

dr inż. Andrzej Kukliński
inż. Jerzy Korczowski

Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska
Politechniki Wrocławskiej

ZAGADNIENIA WYRZUTU WILGOTNYCH SMUG Z CHŁODNI KOMINOWYCH

Jednym z głównych układów elektrowni jest układ chłodzenia, służący do odebrania ciepła pary wodnej, kondensującej w skraplaczach. Para wodna jest ochładzana w kondensatorze wodą bieżącą, pobieraną z powierzchni rzek czy jezior, która w wyniku tego procesu jest podgrzewana od 5 do 15°C, w zależności od temperatury początkowej wody. Usunięcie bezpośrednio podgrzanej wody z powrotem do zbiornika jest ze względów ekologicznych bardzo niekorzystne, dlatego też do chłodzenia wody przed ponownym jej użyciem (lub wydalaniem do zbiornika, z którego była pobrana) stosuje się zazwyczaj w naszym kraju atmosferyczne wieże chłodnicze. Woda chłodząca w tych wieżach doprowadzana jest do wież w postaci rozkropionej, przy użyciu dysz umieszczonych wewnątrz chłodni i jest ochładza-

na przez bezpośredni kontakt z powietrzem atmosferycznym [1]. Obniżenie temperatury ogrzanej wody chłodzącej uzyskuje się:

- przez odparowanie części wody kosztem ciepła w niej zawartego,
- przez konwencję ciepła wody do stykającego się z nią chłodniejszego powietrza oraz
- przez dodanie zimnej wody.

Chłodnie opisanego wyżej typu wyrzucają do atmosfery nagrzane powietrze, nasiąknięte parą wodną. Przyjmuje się wartość 30.000 m³/s powietrza wyrzucanego przez chłodnie elektrowni, która posiada moc 1000 MW. Ciepło wyrzucane jest do atmosfery w postaci ciepła utajonego i jawnego, a równanie bilansu wynosi:

$$Q=L(Q_R-Q_A)+\rho_R \cdot C_P(T_R-T_A) \quad (1)$$

gdzie:

Q — całkowita ilość ciepła oddana do atmosfery,

L — ciepło utajone parowania wody odniesione do jednostki objętości wody,

Q_R, Q_A — wilgotności bezwzględne powietrza (atmosferycznego) na wyjściu i wejściu do chłodni,

T_R, T_A — temperatura powietrza wychodzącego i wchodzącego do chłodni,

ρ_R — masa właściwa powietrza przy wyjściu z chłodni,

C_P — ciepło właściwe powietrza wilgotnego.

Łatwo obliczyć, że ilość ciepła wydalonego do atmosfery wynosi od 10 do 20 kcal/m³ powietrza wydalonego. Dla elektrowni o mocy 1000 MW daje to ok. 1500 · 10⁹ cal ciepła wyrzuconego do atmosfery w ciągu godziny. Należy zwrócić uwagę, że ok. 70% ilości ciepła oddawane jest do atmosfery w postaci utajonego, a 30% — jawnego. W sumie elektrownia o mocy 1000 MW wyrzuca do atmosfery ok. 2200 t pary/godz.

Wyniesienie smugi zanieczyszczeń do atmosfery

Pole prędkości powietrza we wnętrzu chłodni wytworzone ciągiem naturalnym jest bardzo nierównomierne, a średnia prędkość przy wyjściu waha się od 3 do 5 m/s. Powietrze, po opuszczeniu wylotu z chłodni, ulega gwałtownemu mieszanii z powietrzem atmosferycznym, co prowadzi za sobą stopniowe zmniejszenie prędkości pionowej w zależności od stanu równowagi atmosfery i prędkości poziomej. Można więc postawić pytanie jak duże będzie w przypadku emisji znacznych ilości ciepła i wilgoci wyniesienie smugi (tzn. różnica między wysokością osi smugi i poziomem wyjścia z chłodni).

Wielkość wyniesienia całkowitego z największą dokładnością można określić przy pomocy formuły Briggsa, uwzględniającej różne stany dynamiczne atmosfery [2]. Briggs [3] wprowadził do rozważań nad wyniesieniem wilgotnych smug podstawową wielkość w postaci:

$$F=g \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_R} \right) w \cdot \frac{D^2}{4} \quad (2)$$

gdzie:

g — przyspieszenie ziemskie,

ρ_A — gęstość powietrza otoczenia,

ρ_R — gęstość powietrza wilgotnego (przy wyjściu z chłodni),

w — prędkość wylotu powietrza wilgotnego,

D — średnica wylotu chłodni.

Parametr F można zapisać również w postaci:

$$F = \frac{g \cdot Q_j}{\pi(\rho_A \cdot C_P \cdot T)_P} \quad (3)$$

gdzie:

Q_j — emisja ciepła jawnego z chłodni,

$(\rho_A \cdot C_P \cdot T)_P$ — entalpia powietrza.

(Dla przybliżonych obliczeń przyjęc można wartość F równą $F=3,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_j$ gdy Q_j jest wyrażone w cal/s).

Podstawa zależności opracowana przez Briggsa, pozwalająca na wyniesienie Δh osi smugi, dla odległości poziomej x od chłodni, podczas gdy prędkość wiatru jest różna od zera, może być odniesiona dla dowolnego stanu równowagi termicznej atmosfery. Ma ona postać:

$$\Delta h = 1,6 \cdot F^{1/3} \cdot \frac{x^{2/3}}{u} \quad (4)$$

gdzie: u — prędkość wiatru.

