

MATEUSZ CUSKE*, ŁUKASZ SZALAŁATA**

**MODELOWANIE ROZPRZESTRZENIANIA
ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU NA PRZYKŁADZIE
PROJEKTOWANEJ KWATERY SKŁADOWISKA ODPADÓW**

Streszczenie

Artykuł przedstawia metodyczne aspekty oraz różne podejścia do modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu przy użyciu pakietu Operat FB. W pracy przedstawiono wyniki emisji zanieczyszczeń typowych z projektowanej kwatery składowiska. Przeprowadzone analizy wykazały, iż w zależności od zastosowanych danych wyjściowych, stężenia maksymalne i średnioroczne zanieczyszczeń są różne.

Słowa kluczowe: modelowanie, zanieczyszczenie powietrza, składowisko odpadów

WSTĘP

Składowanie odpadów to najbardziej rozpowszechniona metoda utylizacji odpadów komunalnych w Polsce. Takie ukierunkowanie działań jest podyktowane przede wszystkim czynnikami ekonomicznymi. Pomimo to, metoda ta wywiera największą presję na środowisko. Potencjalne oddziaływanie spowodowane składowaniem odpadów uwidacznia się na poziomie wszystkich komponentów środowiska. Do najczęściej występujących, a zarazem najbardziej niebezpiecznych czynników mających wpływ na stan środowiska należą: migracja zanieczyszczeń obecnych w odciekach przez grunt do wód podziemnych, emisja odorów, a także gazu składowiskowego, w którego skład wchodzi m. in. metan, siarkowodór, dwutlenek węgla, merkaptany [Berleć i in. 2009, Jurkiewicz i in. 1998].

Obecnie stosowane metody utylizacji odpadów poprzez ich składowanie uwzględniają potrzeby ochrony środowiska i mogą skutecznie ograniczyć bądź wręcz całkowicie wyeliminować ryzyko zaistnienia szkody w środowisku. Ważną rolę w tym procesie odgrywa jednak etap wdrożenia poszczególnych

* Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

** Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Wrocławska

technologii, co powoduje, że już na etapie projektowania i planowania instalacji należy jednocześnie zaplanować sposoby ograniczania negatywnych efektów środowiskowych wynikających z planowanej działalności.

Prawnym narzędziem związanym z oceną ryzyka jest procedura oceny oddziaływania na środowisko wynikająca bezpośrednio z zaimplementowanej w prawie polskim Dyrektywy Rady 85/337/EWG z dnia 27 czerwca 1985 r. w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko naturalne. Na tym etapie następuje ocena oddziaływania planowanej instalacji na środowisko oraz projektowanie konkretnych rozwiązań mających na celu maksymalne ograniczenie tych oddziaływań.

Narzędziem pomocniczym w tego typu analizach jest zastosowanie modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu za pomocą programów matematycznych, zgodnych z obecnie obowiązującymi normami. Niemniej jednak jest to jedynie element wspomagający, niemający żadnego ulokowania prawnego. Dlatego istotne jest to, aby tworzenie baz danych oraz sam proces modelowania były wykonywane rzetelnie, zgodnie z metodykami opracowywanymi przez odpowiednie organy administracji publicznej [El-Fadel i in. 1996, Rogalski i Rzepka 2011, Staszewska i Pawłowska 2011].

Niniejszy artykuł prezentuje wyniki modelowania rozprzestrzeniania się wybranych zanieczyszczeń w powietrzu, dla projektowanej kwatery składowiska odpadów. W modelowaniu przyjęto dwa różne warianty emisji zanieczyszczeń, a wyniki poddano krytycznej analizie.

