



DIOKSYNY FURANY

Fot. Sam Bark on Unsplash

■ Justyna Czerwińska, Grzegorz Wielgosiński,
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka

Rzeczywista emisja dioksyn i furanów z polskich spalarni odpadów komunalnych

Ostatni rok pokazał dobitnie jak bardzo brakuje nam wystarczającej infrastruktury niezbędnej do zagospodarowania wszystkich powstających w Polsce odpadów komunalnych oraz jak bardzo wrażliwa jest nasza gospodarka na rosnące ceny surowców energetycznych. Nie należy więc dziwić się, że władze samorządowe wielu miast podjęły starania o wybudowanie instalacji termicznego przekształcania, będącymi de facto lokalnymi elektrociepłowniami opalanymi odpadami, widząc w tym szansę zarówno rozwiązania problemu zagospodarowania odpadów (i gwałtownie rosnących w tym sektorze cen), jak i zapewnienia tańszego ciepła mieszkańcom. Jednakże wszystkie te propozycje spotkały się z dużym oporem mieszkańców oraz licznymi protestami społecznymi. Podstawowym argumentem protestujących było zazwyczaj oddziaływanie instalacji na środowisko i zagrożenie emisją dioksyn.

Trzeba tu jednak wyraźnie zaznaczyć, że protestujący mieszkańcy, często wspierani przez organizacje uważające się za ekologiczne, zawodowo wręcz protestujące przeciwko wszystkim tego typu inwestycjom, posługiwali się argumentacją pochodzącą z lat 80. i 90. ub. w. całkowicie ignorując postęp wiedzy, nauki i techniki. Okazało się jednocześnie, że są oni całkowicie głusi i zaimpregnowani na argumenty oparte o aktualny stan wiedzy w tym zakresie. W ostatnim czasie ukazało się wiele publikacji uzasadniających budowę spalarni odpadów z punktu widzenia bilansu odpadów komunalnych w Polsce, czy też z punktu widzenia potrzeb systemu ciepłowniczego. Rozsądne argumenty z tego obszaru nie trafiają jednak do protestujących. Powszechny jest strach przed negatywnym oddziaływaniem, umiejętnie podsycany przez „zawodowych protestujących”, używających najczęściej nieprawdziwych, bądź dawno nieaktualnych argumentów.

Czym więc są dioksyny i czy rzeczywiście stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia mieszkańców oraz dla środowiska? Ogólną nazwą „dioksyny” określa się zazwyczaj całą grupę związków chemicznych obejmujących 75 polichlorowanych dibenzo-*p*-dioksyn (PCDDs) i 135 polichlorowanych dibenzofuranów (PCDFs), związków chemicznych o ogólnym wzorze przedstawionym na rys. 1.

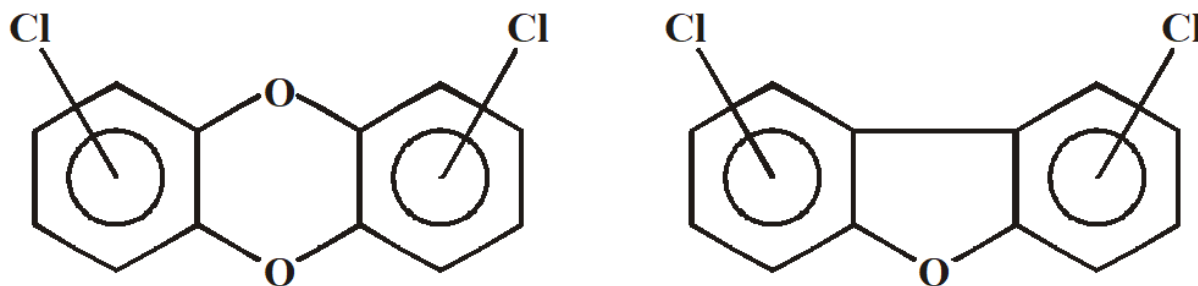
Jak łatwo zauważyć, cząsteczka dibenzo-*p*-dioksyny posiada dwie osie symetrii (pionową i poziomą), natomiast

cząsteczka dibenzofuranu jedynie jedną oś symetrii (pionową), co tłumaczy istotne różnice w ilości kongenerów, czyli związków o takiej samej budowie chemicznej różniących się ilością i miejscem podstawienia atomów chloru. Trzeba tu także zaznaczyć, że wśród 210 kongenerów polichlorowanych dibenzo-*p*-dioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów jedynie 17 posiada aktywność biologiczną (7 dioksyn i 10 furanów). Cała reszta jest absolutnie obojętna dla organizmów żywych. Polichlorowane dibenzo-*p*-dioksyny i polichlorowane dibenzofurany zaliczane są do licznej grupy tzw. *endocrine disrupters* (inaczej ksenobiotyków) – substancji zakłócających działanie układu wydzielania wewnętrznego.

