

Małgorzata Friedrich, Aleksandra Antoniewicz

Sposoby interpretacji wyników modelowania dyspersji odorantów w powietrzu atmosferycznym

Prognozowanie stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego jest jednym z podstawowych narzędzi wykorzystywanych w trosce o jego jakość, która ma istotny wpływ na zdrowie i życie ludzi [1, 2]. Przyjmuje się, że nie ma zagrożenia zdrowia i życia człowieka wówczas, jeśli nie są przekroczone stężenia wybranych związków [3, 4], które zostały ustalone na podstawie eksperymentalnych badań toksycznego wpływu pojedynczych substancji na żywe organizmy. Jakkolwiek odrębne traktowanie zanieczyszczeń równocześnie występujących w powietrzu jest powszechnie akceptowane i stosowane podczas rutynowych analiz jakości powietrza, nie umożliwia jednak właściwej oceny sytuacji, ponieważ zaniedbuje skumulowane działanie toksyczne zanieczyszczeń na organizm człowieka [5, 6] oraz nie obejmuje ich uciążliwości zapachowej [7], istotnie wpływającej na komfort życia i – pośrednio – na stan zdrowia ludzi [8].

Aby ocenić uciążliwość zapachową zanieczyszczeń, w prognozowaniu stanu powietrza należy uwzględnić łączny wpływ poszczególnych zanieczyszczeń równocześnie występujących w powietrzu na jego jakość. Takie podejście jest konieczne, ponieważ zapach powietrza jest skutkiem skumulowanego oddziaływania wszystkich jego składników na zmysł węchu, a nie każdego z osobna [9, 10]. Uwzględnienie reakcji węchowych ludzi na skumulowane oddziaływanie zanieczyszczeń jest możliwe podczas prognozowania stanu powietrza atmosferycznego dzięki zastosowaniu wielkości wyrażonych w jednostkach zapachowych [11]. Jednostka zapachowa (ou) odnosi się do całej mieszaniny gazowej, a nie jej poszczególnych składników. Oznacza ona taką ilość dowolnej mieszaniny odorantów, która po odparowaniu do 1 m³ bezwonnego gazu wywołuje reakcję zmysłu węchu odpowiadającą progowi wyczuwalności zapachu (dawka, którą 50% populacji może wyczuć jako bodziec sensoryczny) [12]. Pomiar liczby jednostek zapachowych w określonej objętości powietrza (stężenie zapachowe – c_{od} , ou/m³) lub emitowanych w określonym czasie (emisja zapachowa – q_{od} , ou/s) został w Europie znormalizowany [13], a prognozowanie stanu zanieczyszczenia powietrza z użyciem emisji zapachowej jest wykonywane na całym świecie [14, 15]. Niestety w Polsce jest to problem wciąż nierozwiązany, a sporządzane w praktyce inżynierskiej oceny uciążliwości zapachowej są często wykonane niepoprawnie. Dowodem mogą być 32 raporty

oddziaływania planowanych przedsięwzięć na środowisko (udostępnione Zachodniopomorskiemu Uniwersytetowi Technologicznemu (Pracownia Zapachowej Jakości Powietrza) w latach 2015–2017 przez organy wydające decyzje środowiskowe), wśród których nie napotkano na poprawnie sporządzoną ocenę oddziaływania zapachowego danej inwestycji.

Powszechnie popełnianym błędem jest wyciąganie wniosków dotyczących potencjalnej uciążliwości zapachowej instalacji na podstawie wyników modelowania dyspersji pojedynczych zanieczyszczeń lub stwierdzenie, że w świetle braku regulacji prawnych w zakresie ochrony zapachowej jakości powietrza nie jest możliwa ocena uciążliwości zapachowej. Ponadto często można spotkać (zarówno w praktyce inżynierskiej, jak i w polskiej literaturze naukowej) niezrozumienie znaczenia jednostki zapachowej i wielkości zdefiniowanych w PN-EN 13725:2007 [13], a tym samym jej niewłaściwą interpretację i zastosowanie. Przykład niepoprawnej interpretacji wielkości wyrażanych w jednostkach zapachowych można znaleźć w monografii [16], w której występują takie pojęcia, jak „emisja zapachowa i-tej substancji odorowej” czy „stężenie zapachowe i-tego odorantu”, które nie są zgodne z definicjami jednostki zapachowej, stężenia zapachowego ani emisji zapachowej, ujętymi w normie [13]. Nie można bowiem określić stężenia zapachowego i-tego związku zawartego w gazach odlotowych (a tym samym emisji zapachowej i-tej substancji odorowej), gdyż wielkości wyrażane w jednostkach zapachowych z definicji odnoszą się do skumulowanego oddziaływania wszystkich substancji zawartych w mieszaninie gazowej, a nie jej poszczególnych składników.

Niezrozumienie sensu fizycznego jednostki zapachowej (i związanych z nią wielkości) skutkuje niewłaściwą interpretacją wyników modelowania dyspersji odorantów i niepoprawną merytorycznie oceną zapachowego oddziaływania danej instalacji (bez uwzględnienia skumulowanego wpływu odorantów), a w konsekwencji – błędnymi decyzjami dotyczącymi możliwości przeciwdziałania uciążliwości zapachowej lub lokalizacji potencjalnie uciążliwych przedsięwzięć.

