

Dokument pomocniczy w sprawie ustalania rozproszonych emisji metanu ze składowisk odpadów

1. Wprowadzenie

W trakcie trzynastego posiedzenia w sprawie Artykułu 19, jakie odbyło się w listopadzie 2003 r. w Luksemburgu, Niemcy wyraziły zgodę na opracowanie dokumentu pomocniczego, dotyczącego metodyki ustalania rozproszonych emisji ze składowisk odpadów, na potrzeby Europejskiego Rejestru Emisji Zanieczyszczeń (EPER). Państwa Członkowskie miały za zadanie przedstawić, w terminie do 12 marca 2004 r., informacje, na temat metodyki, jaką stosują lub mają zamiar zastosować w tym zakresie. Odpowiedzi nadesłane przez dziewięć Państw Członkowskich¹ miały bardzo zróżnicowany charakter.

Wykaz metodyk zastosowanych przez osiem Państw Członkowskich zawiera tabela w Rozdziale 3.

Sprawozdanie nadesłane przez Holandię stanowi porównanie różnych metodyk i zostało w skrócie omówione w Rozdziale 4 niniejszego opracowania.

Wyniki pierwszego cyklu sprawozdawczego na temat emisji ze składowisk odpadów na potrzeby EPER zostały przedstawione w Rozdziale 5.

2. Uzasadnienie

Zgodnie z decyzją 2000/479/WE w sprawie wdrożenia EPER, obiekty, prowadzące jeden z rodzajów działalności wymienionych w Załączniku I do dyrektywy IPPC, i przekraczające wartości progowe określone w Załączniku I do decyzji w sprawie wdrożenia EPER, zobowiązane są do składania sprawozdań, na temat wartości emisji zanieczyszczeń do powietrza i wody. Wartości te mogą być ustalone w drodze pomiarów, obliczeń lub szacowania.

Działalność składowisk odpadów mieści się w ramach pkt. 5.4. ("Składowiska odpadów, przyjmujące ponad 10 ton odpadów dziennie, lub o całkowitej pojemności przekraczającej 25 000 ton, z wyjątkiem składowisk odpadów obojętnych") oraz w ramach pkt. 5.1. ("Instalacje do unieszkodliwiania lub odzyskiwania odpadów niebezpiecznych określonych w wykazie określonym w art. 1 ust. 4 dyrektywy 91/689/EWG, określonych w załącznikach II A i II B (działanie R1, R5, R6, R8 i R9) do dyrektywy 75/442/EWG oraz w dyrektywie Rady 75/439/EWG z dnia 16 czerwca 1975 r., w sprawie unieszkodliwiania olejów odpadowych [3], o wydajności przekraczającej 10 ton dziennie.") Załącznika I do dyrektywy IPPC. Zatem, zgodnie z decyzją w sprawie wdrożenia EPER, składowiska odpadów mają obowiązek zgłaszać emisje zanieczyszczeń do wody i do powietrza.

W przypadku składowisk odpadów, oprócz emisji do wody rozróżnia się dwa rodzaje emisji zanieczyszczeń do środowiska naturalnego:

- emisje do powietrza ze źródeł punktowych (np. silniki benzynowe);
- emisje do powietrza wynikające z rozproszonej emisji ze składowiska odpadów.

¹ Austria, Belgia, Francja, Niemcy, Irlandia, Holandia, Portugalia, Słowacja, Wielka Brytania

Jest oczywiste, że w pierwszym okresie sprawozdawczym na potrzeby EPER w kilku Państwach Członkowskich wystąpiły pewne problemy i pojawiły się "białe plamy" w ustalaniu rozproszonych emisji do powietrza ze składowisk odpadów.

