

Technologia redukcji emisji drobnych pyłów w elektrofiltrach za pomocą aglomeratora *Indigo*

Eksploatowane od dłuższego już czasu aglomeratory firmy *Indigo* znacząco poprawiają skuteczność odpylania elektrofiltrów w pięciu elektrowniach, gdzie wspomagają oczyszczanie spalin pochodzących ze spalania bardzo różnych gatunków węgla. Istniejące w tych elektrowniach elektrofiltry mają różne konstrukcje (zarówno europejskie, jak i amerykańskie), a także bardzo zróżnicowane są rozwiązania i wielkości kotłów.

W kotłach spalane są węgle australijskie, kolumbijskie a także wschodnio- i zachodnioamerykańskie. W czasie ponad dwuletniej eksploatacji aglomeratorów osiągnięto trwałe średnie obniżenie masowej emisji pyłu za elektrofiltrami w zakresie 30-60% oraz redukcję zacinienia spalin (opacności) w zakresie 50-80%, co pozwala na uznanie tej nowej technologii jako już sprawdzoną i przydatną w celu podwyższenia skuteczności odpylania elektrofiltrów w warunkach przemysłowych.

Budowę oraz pierwsze próby prototypu aglomeratora *Indigo* w pełnej skali rozpoczęto w 1999 r. i trwały one, dla różnych wersji aglomeratora, do końca 2002 r.

W połowie 2002 r. powstała pierwsza komercyjna wersja aglomeratora *Indigo*, będąca wynikiem szeroko prowadzonych prób i badań przez okres poprzednich trzech lat. Instalacja została uruchomiona w listopadzie 2002 w elektrowni *Vales Point PS* w Australii, gdzie wcześniej prowadzono badania prototypu aglomeratora. Korzystając z zaproszenia firmy *Southern Company*, USA, drugi aglomerator zabudowano w elektrowni *Watson*, Mississippi, USA, w marcu 2003 r.

Dwuletnie badania aglomeratora, przy spalaniu w kotle energetycznym różnych węgla, wykazały uzyskiwanie trwałej i znaczącej poprawy skuteczności odpylania testowanego elektrofiltru. W związku z powyższym, firma *Southern Company* złożyła zamówienie na dostawę i zabudowę kolejnego aglomeratora *Indigo* w elektrowni *Hammond*, USA. Został on uruchomiony w październiku 2004 r. Był to pierwszy aglomerator zabudowany na pionowym odcinku kanału spalin. Dwa poprzednie, w elektrowniach *Vales Point* i *Watson*, zabudowano na poziomych odcinkach kanałów spalin przed elektrofiltrami.

Kolejny aglomerator zainstalowano w elektrowni *Tarong PS*, w Australii i uruchomiono w grudniu 2004 r. Piąty aglomerator *Indigo* został zbudowany w elektrowni *Asbury, Empire Electric-Missouri*, USA, a jego uruchomienie nastąpiło w maju 2005 r.

Na każdym z powyższych obiektów przeprowadzono szereg testów i pomiarów, które wykazały uzyskiwanie trwałej redukcji emisji bardzo drobnych pyłów, będących głównym źródłem emisji 'widzialnej' i zaciemnienia spalin (opacności).

Dane z pomiarów przeprowadzonych przez niezależne instytucje wykazały:

- ponad dziesięciokrotne zmniejszenie emisji pyłów submikronowych,
- ponad pięciokrotne zmniejszenie emisji pyłów PM2.5 (o średnicy poniżej 2.5 μm),
- od dwu do ośmiokrotne zmniejszenie stopnia zaciemnienia spalin (opacności), w zależności od rodzaju węgla i procesu spalania,
- obniżenie masowej emisji pyłu od 1/3 do 2/3 całości, przy pomiarach wykonywanych zgodnie z normą US Method 17,
- wielokrotnie wykonywane przez *Southern Company* pomiary w elektrowni *Watson* wykazały utrzymywanie się uzyskiwanych wyników przez okres ponad dwóch lat eksploatacji urządzenia.

Dodatkową zaletą aglomeratora *Indigo* – poza bardzo wyraźną redukcją ilości drobnych pyłów na wlocie do elektrofiltru, jest jego znaczący wpływ na poprawę parametrów elektrycznego zasilania elektrofiltru.

Zaobserwowano ponad 40-procentowy wzrost prądów ulotu w pierwszej strefie odpylania elektrofiltru dzięki obniżeniu wielkości ładunku przestrzennego na wlocie do elektrofiltru, oraz zmniejszenie obciążenia prądowego w ostatniej strefie, powstającego z upływem czasu i związanego z tworzeniem się narostów pyłu na elementach emisyjnych (tylko o połowę w porównaniu z elektrofiltrem pracującym bez aglomeratora). Zjawisko poprawy obciążenia elektrycznego pół elektrofiltru będzie miało dodatkowy wpływ na wzrost skuteczności odpylania elektrofiltru i to w całym zakresie wielkości wtrącanych cząstek pyłów.