Ponieważ w literaturze przedmiotu rzetelne informacje dotyczące interpretacji wyników modelowania dyspersji odorantów w powietrzu są nieliczne, dlatego w niniejszej pracy omówiono sposoby przedstawiania i interpretacji wyników modelowania dyspersji odorantów tak, aby sformułowane na podstawie takich obliczeń wnioski były poprawne merytorycznie i użyteczne.

Modelowanie dyspersji odorantów w powietrzu

Metoda modelowania dyspersji odorantów w atmosferze jest analogiczna do referencyjnej metody modelowania zawartości pojedynczych substancji w powietrzu [4], przy czym specyficzny jest sposób oszacowania wartości emisji oraz przedstawiania i interpretacji wyników obliczeń [17]. W miejsce emisji poszczególnych związków uwzględnianych w klasycznych obliczeniach, w przypadku oceny zapachowego oddziaływania wprowadza się emisję zapachową, wyrażoną w jednostkach zapachowych na sekundę (ou/s). Wielkość tę określa się metodą olfaktometrii dynamicznej, z wykorzystaniem olfaktometrycznie wyznaczonych wskaźników emisji zapachowej lub w wyniku bezpośrednich pomiarów u źródła [13]. Zakres przeprowadzanych obliczeń oraz interpretacja wyników modelowania dyspersji odorantów zależą od celu obliczeń oraz sposobu wyrażenia akceptowalnego poziomu uciążliwości zapachowej, względem którego mają być podejmowane dalsze działania [11]. W zależności od przyjętego kryterium oceny, obliczenia prowadzi się w kierunku ustalenia w wybranych punktach terenu (na wysokości „przeciętnego” nosa) dwójakiego rodzaju wartości – stężeń maksymalnych, mogących się pojawić w najgorszej sytuacji meteorologicznej i technologicznej lub czasu występowania określonego stężenia zapachowego w skali roku. W niektórych pracach dotyczących uciążliwości zapachowej można znaleźć również wartości stężeń średniorocznych [18, 19], przy czym są one bardzo trudne do zinterpretowania pod względem uciążliwości [7] i nie odnoszą się do znanych standardów zapachowej jakości powietrza [20], a także nie dostarczają informacji o czynnikach, które w największym stopniu kształtują opinie o uciążliwości zapachowej, czyli sile chwilowego wrażenia lub czasie występowania zapachu [21, 22]. Wyniki modelowania zwykle są przedstawiane graficznie, w postaci izolinii wartości kryterialnych naniesionych na mapę.

Interpretacja wyników obliczeń

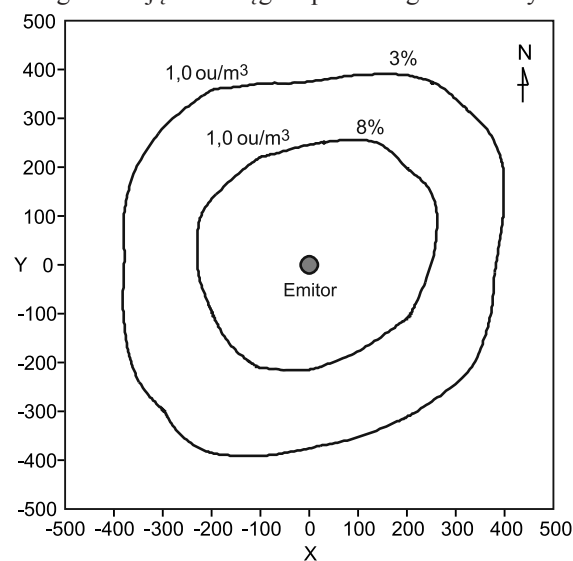
Sposób I

Wyniki modelowania dyspersji odorantów w powietrzu atmosferycznym najczęściej analizuje się na tle obowiązujących na danym terenie standardów zapachowej jakości powietrza [20]. Ponieważ w Polsce brakuje regulacji prawnych w tym zakresie [23], dlatego w niniejszej pracy pokazano sposób postępowania na podstawie wartości odniesienia zawartych w projekcie ustawy o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej [24] oraz w projekcie europejskiej dyrektywy dotyczącej odorów IPPC H4 [25]. Projekt ustawy odorowej zakłada – jako kryterium uciążliwości zapachowej – dopuszczalny czas trwania przekroczeń jednogodzinnego stężenia zapachowego (1 ou/m^3) w ciągu roku na poziomie 8% (instalacje istniejące w okresie przejściowym), z obostrzeniem do 3% (instalacje istniejące po okresie przejściowym lub nowe). Z kolei w projekcie IPPC H4 wyodrębniono trzy klasy uciążliwości zapachowej (duża, średnia i mała), do których przyporządkowano poszczególne rodzaje działalności gospodarczej. W przypadku każdej z klas określono poziom odniesienia, który nie powinien być przekraczany w ciągu roku dłużej niż przez 2% tego czasu. Za poziom odniesienia przyjęto stężenie zapachowe uśrednione do godziny równe $1,5 \text{ ou/m}^3$ w przypadku instalacji o dużej uciążliwości (jak oczyszczalnie ścieków czy przetwórstwo odpadów zwierzęcych/rybnych), 3 ou/m^3