OBIEKT BADAWCZY

Analizie poddano projektowaną kwaterę, jednego z Zakładów Unieszkodliwiania Odpadów zlokalizowanych na terenie południowo-zachodniej Polski. Projektowana kwatera ulokowana ma być w wyrobisku poeksploatacyjnym pospółki. Otoczenie kwatery, to pola uprawne odizolowane pasami zieleni. Powierzchnia dna planowanej kwatery wynosi 5853 m², powierzchnia czaszy: 14 800 m², a całkowita pojemność: 379 046 m³. Maksymalną rzędną eksploatacyjną zaplanowano na 342 m n.p.m., przy czym dno kwatery ulokowane jest na poziomie około 330 m n.p.m. Na kwaterze przyjmuje się wykonanie uszczelnienia syntetycznego w postaci folii PEHD o grubości 2,0 mm. Na uszczelnieniu planuje się wykonanie drenażu płytkowego, wykonanego z materiału żwirowo-piaszczystego o współczynniku filtracji większym od 1·10⁻⁴ m·s⁻¹ i miąższości 0,5 m. W warstwie drenażowej zostanie ułożony system drenażu liniowego odcieków, na który składają się: kolektor główny oraz sączki wykonane z rur PE. Powstające odcieki zostaną odprowadzone do zbiorników, w których będą wstępnie podczyszczane, a następnie do istniejącego systemu kanalizacji.

Dno kwatery zostanie ukształtowane z uzyskaniem spadku 1,0% oraz spadków poprzecznych 2,5-3,0%, skarpy natomiast ukształtowane zostaną na spadek 1:2. Roczną depozycję odpadów zaplanowano na około 40 000 Mg.

METODYKA BADAŃ

Prognozowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wykonano za pomocą pakietu Operat FB, służącego do modelowania zanieczyszczeń z emitorów punktowych, liniowych i powierzchniowych, zgodnie z metodyką zawartą w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie wartości odniesienia niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2010 nr 16 poz. 87). Program posiada atest Instytutu Ochrony Środowiska w Warszawie. Wykonano obliczenia stężeń maksymalnych dla emitorów punktowych oraz zastępczych, a także dokonano oceny zakresu obliczeń, stężeń maksymalnych, średniorocznych i częstości przekroczeń określonych wartości (D1).

Z racji tego, iż emisja zanieczyszczeń na składowiskach ulega wysokim wahanom w przeciągu eksploatacji kwatery, przeprowadzono modelowanie dla średniej ilości produkowanego gazu składowiskowego przez określoną ilość odpadów komunalnych w ciągu roku. W metodyce oszacowano emisję gazu składowiskowego z zaprojektowanych studni odgazowujących (wariant najbardziej prawdopodobny, przy sprawnym działaniu systemu odgazowującego i przy systematycznym stosowaniu warstw przykrywająco-izolujących) [Zawieja 2010]. W tym celu wyznaczono sześć emitorów punktowych, o wysokości 1,5 m i średnicy przekroju 1 m. Przyjęto współczynnik szorstkości terenu dla pól uprawnych (0,035).

Dla porównania przeprowadzono szacunkowe modelowanie emisji nieorganizowanej ze złoza odpadów. W tym celu wyznaczono emitor powierzchniowy, o wysokości 0,1 m, z zastępczymi emitorami w siatce receptorów.

Złoże odpadów potraktowano, jako źródło gazu składowiskowego, w ilości $100 \text{ kg} \cdot \text{Mg}^{-1}$ zdeponowanych odpadów, w rozłożeniu na 20 lat emisji. Z racji tego, iż skład gazu składowiskowego jest bardzo zróżnicowany, przeprowadzono modelowanie dla czterech, typowych zanieczyszczeń emitowanych w trakcie składowania odpadów (metan, aceton, merkaptany, siarkowodór) [Dz.U. 2012 nr 0 poz. 1031]. Tabela 1 przedstawia główne parametry wymienionych składników oraz ich średnia emisję [Lewicki 2010].

