

OCENA KRYTERIUM STOSOWALNOŚCI MODELI OBLICZENIOWYCH PRZESTRZENNEGO ROZKŁADU PYŁÓW W POWIETRZU ATMOSFERYCZNYM

Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 r. w sprawie ochrony powietrza atmosferycznego (Dz. U. 24/80, poz. 89) wiadomo, że przy określaniu przestrzennego rozkładu pyłów wprowadzanych do powietrza atmosferycznego, należy wyznaczyć dwie wielkości tj. stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym, wyrażane w mg/m^3 oraz masę pyłu opadającego na powierzchnię ziemi, wyrażoną w t/km^2 w ciągu roku lub w ciągu miesiąca. Obie te wielkości (stężenie i opad) odzwierciedlają naturalnie zachodzący, w ośrodku gazowym — jakim jest powietrze atmosferyczne — proces rozdziału całej masy, wprowadzonego doń pyłu, na ziarna opadające na powierzchnię ziemi pod wpływem siły grawitacji oraz na ziarna dyfundujące w powietrzu i jako takie utrzymujące się w nim przez dłuższy czas w stanie zawieszonym.

Praktyczną konsekwencją takiego rozdziału całej masy pyłów są dwie grupy modeli obliczeniowych, jakie stosuje się przy określaniu przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Jedną stanowią tzw. modele dyfuzyjne, umożliwiające określenie przestrzennego rozkładu wartości stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym. Wśród nich jako częściej stosowane można wymienić wzory Suttona [1, 2], Pasquille'a [3, 4], Bosanqueta i Pearsona [5]. Natomiast drugą grupę tworzą modele uwzględniające — obok mechanizmu dyfuzyjnego rozprzestrzeniania ziaren pyłowych, stanowiącego istotę pierwszej grupy modeli — znaczące oddziaływanie siły grawitacji ziemskiej. Przykładami tej drugiej grupy modeli obliczeniowych są wzory Bosanqueta, Carey, Halton [6], Krieba [7], czy Gregory'ego i Chamberlaina [8].

Problem

Istnienie dwóch grup modeli obliczeniowych, wykorzystywanych w praktyce wyznaczania przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń atmosfery, wymaga określenia jednoznacznego kryterium ich stosowalności. Z praktyki prowadzonych obliczeń rozprzestrzeniania zanieczyszczeń pyłowych wiadomo, że jako jedyne kryterium stosowalności jednej lub drugiej grupy modeli są przyjmowane rozmiary ziaren pyłowych. I tak na przykład w Polsce do niedawna — stosownie do ówczesnie obowiązujących tabel dopuszczalnych stężeń substancji w powietrzu atmosferycznym (Dz. U. 42/66, poz. 253), wszystkie ziarna pyłowe (niezależnie od rodzaju substancji z jakiej są one wytworzone), o wymiarach mniejszych od $20\mu\text{m}$, traktowano

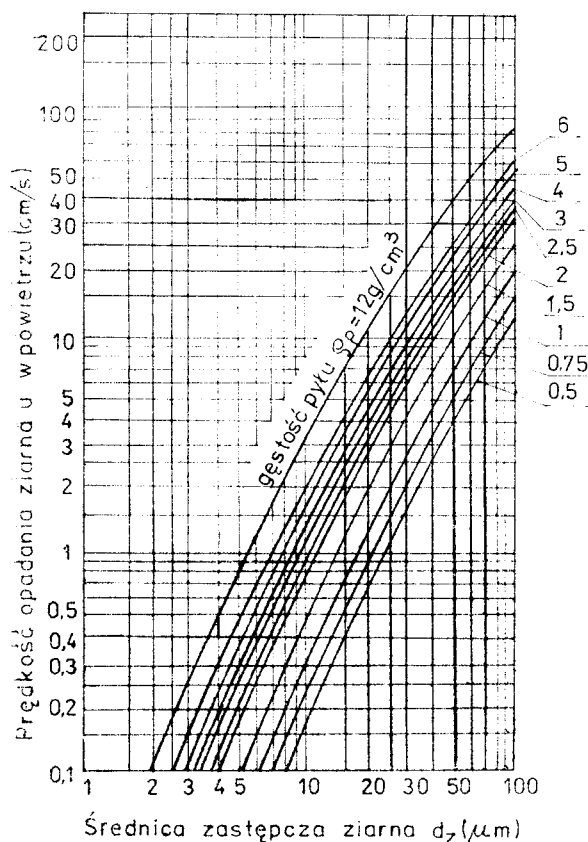
jako zawieszone w powietrzu atmosferycznym zaś ziarna o wymiarach większych od $20\mu\text{m}$ za opadające na powierzchnię ziemi. W ostatnio opublikowanych wytycznych [9] tę graniczną wartość ustalono na $10\mu\text{m}$.