– instalacje o średniej uciążliwości (jak hodowla przemysłowa czy przetwórstwo żywności z procesem smażenia) oraz 6 ou/m^3 – instalacje o małej uciążliwości (jak produkcja wyrobów cukierniczych czy piekarnie). Aby określić obszar o ponadnormatywnym oddziaływaniu w świetle projektu ustawy odorowej, podczas modelowania dyspersji odorantów należy obliczyć czas występowania stężenia jednogodzinnego równego 1 ou/m^3 , a następnie wykreślić izolinię (3% i/lub 8%) określającą dopuszczalny czas występowania tego stężenia w skali roku. Aby określić obszar o ponadnormatywnym oddziaływaniu w ujęciu IPPC H4, należy obliczyć czas występowania stężenia jednogodzinnego równego $1,5 \text{ ou/m}^3$, 3 ou/m^3 lub 6 ou/m^3 (w zależności od rodzaju ocenianej instalacji), a następnie wykreślić izolinię występowania tego stężenia przez 2% roku.

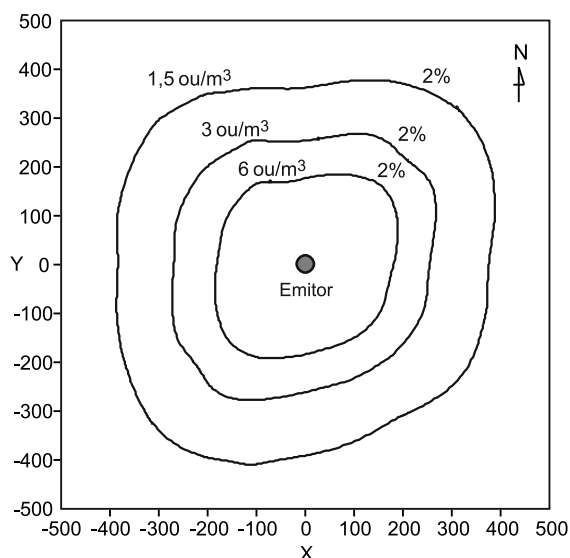
Przykładowe wyniki modelowania dyspersji odorantów na tle projektu ustawy odorowej przedstawiono na rysunku 1, a projektu IPPC H4 – na rysunku 2. Z rysunku 1 wynika, że w czasie przejściowym przekroczenia występowałyby w zasięgu około 250 m od emitora (obszar ograniczony izolinią 8%), a po tym czasie – w odległości do około 400 m od emitora (obszar ograniczony izolinią 3%). Rysunek 2 pokazuje, że w przypadku instalacji o dużej uciążliwości zapachowej przekroczenia obejmowałyby obszar o promieniu około 400 m od emitora (teren ograniczony izolinią występowania stężenia jednogodzinnego $1,5 \text{ ou/m}^3$ przez 2% roku), w przypadku instalacji o średniej uciążliwości – obszar o promieniu około 250 m od emitora (teren ograniczony izolinią występowania stężenia jednogodzinnego 3 ou/m^3 przez 2% roku), a w przypadku instalacji o małej uciążliwości – obszar o promieniu około 180 m od emitora (teren ograniczony izolinią występowania stężenia jednogodzinnego 6 ou/m^3 przez 2% roku).

Jeżeli otrzymany w danym przypadku obszar przekroczeń obejmowałby zabudowania mieszkalne i/lub inne obiekty wrażliwe, wówczas konieczne byłoby stwierdzenie, że emitor stanowiłby nadmierną uciążliwość zapachową dla mieszkańców tych terenów, a tym samym skargi na daną instalację oraz konflikty społeczne byłyby w pełni uzasadnione. W takim przypadku należałoby podjąć działania ograniczające zasięg zapachowego oddziaływania



Rys. 1. Izolinie (3% i 8% roku) określające dopuszczalny obszar występowania jednogodzinnego stężenia zapachowego równego 1 ou/m^3 na wysokości receptora $1,5 \text{ m}$

Fig. 1. Isolines (3% and 8% of time in a year) corresponding to the permissible area of 1-hour odor concentration occurrence equivalent to 1 ou/m^3 (receptor height 1.5 m)



Rys. 2. Izolinie (2% roku) określające obszary występowania jednogodzinnego stężenia zapachowego 1,5 ou/m³, 3 ou/m³ i 6 ou/m³ na wysokości receptora 1,5 m