Potwierdzona przez różnych i niezależnych wykonawców pomiarów wyraźna poprawa skuteczności odpylania elektrofiltrów, po zainstalowaniu przed nimi aglomeratora *Indigo*, jest długotrwała i wyraźna dla odpylania spalin powstających w trakcie spalania bardzo różnych gatunków węgla, co pozwala na sformułowanie wniosku, że obecnie aglomerator *Indigo* reprezentuje sprawdzoną i komercyjnie dostępną technologię ograniczenia zaciemnienia spalin oraz obniżenia za elektrofiltrami emisji drobnych pyłów (oznaczanych jako PM2.5, czyli o średnicach mniejszych od 2.5 μm).

Technologia aglomeratora *Indigo*

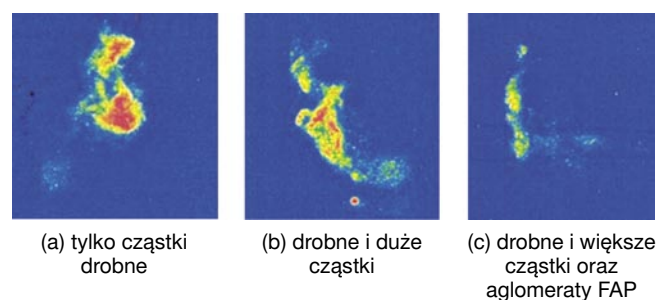
Agglomerator *Indigo* wykorzystuje dwa zastrzeżone patentami procesy, powodujące dołączanie drobnych cząstek pyłowych do cząstek większych, które to aglomeraty są następnie łatwo wytrącane w elektrofiltrze.

Pierwszy z nich, tzw. proces aglomeracji płynów (FAP), jest zjawiskiem fizycznym nie wymagającym zasilania elektrycznego. Drugi proces, bipolarnej aglomeracji elektrostatycznej (BEAP), wymaga zasilania elektrycznego w celu naładowania cząstek pyłowych. Połączenie obu tych procesów pozwala uzyskać znaczącą redukcję ilości drobnych cząstek pyłowych, co wyraźnie potwierdzają rezultaty pomiarów.

Proces aglomeracji fluidyzacyjnej (FAP) wykorzystuje wzmocnione selektywne mieszanie cząstek pyłów w celu zwiększenia fizycznego oddziaływania pomiędzy drobnymi i większymi cząsteczkami pyłu. Wzajemne oddziaływanie cząstek zwiększa liczbę kolizji pomiędzy cząstkami drobnymi i większymi, co prowadzi do tworzenia aglomeratów, a tym samym do zmniejszenia ilości cząstek drobnych. Szczegółowe badania tego zjawiska, prowadzone na Uniwersytecie w Adelajdzie przy wykorzystaniu laserowego urządzenia fluorescencji (LIF), potwierdziły znaczącą redukcję ilości drobnych cząstek w mieszaninie poddanej procesowi aglomeracji płynów.

Do tunelu powietrznego wprowadzano krople wody o średnicy jednego mikrona z dodatkiem środka chemicznego powodującego fluorescencję kropli w momencie przepływu przez warstwę pomiarową podświetloną światłem lasera. Intensywność fluorescencji, która jest proporcjonalna do łącznej objętości wszystkich drobnych cząstek przepływających przez podświetloną warstwę, była rejestrowana cyfrową kamerą wideo poprzez filtr optyczny ustawiony na długość fali fluorescencji.

Uzyskany sygnał poddawany był następnie obróbce komputerowej, polegającej na uśrednieniu danych w czasie oraz oznaczeniu kolorami gęstości rozkładu przestrzennego cząstek: od koloru niebieskiego – dla obszarów bez drobnych cząstek do czerwonego, w miarę wzrostu liczby cząstek drobnych. Większe krople 'nieoznaczone chemicznie', o średnicach rzędu 10 μm , mogą w miarę potrzeby także być wprowadzone do cyklu pomiarowego, jednak w analizie LIF będą one oznaczone kolorem niebieskim, na skutek działania filtra fluorescencji. Po zderzeniu i połączeniu się 'oznaczonej' cząstki małej z większą jej fluorescencja zanika, w wyniku rozcieńczenia powodowanego przez większą cząstkę.



Rys. 1. Analiza laserowo-fluorescencyjna rozkładu gęstości masy cząstek drobnych

Na rysunku 1a przedstawiono gęstość rozkładu cząstek drobnych przy całkowitym braku cząstek większych (i aglomeratów FAP), co jest stanem podstawowym dla dalszych pomiarów porównawczych, już z udziałem cząstek większych.

Na rysunku 1b pokazano gęstość rozkładu drobnych cząstek i dodatkowo wprowadzonych cząstek dużych, jednak bez aglomeratów (FAP). Widać tutaj zwiększoną dyspersję drobnych cząstek, jednak przy znikomej zmianie łącznej masy cząstek drobnych.