Od lat 70. ub. w. PCDD/Fs uważane były za jedne z najsilniejszych trucizn spośród znanych w tej chwili związków chemicznych. Jednakże pomimo bardzo wysokiej toksyczności niektórych dioksyn i furanów w odniesieniu do niektórych organizmów zwierzęcych, trudno porównywać je z innymi silnymi truciznami występującymi w środowisku, ponieważ ich działanie nie jest natychmiastowe w stężeniach, z jakimi spotykamy się na co dzień. Szkodliwe działanie PCDD/Fs polega przede wszystkim na zakłócaniu endokrynnych funkcji organizmu, skutkujące zaburzeniami płodności, problemami z utrzymaniem ciąży lub nawet bezpłodnością (budowa chemiczna dioksyn podobna jest do budowy hormonów steroidowych, do których należą także hormony piciowe). Chodzi tu przede

wszystkim o zakłócenia w wydzielaniu progesteronu, hormonu niezbędnego dla utrzymania i prawidłowego przebiegu ciąży. Natomiast liczne badania prowadzone w ostatnich 20 latach nie potwierdziły informacji z początku lat 70. o kancerogenności dioksyn.

Wykonane w połowie lat 70. badania na świnkach morskich wykazały, że dioksyny są trucizną ok. 10 000 razy bardziej toksyczną od cyjanku potasu. Ta informacja jest upowszechniana do dnia dzisiejszego i stanowi koronny argument przeciwko budowie spalarni odpadów. Autorzy powołujący się na nią jednak najczęściej pomijają fakt, że cytowane dane toksykologiczne odnoszą się jedynie do świnki morskiej rasy Hartley. Wykonane później badania toksyczności dioksyn na innych organizmach wykazały, że tylko szczury i świnki morskie są tak bardzo wrażliwe na dioksyny. Według danych toksykologicznych trudno uznać, aby w odniesieniu do organizmu człowieka wykazywały one tzw. toksyczność ostrą. W przypadku ludzi – po przeanalizowaniu wszystkich znanych z historii przypadków ekspozycji na ekstremalnie wysokie stężenie dioksyn (w warunkach awarii przemysłowych) stwierdzono, że na 823 znane przypadki narażenia ludzi w 592 przypadkach jedynym skutkiem kontaktu z dioksynami była wysypka na skórze zwana „trądzikiem chlorowym” (często spotykanym u osób, które mają kontakt z chlorem). „Trądzik chlorowy” (łac. Chloracne) to opisana już 1897 r. przez von Bettmanna i rok później przez Herxheimer’a choroba skóry, której przyczyną



Rys. 1. Polichlorowane dibenzo-*p*-dioksyny i polichlorowane dibenzofurany

jest kontakt z chlorem lub związkami chloroorganicznymi. W analizowanej grupie osób narażonych na dioksyny nie zaobserwowano natomiast podwyższonej umieralności, choć zdarzyły się nieliczne przypadki chorób wątroby. Wykonywane systematycznie od lat 80. badania epidemiologiczne wśród osób zamieszkałych w rejonie wielkiej awarii przemysłowej z 1976 r. - Seveso (Włochy), gdzie jak się szacuje do atmosfery przedostało się około 3-4 kg najbardziej toksycznego kongeneru - 2,3,7,8-TCDD, nie wykazały wzrostu zachorowań na choroby nowotworowe. Faktem jest, że polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i polichlorowane dibenzofurany, które rzeczywiście mogą oddziaływać mutagennie znajdują się na liście Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC), jako substancje o potencjalnym działaniu cancerogennym. Jak już wspomniano, znane wyniki badań epidemiologicznych, w szczególności pochodzące z ostatnich lat tego jednak nie potwierdzają, a wręcz zaprzeczają.