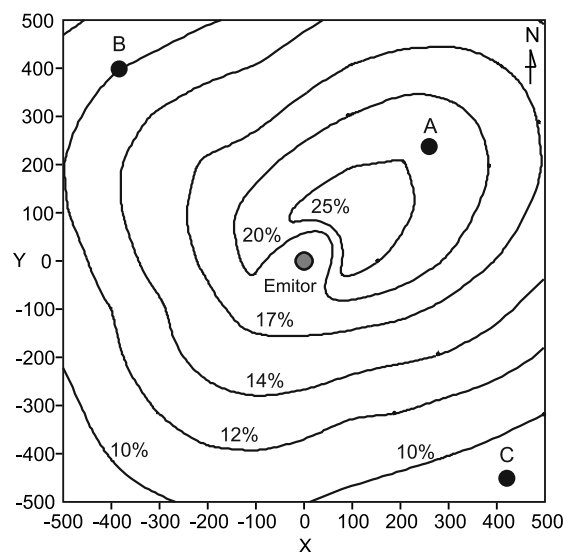
Fig. 2. Isolines (2 % of time in a year) corresponding to the area of 1-hour odor concentration occurrence equivalent to 1.5 ou/m³, 3 ou/m³ and 6 ou/m³ (receptor height 1.5 m)

(np. zmiana technologii na mniej emisyjną, zmniejszenie wielkości produkcji, zastosowanie wyższego emitora, hermetyzacja i dezodoryzacja gazów odprowadzanych do atmosfery) [26–31] lub – w przypadku dopiero planowanego przedsięwzięcia – zmienić jego lokalizację. Wybór optymalnego rozwiązania powinien być również oparty na wynikach modelowania dyspersji odorantów w świetle przyjętego kryterium oceny [11].

Sposób II

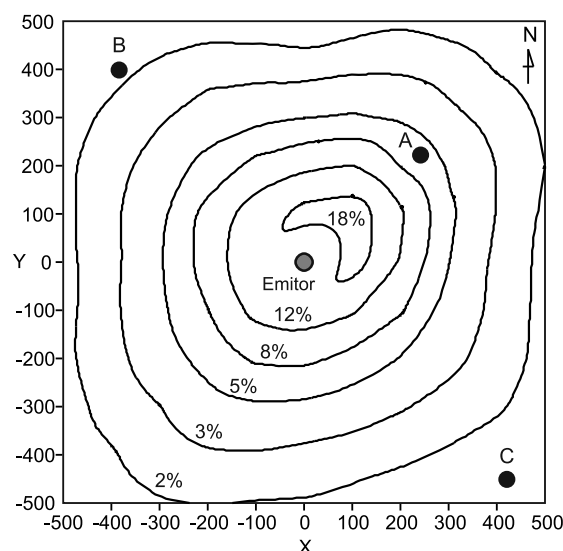
W wyniku modelowania dyspersji odorantów można oszacować, przez ile godzin w roku zapach z danej instalacji jest/będzie wyczuwany na określonym terenie. W tym celu oblicza się łączny czas (w roku) występowania jednogodzinnych stężeń zapachowych odpowiadających środowiskowemu progowi wyczuwalności lub rozpoznawalności zapachu. Środowiskowy próg wyczuwalności oznacza takie stężenie, przy którym występowanie zapachu jest już odczuwane przez człowieka o przeciętnym węchu, przy czym zapach ten jest na tyle słaby, że nie jest możliwe wskazanie źródła jego pochodzenia. Próg rozpoznawalności zapachu określa natomiast najmniejsze stężenie, przy którym jest już możliwe zidentyfikowanie źródła emisji. Przyjmuje się, że wartość środowiskowego progu wyczuwalności zapachu jest dziesięciokrotnie mniejsza od wartości progu wyczuwalności oznaczanego w warunkach laboratoryjnych, zdefiniowanego jako 1 ou/m³ (różnica ta wynika z odniesienia wyników modelowania do godziny, w której możliwe są znaczne wahania stężenia pod wpływem zmienności sytuacji meteorologicznej) [7]. W przypadku środowiskowego progu rozpoznawalności zakłada się, że jego wartość jest o rząd wielkości większa od środowiskowego progu wyczuwalności zapachu (analogicznie do wartości oznaczanych w warunkach laboratoryjnych) [7]. Zatem aby oszacować, przez jaką część roku będzie występować zapach w stopniu co najmniej wyczuwalnym lub rozpoznawalnym, należy obliczyć łączny czas występowania jednogodzinnych stężeń zapachowych wynoszących 0,1 ou/m³ (środowiskowy próg wyczuwalności zapachu) lub 1 ou/m³ (środowiskowy próg rozpoznawalności zapachu).

Przykładowe wyniki modelowania dyspersji odorantów w powietrzu atmosferycznym w ujęciu dwóch środowiskowych progów – wyczuwalności zapachu oraz jego rozpoznawalności – przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3 i 4. Zaznaczono na nich trzy przypadkowe punkty receptorowe A, B i C, służące do przykładowej interpretacji wyników obliczeń. Zapach pochodzący z emitora będzie wyczuwany w punkcie A przez około 2100 h w roku (to jest przez około 24% roku – rys. 3), przy czym w stopniu rozpoznawalnym przez 525÷613 h (czyli przez 6÷7% roku – rys. 4), w punkcie B przez około 1050 h (czyli przez 12% roku – rys. 3), przy czym w stopniu rozpoznawalnym przez około 175 h (przez około 2% roku – rys. 4), a w punkcie C przez mniej niż 876 h (to jest przez mniej niż 10% roku – rys. 3), przy czym w stopniu rozpoznawalnym przez mniej niż 175 h (to jest przez mniej niż 2% roku – rys. 4).