Na rysunku 1c przedstawiono rozkład gęstości cząstek drobnych i dodatkowo wprowadzonych cząstek dużych wraz z aktywnym procesem aglomeracji FAP, gdzie widać już znaczącą redukcję masy drobnych cząstek.

Wyniki badań potwierdzają, że proces aglomeracji FAP znacząco zwiększa liczbę kolizji pomiędzy drobnymi i większymi cząstkami, co w rezultacie powoduje zmniejszenie liczby cząstek drobnych w mieszaninie. Procentowy udział kolizji dających w efekcie aglomerację nie jest dotychczas określony, jednak dane pomiarowe z obiektów rzeczywistych pozwalają szacować, że proces aglomeracji FAP zmniejsza udział cząstek drobnych w całości pyłu o więcej niż połowę.

Proces bipolarnej aglomeracji elektrostatycznej (BEAP) właściwie łączy dwa procesy powodujące zmniejszenie emisji cząstek drobnych.

W jednym, wykorzystywany jest zasilacz bipolarny, powodujący ładowanie połowy wszystkich cząstek pyłu dodatnio i drugiej połowy ujemnie. Zasilacz bipolarny połączony jest z układem elektrod, tworzącym ścieżki dla przepływającego gazu, gdzie cząstkom nadawany jest ładunek dodatni bądź ujemny.

Kolejny proces przebiega w specjalnie zaprojektowanym mieszaczu (przedziałowy selektywny mikser cząstek, SSMS), gdzie niesione przez gaz drobne cząstki pyłu naładowane dodatnio mieszane są z większymi cząstkami pyłu naładowanymi ujemnie w sąsiedniej ścieżce. Podobnie niesione przez gaz drobne cząstki pyłu naładowane ujemnie mieszane są z większymi cząstkami pyłu naładowanymi dodatnio w kolejnej ścieżce, co pokazano na rysunku 2.

Ponieważ siła elektrostatyczna gwałtownie maleje z odległością, mikser SSMS jest w układzie konieczny aby maksymalnie zbliżyć do siebie przeciwnie naładowane cząstki, kiedy to występujące siły elektrostatyczne są jeszcze wystarczająco

duże dla formowania aglomeratów. Także tutaj, pomiary wykonane na obiekcie rzeczywistym wykazały, że proces aglomeracji elektrostatycznej BEAP prowadzi do zmniejszenia udziału cząstek drobnych w całości pyłu o więcej niż połowę.

Aglomerator *Indigo* jest zabudowywany na około pięciometrowym, poziomym lub pionowym odcinku kanału spalin przed elektrofiltrem i pracuje przy wysokich prędkościach przepływu gazów, generalnie powyżej 10 m/s. Ze względu na wysokie prędkości przepływu gazów na uziemionych płytach elektrod nie osadza się pył, a stąd nie wymagają one oczyszczania (strzeptywania), co obniża koszty eksploatacyjne. Zużycie energii elektrycznej przez aglomerator jest rzędu 5 kW na każde 100 MW mocy bloku energetycznego, natomiast opory przepływu odpowiadają spadkowi ciśnienia poniżej 200 Pa.

Jak stąd widać, koszty eksploatacyjne aglomeratora *Indigo* są bardzo niskie. W pięciometrowym odcinku kanału spalin mieści się zarówno układ ładowania bipolarnego jak i selektywny mikser cząstek (SSMS), co od razu określa niski koszt inwestycyjny aglomeratora *Indigo* w porównaniu z innymi opcjami podwyższania skuteczności elektrofiltru. Z drugiej strony, koszt ten jest niezależny od warunków lokalnych jak i lokalizacji obiektu.

Niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne aglomeratora *Indigo* stanowią o jego wysokiej ekonomicznej atrakcyjności w stosunku do innych rozwiązań.

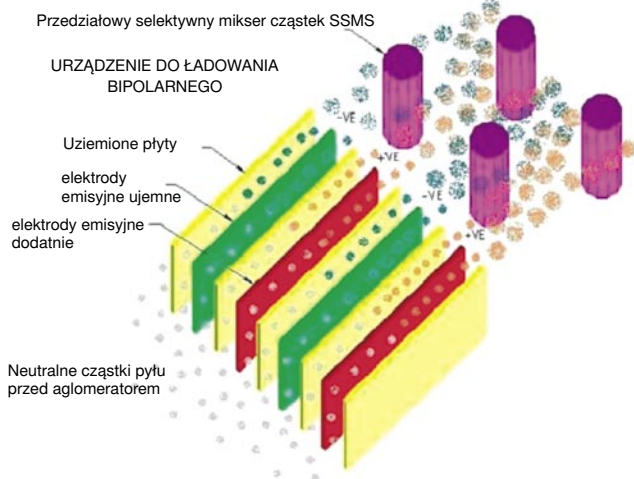
Dane techniczne elektrofiltrów i spalane węgle

Aglomeratory *Indigo* zostały zabudowane na obiektach reprezentujących różne wielkości i konfiguracje oraz dostawców kotłów jak i elektrofiltrów, co przedstawia tabela 1a.

