

ANDRZEJ M. MICHALSKI

## **EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO Z PROCESU ENERGETYCZNEGO SPALANIA PALIW**

### **1. Wstęp**

Do szczególnie groźnych składników emitowanych do atmosfery w procesie energetycznego spalania paliw należą: tlenki siarki, tlenki azotu, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, zwłaszcza benzo(a)piren oraz pyły i sadza.

Antropogenna emisja głównie tlenków siarki i azotu stanowi w chwili obecnej jedno z większych zagrożeń środowiska życia na ziemi. Rocznie w skali światowej wprowadza się do atmosfery setki milionów ton tych gazów. Szacuje się, że w Polsce dostaje się do powietrza około 4 mln ton dwutlenku siarki oraz około 2 mln ton tlenków azotu w ciągu roku. Stanowi to poważne obciążenie środowiska, graniczące na wielu obszarach z sytuacją klęski ekologicznej.<sup>1</sup>

Stwierdzono, że emitowane ilości zanieczyszczeń przyczyniają się do degradacji środowiska przyrodniczego poprzez zakwaszanie gleb i zbiorników wodnych, niszczenie lasów oraz zatrucie powietrza na nieraz znacznych terenach. Gazy te w sposób ewidentny przyspieszają procesy korozji metali i innych materiałów.

Emisja znacznych ilości wymienionych wyżej zanieczyszczeń związana jest z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepłej w zakładach energetycznych i przemysłowych, kotłowniach komunalnych, paleniskach domowych itp. W procesie energetycznego spalania paliw, związki siarki i azotu w nich zawarte, przekształcają się w gazowy dwutlenek siarki i tlenki azotu. Poza tym "produktami" ubocznymi wytwarzania strumienia energii chemicznej paliwa są: tlenek węgla, sadza, pyły (w tym pyły zawieszane) oraz węglowodory.

Ograniczenie emisji przedstawionych wyżej zanieczyszczeń do atmosfery można osiągnąć dzięki spalaniu paliw ubogich w te związki.

Niniejsza publikacja stanowi komunikat z badań emisji i stężenia substancji zanieczyszczających atmosferę, jakie znalazły się w gazach odlotowych emitora kotłowni pralni wodnej w Inowrocławiu przed jej modernizacją (źródłem emisji był kocioł parowy opalany węglem) oraz po modernizacji zakładu, w wyniku której zainstalowano kotły opalane olejem opałowym lekkim.

Tak więc problemem badawczym było określenie jak wpływa rodzaj, a więc i parametry używanego paliwa na wielkość emisji oraz rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego.

W obu przypadkach emisję zanieczyszczeń określono metodą wyliczeń analitycznych. Metoda ta polega na wyliczeniu wartości emisji w oparciu o dane dotyczące ilości i rodzaju surowców oraz przebiegu procesu technologicznego, któremu towarzyszy wydzielanie się zanieczyszczeń. Wskazane jest co prawda określenie emisji istniejącego źródła w oparciu o wyniki pomiarów natężenia przepływu gazów odlotowych oraz wyniki pomiarów stężenia emitowanych zanieczyszczeń w tych gazach, jednak budowa komina kotłowni (ceramiczny) oraz brak możliwości zainstalowania na nim punktów pomiarowych nie pozwoliły na zastosowanie tej metody.

Po określeniu występujących emisji dokonano klasyfikacji uciążliwości emitora dla otoczenia oraz obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze.

Przy analizie otrzymanych wyników uwzględniono tzw. tło zanieczyszczeń wywołanych innymi źródłami, a nie źródłem rozpatrywanym.<sup>2</sup>

## **2. Określenie emisji zanieczyszczeń**

### **2.1. Metodyka badań oraz dane i założenia do obliczeń**

Zakład pralniczy usytuowany jest w śródmieściu Inowrocławia. W pobliżu zakładu znajduje się dwu- i trzykondygnacja zwarta zabudowa mieszkalna.