Rys. 3. Izolinie (% roku) określające obszary występowania jednogodzinnego stężenia zapachowego 0,1 ou/m³ na wysokości receptora 1,5 m

Fig. 3. Isolines (% of time in a year) corresponding to the area of 1-hour odor concentration occurrence equivalent to 0.1 ou/m³ (receptor height 1.5 m)



Rys. 4. Izolinie (% roku) określające obszary występowania jednogodzinnego stężenia zapachowego 1,0 ou/m³ na wysokości receptora 1,5 m

Fig. 4. Isolines (% of time in a year) corresponding to the area of 1-hour odor concentration occurrence equivalent to 1.0 ou/m³ (receptor height 1.5 m)

Sposób III

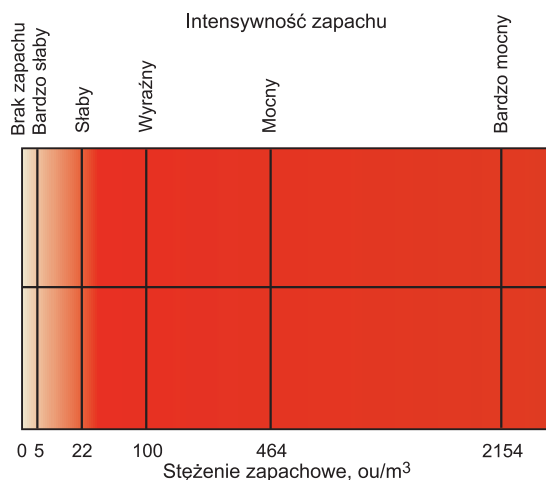
W wyniku modelowania dyspersji odorantów można oszacować, przez jaką część roku na ocenianym terenie wystąpi zapach o określonej intensywności. W tym celu – przed przystąpieniem do modelowania – należy wyznaczyć funkcję $S=f(c_{od})$, określającą zależność siły wrażenia węchowego (tj. intensywności zapachu) od wielkości bodźca (tj. stężenia zapachowego). Funkcję tę opisują dwa prawa psychofizyczne – logarytmiczne prawo Webera-Fechnera (1) i potęgowe prawo Stevensa (2) [32, 33]:

$$S = k_{WF} \log(c_{od}) \quad (1)$$

$$S = k_S (c_{od})^n \quad (2)$$

Norma PN-EN 13725 [13] dopuszcza stosowanie obu praw, jednak w praktyce częściej jest wykorzystywane prawo Webera-Fechnera [34]. W równaniach tych współczynniki k_{WF} i k_S są stałymi empirycznymi, charakteryzującymi określony rodzaj źródła emisji, wyznaczanymi olfaktometrycznie z użyciem określonej skali intensywności zapachu oraz odpowiednio wyselekcjonowanego zespołu ocenającego zapach. Po wyznaczeniu funkcji $S=f(c_{od})$ należy określić stężenie zapachowe, któremu odpowiada pożądana intensywność zapachu, a następnie – z użyciem modelu dyspersji odorantów w atmosferze – przeprowadzić obliczenia czasu występowania jednogodzinnego stężenia zapachowego o wartości dziesięciokrotnie mniejszej od oszacowanej za pomocą prawa psychofizycznego. Dziesięciokrotna różnica wynika z tego, że obliczone w wyniku modelowania wartości stężenia są odniesione do godziny, a przyjmuje się, że w czasie godziny chwilowe wartości stężenia mogą być dziesięciokrotnie większe lub mniejsze od wartości średniej [7].

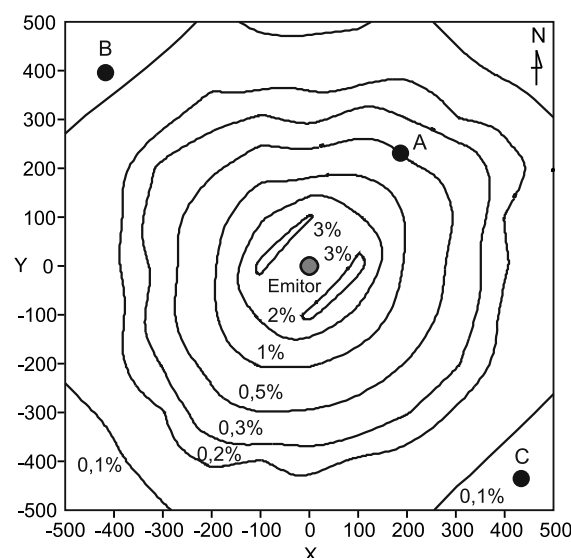
Przykładową zależność intensywności zapachu od stężenia zapachowego pokazano na rysunku 5 (zależność wyznaczono według prawa Webera-Fechnera, przy $k_{WF}=1,5$ i pięciopunktowej skali intensywności zapachu: 1 – bardzo słaby, 2 – słaby, 3 – wyraźny, 4 – mocny, 5 – bardzo mocny). Jeżeli celem modelowania dyspersji odorantów byłoby określenie czasu występowania zapachu wyraźnego, odpowiadającego – zgodnie z rysunkiem 5 – stężeniu 100 ou/m^3 , należałoby podczas modelowania obliczyć czas występowania stężenia jednogodzinnego równego 10 ou/m^3 .