Potwierdzony pomiarami fakt znaczącej redukcji emisji pyłów, pomierzonej po zainstalowaniu aglomeratora *Indigo*, na wszystkich obiektach wskazuje niezbicie, że poprawa efektywności odpylania nie zależy od parametrów charakterystycznych danego obiektu.

W pięciu elektrowniach zestawionych w tabeli 1 spalane są różnego rodzaju węgle, z których wiele uznaje się za tzw. węgle trudne z punktu widzenia elektrostatycznego oczyszczania spalin w elektrofiltrach. W elektrowni *Vales Point* spalane są nisko siarkowe, o wysokiej zawartości popiołu australijskie węgle bitumiczne, generujące pyły wysoko rezystywne w zakresie 10^{11} – 10^{13} Ω cm, które są bardzo trudne do elektrostatycznego wytrącania nawet przy wykorzystaniu kondycjonowania spalin amoniakiem i SO_3 .

Najbardziej „trudnym” węglem jest węgiel spalany w elektrowni *Tarong*, pochodzący z sąsiadującej z elektrownią kopalni *Meandu Mine*, który ma zawartość popiołu rzędu 30%, z czego 97% stanowią krzem i tlenki glinu, a rezystywność generowanych w procesie spalania pyłów dochodzi do 10^{15} Ω cm. Pył ten w ogóle nie reaguje na kondycjonowanie spalin trójtlenkiem siarki, a elektrofiltry wytrącające te pyły pracują w miarę poprawnie tylko w trybie zasilania „semi-pulse” (quasi-impulsowym), gdzie optymalne czasy przerwy w zasilaniu dla stref wylotowych dochodzą nawet do dwóch sekund.



Rys. 2. Proces bipolarnej aglomeracji elektrostatycznej BEAP

Podstawowe dane elektrowni i elektrofiltrów w miejscach zabudowy, prób i badań aglomeratorów *Indigo*

Elektrownia – miejsce zabudowy	Data uruchomienia – lokalizacja	Wielkość bloku	Producent i typ kotła	Wielkość e-filtru	Typ e-filtru	Kondycjonowanie spalin
Vales Point PS Delta Electricity New South Wales, Australia	listopad 2002 ESP5A	660 MW	Combustion Engineering palniki narożnikowe, palenisko tangentialne	100m ² /m ³ /s 4 komory po 5 stref	Flakt (Alstrom) -europejski; strzeptywanie: młotki obrot. na dole	SO ₃ oraz amoniak
Watson Plant Mississippi Power Mississippi, USA	marzec 2003 ESP4B	250 MW	Riley z palnikami na ścianach przeciwległych	47 m ² /m ³ /s 2 komory po 3 strefy mech i 6 stref elektrycznych	EEC –USA; strzeptywanie: elektromagnet. MIGI z góry	SO ₃
Hammond Plant Georgia Power Georgia, USA	listopad 2004 Całość	115 MW	Riley palniki na jednej ścianie	33 m ² /m ³ /s jedna komora 3 strefy, 2 ciągi	Research Cottrell –USA; strzeptywanie: elektromagnet. MIGI z góry	SO ₃
Tarong Power Station Tarong Energy Queensland, Australia	grudzień 2004 e-filtr, ciąg nr 1	350 MW	Hitachi Babcock z palnikami na ścianach przeciwległych	236m ² /m ³ /s 4 komory po 6 stref	Lurgi -europejski; strzeptywanie: młotki obrot. na dole	bez kondycjonowania
Asbury Plant Empire Electric Missouri, USA	maj 2005 całość	225 MW	B&W palenisko cyklonowe	33 m ² /m ³ /s 2 komory 2 strefy mech. i 4 strefy elektr.	Lodge Cottrell –USA; strzeptywanie: elektromagnet. MIGI z góry	bez kondycjonowania

Firma *Southern Company* przeprowadziła w elektrowni *Watson* długotrwałe próby spalania różnych gatunków węgla, które objęły:

- węgiel *Drumond*, który jest podstawowym, niskosiarkowym, kolumbijskim węglem bitumicznym, regularnie spalany w tej elektrowni; zawartość siarki w węglu wynosi około 0,5% oraz popiołu około 5%, jednak inne kolumbijskie węgle spalane w elektrowni *Watson* mają zawartość popiołu nawet do 12% i wówczas uruchamiane jest kondycjonowanie spalin SO₃; gdyż rezystywność pyłów przekracza 10¹² Ωcm;
- węgiel *West Elk* z Kolorado jest podstawowym niskosiarkowym bitumicznym węglem zachodnio-amerykańskim, spalany w elektrowni *Watson*; zawartość popiołu w węglu wynosi 8%, a siarki 0.6%;
- w elektrowni spalano także kilka innych, tzw. średniosiarkowych węgli wschodnio-amerykańskich; były to węgle z Zagłębia Węglowego *Appalachian*, zawierające ok. 1,3% siarki i do 6% popiołu oraz węgiel *Emerald* z Zagłębia Węglowego *Illinois*, zawierający ok. 2.5% siarki i 12% popiołu.