Generalnie za najważniejsze źródła emisji dioksyn do środowiska uważa się:

- **Reakcje chemiczne.** Jest to wynik ubocznych reakcji występujących w procesach syntezy chemicznej - np. produkcja chlorowanych pestycydów, chlorofenoksy herbicydów, chlorofenoli, barwników i pigmentów oraz PCB. Innym poważnym źródłem jest również produkcja i przemysłowe wykorzystanie chloru - w szczególności elektroliza połączona z produkcją chloru, bielenie pulpy celulozowej chlorem, itp.
- **Procesy termiczne.** Dotyczy to w pierwszym rzędzie procesów spalania: odpadów komunalnych, medycznych, chemicznych, również stałych paliw kopalnych (węgla kamiennego, brunatnego, czy torfu), biomasy, a także produkcji żelaza, stali, magnezu, niklu, przetwórstwa złomu, czy produkcji koksu. Źródłem emisji dioksyn do środowiska są również spaliny samochodowe.

- **Reakcje fotochemiczne.** Zalicza się tutaj fotochemiczne odchlorowanie wyżej schlorowanych dioksyn, fotochemiczną cyklizację o-fenoksyfenoli, albo fotochemiczną dimeryzację chlorofenoli. Procesy te zachodzą zarówno w atmosferze, jak i na powierzchni Ziemi - np. jako reakcje uboczne pozostałości niektórych pestycydów.
- **Reakcje enzymatyczne.** Jest to proces tworzenia się dioksyn i furanów z chlorofenoli pod wpływem peroksydaz, który może zachodzić w warunkach naturalnych, np. w szlamach kanalizacyjnych, w osadach ściekowych, czy osadach dennych rzek i jezior.
- **Procesy naturalne.** Do najważniejszych zaliczamy wybuchy wulkanów oraz pożary, w tym szczególnie pożary lasów. Ocenia się, że źródła naturalne odpowiadają za ok. 50% światowej emisji dioksyn.

Powyższą listę w znacznym stopniu uzupełnia spalanie drewna w urządzeniach przemysłowych i domowych, spalanie paliw kopalnych w małych piecach



Obecnie udział spalarni odpadów w krajowym bilansie emisji dioksyn w najbardziej uprzemysłowionych (i mających największą ilość spalarni odpadów) krajach UE nie przekracza 1-2%, a największy udział mają tzw. źródła nieprzemysłowe

domowych, spalanie paliw w silnikach samochodowych oraz palenie papierosów (stężenie dioksyn w dymie papierosowym sięga 2 ng/m³!).

Od czasu, kiedy Olie i Buser pod koniec lat 70 ub. w. odkryli obecność dioksyn w spalinach i popiołach z procesu spalania odpadów zawsze spalarnie uważane były za podstawowe źródło ich emisji do środowiska. Od końca lat 70. (przez już ponad 40 lat) wykonano na całym świecie dziesiątki tysięcy pomiarów emisji dioksyn ze spalarni odpadów i opublikowano kilkadziesiąt prac zawierających wyniki tych pomiarów. Wielkość

emisji zanieczyszczeń z procesu spalania w klasycznych spalarniach rusztowych była przedmiotem intensywnych badań w latach 90. Ogólny przegląd informacji na temat wielkości emisji PCDD/Fs z procesów spalania odpadów i sposobów ograniczania ich emisji został już dawno wielokrotnie opublikowany w literaturze światowej. Rozważania nad sposobem ograniczania emisji dioksyn i wielkością emisji prowadziło także wielu badaczy, podając konkretne wartości stężeń dioksyn w spalinach. Wynoszą one zazwyczaj od 0,001 do 50 ng TEQ/m³, w zależności od systemu oczyszczania spalin.

Jak już wspomniano, badania nad powstawaniem i emisją dioksyn prowadzone przez ostatnich 40 lat na całym świecie wykazały jednoznacznie, że istnieje bardzo wiele innych źródeł emisji dioksyn do środowiska, zaś w wyniku postępu technicznego w zakresie konstrukcji spalarni i systemów oczyszczania gazów spalinowych ze spalarni, w chwili obecnej to nie spalanie odpadów stanowi główne źródło emisji. Pokazała to m. in. przeprowadzona przez Quassa ponad 20 lat temu (dokładnie

w 2000 r.) europejska inwentaryzacja emisji dioksyn i furanów. Obecnie udział spalarni odpadów w krajowym bilansie emisji dioksyn w najbardziej uprzemysłowionych (i mających największą ilość spalarni odpadów) krajach UE nie przekracza 1-2%, a największy udział mają tzw. źródła nieprzemysłowe.