Rys. 5. Zależność intensywności zapachu od stężenia zapachowego – przykład zastosowania prawa Webera-Fechnera (gaz charakteryzujący się współczynnikiem $k_{WF}=1,5$)

Fig. 5. Dependence of odor intensity on odor concentration – example of Weber-Fechner law application (gas, $k_{WF}=1.5$)

Przykładowe wyniki modelowania w omawianym przypadku przedstawiono na rysunku 6. Interpretując ten rysunek pod względem przypadkowych punktów recepturowych A, B i C należy stwierdzić, że w punkcie A zapach wyraźny będzie występować przez 0,5% roku (tj. ok. 44 h), a w punktach B i C – przez mniej niż 0,1% roku (tj. <9 h). Jeżeli celem modelowania byłoby określenie czasu występowania zapachów bardzo słabego, słabego, mocnego lub bardzo mocnego, wówczas w omawianym przykładzie (w przypadku zależności intensywności zapachu od stężenia zapachowego pokazanej na rysunku 5) należałoby obliczyć czas występowania stężenia równego odpowiednio $0,5 \text{ ou/m}^3$, $2,2 \text{ ou/m}^3$, 46 ou/m^3 lub 215 ou/m^3 .



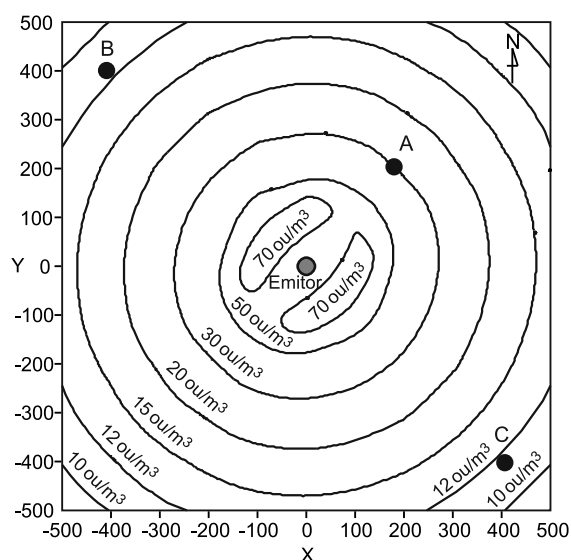
Rys. 6. Izolinie (% roku) określające obszary występowania jednogodzinnego stężenia zapachowego 10 ou/m^3 na wysokości receptora 1,5 m

Fig. 6. Isolines (% of time in a year) corresponding to the area of 1-hour odor concentration occurrence equivalent to 10 ou/m^3 (receptor height 1.5 m)

Sposób IV

W wyniku modelowania dyspersji odorantów można również ocenić zapach mogący pojawić się w najbardziej niekorzystnej sytuacji technologicznej i meteorologicznej (z wyłączeniem awarii), co umożliwia obliczenia stężeń maksymalnych. Obliczonym wartościom jednogodzinnych stężeń maksymalnych przypisuje się wartości intensywności zapachu, wyznaczone na podstawie jednego z praw psychofizycznych, z uwzględnieniem możliwej dziesięciokrotnej różnicy między wartościami obliczonymi (odniesionymi do godziny) a wartościami chwilowymi [7].

Przykładowe wyniki modelowania w postaci izolinii jednogodzinnych stężeń maksymalnych pokazano na rysunku 7. Przyjmując, że zależność intensywności zapachu od stężenia zapachowego w tym przykładzie obrazuje rysunek 5, to izolinie jednogodzinnych stężeń równych 10 ou/m^3 , 12 ou/m^3 , 15 ou/m^3 , 20 ou/m^3 , 30 ou/m^3 , 50 ou/m^3 i 70 ou/m^3 (rys. 7) odpowiadają intensywnościom zapachu równoważnym (zgodnie z rys. 5) stężeniom 100 ou/m^3 , 120 ou/m^3 , 150 ou/m^3 , 200 ou/m^3 , 300 ou/m^3 , 500 ou/m^3 oraz 700 ou/m^3 . Na podstawie rysunku 7 można zatem stwierdzić, że w najgorszym przypadku na ocenianym terenie zapach pochodzący z emitora będzie wyraźny lub mocny, przy czym w punkcie A zapach ten będzie bardzo wyraźny (niemalże mocny), a w punktach B i C – wyraźny.



Rys. 7. Izolinie określające obszary występowania różnych wartości jednogodzinnego maksymalnego stężenia zapachowego na wysokości receptora 1,5 m

Fig. 7. Isolines corresponding to the area of 1-hour maximum odor concentration (receptor height 1.5 m)

Podsumowanie

Modelowanie dyspersji odorantów w powietrzu atmosferycznym umożliwia wiarygodną ocenę uciążliwości zapachowej zarówno w przypadku istniejącej instalacji, jak i dopiero projektowanej. Procedura przebiega analogicznie do rutynowo stosowanej w przypadku oceny oddziaływania przedsięwzięcia na powietrze w zakresie pojedynczych związków, przy czym specyficzny jest sposób oszacowania emisji oraz interpretacji wyników obliczeń. W obliczeniach uwzględnia się wartość emisji wyrażoną w jednostkach zapachowych, a tym samym odniesioną do mieszaniny powietrza, a nie jej poszczególnych składników.