W elektrowni *Hammond* – *Southern Company* spalany jest węgiel bitumiczny z zachodniej Virginii, o zawartości popiołu ok. 9% i siarki 1.5%.

W ostatniej z elektrowni, *Asbury*, gdzie uruchomiono kolejny aglomerator *Indigo*, spalana jest mieszanka węgla, której 85% stanowi niskosiarkowy subbitumiczny zachodnio-amerykański węgiel z Zagłębia Węglowego *Powder River*, a 15% stanowi wysokosiarkowy wschodnio-amerykański węgiel,

dotychczasowy w celu obniżenia wysokiej rezystywności pyłów powstających w procesie spalania.

Stożek poprawy skuteczności odpylania elektrofiltrów pracujących za aglomeratorami *Indigo* jest generalnie niezależny od składu chemicznego spalanego węgla. W szczególności, rezystywność wytrącanych pyłów nie ma wpływu na uzyskiwaną redukcję emisji poprzez aglomerator *Indigo*.

Zasadniczy wpływ na efektywność działania aglomeratora ma zawartość drobnych cząstek w pyłach generowanym w procesie spalania, która zależy od właściwości węgla i procesu spalania. Im wyższa jest zawartość drobnych cząstek w generowanym pyłach, tym wyższa będzie poprawa skuteczności odpylania elektrofiltru, w przypadku zabudowania przed nim aglomeratora *Indigo*. Zmniejszenie zanieczyszczenia spalin (opacności lub tzw. emisji 'widzialnej') może osiągać wartości od 50% nawet do 90%, w miarę wzrostu zawartości drobnych cząstek w wytrącanym pyłach.

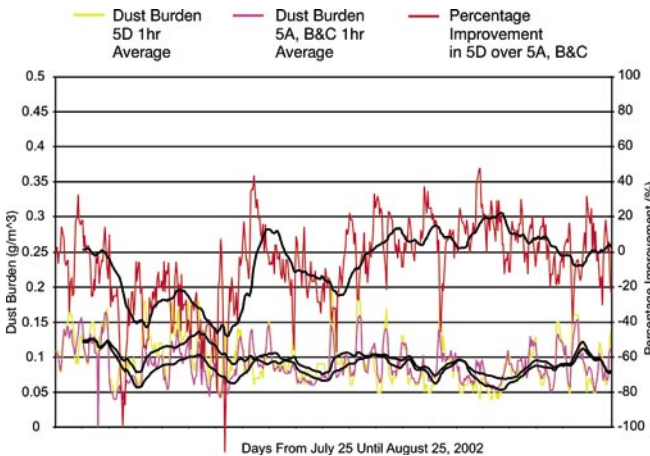
Wyniki pomiarów emisji po zainstalowaniu aglomeratorów *Indigo*

Na wszystkich obiektach, gdzie zabudowano aglomeratory *Indigo*, zainstalowane są optyczne monitory emisji (pyłomierze). Na instalacjach w USA rejestrują one zanieczyszczenie spalin (opacności), natomiast na instalacjach w Australii rejestrowana jest gęstość optyczna, której zależność od emitowanej masy pyłu jest bardziej liniowa.

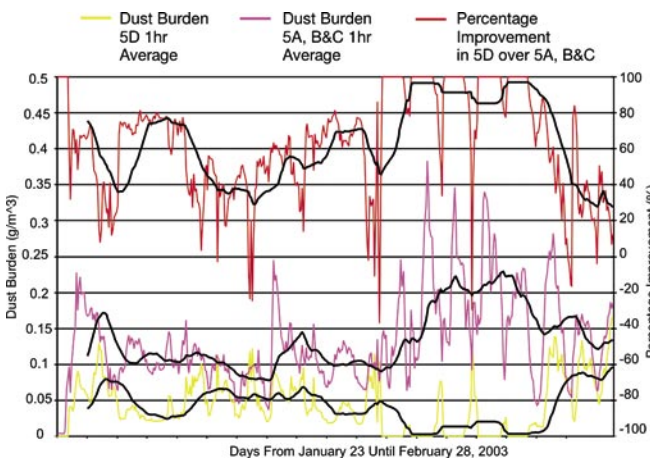
Średnia redukcja gęstości optycznej dla elektrowni Vales Point wynosi 55%, a dla elektrowni Tarong (dla ciągu nr 1 – gdzie jest zabudowany aglomerator) wynosi 45%, w odniesieniu do ciągu nr 2, gdzie nie ma aglomeratora.

Na kolejnych wykresach przedstawiono zmiany gęstości optycznej w funkcji czasu zarejestrowane dla powyższych obiektów.