Źródłem emisji zorganizowanej zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego na terenie omawianego zakładu jest kotłownia technologiczno - grzewcza. Dostarcza ona pary technologicznej dla agregatów pralniczych w ciągu całego roku, a w okresie grzewczym dodatkowo ogrzewa pomieszczenia zakładu.

Jak już wspomniano wyżej emisję zanieczyszczeń gazowych i pyłowych określono metodą analityczną na podstawie zawartości siarki oraz części palnych i popiołu w paliwie.

Dane techniczne kotłów i używanego paliwa przed modernizacją kotłowni oraz po jej modernizacji przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Parametry źródeł emisji oraz używanego paliwa

Lp.	Parametry źródeł emisji oraz używanych paliw	źródło emisji		
		przed modernizacją	po modernizacji	
1	typy kotłów	pEca -IV	35-HTO	BTX
2	rodzaj paleniska	rusztowe stałe	palniki	palniki
3	wydajność nominalna [kW]	226	210	40
4	sprawność cieplna [%]	75	85	85
5	temperatura spalin [oK]	470	513	513
6	paliwo	węgiel kamienny	olej opałowy	
7	wartość opał. paliwa [kJ/kg]	20943	42296	
8	zawartość siarki palnej [%]	0.96	0,23	
9	zawartość popiołu [%]	20.00	0.00	
10	unos pyłu z paleniska [%]	20.00	20.00	
11	zużycie paliwa w roku [t]	200	52	

W czasie prowadzenia badań nie uległ modernizacji emitor. Spaliny z kotłów w obu przypadkach odprowadzane były poprzez dymnik i czopuch kominem murowanym o średnicy na wylocie 0.42m i wysokości 18m nad poziom terenu. Do obliczeń przyjęto sprawność czopucha równą 20%.

## 2.2. Emisja zanieczyszczeń wprowadzonych do powietrza

Tabela 2. przedstawia porównanie obliczonych wyników rocznej emisji zanieczyszczeń wprowadzonych do powietrza atmosferycznego w przypadku źródła emisji jakim był kocioł parowy opalany węglem oraz kotły opalane olejem opałowym.

Wyniki emisji zanieczyszczeń przedstawione w tabeli 2. upoważniają do następujących wniosków:

**Tabela 2.** Parametry emisji zanieczyszczeń - zestawienie roczne

Lp.	Nazwa substancji	Emisja roczna [ton/rok]			
		Typ kotła			
		pEca-IV	35-HTO	BTX	razem kotły olejowe
1	dwutlenek siarki	3.2000	0.21700	0.02200	0.23900
2	dwutlenek azotu	0.1620	0.24000	0.02400	0.26400
3	pył całkowity	0.2100	0.00030	0.00003	0.00033
4	pył zawieszony	0.1200	0.00015	0.00002	0.00017
5	tlenek węgla	9.0000	0.02800	0.00288	0.03088
6	benzo(a)piren	0.0168	ślad	---	ślad
7	sadza	0.0420	---	---	---
8	węglowod. alifat.	----	0.0198	0.00200	0.0218

- A. Dla pracy kotła pEca-IV nie jest zachowana dopuszczalna emisja dwutlenku azotu przypadająca na jednostkę wytworzonej energii, emisja dwutlenku siarki oraz pyłu całkowitego jest zachowana.
- B. Dla pracy kotła olejowego 35-HTO emisja wszystkich zanieczyszczeń przypadająca na jednostkę wytworzonej energii jest zachowana.<sup>3</sup>
- C. Emisja roczna takich zanieczyszczeń jak SO<sub>2</sub>, CO, pył całkowity, pył zawieszony, BaP oraz węgiel elementarny (sadza), przy jednakowym czasie pracy analizowanych kotłów, jest w przypadku pracy kotła opalanego węglem, wielokrotnie większa niż w przypadku kotłów olejowych. W przypadku emisji NO<sub>2</sub> oraz węglowodorów alifatycznych różnice można uznać za statystycznie nieistotne.