Tab. 1. Podstawowe właściwości substancji oraz roczna emisja [obliczenia własne na podst: Lewicki 2010]

Tab. 1. Basic properties of the substances and the annual emissions [calculations based on: Lewicki 2010]

Lp.	Rodzaj zanieczyszczenia	Oznaczenie CAS	Zawartość procentowa w biogazie	Roczna emisja, kg·h ⁻¹
1.	Metan	74-82-8	52	0,012
2.	Aceton	67-64-1	0,01	0,000003
3.	Merkaptany	-	0,012	0,000004
4.	Siarkowodór	7783-04-4	0,01	0,000003

WYNIKI I DYSKUSJA

Przeprowadzone modelowanie wskazało, iż w żadnym wariancie nie zostaną przekroczone wartości graniczne dla analizowanych zanieczyszczeń, określone w rozporządzeniu [Dz.U. 2010 nr 16 poz. 87]. Tabela 2 prezentuje zestawienie emisji maksymalnej, rocznej i średniej dla obydwóch wariantów modelowania.

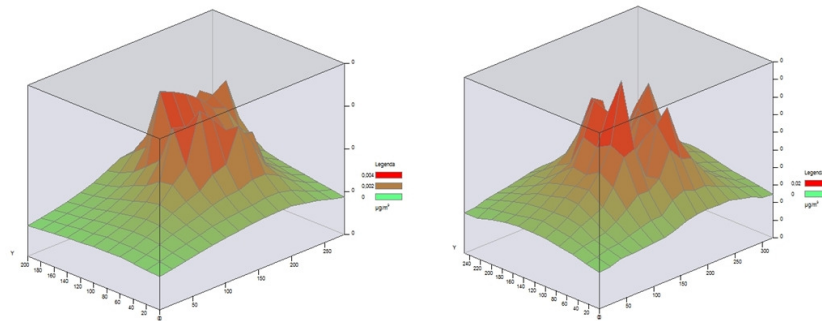
Tab. 2. Zestawienie emisji maksymalnej, rocznej i średniej

Tab. 2. Maximum, annual and average emission

Wariant modelowania	Zanieczyszczenie	Emisja max. kg·h ⁻¹	Emisja roczna Mg	Emisja średnia kg·h ⁻¹
Złoże	metan	0,072	0,631	0,072
	aceton	3,00E-6	0,00002628	3,00E-6
	merkaptany	4,00E-6	0,000035	4,00E-6
	siarkowodór	3,00E-6	0,00002628	3,00E-6
Studnie	metan	0,012	0,1051	0,012
	aceton	3,00E-6	0,00002628	3,00E-6
	merkaptany	4,00E-6	0,000035	4,00E-6
	siarkowodór	3,00E-6	0,00002628	3,00E-6

Wykazano natomiast istotne różnice pomiędzy wynikami modelowania w różnych wariantach (w szczególności w przestrzennym rozmieszczeniu stężeń maksymalnych i średniorocznych dla wszystkich zanieczyszczeń). W zależności od przyjęcia wariantu, rozprzestrzenianie zanieczyszczeń w powietrzu następuje w różnoraki sposób. Koncentracja najwyższych stężeń w przypadku modelowania emisji z czaszy składowiska ma miejsce w centralnej części kwatery. Stężenie wszystkich zanieczyszczeń zmniejsza się wraz z odległością od środka kwatery (rys. 1). W przypadku wizualizacji stężeń średniorocznych (które