Rysunek 3 przedstawia zmiany gęstości optycznej w okresie jednego miesiąca dla elektrowni Vales Point, przed zainstalowaniem aglomeratora Indigo, natomiast rysunek 4 przedstawia także okres jednego miesiąca, jednak już po uruchomieniu aglomeratora.



Rys. 3. Elektrownia Vales Point, przebiegi zmian gęstości optycznej spalin za elektrofiltrem, przed zabudową aglomeratora Indigo



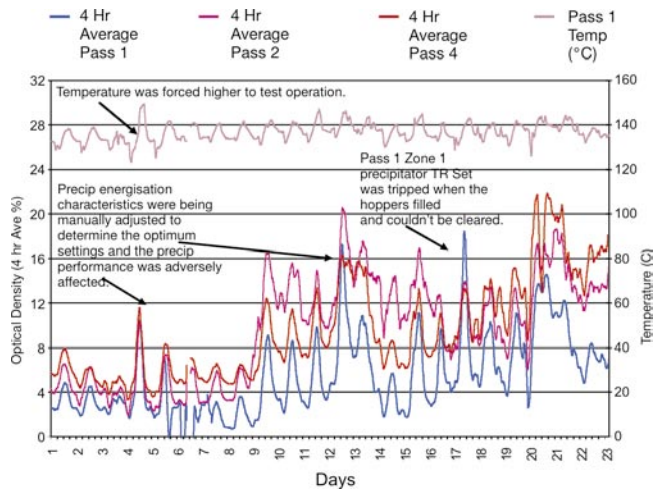
Rys. 4. Elektrownia Vales Point, przebiegi zmian gęstości optycznej spalin za elektrofiltrem, po zabudowie aglomeratora Indigo na 5D

Uwaga dla obu wykresów:

na osi rzędnych: stężenie zapylenia (g/m³); na osi odciętych: czas 23.01 do 28.02.2003

oraz stopień podwyższenia skuteczności odpylenia w procentach (%)

Kolorami oznaczono przebiegi: żółty – stężenie zapylenia za 5D, średnie 1h; czerwony – stężenie zapylenia za 5A, B i C, średnie 1h; fukcja – procentowa przewaga 5D ponad 5A, B i C



Rys. 5. Elektrownia Tarong, przebiegi zmian gęstości optycznej spalin za elektrofiltrem, po zabudowie aglomeratora Indigo na ciągu nr 1

Na osi rzędnych: gęstość optyczna spalin (średnie 4h, %) oraz temperatura spalin w (°C); na osi odciętych: czas w dniach Kolorami oznaczono przebiegi: niebieski – gęstość optyczna spalin dla ciągu nr 1, średnie 4h; czerwony – jw. dla ciągu nr 2; fukcja – jw. dla ciągu nr 4; purpurowy – temperatura spalin dla ciągu nr 1

Rysunek 5 przedstawia zmiany gęstości optycznej za okres trzech tygodni, już po uruchomieniu aglomeratora Indigo, na ciągu nr 1 w elektrowni Tarong. Tutaj, przed zabudową aglomeratora rejestrowane wartości gęstości optycznej były zazwyczaj wyższe od typowych dla ciągu nr 2.

Zabudowany w elektrowni Watson przed elektrofiltrem ciąg 4B aglomerator wyposażony był w monitoring zaczerzenia spalin (opacjy) przez ponad dwa lata, w którym to czasie testowano spalanie różnych gatunków węgla.

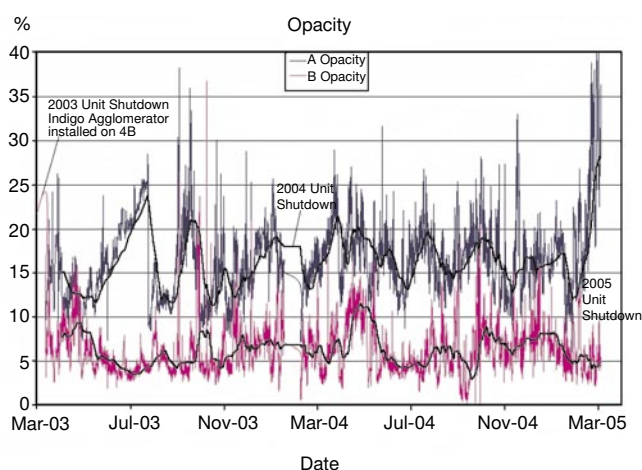
Tabela 2
Redukcja zaczerzenia spalin (opacjy) po zabudowie aglomeratorów Indigo

Rodzaj spalanego węgla	Średnie obciążenie bloku (MW)	Średnia poprawa dla zaczerzenia spalin (%)
Węgiel West Elk – wysokie obciążenia bloku (>230 MW) – niskie obciążenia bloku (<200 MW)	245.2 169.6	51.2 51.2
Węgiel amerykański – wysokie obciążenia bloku (>230 MW) – niskie obciążenia bloku (<200 MW)	245.3 137.6	50.7 64.9
Węgiel Emerald – wysokie obciążenia bloku (>230 MW) – niskie obciążenia bloku (<200 MW)	245.7 139.9	78.3 88.4
Węgiel Drummond – wysokie obciążenia bloku (>230 MW) – niskie obciążenia bloku (<200 MW)	245.6 142.5	60.2 68.7

