

dr hab. inż. Rajmund Oruba, prof. AGH*

Rola kominów przemysłowych w inżynierii środowiska

The role of industrial chimneys in environmental engineering

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ wymagań inżynierii środowiska na rozwiązania konstrukcyjne kominów przemysłowych. Pierwszym etapem tego problemu była dyspersja spalin i związana z tym dominująca rola wysokości kominów. Drugi etap w kształtowaniu konstrukcji kominów, realizowany współcześnie, to odprowadzanie gazów spalinowych z instalacji odsiarczania spalin.

Słowa kluczowe: kominy przemysłowe, inżynieria środowiska.

Abstract. The problem of the influence of environmental engineering on constructional solutions of industrial chimneys is presented. The first point of this topic was the dominating role of the height of chimneys associated with the dispersion of flue gases. The second point related to the construction of chimneys, which is realized contemporarily, is carrying out the flue gases from the desulphurization systems.

Keywords: industrial chimneys, environmental engineering.

Kominy są niezbędnymi elementami procesu technologicznego zakładów przemysłowych. Zapewniają odpowiedni ciąg oraz odprowadzają gazy spalinowe do wyższych warstw atmosfery. Spaliny odprowadzane przez komin rozchodzą się w przestrzeni życia ludzi, zwierząt i świata roślinnego.

Kominy wolnostojące rozpowszechniły się w okresie wprowadzania silników parowych do procesów manufakturowych w czasie industrializacji pod koniec XIX wieku. Stały się one symbolem postępu technicznego. Niestety, nie dbano wówczas o ochronę środowiska naturalnego oraz nie zwracano uwagi na zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Materiałami do budowy kominów były kolejno: cegła ceramiczna; stal, a później żelbet. Budowę kominów żelbetowych rozpoczęto pod koniec XIX wieku w Niemczech i USA [1]. Pierwszy taki komin, wysokości 38 m, wybudowano w fabryce cementu w Wirtembergii w 1897 r. Do 1914 r. budowano cylindryczne komin żelbetowe wysokości do 50 m, a w okresie międzywojennym wznoszono w większych elektrowniach komin żelbetowe wysokości nawet do 150 m. Po II wojnie światowej liczba wysokich kominów żelbetowych szybko wzrastała. Najpierw były to jednoprzewodowe kominy zbieżne, później cylindryczne wieloprzewodowe.

Wysokość, przekrój poprzeczny i rozwiązania konstrukcyjne kominów są uzależnione od wielu czynników. Główne z nich, to ilość i temperatura spalin, skład chemiczny i wilgotność oraz wymagania ochrony środowiska, które należy brać również pod uwagę przy wyborze lokalizacji komin w zakładzie przemysłowym, a nawet lokalizacji całego zakładu. W analizie tej uwzględnia się m.in. kierunek dominujących wiatrów i potencjalne zagrożenia dla środowiska. Jest to problem, który czasem wykracza poza interesy jednego państwa [3].

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

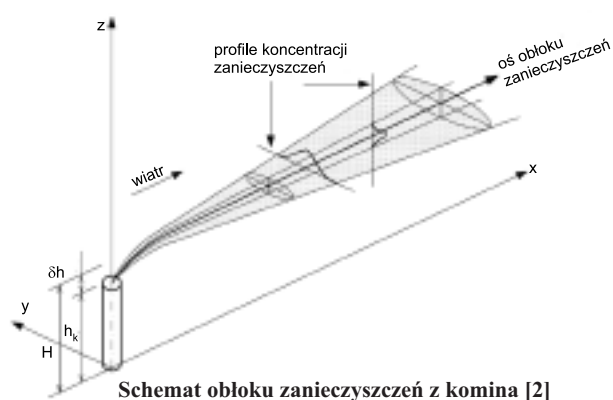
Wpływ wymagań inżynierii środowiska na rozwiązania konstrukcyjne kominów przemysłowych

Dyspersja spalin – dominująca rola wysokości komin. Stale rosnąca liczba zakładów przemysłowych powodowała lawinowo zwiększającą się ilość zanieczyszczeń odprowadzanych kominami. Podstawowym sposobem ochrony środowiska była przez wiele lat dyspersja spalin z otaczającym powietrzem. Sposób kształtowania się obłoku spalin z kominu zależy od wielu czynników. Główne z nich to temperatura spalin i otaczającego powietrza, prędkość spalin, prędkość wiatru oraz warunki atmosferyczne (zachmurzenie, nasłonecznienie itd.).