Dla równowagi stałej atmosfery powyższą zależność stosuje się do odległości

$$X = \frac{2,4 u}{S^{1/2}} \quad (5)$$

gdzie: S — parametr stabilności powietrza równy

$$S = \frac{g}{\theta_p} \cdot \frac{\delta \theta_p}{\delta z} \quad (6)$$

gdzie:

θ_p — temperatura potencjalna otaczającego powietrza

$\frac{\delta \theta_p}{\delta z}$ — gradient temperatury

Natomiast gdy równowaga powietrza jest obojętna lub chwiejna to zastosowanie formuły Briggsa jest ograniczone do odległości:

$$X = 2,2 F^{2/5} \cdot h^{3/5} \quad (7)$$

gdzie: h — wysokość wieży chłodniczej

Po przekształceniu równania (4) poprzez podstawienie (5) dla równowagi stałej, przy prędkości różnej od zera otrzymamy:

$$\Delta h = 2,9 \left(\frac{F}{u \cdot s} \right)^{1/3} \quad (8)$$

W tabeli 1 zestawiono jako przykład dla chłodni zainstalowanej przy elektrowni o mocy 1000 MW wyniesienie całkowite obliczone z powyższego wzoru [4]. Obliczenia wykonano dla szeregu wartości prędkości wiatru u i dla 3 wartości gradientu temperatury przy równowadze stałej. Wyższe liczby oznaczają wyniesienie końcowe smugi, natomiast dolne — odległości poziome, na których te wyniesienia występują.

Tabela 1

$\frac{\delta\theta_p}{\delta z}$	u					
	1	2	3	4	5	6
0	688	546	478	433	402	320
	130	260	390	520	650	1300
1	546	433	379	344	319	254
	92	184	276	368	460	920
2	478	379	332	301	279	222
	75	150	225	300	375	750

Dla atmosfery w stanie równowagi stałej, bez wiatru Briggs uzyskał zależność na wyniesienie Δh :

$$\Delta h = 4,7 \cdot F^{1/4} \cdot S^{-3/8} \quad (9)$$

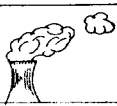
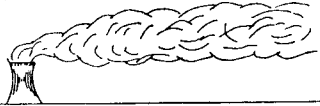


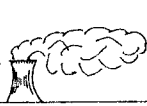
Dla przykładu, w tych samych warunkach jak poprzednio wyniesienia osiągną następujące wartości:

$$\frac{\delta\theta_p}{\delta z} = 0^\circ/100 \text{ m} \quad \Delta h = 855 \text{ m}$$

$$\frac{\delta\theta_p}{\delta z} = 1^\circ/100 \text{ m} \quad \Delta h = 654 \text{ m}$$

$$\frac{\delta\theta_p}{\delta z} = 2^\circ/100 \text{ m} \quad \Delta h = 563 \text{ m}$$

Jak wynika z powyższych rozważań, całkowite wyniesienie smugi wilgotnego powietrza osiągnąć może znaczne wartości, porównywalne z efektywnymi wysokościami osiąganymi przez zanieczyszczenia emitowane przez kominy elektrowni (których wysokość geometryczna jest zazwyczaj znacznie większa niż wysokość chłodni). Zachodzić może wówczas zjawisko łączenia się smug spalin z kominów elektrowni i pary wodnej z chłodni kominowych. Wiadomo, że intensywność utleniania (konwersji) dwutlenku siarki do aerozolu kwasu siarkowego jest proporcjonalna do zawartości pary wodnej występującej w atmosferze. Z drugiej strony aerozole atmosferyczne, powstające przede wszystkim z utleniania dwutlenku siarki stanowią główną część jąder kondensacji pary wodnej, co w efekcie doprowadza do pod-

Stan atmosfery	Zachowanie się smugi widocznej	Wpływ na środowisko
Powietrze niesamłe, suche, silny wiatr		Pomijalne
Powietrze stałe i bardzo wilgotne. Wiatr umiarkowany		obecność smugi w dużej odległości
Powietrze stałe i wilgotne do niskiej wysokości/powyszej wiatry. Następnie nieostateczne, wiatr umiarkowany		Słabo się kształtuje
Równowaga termiczna zbliżona do neutralnej. Powietrze wilgotne, słaby wiatr		Widoczne przez tworzenie się chmur
Równowaga termiczna zbliżona do neutralnej. Powietrze wilgotne, wiatr bardzo silny		Słabo kształtuje się. Ryzyko zębnięcia się z ziemią gdy wiatra jest niewysoka

wyższenia kwasowości opadów. Tak więc można przypuszczać, że w przypadku spalania zasilanego paliwa i obecności znacznych ilości związków siarki w spalinach, nakładanie się obu tych smug może wprawdzie prowadzić do przyspieszonego usuwania tlenków siarki z powietrza, lecz jednocześnie grozi pojawieniem się silnie zakwaszonych opadów w pobliżu elektrowni. Na rys. 1 przedstawiono kilka przykładów zachowania się smugi pary wodnej dla różnych warunków meteorologicznych.

LITERATURA

1. F. Gruhier: Les tours de réfrigération, *Météorologie Appliquée* 1975, nr 2 s. 79—88.
2. J. Juda, S. Chróściel: *Ochrona powietrza atmosferycznego WNT Warszawa 1974.*
3. G. A. Briggs: A plume rise compared with observations, *J. Air Poll. Control Assoc.* 1965, nr 5.
4. G. Tschirhart: Le comportement dynamique et thermodynamique d'une masse d'air chaud et humide rejetée dans l'atmosphère, *Météorologie Appliquée* 1975 nr 2 s. 89—104.