W przypadku emisji do powietrza ze składowisk odpadów, najbardziej prawdopodobne jest przekroczenie wartości progowych metanu (CH_4) i dwutlenku węgla (CO_2). Niemniej jednak składowiska odpadów mogą uwalniać do powietrza² inne gazy, takie jak tlenki azotu (NO_x) i tlenki siarki (SO_x). Ponadto, w związku z działalnością, mieszczącą się w ramach pkt. 5.1. Załącznika I do dyrektywy IPPC, możliwe są jeszcze inne emisje do powietrza, np. metali ciężkich, tlenku węgla (CO), sześciochlorobenzenu, dioksyn, policyklicznych węglowodorów aromatycznych, chloru i jego związków nieorganicznych, fluoru i jego związków nieorganicznych oraz pyłu zawieszonego (PM_{10})². Każde Państwo Członkowskie jest zobowiązane do sprawdzenia, czy na jego terytorium powstają emisje wyżej wymienionych zanieczyszczeń, a jeśli tak – w jaki sposób można obliczyć ich wartości.

3. Metodyki stosowane przez Państwa Członkowskie

Poniżej omówiono wyłącznie metodyki ustalania **rozproszonych emisji metanu (CH_4)** ze składowisk odpadów, ponieważ stanowią one najczęstsze zjawisko, a ustalenie ich wartości przysparza najwięcej kłopotów.

² Por. "Instrukcja wdrażania EPER", Załącznik 4, Tabela 1.

Tabela 1: Metodyki ustalania emisji metanu przez Państwa Członkowskie

Państwo Członkowskie	Metodyka	Podstawa metodyki	Specyfikacja
Austria	<ul style="list-style-type: none"> - różne podejście do odpadów nieulegających biodegradacji i do odpadów ulegających biodegradacji, - odpady nieulegające biodegradacji: <i>metodyka wg Tabasarana i Rettenbergera</i> [opisana w pracy BAUMLERA i Zespołu, 1998] <ul style="list-style-type: none"> - ustalenie całkowitej wielkości emisji gazów ze składowisk odpadów za cały rok, podsumowanie wielkości, wytwarzanych przez odpady składowane w ciągu ostatnich 31 lat, - po odjęciu nagromadzonego gazu i pomnożeniu zawartości gazu ze składowiska przez CH₄ (ok. 55%), uzyskano ilość CH₄ emitowaną z odpadów nieulegających biodegradacji, - odpady ulegające biodegradacji: <i>metodyka wg Marticorena</i> [opisana w pracy BAUMLERA i Zespołu, 1998] <ul style="list-style-type: none"> - składowane odpady ulegające biodegradacji zostały podzielone na dwie grupy - ilość gazu została obliczona dla każdej grupy: <ol style="list-style-type: none"> 1. Odpady łatwo ulegające biodegradacji (półokres rozpadu: 1-20 lat); 2. Odpady trudno ulegające biodegradacji (półokres rozpadu: 20-100 lat); - po obliczeniu łącznej ilości gazu wyemitowanego dla każdej grupy, wartości 	Model rozkładu pierwszego rzędu	<p>Odpady nieulegające biodegradacji:</p> <ul style="list-style-type: none"> - uwzględniana jest ilość gazu ze składowiska odpadów w danym roku składowania oraz w ciągu 30 lat po wywozie na składowisko. <p>Odpady ulegające biodegradacji:</p> <ul style="list-style-type: none"> - odpady trudno ulegające biodegradacji nie są brane pod uwagę.