Zakres obliczeń jest zależny od ich celu, przy czym w każdym przypadku oblicza się czas występowania określonego poziomu stężenia zapachowego w skali roku lub stężenia maksymalne (stężenia średnioroczne nie mają tu zastosowania ze względu na trudności w interpretowaniu wartości odniesionych do długiego czasu uśredniania). Na podstawie wyników modelowania dyspersji odorantów w powietrzu można ocenić zapachowe oddziaływanie danej instalacji na tle wybranych standardów zapachowej jakości powietrza lub oszacować, przez jaki czas w skali roku (%) na terenie objętym obliczeniami będzie występować zapach pochodzący z ocenianego źródła oraz – wykorzystując psychofizyczne prawa określające zależność intensywności zapachu od stężenia zapachowego – jak silne może on wywoływać wrażenia zapachowe.

LITERATURA

1. Á. LEELÖSSY, F. MOLNÁR Jr., F. IZSÁK, Á. HAVASI, I. LAGZI, R. MÉSZÁROS: Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: A review. *Central European Journal of Geosciences* 2014, Vol. 6, No. 3, pp. 257–278.
2. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. WHO, Regional Office for Europe, 2013.
3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. *Dziennik Ustaw* 2012, poz. 1031.
4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. *Dziennik Ustaw* 2010, nr 16, poz. 87.
5. J. D. RUTKOWSKI: Współwystępowanie substancji toksycznych jako problem oceny stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Mat. I symp. „Ocena wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza – POL-IMIS’95”, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej i PZITS, Wrocław 1995, ss. 15–20.
6. S. E. MANAHAN: Toksykologia środowiska. Aspekty chemiczne i biochemiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, ss. 158–159, 168–169.
7. J. KOŚMIDER, B. MAZUR-CHRZANOWSKA, B. WYSZYŃSKI: Odory. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
8. A. MICHALAK, J. KRZESZOWIAK, K. PAWLAS: Czy ekspozycja na nieprzyjemne zapachy (odory) szkodzi zdrowiu człowieka? *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine* 2014, vol. 17, nr 4, ss. 76–81.
9. G. M. ZUCCO, R. S. HERZ, B. SCHAAL: Olfactory Cognition: From Perception and Memory to Environmental Odours and Neuroscience. John Benjamins Publishing Company, Amsterdam-Philadelphia 2012.
10. Z. ZOU, L. B. BUCK: Combinatorial effects of odorant mixes in olfactory cortex. *Science* 2006, Vol. 311, No. 5766, pp. 1477–1481.
11. M. FRIEDRICH: Zastosowanie oceny zapachowego oddziaływania w projektowaniu, optymalizacji i wyborze lokalizacji potencjalnie uciążliwej instalacji. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2014, nr 1, ss. 19–20.
12. J. KOŚMIDER: Pomiary stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej zgodnie z PN-EN 13725:2007. *Wodociągi-Kanalizacja* 2007, nr 10, ss. 34–35.
13. PN-EN 13725:2007 (EN 13725:2003): Jakość Powietrza – Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007.
14. Odour Emissions Monitoring and Modelling. Pattle Delamore Partners LTD, Auckland (New Zeland) 2013.
15. S. SIRONI, L. CAPELLI, P. CÉNTOLA, R. del ROSSO, S. PIERUCCI: Odour impact assessment by means of dynamic olfactometry, dispersion modelling and social participation. *Atmospheric Environment* 2010, Vol. 44, No. 3, pp. 354–360.
16. R. M. JANKA: Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe. Podstawy obliczenia i sterowania poziomem emisji. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014, ss. 258–260.
17. AG4: Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note. Environmental Protection Agency, Wexford 2010.
18. I. SÓWKA, M. SKRĘTOWICZ, J. ZWOŹDZIAK, M. SZKLARCZYK, A. NYCH, P. ZWOŹDZIAK, G. WOJNICZ: Ocena oddziaływania zapachowego wybranego zakładu chemicznego z zastosowaniem olfaktometrii dynamicznej oraz badań modelowych i ankietowych. *Przemysł Chemiczny* 2011, vol. 90, nr 6, ss. 1240–1244.
19. I. SÓWKA: Określenie zapachowego oddziaływania wybranego zakładu przetwórstwa rolno-spożywczego przy zastosowaniu olfaktometrii dynamicznej oraz metod obliczeniowych. *Proceedings of ECOpole* 2011, vol. 5, nr 1, ss. 317–323.
20. M. BRANCHER, K. D. GRIFFITHS, D. FRANCO, H. de MELO LISBOA: A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere* 2017, Vol. 168, pp. 1531–1570.
21. M. LATOS, P. KARAGEORGOS, N. KALOGERAKIS, M. LAZARIDIS: Dispersion of odorous gaseous compounds emitted from wastewater treatment plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 2011, Vol. 215, No. 1–4, pp. 667–677.
22. I. SÓWKA, L. KARSKI: W oczekiwaniu na ustawę odorową. *Przegląd Komunalny* 2018, nr 3, ss. 8–10.
23. M. MASLIŃSKI: Uciążliwości zapachowe potrzebują jednoznacznych regulacji. *Przegląd Komunalny* 2018, nr 3, ss. 12–14.

