

# POLICHLOROWANE DIBENZO-PARA-DIOKSYNY I POLICHLOROWANE IBENZOFURANY W PRZEMYSŁE METALURGICZNYM

## DIBENZO-PARA-DIOXINS (PCDDS) AND POLYCHLORINATED DIBENZOFURANS (PCDFS) FROM METALLURGICAL INDUSTRY

**Dorota Burchart-Korol**

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii  
e-mail: dorota.burchart-korol@polsl.pl

### ABSTRACT

The paper presents polychlorinated dibenzo-para-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) emission from ferrous and non-ferrous metal production. Dioxins and furans can be formed in processes related to iron and steel metallurgy, non-ferrous metallurgy (production of Cu, Zn, Al) as well as in casting of iron alloys and non-ferrous metal casting (mainly aluminium alloys). Most PCDDs/PCDFs emission is generated in sinter plants. Based on the results of tests, basic sources of dioxins have been determined in the iron ore sintering process. In the nearest future investigations of PCDDs/PCDFs emission in Polish steel and non-ferrous metallurgy will be necessary.

**Key words: polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), ferrous and non-ferrous metal production**

### Wprowadzenie

Konwencja Sztokholmska (Konwencja w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych) podpisana 23 maja 2001 r., została wynegocjowana z inicjatywy UNEP (United Nations Environmental Programme). W Polsce weszła w życie dnia 17 maja 2004 r. Głównym celem Konwencji jest ochrona zdrowia ludzi i środowiska przed trwałymi zanieczyszczeniami organicznymi (TZO) oraz eliminacja z otoczenia najbardziej toksycznych związków chemicznych. Na liście Konwencji Sztokholmskiej znajduje się dwanaście najniebezpieczniejszych TZO: polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i polichlorowane dibenzofurany (PCDD/PCDF), polichlorowane bifenylo (PCB), heksachlorobenzen (HCB) oraz dziewięć pestycydów: aldryna, chlordan, dieldryna, DDT, endryna, heptachlor, mirex i toksafen. Do zanieczyszczeń tworzonych i uwalnianych w sposób niezamierzony ze źródeł antropogenicznych Konwencja zalicza: polichlorowane dibenzo-para-dioksyny i polichlorowane dibenzofurany (PCDD/PCDF), polichlorowane bifenylo (PCB) oraz heksachlorobenzen (HCB). TZO (POPs - Persistent Organic Pollutants), należą do grupy bardzo niebezpiecznych związków chemicznych. Zgodnie z Najlepszymi

Dostępnymi Technikami TZO są ubocznymi produktami przemysłowej działalności człowieka (Guidelines on BAT, 2004).

W przemyśle metalurgicznym problem trwałych zanieczyszczeń organicznych dotyczy wielu procesów i wymaga zarówno działań ograniczających ich powstawanie, jak i eliminacji w gazach odlotowych. Przemysł metalurgiczny stanowi znaczące źródło polichlorowanych dibenzo-para-dioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów, co potwierdzają wykonane analizy (Burchart-Korol, 2005). Dioksyny i furany są uwalniane w procesach w hutnictwie żelaza i stali, w przemyśle metali nieżelaznych (produkcja cynku, ołowiu, miedzi i aluminium), a także w procesach odlewniczych. Określono możliwości tworzenia się dioksyn i furanów w procesach metalurgicznych (Holtzer i in., 2007).

### Właściwości PCDD/PCDF

Dioksyny są to chloropochodne trójpierścieniowe aromatyczne związki organiczne. Składają się z dwóch pierścieni benzenowych połączonych przez jeden lub dwa atomy tlenu. Związki, w których występują dwa atomy tlenu, nazywa się polichlorowanymi dibenzodioksynami (PCDD), z jednym atomem tlenu – polichlorowanymi dibenzofuranami

(PCDF). Toksyczność dioksyn ściśle zależy od ich budowy.

