

Sprawozdanie

Modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze źródła punkowego

Amadeusz Filipek

Laboratorium komputerowe WFILS AGH

1. Wstęp

Celem ćwiczenia jest wykonanie modelowych obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia w postaci dwutlenku siarki wydobywającego się z komina elektrociepłowni w Krakowie.

Modelowanie poziomu stężeń zanieczyszczeń zarówno gazowych jak i pyłowych w powietrzu jest uregulowane przez rozporządzenie Ministra Środowiska z 26.01.2010 r. w sprawie odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. nr 16 z 2010 roku, poz. 87).

Chcąc policzyć stężenie dwutlenku siarki w powietrzu na terenie wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH przy zadanej emisji zanieczyszczenia z komina elektrociepłowni należy wykorzystać wzory podane w rozporządzeniu.

2. Przebieg obliczeń

Rozkład stężenia substancji gazowej przy powierzchni ziemi w odległości x od emitera opisany jest zawartym w punkcie 4.2 rozporządzenia wzorem nr. 4.8 :

$$S_x = \frac{E_g}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{\sigma_y^2}\right) \cdot 1000 \text{ } [\mu g/m^3]$$

Symbole we wzorze pokrywają się z oznaczeniami przedstawionymi w załączniku nr 3 do rozporządzenia (tabela 1.). W powyższym wzorze E_g stanowi emisję substancji gazowej wyrażoną w $\frac{mg}{s}$. W obliczeniach przyjąłem wartość emisji równą 5760 ton/rok SO_2 stanowiącą emisję Krakowskiej elektrociepłowni z roku 2010 na podstawie danych Europejskiego Rejestru Emisji i Transferu Zanieczyszczeń (E-PRTR). Przyjętą wartość emisji przeliczyłem na zadaną jednostkę mg/s .

Kolejny parametr H stanowi efektywną wysokość emitera i dany jest wzorem (2.1 roz.):

$$H = h + \Delta h$$

gdzie h jest wysokością komina a Δh stanowi wyniesienie gazów odlotowych. Wysokość rozważanego komina przyjąłem równą 120 m odpowiadającą nowemu kominowi budowanemu w elektrociepłowni. Wysokość wzniesienia gazów przyjąłem równą 15% wysokości komina.

Następnym parametrem we wzorze jest \bar{u} czyli średnia prędkość wiatru w warstwie od geometrycznej wysokości emitera h do efektywnej wysokości emitera H i wyrażona jest wzorem (2.13 roz.):

$$\bar{u} = \frac{u_a}{(H-h)(1+m)14^m} (H^{1+m} - h^{1+m})$$

gdzie m jest współczynnikiem zależnym od stanu atmosferycznego a u_a jest prędkością wiatru na wysokości anemometru (14 m). Prędkość wiatru u_a w obliczeniach zmieniam w zakresie $1 - 3 \frac{m}{s}$.

Ostatnimi parametrami są współczynniki poziomej oraz pionowej dyfuzji atmosferycznej σ_y i σ_z wyrażone wzorami (2.16 i 2.18 roz.):

$$\sigma_y = Ax^a \quad \sigma_z = Bx^b$$

gdzie

$$A = 0.088 \left(6m^{-0.3} + 1 - \ln \frac{H}{z_0} \right), \quad B = 0.38m^{1.3} \left(8.7 - \ln \frac{H}{z_0} \right)$$

Współczynniki a, b zależą od stanu atmosferycznego natomiast z_0 stanowi średnią wartość współczynnika aerodynamicznego szorstkości terenu na obszarze objętym obliczeniami. Przyjęta do obliczeń wartość z_0 na podstawie tab. 4 pkt 2.3 roz. wynosi 1.5 dla terenu Krakowa o zabudowie średniej.