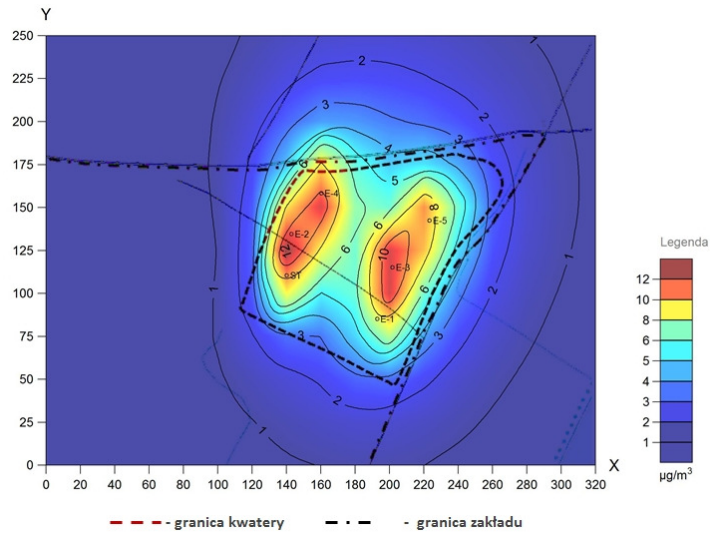
to stanowią istotę w prawnym odniesieniu oddziaływania instalacji na środowisko), zauważalne jest wyraźne natężenie emisji w rzędach studni odgazowujących (modelowanie w wariantcie ze studzienkami odgazowującymi – rys. 2). W wariantcie modelowania niezorganizowanej emisji z czaszy składowiska zauważalna jest tendencja opisana jak w przypadku stężeń maksymalnych (rys. 3). Zarówno stężenia maksymalne, jak i średnioroczne wszystkich zanieczyszczeń (a w szczególności metanu) są wyższe w wariantcie uwzględniającym działalność systemu studni odgazowujących. Spowodowane jest to koncentracją zanieczyszczeń u wylotu studni (emitorów punktowych) oraz podwyższoną prędkości wylotowej gazów w tych miejscach [Gaj i Cybulska 2002].



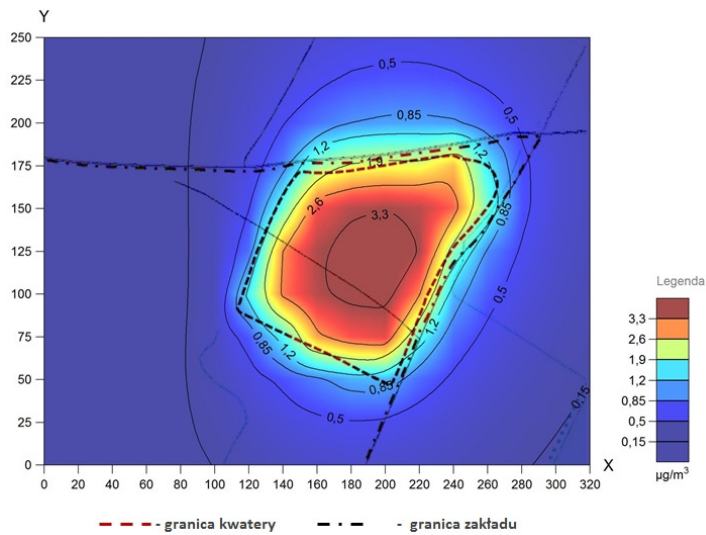
*Rys. 1. Stężenia maksymalne metanu w dwóch wariantach
(emisja ze złoża i emisja ze studzienek)*

*Fig. 1. Maximum concentrations of methane in two variants
(emissions from deposit of waste and emissions from wells)*

Ze względu na charakter emisji niezorganizowanej (emisja zróżnicowana w czasie, nieznaczna prędkość emitowanych gazów, rozcieńczenie zanieczyszczeń przez powietrze, a zarazem znaczna powierzchnia emisji), wyniki modelowania wskazują na niższą koncentrację zanieczyszczeń w powietrzu. Należy zauważyć, iż modelowanie emisji niezorganizowanych powoduje wiele problemów metodycznych, a obliczenie samej emisji, w wielu przypadkach jest uwarunkowane wieloma zmiennymi. Skutkuje to obciążeniem ostatecznych wyników wysokim błędem bądź nawet niemożnością ich uzyskania.



Rys. 2. Stężenia średnioroczne metanu - modelowanie emisji ze złoża odpadów
 Fig. 2. Average methane concentrations in the variant for modeling
 of emissions from well-aeration



Rys. 3. Stężenia średnioroczne metanu - modelowanie emisji ze złoża odpadów
 Fig. 3. Average methane concentrations in the variant for modeling
 of emissions from waste deposits

Dlatego modelowanie emisji niezorganizowanych zanieczyszczeń gazowych z emitorów powierzchniowych nie powinno być jedynym elementem decydującym o stopniu oddziaływania instalacji na środowisko, tym bardziej, że obecnie obowiązujące przepisy w prawie polskim nie obligują przedsiębiorcy do monitorowania tego typu emisji [Stefanicka 2013].