Największą toksycznością charakteryzuje się 2,3,7,8 tetrachlorodibenzodioskyna (2,3,7,8 TCDD). Polichlorowane dibenzodioskyny (PCDD) oraz polichlorowane dibenzofurany (PCDF), co zostało już udowodnione w wielu badaniach toksykologicznych i farmakologicznych, należą do silnie toksycznych związków chemicznych, które zostały sztucznie wytworzone przez człowieka. Zarówno PCDD, jak i PCDF są substancjami, które nigdy nie były i nie są wytwarzane celowo, ponieważ nie znajdują żadnego zastosowania technicznego (Makles i in., 2001).

Polichlorowane dibenzo-para-dioksyny, polichlorowane dibenzofurany, tworzą się w sposób niezamierzony z procesów termicznych z udziałem substancji organicznych i chloru w wyniku niepełnego spalania lub reakcji chemicznych (Żurek, 2002). Do źródeł przemysłowych mogących powodować wysoki poziom powstawania i uwalniania tych substancji chemicznych do środowiska zalicza się:

- spalarnie odpadów, w tym spalarnie współspalające odpady komunalne, niebezpieczne lub medyczne, albo osady ściekowe;
- piece cementowe spalające odpady niebezpieczne;

- produkcja masy papierniczej z zastosowaniem chloru pierwiastkowego lub substancji chemicznych wytwarzających chlor pierwiastkowy jako wybielacza;
- następujące procesy termiczne w hutnictwie:
  - wtórna produkcja miedzi;
  - spiekalnie w hutnictwie żelaza i stali;
  - wtórna produkcja aluminium;
  - wtórna produkcja cynku.

#### PCDD/PCDF w przemyśle metalurgicznym

Przemysł metalurgiczny jest obecnie jednym z głównych źródeł PCDD/PCDF w wielu krajach europejskich. Według wytycznych pt. „Standardowy zestaw narzędzi do identyfikacji i szacowania emisji PCDD/F” opracowanymi przez UNEP Chemicals Toolkit (UNEP, 2005) wyróżnia się główne źródła dioksyn i furanów w przemyśle metalurgicznym – hutnictwie żelaza i stali oraz produkcji metali nieżelaznych (tabela 1).

W tabela 2 zestawiono wyniki badań emisji dioksyn i furanów przeprowadzonych w Polsce w podziale na dwie, główne grupy źródeł emisji, tj.: produkcja żelaza i stali oraz produkcja metali nieżelaznych (Grochowalski i in., 2007).

Najwyższe stężenie dioksyn wystąpiło w przypadku spiekania rudy żelaza. Względne, wysokie stężenie dioksyn wykazano również w przypadku przetapiania złomu aluminium

Tabela 1. Główne źródła dioksyn i furanów w przemyśle metalurgicznym.

	Powietrze	Woda	Ziemia	Wyrób	Odpady
Spiekanie rud żelaza	X				X
Produkcja koksu	X	X	X	X	X
Hutnictwo żelaza i stali	X				X
Produkcja miedzi	X				X
Produkcja aluminium	X				X
Produkcja ołowiu	X				X
Produkcja cynku	X				X
Produkcja mosiądzu i brązu	X				X
Produkcja magnezu	X	X			X
Inne produkcje metali nieżelaznych	X	X			X

Źródło: UNEP Chemicals, Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. UNEP Chemicals, Geneva 2005.

Tabela 2. Wskaźniki emisji dioksyn i furanów w przemyśle metalurgicznym

Rodzaj produkcji	Wskaźnik emisji µg I-TEQ/Mg produktu [12]	Emission factor(s) µg I-TEQ/Mg of product [13]
<b>Produkcja żelaza i stali</b>		
Spiekanie rud żelaza	1.47; 1.10	5
Produkcja surówki – wielkie piece	0.01	0.03–0.13
Produkcja stali – piece konwertorowe BOF	0.02	0.5–10
Odlewanie żeliwa – żeliwiaki z gorącym dmuchem (dobre APCS)	0.06; 4.11	0.03–10
Odlewanie żeliwa – piece obrotowe opalane gazem	0.02	4.3
Wtórna produkcja stali; obróbka i przetapianie złomu stalowego –piece elektryczne łukowe	0.62; 0.02 *	5
Odlewanie staliwa – piece elektryczne łukowe	0.03	1.0
<b>Produkcja metali nieżelaznych</b>		
Pierwotna produkcja miedzi z koncentratu połączona z produkcją kwasu siarkowego; recykling żużla i innych odpadów	0.005; 0.004; 0.002	0.01
Przetapianie złomu miedzi	0.007	50
Wtórna produkcja aluminium; przetapianie złomu (w tym puszek aluminiowych)	8.65; 3.05; 1.69; 0.34	150
Pierwotna produkcja cynku	0.012	0.15–2.4
Produkcja cynku w procesie przetapiania katod cynkowych	0.02	No data available