Wbrew powszechnemu mniemaniu dioksyny nie należą do nadmiernie trwałych substancji organicznych w warunkach wysokiej temperatury. Zgodnie z danymi literaturowymi, temperatura rozkładu praktycznie wszystkich kongenerów dioksyn i furanów nie przekracza

700°C. Wyższe temperatury rozkładu mają np. benzen, czy heksachlorobenzen, ale sięgają one maksymalnie 900-950°C. Praktycznie wszystkie związki organiczne ulegają destrukcji w temperaturze bliskiej 1000°C, która praktycznie zawsze towarzyszy procesom spalania odpadów.

Znane są dokładnie 3 mechanizmy powstawania dioksyn w procesach termicznych:

- synteza wysokotemperaturowa w fazie gazowej,
- synteza katalityczna,
- synteza *de novo*.

Synteza wysokotemperaturowa (inaczej homogeniczna) to powstawanie dioksyn z chlorowanych prekursorów (np. chlorofenoli, chlorobenzenów) obecnych w gazach odlotowych poza strefą spalania, powstałych w wyniku szeregu syntez z rodników węglowodorowych i chlorowęglowodorowych. Przebiega ona w fazie gazowej w temperaturze ok. 500-700°C. Jest to stosunkowo szybka reakcja, w której powstają dioksyny i furany mające najwyżej 4 atomy chloru.

Synteza katalityczna (inaczej heterogeniczna) przebiega w obecności katalizatorów (miedź, żelazo, glin, cynk) z chlorowanych i niechlorowanych prekursorów oraz chlorowanych donorów i jest w zasadzie zbliżona do syntezy wysokotemperaturowej, z tym że przebiega ona w niższej temperaturze - ok. 300-400°C, na powierzchni metali - katalizatorów (będących elementem składowym cząstek pyłu emitowanego z procesu spalania).

Synteza *de novo* natomiast to ciąg wolnych i bardzo wolnych (od 100 do nawet blisko miliona razy wolniejszych od syntezy wysokotemperaturowej, czy katalitycznej) reakcji chemicznych, w większości katalitycznych (katalizator: miedź, glin, cynk), w których z węgla elementarnego (sadzy), a także rodników organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych tworzą się różnego rodzaju złożone związki organiczne (reakcje tworzenia i zamykania

pierścienia aromatycznego, reakcje utlenienia, kondensacji, itp.), które następnie podlegają chlorowaniu za pomocą cząsteczkowego (gazowego) chloru również w obecności katalizatora. Proces chlorowania jest reakcją następczą zgodną ze znanym z chemii organicznej mechanizmem podstawienia elektrofilowego - Friedla-Craftsa. Chlorowaniu podlegają również niżej schlorowane dioksyny i furany. W ten sposób powstają dioksyny mające 4-8 atomów chloru w cząsteczce. Optymalny zakres temperatury dla syntezy *de novo* to 300-350°C, choć reakcja ta przebiega również już w temperaturze nieco powyżej 200°C. Równolegle z syntezą *de novo* w obecności innych metali osadzonych na cząstkach pyłu (np. wanadu, chromu, wolframu, itp.) następuje rozkład wcześniej powstałych dioksyn, poprzez następcze odchlorowanie i utlenienie.

Jak to opisano powyżej, rozłożone w wysokiej temperaturze w strefie spalania (wymóg formalny 850°C, w rzeczywistości powyżej 1000°C) dioksyny nie mogą „odtworzyć się” w niższej temperaturze. Mogą jedynie powstać w wyniku syntezy. Według danych literaturowych ok. 90-95% dioksyn obecnych w emitorze powstaje w zgodzie z tym mechanizmem. Przebiegowi syntezy zapobiega się poprzez dokładne dopalenie gazów spalinowych (utlenienie mikrozanieczyszczeń organicznych i rodników), ograniczenie stężenia CO (wzrost stężenia CO skutkuje wzrostem emisji sadzy, a także emisji tzw. mikrozanieczyszczeń organicznych, wśród których są np. chlorofenole), odpowiednią konstrukcją instalacji uniemożliwiającą osiadanie pyłu, w szczególności w niewralgicznej strefie temperatur 300-350°C oraz poprzez szybkie schłodzenie spalin do temperatury poniżej 200°C. Dobrze zaprojektowany układ instalacji spalającej oraz dobre warunki spalania pozwalają osiągnąć stężenie dioksyn w spalinach na poziomie ok. 1 ng/m³. Emisję dioksyn do wymaganego prawem poziomu 0,1 ng/m³ ogranicza się np. stosując adsorpcję na węglu aktywnym lub stosując katali-

