W warstwie pyłu zachodzi koagulacja cząstek, a więc tylko stosunkowo niewielka ilość drobnego pyłu porywana jest ponownie do głównego strumienia gazu. Podczas pracy systemu strzepywania należy tak oczyszczać elektrody, aby warstwa pyłu nie narastała do grubości, która spowoduje pogorszenie skuteczności odpylania [12].

Określenie długości okresu czasu strzepywania zależy od stężenia zapylenia gazu, które zmienia się wzdłuż długości komory elektrofiltru. Dla odpowiednich odcinków pola elektrycznego, należy stosować różne okresy strzepywania. Należy również pa-



Rys. 7. Schemat strzepywania elektrod zbiorczych za pomocą młoteczek [14]



miętać, że w początkowych częściach pola wytracane są cząstki większe, natomiast dalszych- pył drobnopowierzchnisty, silnie trzymający się powierzchni elektrod zbiorczych. Z tego powodu trzeba stosować różne czasy strzepywania [12]. Dobór czasu przerw pomiędzy pobudzeniami elektrod do drgań jest zróżnicowany w kierunku przepływu spalin. Dla elektrofiltrów trójstrefowych produkowanych w Pszczynie, wyjściowe nastawy cykli strzepywania zakładają 7 minut pracy strzepywaczy i przerwy w kolejnych strefach odpowiednio: 10 minut, 20 minut i 40 minut [13]. W czasie eksploatacji elektrofiltru często optymalizuje się czasy przerw w strzepywaniu [4].

W elektrofiltrach projektowanych w Fabryce Elektrofiltrów ELWO, a obecnie Zakładzie Elektrofiltrów RAFAKO w Pszczynie, do czyszczenia elektrod zbiorczych z nagromadzonego pyłu wykorzystywany jest wyżej opisany system strzepywania mechanicznego. Jest on najbardziej skuteczną metodą usuwania nagromadzonej warstwy pyłu w elektrofiltrach suchych. Pozwala na efektywne usunięcie warstwy zalegających na płytach zanieczyszczeń, z możliwie jak najmniejszą emisją wtórną pyłu.

## Podsumowanie

Elektrody zbiorcze (osadczcze) są jednym z najważniejszych elementów elektrofiltrów, mających wpływ na przebieg procesu odpylania. Znaczenie to polega na zbieraniu i odprowadzaniu nagromadzonego pyłu. W elektrofiltrach suchych, elektrody składają się z elementów szerokości 200–400 mm i wysokości 3–10 m, które następnie są łączone w rząd, tworząc powierzchnię zbiorczą. Wykonanie długiej, równej powierzchni oraz utrzymanie prostoliniowości podczas pracy jest zagwarantowane przez producenta. Z kolei, skuteczne oczyszczanie przez przekazywanie udarów, wymaga doboru masy i ramienia młotków strzepywaczy [8].

Warstwa osadzonego na elektrodzie materiału, zawiera też część trwale związaną z podłożem. Jest ona efektem powtarzających się włączeń i wyłączeń elektrofiltru, w trakcie których temperatura przechodzi przez punkt rosy. Taka warstwa jest następnie przykryta warstwą luźnego pyłu. Oderwaniu podczas strzepywania, ulegnie tylko część spodniej warstwy pyłu, a nie pył przytwierdzony bezpośrednio do elektrody. Trwale związana z podłożem warstwa dodatkowo zwiększa wymaganą grubość pyłu występującego na powierzchni elektrody, niezbędnej do uzyskania odpowiedniej wielkości odrywanej bryły, zapewniając jej dotarcie do leja [6].

Oprócz bezpośredniego działania mechanicznego na zebrany pył, oczyszczanie elektrod można przyspieszyć stosując odpowiednie zabiegi. Przykładowo można wyłączyć zasilanie elektrod lub obniżyć napięcie do momentu osiągnięcia krytycznego napięcia ulotu elektrycznego. Podczas tego procesu następuje stopniowe rozładowanie powierzchni pyłu, co prowadzi do zaniku sił przyczepności. Jeśli pozostałe siły przyczepności są wciąż za duże, można zastosować zmianę biegunowości elektrod, która może być jedno- lub wielorazowa. W trakcie takiego procesu, konieczne jest zamknięcie przepływu gazów [8].