\* pomiarami objęto tylko wtórne gazy odlotowe

Źródło: GROCHOWALSKI A, LASSEN C, HOLTZER M, SADOWSKI M, HUDYMA T.: 2007, Determination of PCDDs, PCDFs, PCBs and HCB Emissions from the Metallurgical Sector in Poland, w: *Environmental Science and Pollution Research*, nr 14 (5), s. 326–332

### PCDD/PCDF w hutnictwie żelaza i stali

Najistotniejszymi zanieczyszczeniami w hutnictwie żelaza i stali są emisje do atmosfery, których najwięcej pochodzi ze spiekalni. Pomimo że podjęto szereg starań mających na celu obniżenie emisji, to wkład hutnictwa żelaza i stali w całość emisji do atmosfery jest znaczny w odniesieniu do wielu zanieczyszczeń. Silne właściwości toksyczne, rakotwórcze i mutagenne polichlorowanych dibenzo-pardioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów spowodowały wprowadzenie bardzo rygorystycznej normy ich dopuszczalnej emisji w krajach Unii Europejskiej. Dyrektywa 96/61/WE, dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (Dyrektywa IPPC), jest najważniejszym przepisem dotyczącym redukcji emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych. Dyrektywa IPPC nałożyła także obowiązki wprowadzenia Najlepszych Dostępnych Technik BAT w produkcji żelaza i stali. Dokument Referencyjny BREF (BAT Reference Notes) BAT dotyczący produkcji żelaza i stali określa aspekty środowiskowe w hutach żelaza i stali o pełnym cyklu produkcyjnym (spiekalnie, grudkownie, koksownie, wielkie piece oraz zasadowe konwertory tlenowe, w tym odlewanie ciągle

lub odlewanie wlewków). Od listopada 2007 r. stosowane technologie muszą wykorzystywać BAT. Wytyczne, opisujące najlepsze dostępne techniki dla poszczególnych gałęzi przemysłu, zawarte są w dokumentach referencyjnych BREF (BAT, 2001). W Dokumentach BREF z 2001 zostały określone najważniejsze emisje zanieczyszczeń. Emisje TZO w krajowym hutnictwie żelaza i stali zostały zaprezentowane w tablicy 3.

Zawartość TZO w gazach odlotowych w procesie spiekania rud żelaza przewyższa emisje w innych procesach metalurgicznych. Najwięcej spośród wszystkich TZO w procesach metalurgicznych występuje polichlorowanych dibenzo-pa-dioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów PCDD/PCDF.

W wysokotemperaturowych procesach technologicznych - jak to ma miejsce w hutnictwie - większy, niż warunki prowadzenia procesu, wpływ na emisję TZO ma jakość stosowanych surowców.

W chwili obecnej nie została ustalona wartość graniczna emisji TZO w hutnictwie żelaza i stali w Polsce. Metody ograniczania emisji PCDD/PCDF do wymaganego poziomu dla badanej instalacji zostały podzielone na pierwotne oraz wtórne (BAT, 2001).

Tabela 3. Emisje TZO w krajowym hutnictwie żelaza i stali.

	PCDD/F ng I-TEQ/m <sup>3</sup>	PCB ng/m <sup>3</sup>	HCB ng/m <sup>3</sup>
Spiekalnia rud żelaza	1,2714	2,935	12
Wielki Piec	0,0029	1,328	0,304
Piec konwertorowy	0,0177	5,311	1,941

Zródło: BURCHART-KOROL D.; 2005, Trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO) w hutnictwie żelaza i stali, w: *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, nr 7-8, s.412–416.

Metody wtórne obejmują techniki ograniczania emisji zanieczyszczeń. Nie są to metody zapobiegające powstawaniu zanieczyszczeń u źródła, lecz są to sposoby ograniczania ich emisji do powietrza.