	<p>zostały zsumowane, po czym zostały pomnożone przez czynnik nagromadzenia oraz udział CH₄ w powstałym gazie,</p> <ul style="list-style-type: none"> - odzyskany metan jest odejmowany od łącznej wartości emisji. 		
Belgia	<ul style="list-style-type: none"> - model rozkładu pierwszego rzędu, uwzględniający rozmaite czynniki, mające wpływ na tempo i zakres wytwarzania metanu oraz jego uwalnianie się ze składowiska odpadów, - całościowa metodyka, zgodna z metodyką Poziomu 2 IPCC (równanie 5.1, IPCC GPG): $S_{p,Y} = Q_Y \cdot DOC \cdot k \cdot C \cdot \exp^{-k \cdot \Delta t}$ <p>gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none"> $S_{p,Y}$ - roczny wskaźnik powstawania biogazu P [m³] Q_Y - roczna ilość odpadów składowanych Y [Mg] DOC - początkowy węgiel organiczny ulegający degradacji [kg/Mg] k - stały wskaźnik biodegradacji [%/rok] C - % DOC, który uległ faktycznej degradacji [%] Δt - okres od pierwotnego składowania (Y-P) [rocznie] - odzyskany metan jest odejmowany od całkowitej ilości emisji. 	Model rozkładu pierwszego rzędu zgodnie z podejściem IPCC (Poziom 2)	Model zakłada, że: <ul style="list-style-type: none"> - odpady ulegają rozkładowi w ciągu 25 lat, - w wyniku działalności bakterii tlenowych przez jeden rok nie dochodzi do powstawania metanu, - gaz pochodzący ze składowiska zawiera 55% CH₄ i 45% CO₂, - występuje utlenianie CH₄ w warstwie górnej (10%), - obniżenie DOC jest wynikiem zwiększonego sortowania odpadów komunalnych, - wartości DOC, k oraz C to stałe zdefiniowane dla odpadów komunalnych i odpadów przemysłowych.
Irlandia	<p>LandGem (USEPA)</p> <ul style="list-style-type: none"> - proste równanie rozkładu pierwszego rzędu, do którego niezbędne są następujące informacje: <ul style="list-style-type: none"> - projektowana pojemność składowiska, 	Model rozkładu pierwszego rzędu	

	<ul style="list-style-type: none"> - ilość odpadów do umieszczenia na składowisku lub roczny wskaźnik przyjmowania odpadów dla danego składowiska, - wskaźnik powstawania metanu (k), - potencjalna zdolność powstawania metanu (L₀), - koncentracja całkowitej ilości niemetanowych składników organicznych (NMOC) oraz powstałe NMOC znalezione w gazie ze składowiska, - okres działalności składowiska (w latach), - czy składowisko było wykorzystywane do składowania odpadów niebezpiecznych (współskładowanie). 		
Holandia	<p>TNO (<i>model rozkładu pierwszego rzędu</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> - zakłada się, że powstawanie gazu w odpadach na składowisku rozłoży się w czasie [w postępie geometrycznym]: $\alpha_t = \zeta 1,87 A C_0 k_1 e^{-k_1 t}$ <p>gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none"> α_t - powstawanie gazu na składowisku w określonym momencie czasu [m³/rok], ζ - czynnik dysymilacji (-) A - istniejąca ilość odpadów [Mg], C₀ - ilość węgla organicznego w odpadach [Mg/kg odpadów], k₁ - modelowy parametr dla modelu pierwszego rzędu [1/rok], t - okres od rozpoczęcia składowania [rok] <p>Afvalzorg (<i>model wielofazowy</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> - uwzględnia typowe frakcje odpadów ulegających degradacji powoli, umiarkowanie oraz szybko: 	Model rozkładu pierwszego rzędu	Możliwe są dwa modele