zator wolframowo-wanadowy (taki sam jak do redukcji tlenków azotu metodą SCR). Można wtedy uzyskać stężenie dioksyn i furanów w spalinach poniżej 0,01 ng/m³.

Często podczas dyskusji nad zaletami i wadami spalania odpadów i rozwiązaniami konstrukcyjnymi spalarni pada stwierdzenie o wyższości spalarni pirolitycznych, plazmowych, czy też procesów zgazowania nad klasycznym spalaniem, a głównym argumentem jest znacznie niższa niż w przypadku klasycznych spalarni emisja dioksyn lub nawet jej brak. Brak emisji dioksyn jest absolutnie nierealny, zaś rzeczywiste, zmierzone wielkości emisji nie dają podstaw do stwierdzenia, że jest ona znacząco niższa niż w klasycznych spalarniach odpadów. Emisję dioksyn z procesu pirolizy opisał między innymi Weber, Conesa, Cho i Molto, a z procesu zgazowania odpadów Asikainen, Ito, Cieplik i Arena, natomiast emi-

Kategoria źródeł emisji	Emisja (w gramach)
Procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii	10,94
Procesy spalania w przemyśle	5,79
Transport	8,13
Spalanie w małych źródłach	171,79
Emisja z paliw	2,83
Procesy przemysłowe	13,42
Rolnictwo	0,01
Zagospodarowanie odpadów	61,20
Razem	274,10

Tab. 1. Struktura emisji dioksyn w Polsce w 2019 r. (wg KOBIZE)

Kategoria źródeł emisji	Emisja (w gramach)
Spalanie odpadów komunalnych	0,056
Spalanie odpadów niebezpiecznych	0,490
Spalarnie osadów ściekowych	0,080
Spalanie odpadów w rolnictwie	3,000
Pożary składowisk	26,458
Pożary pojazdów	0,48
Pożary budynków	30,635
Krematoria	0,001
Razem	61,200

Tab. 2. Struktura emisji dioksyn w Polsce w 2019 r. klasyfikowana jako zagospodarowanie odpadów (wg KOBIZE)

się ze spalarni plazmowej opisał ostatnio Yang, gdzie stężenia dioksyn w spalinach przed systemem oczyszczania spalin wynosiły 0,2-0,5 ng/m³.

Najpełniejsze porównanie emisji PCDD/Fs z funkcjonujących instalacji tzw. nowych technologii (piroliza, zgazowanie, plazma) przedstawione zostało w obszernym opracowaniu Uniwersytetu Kalifornijskiego. Zgodnie z zawartymi tam danymi, stężenie dioksyn w spalinach z instalacji pirolizy, konwencjonalnego, czy plazmowego zgazowania odpadów za systemem oczyszczania spalin wynosi zazwyczaj 0,00007-0,09 ng/m³, a więc poniżej standardu emisyjnego 0,1 ng/m³. Podobne wyniki uzyskiwane są dla typowych europejskich, rusztowych spalarni odpadów komunalnych, a więc rzekoma przewaga nowych technologii w tym zakresie jest mitem.