Analiza źródeł literaturowych dotyczących tematu pozwala wnioskować, że metoda strzepywania mechanicznego jest optymalną i najskuteczniejszą metodą regeneracji elektrod zbiorczych w elektrofiltrach suchych, minimalizującą równocześnie zjawisko wtórnego porywania oderwanego pyłu. Długość okresu czasu strzepywania dopasowuje się do stężenia pyłu w gazie i zmienia wraz z długością komory elektrofiltru. Dla odpowiednich odcinków pola elektrycznego, należy stosować różne okresy strzepywania. Należy również pamiętać, że w początkowych obszarach pola wytrącane są cząstki większe, natomiast dalszych- pył drobnoziarnisty, silnie przywierający do powierzchni elektrod zbiorczych [12]. Z tego właśnie powodu stosuje się różne czasy strzepywania. Optymalny proces regeneracji elektrod osadczych w elektrofiltrze ma bezpośredni wpływ na sprawność urządzenia oraz efektywność procesu odpylania. Elektrofiltry, w których oczyszczanie elektrod odbywa się metodą strzepywania mechanicznego, osiągają sprawności rzędu 99,87–99,92% [14, 20].

## BIBLIOGRAFIA

1. Grove R.H., 1992. Rodowód zachodniej polityki ochrony środowiska. Świat Nauki, 9.
2. Lodge O.J., 1986. The electric al deposition of dust and smoke with special references to the collection of metallic fume and to a possible purification of the atmosphere. *J. Soc. Chem. Ind.* 5, 572–576.
3. Walker A.O., 1984. British Patent No. 11120.
4. Sarna M., 2001. Zagadnienia badań modelowych konstrukcji elektrofiltrów. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała.
5. Benitez J., 1993. *Process engineering and design for air pollution control*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
6. Parker K.R., 1997. *Applied electrostatic precipitation*. Blackie Academic Professional, London.
7. Nowak A., 2011. Modelowanie i pomiary drgań elektrod osadczych elektrofiltrów suchych. ATH Bielsko-Biała.
8. Lutyński J., 1965. *Elektrostatyczne odpylanie gazów*. WNT, Warszawa.
9. Warych J., 1998. *Oczyszczanie gazów. Procesy i aparatura*, Wyd. 3, WNT, Warszawa.
10. Juda J., Nowicki M., 1986. *Urządzenia odpylające*. Wyd. 2, PWN, Warszawa.
11. Nowak A., 2000. Optymalizacja parametrów geometrycznych bijaka oraz analiza przyspieszeń elektrod zbiorczych elektrofiltru. Politechnika Łódzka Filia w Bielsku-Białej, (praca doktorska).
12. Mazur M., Teisseyre M., 1977. *Podstawy teorii i konstrukcji urządzeń odpylających. Odpylacze cyklonowe i elektrostatyczne*. Politechnika Wrocławska, Wrocław.
13. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa. Fabryka Elektrofiltrów Elwo S.A., D1-129-05.
14. Materiały Zakładu Elektrofiltrów RAFAKO w Pszczynie (niepublikowane).
15. <http://www.ofama.eu/index.php/oferta-ofama/napedy-wibracyjne/4-wibrator-elektromagnetyczny-uowp> [dostęp: 18.09.2013 r].
16. <http://www.msdirect.com/product/36674851> [dostęp: 18.09.2013 r.]
17. <http://www.hamonusa.com/hamonresearchcottrell/parts/rapping/migi>[dostęp: 18.09.2013 r.]

18. [http://www.sonic-horns.com/cement\\_industry.htm](http://www.sonic-horns.com/cement_industry.htm) [dostęp: 18.09.2013 r.]
19. [http://www.quattrosonics.com/sonicsootblowers\\_esps.htm](http://www.quattrosonics.com/sonicsootblowers_esps.htm) [dostęp: 18.09.2013 r.]
20. Kędzior B., 2014. Sposoby regeneracji elektrod zbiorczych w elektrofiltrach oraz efektywność odpylania z wykorzystaniem metody strzepywania mechanicznego. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała (praca inżynierska).
21. Ruckelshausen K., 1957. Über die Beseitigung von Staubbansätzen auf technischen glatten oberflächen durch Klopfen oder Vibriren. Tech. Hoch. Stuttgart (dissertation).
22. Sarna M., 1971. Dynamika elektrod zbiorczych elektrofiltrów. IPPT PAN, Warszawa (praca doktorska).
23. Sarna M., 1972. Dynamika belek wzbudzających drgania w elektrodach zbiorczych elektrofiltrów. *Ochrona Powietrza* 1, 15–18.
24. Sarna M., 1973. Drgania młotków strzepywaczy elektrod zbiorczych elektrofiltrów. *Ochrona Powietrza* 1, 22–24.
25. Sarna M., Wojciech S., 1979. Analiza numeryczna dyskretno-ciągłego układu mechanicznego. II Konf. Metody i Środki Projektowania Automatycznego, Pol. Warszawska, IPBM, Warszawa, 285–298.