### 3. Klasyfikacja uciążliwości emitora

Punktem wyjścia do opracowania wskaźnika uciążliwości emitora jest najwyższe ze stężeń danego zanieczyszczenia, jakie ten emitor powoduje w powietrzu atmosferycznym, w strefie przebywania ludzi. Stężenie to, zwane  $S_{mm}$  (maksimum maksimum)<sup>4</sup> stanowi również podstawowe kryterium zaliczania emitora do jednej z klas oddziaływania, według obowiązujących norm. Zgodnie z tymi normami, pojedyncze punktowe źródła emisji emitujące do atmosfery substancje szkodliwe, dzieli się na 3 klasy.

Do pierwszej klasy oddziaływania zalicza się źródło emisji spełniające dla danego zanieczyszczenia warunek:

$$S_{mm} \leq 0,2 \cdot D_{30}$$

Do drugiej klasy oddziaływania zalicza się źródło emisji spełniające dla danego rodzaju zanieczyszczenia warunek:

$$S_{mm} \leq 0,8 \cdot D_{30} - R_{30}$$

Do trzeciej klasy oddziaływania zalicza się źródło nie spełniające warunków dla I i II klasy.<sup>5</sup>

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria dokonano klasyfikacji uciążliwości omawianego emitora przy:

- 1) podłączonym do niego źródle zanieczyszczenia jakim był kocioł opalany paliwem stałym (węglem),
- 2) podłączonym do niego źródłem zanieczyszczenia jakim były kotły opalane paliwem płynnym (olej opałowy).

Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Klasyfikacja uciążliwości emitora

Substancja	Kocioł opalany węglem		Kotły opalane olejem	
	Stężenie S <sub>mm</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Klasa uciążliwości	Stężenie S <sub>mm</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Klasa uciążliwości
SO <sub>2</sub>	0.1956	2	0.0196	1
NO <sub>2</sub>	0.0066	1	0.0216	1
pył zawiesz.	0.0285	1	0.0000	1
CO	0.4582	1	0.0029	1

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 3. wykazuje, że uciążliwość emitora jest mniejsza przy opalaniu kotłów paliwem płynnym (olejem opałowym).

#### 4. Obliczenie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze

Zjawisko ruchów gazowych, płynnych i stałych zanieczyszczeń odbywające się w dużych masach powietrza atmosferycznego nosi nazwę rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze.

Obecność zanieczyszczenia w atmosferze wynika przy tym bądź bezpośrednio z ich wydalania do atmosfery przez źródła emisji zanieczyszczeń, bądź jest wynikiem różnych procesów fizyko - chemicznych jakim podlegają naturalne i sztuczne składniki atmosfery.

Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze powoduje powstanie zmiennego w czasie i przestrzeni stanu zanieczyszczenia atmosfery. Podstawową wielkością charakteryzującą stan zanieczyszczenia atmosfery jest stężenie zanieczyszczenia, wyrażające się stosunkiem masy lub objętości zanieczyszczenia do objętości lub rzadziej masy powietrza, w którym występuje to zanieczyszczenie.

Teoria rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze emitowanych z punktowych źródeł emisji opiera się głównie na równaniach mechaniki płynów, termodynamiki i równaniach dyfuzji. Wyniki rozważań teoretycznych są przy tym porównywalne z rzeczywistością, co pozwala w pierwszym rzędzie na odpowiedni dobór stałych doświadczalnych, występujących w odpowiednich równaniach lub wzorach teoretycznych.

W obecnym stanie wiedzy w dziedzinie teorii rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w decydującej ilości przypadków można przewidzieć zadowalająco stan zanieczyszczonej atmosfery, do czego wymagane jest staranne określenie warunków technicznych emisji i warunków meteorologicznych, jak też użycie właściwych modeli matematycznych.