Tabela 2 przedstawia redukcję zacinienia spalin, przeliczoną na podstawie średnich tygodniowych dla elektrofiltru ciągu 4B poprzedzonego aglomeratorem oraz porównanie identycznego elektrofiltru na ciągu 4A – jednak bez aglomeratora. Około 50-procentową przewagę w redukcji zacinienia spalin wykazuje monitoring na ciągu z zabudowanym aglomeratorem.

W elektrowni prowadzono dokładne pomiary i rejestrację parametrów spalnego węgla, stąd możliwe było określenie stopnia poprawy skuteczności odpylania elektrofiltru dla różnych węgli, jak również przy niskim i wysokim obciążeniu kotła. Analiza wartości średnich zacinienia spalin z trzech miesięcy pracy elektrofiltru przed zabudową aglomeratora wykazywała około 5-procentową przewagę dla ciągu 4B, co odpowiada średnim wartościom zacinienia spalin rzędu 19% dla ciągu 4B i 20% dla ciągu 4A.

Blok energetyczny elektrowni *Watson*, gdzie zabudowano aglomerator, jest blokiem podstawowym, który pracuje prawie cały czas z mocą bliską znamionowej.



Rys. 6. Elektrownia *Watson*, trendy zacinienia spalin (opacności) za okres dwóch lat, przy pełnym obciążeniu bloku
 Na osi rzędnych: zacinienie spalin (opacności %);
 na osi odciętych: czas w miesiącach (okres jednego roku)
 Kolorami oznaczono przebiegi: granatowy – zacinienie spalin dla ciągu A, fukcja – jw. dla ciągu B

Powstała więc możliwość – po odrzuceniu danych pomiarowych dla obciążeń niższych od 245 MW – sporządzenia wykresu (rys. 6) porównania zmian zacinienia spalin (opacności) dla ciągu 4A i 4B przy pełnym obciążeniu bloku – przez okres dwóch lat. Widać na nim wyraźnie trwałą, ponad 50-procentową redukcję zacinienia spalin dla ciągu 4B, z aglomeratorem.

W elektrowniach *Watson* i *Hammond* wykonano wiele pomiarów emisji masowej za elektrofiltrami zgodnie z metodą normy US Method 17.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki trzech serii pomiarów, w tym dwóch przy spalaniu węgla West Elk, który spalano przez cały rok. Zauważyć można konsekwentny spadek emisji masowej za elektrofiltrem ciągu 4B (z aglomeratorem), w odniesieniu do ciągu 4A (bez aglomeratora).

Tabela 4
Wyniki pomiarów masy emisji za elektrofiltrami blok 2 i 3 w elektrowni *Hammond*

Pomiary	Blok nr 2 bez aglomeratora data: 20.11.2004	Blok nr 3 z aglomeratorem data: 20.11.2004	Stopień redukcji e-filtrów bloków 3/2
Masa emisji, mg/m ³ (ruchowe)	8,7	3,4	60,5%
Przepływ spalin, mg/m ³ (ruchowe)	254,9	231,0	9,4%
Temperatura spalin, °C	129,3	123,2	4,7%

W tabeli 4 przedstawiono wyniki podobnych testów przeprowadzonych na elektrowni *Hammond*. Ponieważ tutaj aglomerator *Indigo* został zabudowany jako wspólny dla obu wlotów elektrofiltru, konieczne stało się odniesienie uzyskanych rezultatów na elektrofiltrze bloku nr 3 (z aglomeratorem) do elektrofiltru bez aglomeratora, na identycznym bloku nr 2.

Oba wymienione bloki odprowadzają spaliny do wspólnej komina, na którym wykonywano pomiary zgodnie z normą US Method 17.

Tabela 3
Wyniki pomiarów masy emisji za elektrofiltrem dla Elektrowni *Watson*

Pomiary	Węgiel West Elk Data 17.04.2003			Węgiel West Elk Data 01.04.2004			Węgiel Emerald Data 13.04.2004		
	Ciąg A	Ciąg B	stopień redukcji ciągu A/B	Ciąg A	Ciąg B	stopień redukcji ciągu A/B	Ciąg A	Ciąg B	stopień redukcji ciągu A/B
Zacinienie spalin, % (opacności)	15	4	73.3%	20.2	7.25	64.1%	13.25	2.3	82.6%
Masa emisji, mg/m ³	27.5	15.1	39.5%	54.3	36.3	33.1%	31.3	18.8	39.9%
Przepływ spalin, m ³ /s (ruchowe)	192.9	212.7	-10.3%	204.4	186.6	8.7%	209.4	191.6	8.4%
Temperatura spalin, °C	135	134	0.7%	138	129	6.5%	132	127	3.8%

Pomiary przeprowadzono w dwóch kolejnych dniach, zawsze kiedy pracował tylko jeden blok, na pełnej mocy. Udzielenie przez Zarząd elektrowni zgody na wykonanie pomiarów wpływu aglomeratora na skuteczność odpylania elektrofiltru, wymagające kosztownych odstawień bloków z ruchu, świadczy wyraźnie o tym, jak dużą wagę przywiązuje Zarząd firmy do możliwości wykorzystania aglomeratorów *Indigo* w innych swoich elektrowniach.