Do metod pierwotnych należą techniki zapobiegające powstawaniu zanieczyszczeń, które obejmują redukcję lub eliminację generowania zanieczyszczeń z instalacji. Do sposobów tych można zaliczyć:

- zmiany w materiałach wsadowych,
- efektywną kontrolę przebiegu procesu technologicznego,
- zastosowanie dopalania oraz wodnego zraszania gazów odlotowych.

Metody pierwotne ograniczenia tworzenia się PCDD/PCDF w procesie spiekania rud żelaza na taśmie spiekalniczej obejmują stosowanie czystego wsadu (niezaolejonego) lub wstępne wypalanie olejów ze zgorzeliny powalcowniczej, co przyczynia się jednocześnie do zmniejszenia się emisja innych gazów.

Autor podjął próbę określenia źródeł powstawania PCDD/PCDF w procesie spiekania rud żelaza (Burchart, 2004 oraz Burchart-Korol, 2008). W celu określenia źródeł PCDD/PCDF w procesie spiekania rud żelaza wykonano analizy i obliczenia bilansowe dla chloru i oleju (części rozpuszczalnych w cykloheksanie), które przyczyniają się do powstawania dioksyn w procesie spiekania. Na podstawie przeprowadzonego bilansu chloru stwierdzono, że głównym źródłem chloru w mieszance spiekalniczej jest mieszanka uśredniona, która wnosi 89% chloru. Pozostałymi źródłami chloru są koksik, woda stosowana do chłodzenia spieku zwrotnego, woda stosowana do grudkowania oraz topniki. W wyniku procesu spiekania 34% chloru zostaje w szlamie spiekalniczym, stając się wtórnym nośnikiem chloru, a prawie 6% zostaje wyprowadzona w pyłe wyłapanym, który jako wtórny nośnik chloru wraca do procesu. Do tej pory w krajowym hutnictwie zawartość oleju

wiązано tylko z zagrożeniem pożarowym elektrofiltrów, jednak równie ważną kwestią jest fakt, że olej w procesie spiekania przyczynia się do powstania dioksyn. W pracy wykazano zawartość oleju w szlamach, w smarach służących do smarowania taśmy, a także analizowano pierwotne i wtórne źródła oleju w procesie spiekania rud żelaza. Z przeprowadzonych analiz wszystkich źródeł oleju w procesie spiekania rud żelaza wynika, że głównymi źródłami oleju do mieszanki spiekalniczej są: spiek zwrotny, który wprowadza 27% ogólnej zawartości oleju w mieszance, szlamy wnoszą 22% oleju, a także zgorzelina, która wnosi 21% oleju. Duże ilości oleju wprowadza również smar: 17% całkowitej zawartości oleju w procesie. Źródłem oleju jest także koksik, którego udział we wprowadzaniu oleju do mieszanki wynosi 13%. Wszystkie wymienione składniki mieszanki spiekalniczej zawierające olej i chlor mogą stanowić źródła dioksyn i furanów w procesie spiekania rud żelaza.

W ramach projektu Unii Europejskiej – DROPS (Development of macro and sectoral economic models aiming to evaluate the role of public health externalities on society), Norweski Instytut Badań Powietrza Oddział Polska (NILU Polska) opracował scenariusze redukcji emisji metali ciężkich (Hg, Cd, Pb, As, Ni), PCDD/PCDF i PCB do roku 2020 (Pacyna, 2006). Scenariusz BAU+Climate (Business as Usual with Climate Policie) zakłada wdrożenie wszystkich obecnie obowiązujących dyrektyw europejskich i konwencji międzynarodowych. Natomiast scenariusz MFTR (Maximum Feasible Technical Reduction), zakłada wdrożenie wszystkich rozwiązań do maksymalnej możliwej technicznie redukcji emisji zanieczyszczeń (Panasiuk 2007). Dla procesów produkcji żelaza i stali przedstawiono scenariusze BAU+Climate i scenariusz MFTR (tablica 4).