24. Ustawa o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej – projekt z 18 października 2008r. Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2008.
25. Integrated Pollution Prevention and Control Horizontal Guidance for Odour, Part 2 – Assessment and Control, Technical Guidance Note IPPC H4 – draft. Environment Agency for England and Wales in collaboration with the Scottish Environment Protection Agency (SEPA) and the Northern Ireland Environment and Heritage Service (NIEHS), Bristol 2002.
26. M. MICHALKIEWICZ, I. KRUSZELNICKA, D. GINTER-KRAMARCZYK, P. MIZERNA-NOWOTNA: Uciążliwość odorowa i mikrobiologiczna oczyszczalni ścieków – studium przypadku (Odor and microbiological nuisance of the sewage treatment plant – a case study). *Ochrona Środowiska* 2016, vol. 38, nr 3, ss. 41–48.
27. M. HOLUB: Nowoczesne techniki i trendy w redukcji uciążliwości zapachowej. *Wodociągi-Kanalizacja* 2016, nr 3, ss. 28–29.
28. M. FRIEDRICH, J. KOŚMIDER, P. TEREBECKI, P. MIZERNA-NOWOTNA: Odour abatement of waste gases from sludge thickeners in wastewater treatment plant using bioscrubber. *Chemical Engineering Transactions* 2014, Vol. 40, pp. 205–210.
29. K. BARBUSINSKI, K. KALEMBA, D. KASPERCZYK, K. URBANIEC, V. KOZIK: Biological methods for odor treatment – a review. *Journal of Cleaner Production* 2017, Vol. 152, pp. 223–241.
30. C. ALFONSÍN, R. LEBRERO, J.M. ESTRADA, R. MUÑOZ, N.J.R. KRAAKMAN, G. FEIJOO, M.T. MOREIRA: Selection of odour removal technologies in wastewater treatment plants: A guideline based on Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* 2015, Vol. 149, pp. 77–84.
31. M.I. SZYNKOWSKA, J. ZWOŹDZIAK [red.]: Współczesna problematyka odorów. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010, ss. 81–83, 139–163, 166–186, 218–252, 269–286, 327–357, 360–381, 416–435, 452–475, 479–500, 503–522.
32. J. KOŚMIDER, M. SOSIALUK: Zależność intensywności zapachu od stężenia odorantów. *Archiwum Ochrony Środowiska* 2004, vol. 30, nr 2, ss. 3–16.
33. J. KOŚMIDER, B. WYSZYŃSKI: Relationship between odour intensity and odorant concentration: Logarithmic or power equation. *Archiwum Ochrony Środowiska* 2002, vol. 28, nr 1, ss. 29–41.
34. J. KOŚMIDER, B. KRAJEWSKA: Calculations of emission with a method of backward modelling. Odour nuisance of milk farming. *Polish Journal of Chemical Technology* 2006, Vol. 8, No. 1, pp. 43–53.

Friedrich, M., Antoniewicz, A. Interpretation Methods of Odorants Dispersion Modeling Results. *Ochrona Środowiska* 2018, Vol. 40, No. 3, pp. 9–14.

Abstract: The paper discusses a problem of result interpretation for odorants dispersion modeling. The most common mistakes were brought to attention when assessing the impact of odor nuisance caused by installations on the environment. Differences were indicated between odor dispersion modeling and the reference methodology for modeling of an individual substance air level (acc. to the Regulation of the Minister of Environment from 2010). Four approaches to present and interpret the results of model calculations were discussed, including annual frequency of certain odor levels and their maximum concentrations, which enable practical conclusions to be drawn. The method to estimate odor nuisance caused by an installation against the selected air quality standards was presented, including the reference values set out in the draft bills for the Polish Act on Counteracting Odor Nuisance and the European Horizontal Guidance for Odour (IPPC H4). The difference between

the environmental odor detection and recognition threshold and the threshold concentrations determined under the laboratory conditions was explained. The forecasting method for odor frequency occurrence in the designated area was demonstrated as well as the annual number of hours the odor will be detectable at recognizable level. The way to forecast odor occurrence of certain intensity was demonstrated, including how to convert its concentration to intensity according to the psychophysical laws of Weber-Fechner and Stevens. In addition, application of modeling results of pollutant dispersion in the atmosphere was demonstrated in assessment of odors that may occur in the worst meteorological and technological circumstances. The examples discussed could be employed in modeling of potentially high impact installations as well as in development of environmental impact assessments of projects or air quality forecasts.

Keywords: Atmospheric air, odor nuisance, odors, odor dispersion modeling, odor air quality forecasting, environmental detection threshold, environmental recognition threshold, odor intensity, air quality, odor unit.