	$\alpha_t = \zeta \sum_{j=1}^3 1,87 AC_{0,i} k_{1,i} e^{-k_{1,i} t}$ <p>Dla obu modeli – odzyskanego i oksydującego – metan jest odejmowany od łącznej sumy emisji.</p>		
Portugalia	<p>- teoretyczny kinetyczny model powstawania metanu pierwszego rzędu (USEPA/LandGEM)</p> $Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$ <p>gdzie:</p> <p>Q_{CH_4} - wskaźnik powstawania metanu w określonym czasie t [m³/rok],</p> <p>L_0 - potencjalne powstawanie metanu [m³ CH₄/Mg odpadów],</p> <p>R - średni roczny wskaźnik przyjmowania odpadów w okresie działania składowiska [Mg/rok],</p> <p>E - logarytm podstawowy,</p> <p>k - stały wskaźnik powstawania metanu [1/rok],</p> <p>c - okres od zamknięcia składowiska w latach (c = 0 dla składowisk aktywnych),</p> <p>t - okres od pierwszego złożenia odpadów [rok],</p> <p>- dwie różne metody: od wskaźnika powstawania metanu w m³/rok do masowej emisji metanu.</p>	Model rozkładu pierwszego rzędu	Model ten został opracowany w celu oszacowania powstawania gazu na składowisku oraz emisji gazu nie pochodzącego ze składowiska.
Wielka Brytania	<p><i>GasSimLite, Realease 1.01</i></p> <p>- równanie wielofazowego rozkładu pierwszego rzędu</p> $C_t = C_0 - (C_{0,1} e^{(-k_1 t)} + C_{0,2} e^{(-k_2 t)} + C_{0,3} e^{(-k_3 t)})$ <p>oraz $C_x = C_t - C_{t-1}$</p> <p>gdzie:</p>	Model rozkładu pierwszego rzędu	Oblicza tempo powstawania najczęstszych gazów na składowisku (CH ₄ , CO ₂ , H ₂) na podstawie ilości odpadów, ich składu, tempa rozpadu, wilgotności i wskaźnika emisji CH ₄ do CO ₂ ;

	<p>C_t - masa węgla ulegającego degradacji w stosunku do czasu t [Mg],</p> <p>C_0 - masa węgla ulegającego degradacji w czasie $t = 0$ [Mg],</p> <p>$C_{0,i}$ - masa węgla ulegającego degradacji w czasie $t = 0$ w każdej frakcji (1, 2, 3 - odpowiednio frakcje ulegające degradacji gwałtownej, umiarkowanej i powolnej) [Mg],</p> <p>C_x - masa węgla ulegającego degradacji w ciągu roku t [Mg]</p> <p>t - okres pomiędzy umieszczeniem odpadów a powstawaniem LFG [w latach],</p> <p>k_i - stały wskaźnik degradacji dla każdej frakcji węgla ulegającego degradacji [1/rok].</p>		Zajmuje się osobno trzema ulegającymi degradacji frakcjami i sumuje ilość węgla przekształconego w gaz ze składowiska.
Francja	<p><i>Ademe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - podejście stopniowe, rozróżniające przypadki dostępności danych lub ich braku na temat danego miejsca, - uwzględnia typowe frakcje, ulegające degradacji powoli, umiarkowanie i szybko oraz cztery różne kategorie wiekowe, - pomnożenie ilości odpadów [Mg/rok] w określonym czasie, w zależności od wieku odpadów, przez określony czynnik powstawania metanu [m^3/Mg] dla danej kategorii wiekowej, - podsumowanie powstawania metanu w poszczególnych okresach, - odzyskany metan jest odejmowany od całkowitej emisji. 	Model rozkładu pierwszego rzędu lub szacowanie na podstawie pomiarów przepływu gazu ze składowiska	<p>Narzędzie jest nieobowiązkowe.</p> <p>Zamiast stosowania modelu matematycznego preferuje się wykorzystywanie danych, dotyczących danego miejsca.</p> <p>Narzędzie rozróżnia komórki, w których dane (pomiar) przepływu gazu i zawartości CH_4 są dostępne, od komórek, w których nie są dostępne.</p>
Niemcy	- adaptacja podejścia Poziomu 1 IPCC oraz elementów podejścia Poziomu 2 w celu oszacowania emisji CH_4 ze składowisk odpadów:	Model zgodny z podejściem IPCC (Poziom 1)	Wyłącznie składowiska odpadów z gospodarstw domowych i odpadów komunalnych.