Takim modelem może być formuła podstawowego równania dyfuzji atmosferycznej przy założeniu gaussowskiego rozkładu stężeń w smudze, zaproponowana przez Pasquilla, ze współczynnikami dyfuzji atmosferycznej zależnymi od szorstkości terenu i efektywnej wysokości emitora.<sup>6</sup> Niestety, uniemożliwia ona wyprowadzenie analitycznego wzoru  $S_{mm}$  oraz obliczenie odległości, w którym ono występuje  $x_{mm}$ . Wzory takie można wyprowadzić jedynie dla poszczególnych stanów równowagi atmosfery. Wobec braku formuły na  $S_{mm}$ , jedyną drogą postępowania jest komputerowa analiza wszystkich możliwych sytuacji meteorologicznych i określenie na tej podstawie największej z wartości  $S_{mm}$ . I tę właśnie drogę postępowania wybrano do obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń emitowanych z omawianego w niniejszej pracy emitora.<sup>7</sup>

Przyjęto następujące założenia:

#### **Warunki meteorologiczne**

Obliczenie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń dla rozpatrywanego źródła emisji w przyziemnej warstwie atmosfery przeprowadzono w oparciu o statystyki stanów równowagi, prędkości i kierunków wiatrów (róża wiatrów) zawarte w katalogu danych meteorologicznych dla stacji BYDGOSZCZ.

### Aerodynamiczna szorstkość terenu

Wpływ podłoża na rozkład zanieczyszczeń w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego uwzględniono przez przyjęcie średniego parametru aerodynamicznej szorstkości terenu  $z_0 = 1\text{ m}$  (miasto 10 - 100 tys. mieszkańców - centrum).<sup>8</sup>

Powyższe założenia pozwoliły wyliczyć współrzędne receptora ( $x, y$ ), w którym występuje  $S_{\text{mm}}$  na kierunku wiatru o największym udziale krytycznej sytuacji meteorologicznej.

Dla stanu równowagi objętej przy prędkości wiatru równej 1 m/s współrzędne receptora wynoszą:

$$x = -67\text{ m}, \quad y = 0\text{ m}$$

przy położeniu emitora w układzie współrzędnych (0, 0).

W dalszej kolejności zbadano dopuszczalną częstość przekraczania wartości  $D_{30}$  w czasie roku oraz dopuszczalną częstość przekraczania wartości  $D_{24}$  w czasie roku dla obu rodzajów używanego paliwa.

Wyniki obliczeń zawarto w tabeli 4. Sugerują one wyraźnie, iż przy spalaniu węgla występują przekroczenia dopuszczalnych wartości  $P_{24}$  i  $P_{30}$  dla  $\text{SO}_2$  oraz dla CO. Przy opalaniu kotłów paliwem płynnym - przekroczenia te nie występują.

## 5. Wnioski i uwagi końcowe

W cieniu wielkich odkryć naukowych i osiągnięć technicznych, w które obfituje nasze stulecie, w cieniu podróży kosmicznych czy rewolucyjnych wprost osiągnięć medycyny, z dala od absorbujących nasze umysły udoskonaleń zmierzających do zapewnienia naszej ludzkości jak największego komfortu przy pełnej mechanizacji i automatyzacji naszego życia, pozostaje jeszcze ciągle uboczny, marginesowy i niedoceniany problem. Niejednokrotnie bowiem w imię postępu techniki zapomina się, że istnieje człowiek, który oddycha, przy czym to, czym oddycha - dla milionów ludzi nie jest z pewnością czystym powietrzem.