Tabela 4. Scenariusze BAU+Climate i MFTR dla emisji z hutnictwa żelaza i stali.

	do 2010	do 2020
<b>Scenariusz BAU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• w procesach spiekania: zastosowanie systemu mokrych płuczek oraz filtrów tkaninowych w połączeniu z wykorzystaniem sorbentów węglowych</li> <li>• w wielkich piecach: zastosowanie płuczek oraz systemów elektrofiltrów ESP</li> <li>• zasadowe konwertory tlenowe będą wyposażone w płuczki i odpylacze elektrostatyczne we wstępnym etapie odpylania oraz filtry tkaninowe lub elektrofiltry w dalszych etapach procesu odpylania</li> <li>• piece łukowe zostaną zaopatrzone w odpowiednio przystosowane filtry tkaninowe oraz w celu ograniczenia dioksyn będzie stosowane dopalanie lub iniekcja sorbentu węglowego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• w procesie spiekania rud żelaza: wprowadzenie techniki selektywnej redukcji katalitycznej.</li> <li>• Najlepsze dostępne techniki BAT będą wprowadzane do 2020 r.</li> </ul>
<b>MFTR</b>	<p>w spiekalniach, wielkich piecach i zasadowych konwertorach tlenowych będą wprowadzone wszystkie techniki opisane w scenariuszu BAU+Climate w produkcji żelaza i stali</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zostaną częściowo wprowadzone nowe techniki produkcji żelaza</li> <li>• w procesie spiekania rud żelaza w celu redukcji emisji PCDD/PCDF i PCB będą wykorzystywane metody selektywnej redukcji katalitycznej</li> <li>• w piecach łukowych dopalanie lub iniekcja sorbentu węglowego do spalin przed odpylaniem w filtrach tkaninowych.</li> </ul>

Źródło: PANASIUK D., GŁODEK A., PIĄTEK R., PACYNA E.; Scenariusze emisji metali ciężkich, dioksyn i PCB w Europie do 2020 roku, w: *Ecological Chemistry and Engineering*, T. 14, nr S4, 2007.

### PCDD/PCDF w produkcji metali nieżelaznych

Główne problemy środowiskowe związane z produkcją metali nieżelaznych z surowców wtórnych związane są również z gazami odlotowymi pochodzącymi z różnych pieców oraz z systemów transportu substancji zawierających pył i metale. Istnieje również możliwość formowania się dioksyn w związku z obecnością małych ilości chloru w surowcach wtórnych. W tablicy 5 przedstawiono zawartość PCDD/PCDF w produkcji metali nieżelaznych, zgodnie z badaniami przeprowadzonymi w Korei (Yu i in., 2006).

Stężenie PCDD/PCDF w produkcji miedzi jest wyższe niż inne procesy w hutnictwie żelaza i stali oraz produkcji metali nieżelaznych. Prawdopodobnie przypisuje się to syntezie de-novo przy katalizatorze jakim jest miedź w pyle.

W produkcji ołowiu średnie stężenie PCDD/PCDF wynosiło 0.150 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> w gazach odlotowych i 0.128 ng I-TEQ/g w pyle. Występowały małe różnice między zawartością PCDD/PCDF w gazach odlotowych i pyle w porównaniu z innymi procesami produkcji metalu nieżelaznych.

W produkcji cynku stosunek PCDD do PCDF wynosił 20:80 i był podobny do wyników badań produkcji miedzi. Największym kongenerem był 2,3,4,7,8-PeCDF zarówno w gazach odlotowych jak i pyle; stanowił 39.2% w przypadku gazów odlotowych i 43.1% dla pyłu. Zawartość PCDD/PCDF w gazach odlotowych w pierwotnej produkcji wynosiła 0.011 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> i wtórnej produkcji 0.045 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Podobnie jak w innych produkcjach metali nieżelaznych, emisje PCDD/PCDF z produkcji wtórnej były wyższe niż z pierwotnej.

W produkcji aluminium średnie stężenie PCDD/PCDF wynosiło 0.250 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> dla gazów odlotowych i 2.079 ng I-TEQ/g w pyle.