	$ME = M \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot D \cdot C$ <p>gdzie:</p> <p>ME - emisja metanu [Mg/rok], M - roczna ilość odpadów wywożonych na składowisko mających znaczenie dla powstawania gazu (odpady z gospodarstw domowych, nieuzdatnione odpady komunalne itp.), DOC - ilość węgla ulegającego biodegradacji w odpadach [Mg C/Mg odpadów], DOC_f - frakcja węgla, jaka uległa przekształceniu w gaz ze składowiska, F - czynnik dla obliczenia ilości węgla, jaki uległ przekształceniu w metan, D - frakcja niezebranego lub biologicznie utlenionego metanu, C - koncentracja metanu w gazie ze składowiska.</p>		<p>Emisje CO₂ poniżej wartości progowej. Wyłącznie składowiska czynne. Dotyczy odpadów składowanych w ciągu ostatnich 10 lat. Trzy kategorie dla frakcji metanu niezebranego lub biologicznie utlenionego. Zawiera elementy metody podejścia Poziomu 2 IPCC.</p>
--	---	--	---

4. Przeprowadzone przez Holandię porównanie modeli emisji metanu z pomiarami emisji metanu

Sprawozdanie złożone przez Holandię (JACOBS, SCHARFF) zawiera porównanie modeli emisji i technik pomiaru metanu na podstawie danych dotyczących przykładowego składowiska odpadów. W celu obliczenia emisji metanu z badanego składowiska, zastosowano 6 różnych modeli:

1. Model pierwszego rzędu (Holandia) (TNO);
2. Model wielofazowy (Holandia) (Afvalzorg);
3. GasSim (Urząd ds. Ochrony Środowiska Wielkiej Brytanii oraz Golder Associates) w tym:
 - a) model wielofazowy,
 - b) model LandGEM.
4. Model na potrzeby EPER zastosowany przez Francję (Ademe);
5. Model na potrzeby EPER zastosowany przez Niemcy (Federalny Urząd ds. Ochrony Środowiska (UBA) oraz Państwowy Instytut ds. Ochrony Środowiska Badenii Wirtembergii);
6. LandGEM (US EPA).

Wyniki obliczone przy pomocy wyżej wymienionych 6 modeli dla przykładowego składowiska wskazują na większe lub mniejsze różnice, które przedstawia Tabela 2.

Tabela 2: Prognoza emisji CH₄ dla przykładowego składowiska odpadów w zależności od zastosowanego modelu

Model	Prognoza emisji metanu [m ³ CH ₄ /h]	
Model pierwszego rzędu	853	
Model wielofazowy	483	
GasSim	Model wielofazowy	883
	LandGEM	2765
Model na potrzeby EPER - Francja	192	
Model na potrzeby EPER- Niemcy	375	
LandGEM (US EPA)	4760	

Wyniki te zostały porównane z wynikami, otrzymanymi dzięki zastosowaniu pięciu różnych technik pomiarów, w ramach innego projektu. Dla przykładowego składowiska odpadów średnia emisja wyniosła wg pomiarów 515 m³ CH₄/h. Porównując tę wielkość z wartościami, wynikającymi z zastosowania modelu pierwszego rzędu (TNO), modelu wielofazowego GasSim, modelu LandGEM i modelu LandGEM US EPA, wydaje się, że modele te zawyżają wskaźnik emisji. Natomiast model wielofazowy (Afvalzorg), modele niemiecki i francuski, zastosowane na potrzeby EPER, mają tendencję do zaniżania wskaźnika emisji. Wielofazowy model (Afvalzorg) wykazuje najmniejsze odchylenia od wielkości emisji ustalonych drogą pomiarów.

Podsumowując, nie można zalecić stosowania żadnego z modeli, ponieważ porównanie dotyczy jednego tylko składowiska odpadów, które najprawdopodobniej nie jest reprezentatywne. W przypadku składowisk, gdzie znajdują się odpady innego rodzaju, wyniki te mogą być zupełnie inne.