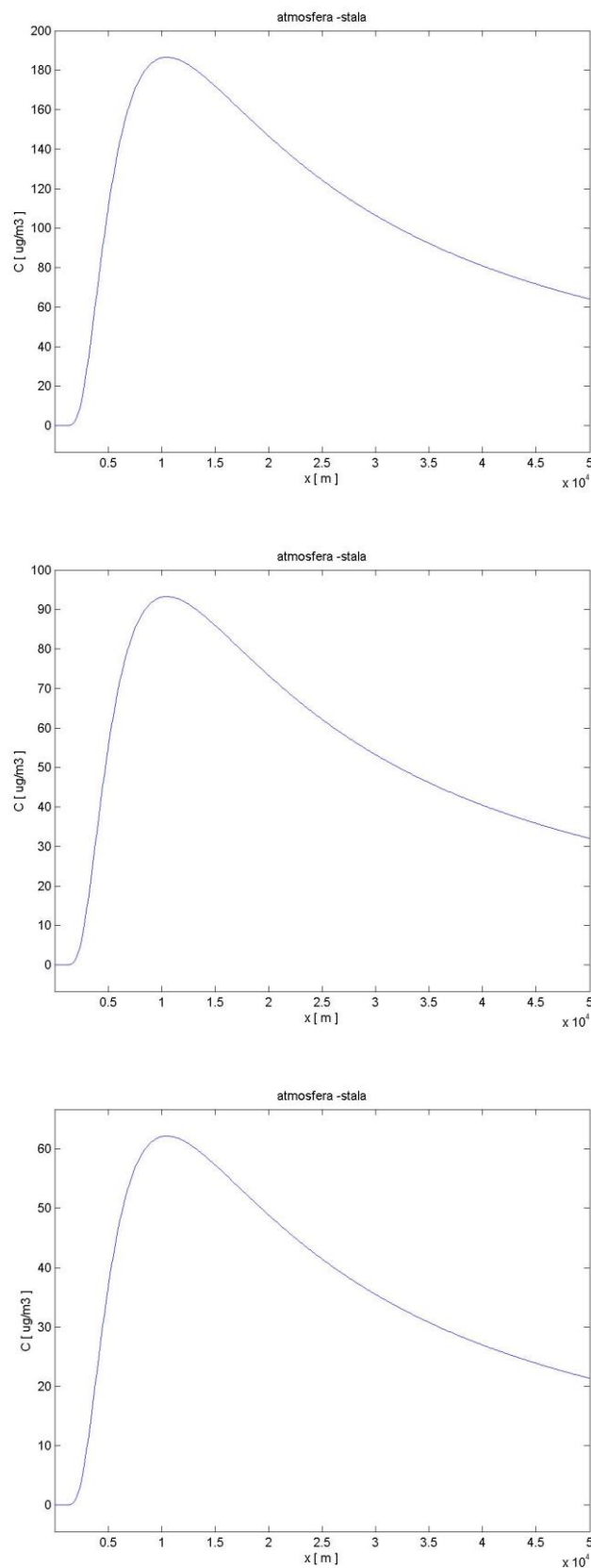
W rozporządzeniu zdefiniowane jest 6 stanów atmosferycznych i dla każdego z nich przypisane są wartości współczynników m, a, b dane w tabeli 3 pkt 2.2 roz.:

Tabela 3. Stałe zależne od stanów równowagi atmosfery

Stała	Stan równowagi atmosfery					
	1	2	3	4	5	6
m	0,080	0,143	0,196	0,270	0,363	0,440
a	0,888	0,865	0,845	0,818	0,784	0,756
b	1,284	1,108	0,978	0,822	0,660	0,551
g	1,692	1,781	1,864	1,995	2,188	2,372
C_1	0,213	0,218	0,224	0,234	0,251	0,271
C_2	0,815	0,771	0,727	0,657	0,553	0,457

3. Uzyskane rozkłady

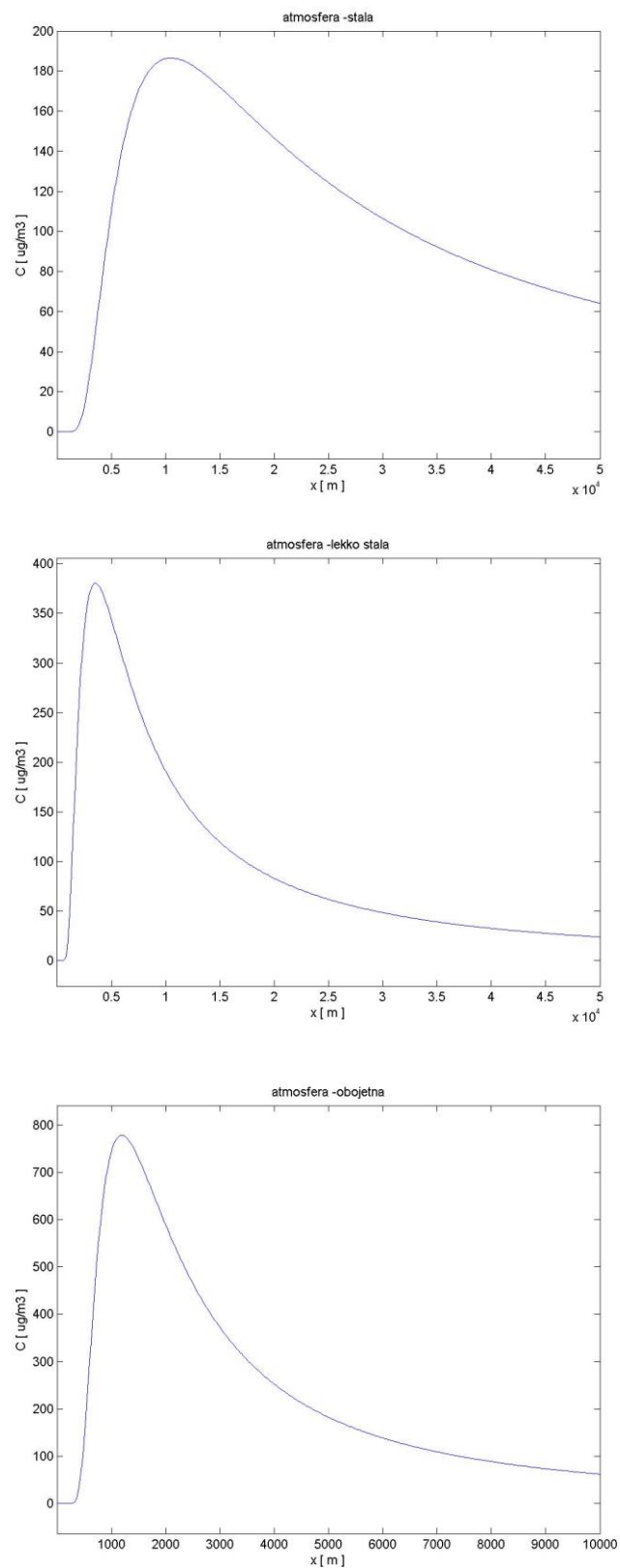
Wykonałem obliczenia rozkładu stężenia dla atmosfery o równowadze stałej (nr. 6) zmieniając prędkość wiatru u_a w zakresie od $1 - 3 \frac{m}{s}$. Uzyskane rozkłady stężenia dwutlenku węgla przy powierzchni ziemi przedstawione są poniżej:



Wykres 1. Rozkłady stężenia SO_2 w odległości od emitera w kierunku wiatru przy prędkościach wiatru kolejno 1, 2, 3 m/s

Rozkłady na powyższych wykresach mają ten sam kształt, jednakże wartości stężeń maleją przy rosnącej prędkości wiatru. Zatem prędkość wiatru sprzyja dyssypacji zanieczyszczenia i zmniejszeniu maksymalnej koncentracji.

Kolejne obliczenia zostały wykonane przy stałej prędkości wiatru $u_a = 1 \text{ m/s}$ lecz przy zmianie stanu równowagi atmosfery ze stałej(nr. 6) na lekko stałą(nr. 5) oraz obojętną(nr. 4). Poniżej przedstawione są rozkłady uzyskanych stężeń zanieczyszczenia przy powierzchni ziemi:



Wykres 2. Rozkłady stężenia SO_2 w odległości od emitera w kierunku wiatru dla stanów atmosfery kolejno nr. 6, 5, 4

Stany atmosfery wpływają na cyrkulację powietrza. Na powyższych wykresach widać różnicę zarówno w wartościach maksymalnych stężenia jak i w rozkładzie przestrzennym. Przejście między kolejnymi stanami atmosferycznymi prowadzi do przesunięcia maksymalnego stężenia bliżej emitera oraz zwiększenia jego wartości. Dla równowagi obojętnej atmosfery największe stężenia dwutlenku węgla występują blisko komina, w obszarze odległości 1 – 2 km.

4. Stężenie na wydziale

Następuje pytanie, jaki stan atmosferyczny oraz jaka prędkość wiatru powodują największe stężenie dwutlenku siarki w obszarze wydziału WFilS AGH. Wydział znajduje się w odległości około 7.2 km od analizowanego komina. Poniższa tabela przedstawia uzyskane wartości uzyskanych stężeń zanieczyszczenia dla różnych stanów atmosfery oraz prędkości wiatru:

Tabela 1. Stężenie SO₂ na wydziale dla różnych stanów atmosfery oraz prędkości wiatru

	Stan atmosferyczny	1	2	3	4	5	6
prędkość wiatru [m/s]							
1		4.2	12.8	33	105	264.5	166
2		2	6.4	16.5	52	132.3	83
3		1.4	4.3	11	35	88.2	55.3

Trzy najgorsze scenariusze z punktu widzenia wydziału stanowią w kolejności:

- atmosfera lekko stała z prędkością wiatru $u_a = 1 \frac{m}{s}$
- atmosfera lekko stała z prędkością wiatru $u_a = 2 \frac{m}{s}$
- atmosfera stała z prędkością wiatru $u_a = 1 \frac{m}{s}$

Zatem najgorsze scenariusze stanowią sytuację spokojnej, bezwietrznej pogody z kierunkiem wiatru w stronę wydziału. Sytuacja ta może wystąpić np. w okresie zimy, kiedy niska temperatura powietrza powoduje jego niską cyrkulację.

5. Podsumowanie

W ramach ćwiczenia wykonałem obliczenia rozkładu stężenia dwutlenku siarki emitowanego przez komin elektrociepłowni w Krakowie na podstawie rozporządzenia Ministra Środowiska (Dz. U. nr 16 z 2010 roku, poz. 87). Zbadałem jak rozkład zanieczyszczenia zmienia się dla różnych prędkości wiatru oraz przy różnym stanie równowagi atmosfery. Następnie obliczyłem stężenie gazu na wydziale WFilS AGH dla wszystkich przypadków i wyznaczyłem sytuacje krytyczne. Zauważyłem, że scenariuszem najgorszym z punktu widzenia zanieczyszczenia powietrza jest stan spokojnej atmosfery bez dynamicznej cyrkulacji powietrza a także o niskiej prędkości wiatru.