W elektrowniach *Watson i Hammond* wykonano analizy rozkładu frakcyjnego wytrączanych pyłów, przy wykorzystaniu unikalnego analizatora wielkości cząstek firmy *Process Metrix*, Model PCSV-P. Urządzenie to mierzy właściwie koncentrację zliczanych cząstek, a nie ich masę i jest najbardziej dokładne w przedziale wielkości cząstek od 0.3 do 50 μm . W analizatorze, przystosowanym do pomiarów wielkości cząstek in-situ, wykorzystuje się bazujący na laserze proces zliczania pojedynczych cząstek, realizowany w szczelinie chłodzonej wodą sondy wprowadzanej do strumienia gazów, przez co eliminuje się problemy związane z ekstrakcją gazów – będącą podstawą innych metod pomiarowych.

Pomiary cząstek submikronowych zostały również wykonane przez instytut badawczy Southern Research Institute, przy użyciu Analizatora SMPS-TSI, Model 371A, wykorzystującego dla pomiarów rozkładu frakcyjnego cząstek w przedziale od 0.02 do 0.9 μm ich mobilność elektrostatyczną. Urządzenie to, działające z wykorzystaniem metody ekstrakcyjnej, pomija w pomiarze większe cząstki. W tego rodzaju pomiarach, wykonywanych dwoma bardzo różnymi metodami, powtarzalność wyników jest zazwyczaj niska, tutaj jednak – dla określonego przedziału wielkości cząstek – można zauważyć stosunkowo dobrą korelację wyników.

Wnioski końcowe

Szeroki zakres parametrów i danych pomiarowych zebranych i przedstawionych w niniejszym referacie, zmierzonych różnymi metodami i przy użyciu różnorodnej aparatury pomiarowej, wskazuje niezbicie na uzyskiwanie znaczącej redukcji emisji pyłów za elektrofiltrami po zabudowaniu aglomeratorów *Indigo*, które pracują już na kilku elektrowniach spalających różne gatunki węgla.

Wszystkie przedstawione tutaj aglomeratory *Indigo* to pełne instalacje przemysłowe, pracujące na różnych typach dużych bloków energetycznych wyposażonych w elektrofiltry reprezentujące różnorodne rozwiązania i producentów.

Zasadniczym argumentem potwierdzającym efektywność technologii zastosowanej w rozwiązaniach aglomeratora *Indigo* są pozytywne wyniki pomiarów prowadzonych:

- przez ponad dwuletni okres prób i badań, potwierdzające trwałe uzyskiwanie pozytywnych wyników,
- na wielu obiektach, o różnych wielkościach kotłów i typach elektrofiltrów,
- przy spalaniu różnych rodzajów i gatunków węgla, czyli pozytywne wyniki pomiarów uzyskane niezależnie od rodzaju spalanego węgla,
- różnymi metodami i technikami pomiarowymi w szerokim zakresie badań, wykonywanych przez niezależnych wykonawców, sprawdzonymi i uznanymi technikami i aparaturą.

Najważniejsze rezultaty uzyskane po zabudowaniu aglomeratorów *Indigo* to redukcja:

- całkowitej emisji masowej pyłu w zakresie od 30% do ponad 60%,
- zaczerwienia spalin (opacności) od 50% do ponad 80%,
- emisji pyłów PM2.5 (o średnicy poniżej 2.5 μm) w zakresie od 70% do 90%.

To właśnie bardzo drobne cząstki (pyły submikronowe) mają największy wpływ na tzw. emisję widzialną, przyczyniają się do powstawania smogu, jak również są źródłem chorób układu oddechowego i dlatego należy tutaj zwrócić uwagę, że aglomerator *Indigo* jest właśnie najbardziej efektywny dla redukcji emisji bardzo drobnych cząstek za elektrofiltrami.

Agglomerator *Indigo* stanowi obecnie komercyjną, w pełni sprawdzoną technologię, dzięki której można znacząco zredukować emisję drobnych i niebezpiecznych pyłów powstających w dużych procesach przemysłowych, bez ponoszenia większych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Pełny tekst niniejszego referatu w języku polskim oraz wiele innych informacji dotyczących aglomeratora *Indigo* w języku angielskim jest dostępnych na stronach internetowych firmy *Indigo Technologies*:
www.indigotechnologies.com.au