Obecnie, w wyniku zaostrzenia norm emisji oraz dzięki rozwojowi nowych technologii spalania, a także dzięki zastosowaniu wydajnych systemów oczyszczania spalin sytuacja uległa zmianie, i współczesne spalarnie emitują spaliny zawierające dioksyny i furany w takim stężeniu, jakie zazwyczaj występuje w zanieczyszczonym powietrzu miejskim. Wycofanie z produkcji chloroorganicznych środków ochrony roślin i zaprzestanie bielenia papieru chlorem spowodowało znaczne zmniejszenie emisji dioksyn i furanów również z tych procesów. Znaczącym źródłem zarówno

w Polsce, jak i w wielu krajach Europy, jest obecnie przemysł metalurgiczny, obejmujący zarówno hutnictwo metali żelaznych, jak i nieżelaznych, a także wtórny przerób złomu. Bardzo poważnym problemem pozostaje jednak nadal niekontrolowane spalanie odpadów gospodarczych w piecach domowych oraz spalanie niskojakościowych paliw stałych, w tym węgla kamiennego i brunatnego w małych, najczęściej przestarzałych i wyeksploatowanych kotłowniach lokalnych, w których warunki spalania są z punktu widzenia termodynamiki i chemizmu spalania bardzo złe.



Widać wyraźnie, że 8 polskich spalarni odpadów funkcjonujących w 2019 r. wyemitowało jedynie około 0,06 g dioksyn, natomiast w wyniku pożarów składowisk i miejsc magazynowania odpadów do atmosfery przedostało się aż 26,5 g dioksyn

Są to w tej chwili główne źródła emisji dioksyn do powietrza w większości krajów Europy, jak i w Polsce.

Analizując dane GUS oraz KOBIZE dotyczące wielkości emisji dioksyn w Polsce łatwo zauważyć, że emisja ta (wyrażona w gramach) jest znacznie mniejsza od emisji np. wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych w tym wybitnie kancerogennego benzo(a)pirenu (tutaj emisje liczone są w dziesiątkach kilogramów na rok). W roczniku statystycznym za 2019 r. znajdziemy informację, o emisji ok. 274 g

dioksyn w ciągu roku, z czego ok. 172 g pochodziło ze spalania w paleniskach domowych. Dane te pokazano w tab. 1.

Zastanawiająca jest jednak emisja ok. 61 g zakwalifikowana do kategorii zagospodarowane odpady. Wg danych KOBIZE w kategorii tej mieści się zarówno emisja ze spalarni różnego rodzaju odpadów, jak i z pożarów, w tym pożarów miejsc magazynowania odpadów. Pokazano to w tab. 2.

Widać wyraźnie, że 8 polskich spalarni odpadów funkcjonujących w 2019 r. wyemitowało jedynie około 0,06 g dioksyn, natomiast w wyniku pożarów skła-

dowisk i miejsc magazynowania odpadów do atmosfery przedostało się aż 26,5 g dioksyn.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami w polskich spalarniach odpadów komunalnych, podobnie jak we wszystkich spalarniach w Unii Europejskiej - corocznie prowadzone są pomiary emisji dioksyn i furanów. W tab. 3 przedstawiono dane o ilości wykonanych pomiarów w latach 2016-2021 oraz o wielkości stężeń dioksyn i furanów oznaczonych w spalinach.

Lp.	Spalarnia	Ilość pomiarów	Wyniki pomiarów emisji PCDD/Fs (stężenia w ng/m ³)				Średnia jako % wart. dop. (0,1 ng/m ³)
			Minimum	Maksimum	Średnia	Mediana	
1	Białystok	13	0,000100	0,035980	0,007301	0,003800	7,30
2	Bydgoszcz	14	0,000190	0,023050	0,009189	0,004150	9,19
3	Konin	13	0,000206	0,016220	0,005579	0,005230	5,58
4	Kraków	15	0,001000	0,068000	0,010700	0,004000	10,70
		15	0,000900	0,049000	0,008331	0,004000	8,33
5	Poznań	15	0,000120	0,066000	0,010703	0,002000	10,70
		15	0,000030	0,064000	0,011856	0,003800	11,86
6	Rzeszów	9	0,001700	0,025000	0,010867	0,007000	10,87
7	Szczecin	9	0,000570	0,033000	0,007041	0,002988	7,04
		9	0,000710	0,029000	0,005162	0,001300	5,16
8	Warszawa	12	0,002200	0,088000	0,036000	0,020300	36,00
9	Zabrze	4	0,002000	0,016000	0,005750	0,002500	5,75

Tab. 3. Wyniki pomiarów emisji PCDD/Fs w polskich spalarniach odpadów komunalnych w latach 2016-2021