Mając na uwadze powyższe należy stwierdzić, że najbardziej obiektywnym wariantem modelowania jest symulacja uwzględniająca działalność studni odgazowujących. Wyniki niniejszego modelowania są zbliżone do warunków mogących rzeczywiście wystąpić w okresie funkcjonowania instalacji. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki te powinny zostać zweryfikowane rzeczywistymi pomiarami wykonanymi po uruchomieniu instalacji

WNIOSKI

- Emisja zanieczyszczeń z projektowanej kwatery składowiska nie przekracza wartości określonych w rozporządzeniu MŚ w sprawie wartości odniesienia niektórych substancji w powietrzu [Dz.U. 2010 nr 16 poz. 87].
- Wskazano na istotne różnice w przestrzennym rozmieszczeniu i koncentracji zanieczyszczeń w powietrzu w zależności od przyjętej metodyki modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.
- Modelowanie emisji niezorganizowanej gazów z emitora powierzchniowego obciążone jest wysokim błędem. Tego typu symulacja może być jedynie elementem wspomagającym ocenę oddziaływania na środowisko.
- Wyniki modelowania zanieczyszczeń z emitorów punktowych, mogą stanowić rzetelną informację o możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych i ich wpływie na otaczające środowisko.

LITERATURA

1. BERLEĆ, K.; BUDZIŃSKA, K.; SZEJNIUK, B.; KUŁAKOWSKA, A.; 2009. Ocena oddziaływania składowiska odpadów komunalnych na wybrane parametry mikrobiologiczne powietrza. Roczniki Ochrony Środowiska, Tom 11, 1317-1328.
2. EL-FADEL M.; FIDIKAKIS A.N.; LECKIE J.O.; 1996. Transport of gas and heat In sanitary land fil I, Model formulation. Waste Management: 483-504.
3. GAJ, K.; CYBULSKA, H.; 2002. Modelowanie emisji biogazu ze składowisk odpadów komunalnych. Część 1. Podstawy modelowania, analiza wybranych modeli i zakresy stosowanych parametrów. Chemia i Inżynieria Ekologiczna, Vol. 9, nr 1, 91-100.

4. JURKIEWICZ, G.; MARKIEWICZ, P.; SKORUPSKI, W.; 1998. Zorganizowane składowisko odpadów komunalnych jako źródło zanieczyszczeń powietrza. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, Vol. 5, nr 7, 583-593.
5. LEWICKI, R.; 2010. Wytoczne w zakresie kontroli i monitoringu gazu składowiskowego. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
6. ROGALSKI, L.; RZEPKA, J.; 2011. Określenie emisji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych. *Inżynieria Ekologiczna*, Nr 27, 184-190.
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 1031).
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2010 nr 16 poz. 87).
9. STASZEWSKA, E.; PAWŁOWSKA, M.; 2011. Characteristics of emissions from municipal waste landfill. *Environment Protection Engineering*, Vol. 37, Nr 4, 119-130.
10. STEFANICKA, M.; 2013. Techniczne metody ograniczania zapylenia w zakładach kruszyw i ocena ich skuteczności. *Mining Science* vol. 20, 71-85.
11. ZAWIEJA, I.; WOLSKI, P.; WOLNY, L.; 2010. Pozyskiwanie biogazu z odpadów deponowanych na składowiskach. *Proceedings of ECOpole*, Vol 4, No. 2, 535-539.

SIMULATION OF THE POLLUTION SPREADING IN THE AIR BASIS OF PLANNED CELL FOR WASTE

S u m m a r y

The paper presents methodological issues and different ways to modeling of pollutants spreading in the air using an Operat FB program. Showed the results of typical emissions from planned cell for waste of landfill. The analyzes showed that the maximum and average concentrations of pollutants are different, depending on the used input data.

Key words: modeling, air pollution, landfill