Do opisu rozprzestrzeniania się substancji zanieczyszczających w spalinach, wydalanych z kominów, stosuje się równania różniczkowe wynikające z zasad zachowania masy, pędu i ciepła. Równania te zawierają wiele współczynników, a rzeczywiste warunki graniczne są trudne do jednoznacznego określenia. Ich rozwiązania zarówno analityczne, jak i numeryczne są bardzo skomplikowane. W związku z tym **opracowano uproszczone modele opisu przemieszczania się substancji zanieczyszczających.** Najczęściej stosowany jest model dyfuzyjny Pasquilla, tzw. obłokowy model gaussowski [2, 3].

Proces dyfuzji ma cechy procesu losowego. Funkcja będąca rozwiązaniem odpowiedniego równania dyfuzji ma postać funkcji opisującej gęstość prawdopodobieństwa dla normalnego rozkładu Gaussa. Schemat gaussowskiego rozkładu obłoku zanieczyszczeń z kominu w kierunku poziomym i pionowym pokazano na rysunku.

W przypadku kominów przemysłowych źródło emisji znajduje się na poziomie o efektywnej wysokości H , która jest sumą wysokości kominu h_k oraz wzniosu δh (rysunek). Wartość wzniosu δh zależy od rzeczywistej energii strumienia spalin przy wylocie z kominu oraz różnicy temperatury spalin i powietrza zewnętrznego.



Schemat obłoku zanieczyszczeń z kominia [2]

Równanie Pasquilla na obliczenie stężenia substancji zanieczyszczającej C_A ma postać:

$$C_A(x, y, z) = \frac{\dot{m}}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \right\} \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

gdzie:

C_A – stężenie substancji zanieczyszczającej;
 σ_y, σ_z – współczynniki dyspersji (w kierunkach odpowiednio osi y i z);
 U – prędkość wiatru;
 \dot{m} – strumień emitowanego składnika zanieczyszczającego;
 H – efektywna wysokość kominia ($h_k + \delta h$).

W praktyce przyjmuje się, że na granicy obłoku spalin stężenie zanieczyszczenia wynosi $0,1 C_A \max$ stężenia występującego w osi wybranego przekroju.

Dominujące znaczenie w dyspersji spalin ma wysokość kominia. Przy jej projektowaniu należy uwzględnić: fizyczne parametry spalin (temperatura, objętość, prędkość przepływu spalin w kominie); zawartość zanieczyszczeń w spalinach oraz dopuszczalny poziom skażeń na powierzchni terenu [2, 3]. Aby umożliwić rozpraszanie spalin na dużej powierzchni, budowano coraz wyższe kominy. Dobrym przykładem tego rozwiązania może być wybudowany w 1971 r. w Kanadzie komin $H = 380$ m *Inco Superstack*, który rozprasa spaliny na odległość do 240 km.

Pierwszy wysoki komin $H = 100$ m wzniesiono w Polsce w 1952 r. w Elektrowni Jaworzno II. Do końca lat pięćdziesiątych XX wieku polskie kominy osiągały wysokość do 160 m. Na początku lat sześćdziesiątych XX wieku zmieniono i zmechanizowano urządzenia do budowy tych obiektów i zaczęto wznosić kominy bardzo wysokie. Wybudowany w 1968 r. w Elektrowni Siersza komin nr 2 wysokości $H = 260$ m był wówczas najwyższym kominem w Europie. W Polsce z reguły wznoszono „tradycyjne” kominy jedнопrzewodowe z wymurówką ceramiczną przylegającą do trzonu żelbetowego. Na świecie jest ponad 300 kominów wysokości przynajmniej 200 m, z czego 28 zlokalizowanych jest w Polsce. Największą wysokość ma komin $H = 420$ m w Ekibastuz w Kazachstanie.