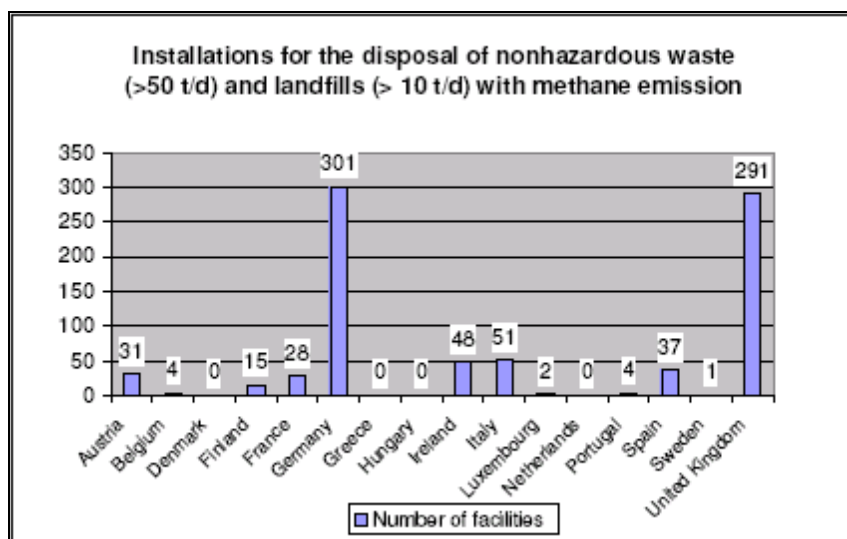
5. Wyniki pierwszego cyklu sprawozdawczego na potrzeby EPER

W związku ze składaniem po raz pierwszy sprawozdań na potrzeby EPER z terytorium całej Unii Europejskiej, emisje metanu zostały zgłoszone przez 813 obiektów, których działalność mieści się w ramach pkt. 5.3/5.4 Załącznika I do dyrektywy IPPC (5.3. "Instalacje do unieszkodliwiania odpadów niepowodujących zagrożeń, określone w załączniku II A do dyrektywy 75/442/EWG, pozycje D8 i D9, o wydajności przekraczającej 50 ton dziennie" oraz 5.4. "Składowiska odpadów przyjmujące ponad 10 ton odpadów dziennie lub o całkowitej pojemności przekraczającej 25 000 ton, z wyjątkiem składowisk odpadów obojętnych"). Niemcy i Wielka Brytania to dwa Państwa Członkowskie, w których znajduje się najwięcej takich obiektów (odpowiednio 301 i 291). Liczba obiektów w poszczególnych Państwach Członkowskich jest bardzo zróżnicowana (por. Tabela 3). Biorąc pod uwagę całkowitą ilość emisji, Niemcy i Wielka Brytania należą do trzech największych Państw Członkowskich, z których pochodzą emisje ze składowisk odpadów. Z kolei Włochy wykazują najwyższą w całej Unii Europejskiej wartość emisji metanu pochodzących ze składowisk odpadów.

Tabela 3: Liczba obiektów emitujących metan, których działalność mieści się w pkt. 5.3/5.4 Załącznika I do dyrektywy IPPC

5.3/5.4 Instalacje do unieszkodliwiania odpadów niepowodujących zagrożeń o wydajności przekraczającej 50 ton dziennie oraz składowiska odpadów przyjmujące ponad 10 ton odpadów dziennie				
Państwo Członkowskie	Liczba obiektów	Udział w łącznej liczbie obiektów w Unii Europejskiej [%]	Emisja metanu [g/rok]	Udział w całkowitej ilości emisji w Unii Europejskiej [%]
Austria	31	3,8	34 068 000	1,7
Belgia	4	0,5	10 679 000	0,5
Dania	0	0,0	-	0,0
Finlandia	15	1,8	16 400 000	0,8
Francja	28	3,4	20 932 000	1,0
Niemcy	301	37,0	493 592 000	24,6
Grecja	0	0,0	-	0,0
Węgry	0	0,0	-	0,0
Irlandia	48	5,9	67 377 000	3,4
Włochy	51	6,3	702 206 000	35,0
Luksemburg	2	0,2	2 745 000	0,1
Holandia	0	0,0	-	0,0
Portugalia	4	0,5	16 884 000	0,8
Hiszpania	37	4,6	65 739 000	3,3
Szwecja	1	0,1	2 300 000	0,1
Wielka Brytania	291	35,8	574 180 000	28,6
Unia Europejska	813	100	2 007 102 000	100