W produkcji metali nieżelaznych stężenie PCDD/PCDF jest wyższe w produkcji wtórnej niż w produkcji pierwotnej. We wtórnej produkcji miedzi emisja PCDD/PCDF była najwyższa z wszystkich procesów w produkcji metali nieżelaznych i wynosiła 31.706 g I-TEQ/rok. 2,3,4,7,8- PeCDF był największym kongenerem zarówno w gazach jak i w pyle z procesów przemysłu metalurgicznego.

Tabela 5. Zawartość PCDD/PCDF w produkcji metali nieżelaznych.

	Zawartość PCDD/PCDF	
	W gazach odlotowych ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup>	W pyłe ng I-TEQ/g
Produkcja miedzi	4.234	16.818
Produkcja ołowiu	0.150	0.128
Produkcja cynku	0.036	5.096
Produkcja aluminium	0.250	2.079

Źródło: YU B.W., JIN G.Z., MOON Y.H., KIM M.K., KYOUNG J.D. CHANG Y.S.; 2006, Emission of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs from metallurgy industries in S. Korea, w: *Chemosphere*, nr 62, 494–501.

## Podsumowanie

Hutnictwo żelaza i stali oraz produkcja metali nieżelaznych są głównymi źródłami polichlorowanych dibenzo-para-dioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów PCDD/PCDF. Obecnie w Polsce brak jest w przepisach prawnych regulacji dotyczących dopuszczalnych limitów dioksyn i furanów w przemyśle metalurgicznym.

Problem występowania polichlorowanych dibenzo-para-dioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów PCDD/PCDF w procesach metalurgicznych wymaga współpracy środowisk naukowych z przemysłem w celu opracowania jak najlepszych metod ich zapobiegania, eliminowania i ograniczania.

W dalszych badaniach autor planuje określić katalizatory PCDD/PCDF w procesie spiekania rud żelaza oraz opracować nową technologię przygotowania mieszanki spiekalniczej w celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń, w tym również dioksyn i furanów.

*Praca została sfinansowana w ramach projektu badawczego nr N N508 368635.*

## LITERATURA

Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), European Commission, December 2001.

BURCHART D.; Ocena emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z procesu spiekania rud żelaza. Rozprawa doktorska (niepublikowana). Politechnika Śląska, Katowice 2004.

BURCHART-KOROL D.; 2005, Trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO) w hutnictwie żelaza i stali, w: *Hutnik–Wiadomości Hutnicze*, nr 7-8, s.412–416.

BURCHART-KOROL D.; Źródła dioksyn i furanów w procesie spiekania rud żelaza, w: *Dioksyny w przemyśle i środowisku*, pod red. A. Grochowalskiego, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.

GROCHOWALSKI A., LASSEN C., HOLTZER M., SADOWSKI M., HUDYMA T.: 2007, Determination of PCDDs, PCDFs, PCBs and HCB Emissions from the Metallurgical Sector in Poland, w: *Environmental Science and Pollution Research*, nr 14 (5), s. 326–332

Guidelines on Best Available Techniques (BAT) and Provisional Guidance on Best Environmental Practices (BEP) Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. December 2004.

HOLTZER M., DAŃKO J., DAŃKO R.; 2007, Possibilities of formation of dioxins and furans in metallurgical processes as well as methods of their reduction, *Metalurgija*, nr 46, s. 285–290.

MAKLES Z., ŚWIĄTKOWSKI A., GRYBOWSKA S.; *Niebezpieczne dioksyny*, wyd. Arkady, Warszawa 2001.

PACYNA J.; Scenarios for heavy metals, dioxins/furans and PCBs emissions to air in Europe for years 2010 and 2020. DROPS D1.2 Report, Katowice 2006.

PANASIUK D., GŁODEK A., PIĄTEK R., PACYNA E.; Scenariusze emisji metali ciężkich, dioksyn i PCB w Europie do 2020 roku, w: *Ecological Chemistry and Engineering*, T. 14, nr S4, 2007.

Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants 2004

UNEP Chemicals, Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. UNEP Chemicals, Geneva 2005.

YU B.W., JIN G.Z., MOON Y.H., KIM M.K., KYOUNG J.D. CHANG Y.S.; 2006, Emission of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs from metallurgy industries in S. Korea, w: *Chemosphere*, nr 62, 494–501.

ŻUREK J.; Konwencja Sztokholmską w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2002.