Lp.	Spalarnia	Ilość spalonych odpadów	Ilość godzin pracy	Objętościowy przepływ spalin	Stężenie dioksyn i furanów	Emisja roczna
		Mg/r.	h/r.	m ³ /h	ng/m ³	g/r.
1	Białystok	107 600	7 854	54 975	0,0017	0,000734
2	Bydgoszcz	159 104	7 165	60 060	0,0300	0,012910
			7 506	54 068	0,0136	0,005519
3	Konin	81 314	7 715	54 647	0,0162	0,006838
4	Kraków	224 082	8 085	78 596	0,0020	0,001271
			8 104	79 712	0,0040	0,002584
5	Poznań	206 097	8 155	52 157	0,0005	0,000225
			8 287	48 435	0,0025	0,001003
6	Rzeszów	90 021	8 047	38 895	0,0056	0,001743
7	Szczecin	150 000	7 685	55 283	0,0120	0,005098
			7 776	69 791	0,0032	0,001737
8	Warszawa	41 186	6 807	20 196	0,0195	0,002681
9	Zabrze	101 738	5 756	241 659	0,0030	0,004173
Razem		1 161 141				0,046517
Średnia			7 611		0,0088	

Tab. 4. Wyniki pomiarów emisji PCDD/Fs w polskich spalarniach odpadów komunalnych w 2020 r.

Lp.	Spalarnia	Ilość spalonych odpadów	Ilość godzin pracy	Objętościowy przepływ spalin	Stężenie dioksyn i furanów	Emisja roczna
		Mg/r.	h/r.	m ³ /h	ng/m ³	g/r.
1	Białystok	111 132	7 831	45 416	0,03598	0,012796
2	Bydgoszcz	157 645	7 717	59 365	0,0230	0,010537
			7 542	59 847	0,0255	0,011510
3	Konin	83 910	7 896	54 252	0,0050	0,002131
4	Kraków	232 429	8 356	67 966	0,0064	0,003635
			8 444	61 319	0,0025	0,001294
5	Poznań	210 000	8 288	57 655	0,0120	0,005734
			8 297	55 292	0,0640	0,029359
6	Rzeszów	84 128	7 418	37 760	0,0173	0,004846
7	Szczecin	164 813	7 695	54 003	0,0046	0,001912
			7 639	64 259	0,0015	0,000736
8	Warszawa	37 738	6 281	20 556	0,0206	0,002660
9	Zabrze	155 784	6 640	481 211	0,0160	0,051124
Razem		1 237 580				0,138273
Średnia			7 696		0,0180	

Tab. 5. Wyniki pomiarów emisji PCDD/Fs w polskich spalarniach odpadów komunalnych w 2021 r.

Jak można łatwo zauważyć, w żadnej spalarni odpadów nie odnotowano przekroczeń dopuszczalnych wartości stężeń, a najczęściej oznaczane wartości były na poziomie 10% wartości dopuszczalnych.

W kolejnych tab. 4 i 5 przedstawiono szczegółowe wyniki obliczenia wielkości emisji dioksyn z polskich spalarni w latach 2020-2021. Wielkość emisji obliczono mnożąc oznaczone stężenie dioksyn i furanów w spalarniach (wartość najwyższą z wyników pomiarowych w danym roku) przez średni strumień

spalin oraz ilość godzin pracy instalacji w ciągu roku.

Analizując dane zawarte w tab. 4 i 5, a także w tab. 1 i 2 łatwo można zauważyć, że w wyniku spalania ponad 1 mln ton odpadów komunalnych w każdym z analizowanych lat do atmosfery zostało wyemitowane znacznie poniżej 1% krajowej emisji dioksyn. Oznacza to, że używanie argumentu o zagrożeniu dla ludzi i środowiska emisją dioksyn pochodzących ze spalarni odpadów jest po prostu nieporozumieniem, zaprzeczaniem oczywistym faktom. Trudno

jest jednak przeciętnemu obywatelowi przyjąć do wiadomości, że większe zagrożenie dla niego, jego rodziny, sąsiadów i środowiska stanowi jego własny piec domowy opalany paliwami stałymi, niestety często też odpadami, niż nowoczesna spalarnia odpadów komunalnych. Większe zagrożenie stanowi także palenie papierosów, niż zamieszkiwanie w pobliżu spalarni odpadów. Potwierdza to także lektura ogromnej ilości publikacji naukowych dotyczących tych zagadnień, jakie ukazały się w ostatnim 20-leciu. □