Instalacje do unieszkodliwiania odpadów niepowodujących zagrożeń o wydajności przekraczającej 50 ton dziennie oraz składowiska odpadów przyjmujące ponad 10 ton odpadów dziennie



Wykres 1: Liczba obiektów emitujących metan, których działalność mieści się w pkt. 5.3/5.4 Załącznika I do dyrektywy IPPC w poszczególnych Państwach Członkowskich

Nadesłane przez Państwa Członkowskie sprawozdania dotyczyły emisji również innych zanieczyszczeń do powietrza. Jednak w porównaniu z 12 Państwami Członkowskimi, które zgłosiły emisje metanu, liczba Państw Członkowskich zgłaszających inne zanieczyszczenia była naprawdę niewielka (por. Tabela 4). Jedynie dwutlenek węgla i tlenki azotu zostały ujęte w sprawozdaniach więcej niż jednego lub dwóch Państw Członkowskich.

Tabela 4: Liczba zgłoszonych emisji w podziale na zanieczyszczenia emitowane do powietrza w związku z działalnością określoną w pkt. 5.3/5.4 Załącznika I do dyrektywy IPPC

Emisje do powietrza	Liczba Państw Członkowskich
amoniak	1
arszenik i jego związki	1
kadm i jego związki	1
dwutlenek węgla	4
tlenek węgla	2
chlor i jego związki nieorganiczne (np. HCl)	2
chrom i jego związki	1
miedź i jej związki	1
tlenek azotu	2
dioksyne i furany (PCDD i PCDF)	1
fluorowęglowodory	1
rtęć i jej związki	2

metan	12
nikiel i jego związki	2
tlenki azotu	5
niemetanowe lotne związki organiczne (NMVOC)	2
Pył zawieszony PM10	2
sześciofluorek siarki	1
tlenki siarki	2
cynk i jego związki	1

6. Wnioski

Państwa Członkowskie ustaliły rozproszone emisje metanu ze składowisk odpadów na potrzeby EPER z wykorzystaniem różnych modeli, z których większość opiera się na rozkładzie pierwszego rzędu. Jednak niezbędne parametry, wynikające z przyjętych modeli, różnią się w ramach poszczególnych systemów i nie mogą być bezpośrednio porównywane.

Opracowanie, jakie nadesłała Holandia zawierające porównanie kilku modeli ustalania emisji metanu z wynikami pomiarów emisji na przykładowym składowisku odpadów wykazało zróżnicowanie wyników. W wynikach otrzymanych przy zastosowaniu czterech modeli występują mniejsze różnice, niż przy czynniku drugim z przeciętnej mierzonej wartości, natomiast zastosowanie trzech innych modeli doprowadziło do powstania większych różnic. W celu uzyskania bardziej reprezentatywnych wyników, modele te powinny zostać porównane w stosunku do więcej niż jednego składowiska.

7. Literatura

1. Baumeler, Brunner, Fehring, Kisliakova, Schamayer: "Reduktion von Treibhausgasen durch Optimierung der Abfallwirtschaft (CH₄). Schriftenreihe der Energieforschungsgemeinschaft im Verband der E-Werke Österreichs", Wien 1998.
2. J. Jacobs, H. Scharff: "Comparison of methane emission models to methane emission measurements. NV Afvalzorg."