Instalacje do fizycznych procesów odpylania spalin w elektrofiltrach, montowane w wysokich kominach, przyczyniły się do pewnej poprawy jakości powietrza. Metody te nie pozwoliły jednak na wyeliminowanie chemicznych skażeń odprowadzanych kominami, takich jak dwutlenek siarki, tlenki azotu, chlorki, tlenki węgla, arsen, związki ołowiu i miedzi oraz wiele innych toksycznych substancji.

Wpływ instalacji odsiarczania spalin na rozwiązania konstrukcyjne kominów. Na początku lat siedemdziesiątych XX wieku, na skutek oddziaływania spalin z kominów przemysłowych, stwierdzono znaczne zakwaszenie gleby

i wód powierzchniowych. Kwaśne deszcze, zawierające tlenki siarki i azotu oraz ich produkty reakcji w atmosferze, czyli rozcieńczone roztwory kwasu siarkowego i azotowego, działają niszcząco na cały ekosystem. Powodują także znaczne przyspieszenie korozji konstrukcji budowlanych.

Przemysł nie mógł kontynuować produkcji bez rozwiązania problemu jakości powietrza. Pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku środowiska naukowe i inżynierskie podjęły próbę usunięcia trujących substancji znajdujących się w spalinach. Działania te były wymuszone dobrze zorganizowanym ruchem środowisk proekologicznych. Obecne zapisy w aktach prawnych stawiają bardzo ostre wymagania dotyczące zawartości szkodliwych substancji w spalinach [4]. O skuteczności podjętych działań świadczy m.in. fakt, że zawartość SO_2 w spalinach „surowych”, bez odsiarczania, dochodziła nawet do 6500 mg/Nm³, a obecnie po zastosowaniu IOS wynosi poniżej 200 mg/Nm³.

Procesy skutecznego odsiarczania spalin i usuwania innych skażeń chemicznych zaczęto stosować w latach osiemdziesiątych XX wieku. W związku z radykalnym zmniejszeniem się zanieczyszczeń w spalinach zaprzestano budowania bardzo wysokich kominów. Jednak nawet w przypadku stosowania procesów pozabawiania spalin substancji chemicznych kominy przemysłowe powinny mieć wysokość nie mniejszą niż 100 m [3].

Odsiarczanie spalin, bardzo korzystne dla środowiska naturalnego, stanowi duże zagrożenie dla konstrukcji kominów. Instalacje odsiarczania spalin, szczególnie metodą moką, powodują obniżenie temperatury spalin i zwiększenie ich wilgotności, a w konsekwencji intensywną kondensację spalin [1]. W związku z tym przewody spalin kominów współpracujących z IOS muszą charakteryzować się całkowitą szczelnością i ekstremalną odpornością na korozyjne oddziaływanie silnie agresywnego kondensatu spalin. Obecnie powszechnie buduje się kominy wieloprzewodowe z zachowaniem przestrzeni wentylowanej pomiędzy przewodami spalin a żelbetowymi trzonami nośnymi.

Podsumowanie

Kominy przemysłowe są niezbędnym elementem w procesie technologicznym zakładów przemysłowych, głównie elektrowni i elektrociepłowni. Pełnią one także ważną rolę w inżynierii środowiska. Pierwszym etapem poprawy jakości powietrza w przestrzeni wokół emitorów było zapewnienie dyspersji spalin. Osiągano to przez budowę bardzo wysokich kominów i stosowanie fizycznego odpylania spalin w elektrofiltrach. Powszechnie wprowadzanie instalacji odsiarczania spalin od lat osiemdziesiątych XX wieku przyczyniło się do znacznej poprawy jakości powietrza. Jest to jednocześnie koniec ery ekstremalnie wysokich kominów przemysłowych.

Artykuł opracowano w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

Literatura

- [1] Oruba R.: Oddziaływanie środowiska przemysłowego i eksploatacji górniczej na bezpieczeństwo żelbetowych kominów przemysłowych, Monografia Nr 211, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2010.
- [2] Rup K.: Procesy przenoszenia zanieczyszczeń w środowisku naturalnym, WNT, Warszawa, 2006.
- [3] The CICIND Chimney Book, CICIND, Zürich, 2005.
- [4] Ustawa prawo ochrony środowiska (Dz.U. nr 62 z 2001 r., poz. 627) z 27 kwietnia 2001.