**Tabela 4.** Częstości przekraczania norm dla poszczególnych zanieczyszczeń obliczone w procentach (wartości największe)

Substancje	Kocioł opalany paliwem stałym		Kotły opalane paliwem płynnym	
	P24 [%]	P30 [%]	P24 [%]	P30 [%]
SO <sub>2</sub>	6.497 *	1,169 *	0.000	0.000
NO <sub>2</sub>	0.000	0,000	0.000	0.000
pyły zawiesz.	0.000	0,000	0.000	0.000
CO	3.351 *	0,000	0.000	0.000

\* – wartości większe od normy

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego jako ujemny skutek uprzemysłowienia, urbanizacji czy też wzrostu motoryzacji, a w konsekwencji problem ochrony atmosfery przed zanieczyszczeniem mimo, że sięga czasów średniowiecza, dopiero w ostatnich latach stało się problemem powszechnie dostrzegalnym, wymagającym podjęcia szybkich i skutecznych środków zaradczych.

W złożonym procesie ochrony powietrza atmosferycznego, niebagatelną rolę odgrywa wiedza człowieka o źródłach jego zanieczyszczenia, a także świadomość możliwości przeciwdziałania i ograniczania tych zanieczyszczeń.

Niniejsza publikacja, zawarte w niej badania i obliczenia jest przykładem na to, jak zmiana paliwa może wpłynąć na ograniczenie emisji szkodliwych substancji do powietrza atmosferycznego.

## PRZYPISY

- <sup>1</sup> S. Chróściel, J. Juda, Ochrona powietrza atmosferycznego. Warszawa WNT 1974.
- <sup>2</sup> M. Gębica, Pojęcie tła przy obliczeniu zanieczyszczeń atmosferycznych. Ochrona powietrza 1985 Nr 4.
- <sup>3</sup> Por. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami z dn. 12 lutego 1990r. (Dz. U. Nr 15).



- 4 Wykaz i znaczenie oznaczeń użytych w opracowaniu:

oznaczenie	jednostki	komentarz
$S_{mm}$	mg/m <sup>3</sup>	najwyższe ze stężeń maksymalnych zanieczyszczenia
$X_{mm}$	m	odległość występowania stężenia $S_{mm}$
$D_{30}$	mg/m <sup>3</sup>	dopuszczalna wartość 30-minutowego stężenia zanieczyszczenia gazowego lub pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym
$D_{24}$	mg/m <sup>3</sup>	dopuszczalna wartość średniodobowego stężenia zanieczyszczenia gazowego lub pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym
$R_{30}$	mg/m <sup>3</sup>	30-minutowe tło zanieczyszczenia
$P_{30}$	%	dopuszczalna częstość przekraczania wartości $D_{30}$ w czasie roku
$P_{24}$	%	dopuszczalna częstość przekraczania wartości $D_{24}$ w czasie roku
$z_0$	m	współczynnik aerodynamicznej szorstkości podłoża
$x$	m	odległość: źródło emisji – receptor liczona wzdłuż kierunku wiatru
$y$	m	odległość: oś wiatru – receptor liczona po prostopadłej do kierunku wiatru

- <sup>5</sup> W. Jaworski, M. Nowicki, Obliczenia stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Warszawa PZITS 1986.
- <sup>6</sup> M. Nowicki, Wskaźnik uciążliwości emitorów i jego zastosowanie w ochronie atmosfery. Warszawa PZITS 1982.
- <sup>7</sup> Obliczeń dokonano przy pomocy systemu programów komputerowych OPA (licencja dla użytkownika nr 30/93/C).
- <sup>8</sup> M. Nowicki, Parametry empiryczne w modelach dyfuzji zanieczyszczeń w atmosferze. Warszawa PZITS 1985.

## EMISSION OF POLLUTANTS FROM THE POWER PROCESS OF FUEL COMBUSTION

### Summary

The paper throws up the findings and calculations emerging from a research on emission and concentration of pollutants in the atmosphere which were found in waste gases of a boiler house emitter in a water laundry in Inowroclaw before it had been modernized (a steam boiler running on coal was the source of the emission) and after its modernization when the boilers running on light fuel oil were installed. Thus the subject of the study was determining in what way the fuel used and consequently its parameters influenced the extent of the emission and diffusing the pollutants into the atmosphere.