Ustalone w ten sposób kryterium podziału pyłów emitowanych do atmosfery: na ziarna opadające na powierzchnię ziemi i na ziarna pozostające przez dłuższy czas w stanie zawieszonym (będące jednocześnie praktyczną wytyczną stosowalności każdej z dwóch uprzednio wymienionych grup modeli obliczeniowych ich rozprzestrzeniania) wydaje się być niejednoznaczne i jako takie wymaga stosownej weryfikacji. Wiadomo bowiem, że do atmosfery emitowane są pyły różniące się nie tylko granulometrycznie, lecz także innymi cechami, wśród których szczególne znaczenie dla problemu, rozpatrywanego w niniejszym artykule, ma także ich gęstość. Jeśli przykładowo porównać pyły mineralne z pyłami drzewnymi, okazuje się, że właśnie ze względu na zauważalne różnice w ich rzeczywistej gęstości zjawiskiem opadania na powierzchnię ziemi objęte są znacznie drobniejsze frakcje pyłów mineralnych, powstałych z materiałów odznaczających się większą gęstością, w porównaniu z drewnem. W kontekście powyższego przykładu jasnym się staje, że mianowanego kryterium, dla rozpatrywanego zjawiska rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, należy upatrywać w wielkościach zależnych zarówno od wymiarów poszczególnych ziaren pyłu jak i od ich gęstości.

Wielkością taką jest stosowana w mechanice aerozoli prędkość opadania (u_p), charakteryzująca wymiary ziaren (d) w zależności od gęstości materiału (ρ). Pomiaru prędkości opadania — jako parametru umownego — dokonuje się bezpośrednio w nieruchomym powietrzu, o ciśnieniu 1013,25 hPa (760 mmHg) i temperaturze 20°C . Stosowne zależności ilustruje monogram przedstawiony na rys. 1.

Wartości prędkości opadania przedstawione na rys. 1 odnoszą się do warunków swobodnego opadania w nieruchomym powietrzu ziaren o założonym kształcie kulistym. Tym samym przy rozpatrywaniu zjawiska rozprzestrzeniania się ziaren pyłowych w powietrzu atmosferycznym należy dodatkowo uwzględnić wartość prędkości aktualnie wiejącego wiatru (w).

Pomocne w tym względzie — stosownie do rozważań teoretycznych Lucasa [10] — będzie stwierdzenie, że dla utrzymania się ziaren pyłowych przez dłuższy czas w powietrzu atmosferycznym konieczny jest warunek aby $u_p \leq 0,05 w$.



Rys. 1 Prędkość opadania ziarna pyłu w nieruchomym powietrzu w zależności od wymiaru ziarn i gęstości pyłu

Korzystając z powyższej zależności oraz monogramu przedstawionego na rys. 1, wykonano obliczenia górnych wartości granicznych wymiarów ziaren pyłowych (określonych jako średnice zastępcze d_z), podlegających jeszcze, z wystarczającą do praktycznych obliczeń dokładnością prawu dyfuzji i tym samym rzeczywiście zdolnych do utrzymywania się przez dłuższy czas w stanie zawieszonym w powietrzu atmosferycznym. Wyniki obliczeń przedstawia rys. 2.

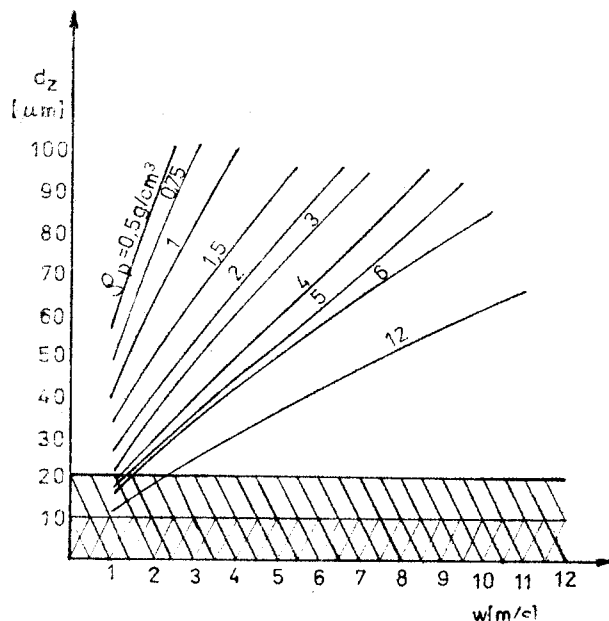
Z zależności przedstawionych na rys. 2 wynika wyraźnie, że:

- pyły substancji o różnej gęstości posiadają różny zakres wymiarowy ziaren, zdolnych do utrzymywania się w stanie zawieszonym w powietrzu atmosferycznym,
- górna granica tego zakresu zmniejsza się wraz ze wzrostem gęstości pyłu i zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości wiejącego wiatru,
- zalecana odnośnymi wytycznymi wartość $d_z = 10 \mu\text{m}$ jako górna granica wymiarowa stosowalności modeli dyfuzyjnych, rozprzestrzenienia pyłów prowadzi do istotnego zaniżenia wyliczanych wartości stężeń pyłu zawieszonego, przy jednoczesnym nieuzasadnionym zawyżaniu wyliczanych wartości opadu pyłu.

Konkluzja

Na podstawie rozważań przedstawionych wyżej należy stwierdzić, że:

1. Posługiwanie się wielkością ziaren (średnicą), jako jedynym kryterium zaliczania



Rys. 2 Graniczny wymiar ziaren (d_z) utrzymujących się w stanie zawieszonym w powietrzu atmosferycznym w zależności od gęstości pyłu (ρ_p) i prędkości wiejącego wiatru (w)

ich do grupy pyłów opadających na powierzchnię ziemi, bądź zawieszonym w powietrzu atmosferycznym nie jest wystarczająco dokładne.

2. Dla osiągnięcia wymaganej dokładności obliczeń konieczne jest — stosownie do zależności przedstawionych na rys. 2 — korelowanie średnicy ziaren pyłowych z ich gęstością, wyrażaną prędkością opadania oraz prędkością wiejącego wiatru.

3. Ze względu na możliwość niejednoznacznej interpretacji omawianych korelacji, postuluje się wprowadzenie, do obowiązujących „Wytycznych obliczania stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego”, stosowanego uściślenia, przy wykorzystaniu materiału zaprezentowanego w niniejszej pracy.

LITERATURA

1. O. G. SUTTON: The problem of diffusion in the lower atmosphere. *Quarter Journal of Royal Meteorological Society* **73**, 257 (1947).
2. O. G. SUTTON: *Micrometeorology*, McGraw-Hill, New York 1953 str. 333.
3. F. PASQUILL: The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorolog. Mag.* **90**, (33), 1063 (1961).
4. F. PASQUILL: *Atmospheric Diffusion*, Wiley, New York 1974, str. 429.
5. C. H. BOSANQUET, J. L. PEARSON: The spread of smoke and gases from chimneys. *Transaction of Faraday Society* **32**, 1249 (1936).
6. C. H. BOSANQUET, W. F. CAREY, E. M. HALTON: Dust deposition from chimney stacks. *Proc. Inst. Mech. Engrs. (London)* **3**, (162), 355 (1950).
7. K. H. KRIER: Theoretische Betrachtungen zur Frage der Staubausbreitung. *Mitteilungen der VGB der* **37**, 700 (1955).
8. A. C. CHAMBERLAIN: A.E.R.E. Harwell Report HP/R1261, 1953.
9. „Wytyczne obliczania stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego” — Wyd. PZITS nr 351 Warszawa 1981.
10. D. H. LUCAS: Certain aspects of the deposition of dust. *Journal of the Institute of Fuel* **202**, 623 (1957).