

Radosław TARKOWSKI*, Barbara ULIASZ-MISIAK**

Emisja CO₂ ze spalania paliw oraz procesów przemysłowych w Polsce

STRESZCZENIE. Scharakteryzowano sektory przemysłowe w Polsce emitujące znaczne ilości CO₂.

W oparciu o oficjalne opracowania statystyczne, dane z jednostek administracji samorządowej oraz zakładów przemysłowych, przedstawiono: wielkość emisji z wybranych kategorii, subkategorii i sektorów przemysłu (w metodologii IPCC) oraz zawartość CO₂ w gazach spalinowych i przemysłowych. Zwrócono uwagę na sektory przemysłowe, które w najbliższej przyszłości, w pierwszej kolejności, mogą stanowić w Polsce źródło dwutlenku węgla dla celów podziemnego magazynowania.

SŁOWA KLUCZOWE: CO₂, źródła emisji, gazy przemysłowe, gazy spalinowe, podziemne składowanie CO₂, Polska

Wprowadzenie

Tematyka podziemnego składowania dwutlenku węgla znajduje w Polsce coraz większe zainteresowanie. Bada się możliwości podziemnego składowania tego gazu w głębokich strukturach geologicznych: ropo-, gazo- i wodonośnych (Tarkowski 2003; Tarkowski, Uliasz-Misiak 2002, 2003a, 2003b). Rozważa się możliwość intensyfikacji wydobycia ropy

* Dr hab. inż., ** Dr inż. — Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

naftowej poprzez zatłaczanie CO₂ do złoża. Polska posiada doświadczenia w zakresie podziemnego zatłaczania i składowania gazów kwaśnych, a Główny Instytut Górnictwa w Katowicach uczestniczy w Projekcie RECO₂POL (5 PR UE) mającym na celu przebadanie możliwości zatłaczania CO₂ do nieeksploatowanych pokładów węgla.

Celem artykułu jest przedstawienia działów przemysłu oraz pojedynczych zakładów przemysłowych w Polsce, które emitują duże ilości CO₂. W nawiązaniu do metodologii IPCC scharakteryzowano: wielkość emisji z poszczególnych kategorii, subkategorii i działów przemysłu oraz zawartość CO₂ w gazach spalinowych i przemysłowych emitowanych do atmosfery. Prezentowane informacje mogą stanowić punkt wyjścia w rozważaniach dotyczących unieszkodliwiania emisji CO₂ poprzez podziemne składowanie. Szczególną uwagę zwrócono na te sektory przemysłu w Polsce, które w najbliższej przyszłości mogą być w pierwszej kolejności, źródłem dwutlenku węgla dla celów podziemnego składowania.

1. Przemysłowe źródła emisji CO₂ w Polsce

Wykorzystane w artykule dane pochodzą z oficjalnych opracowań statystycznych: Krajowego Centrum Inwentaryzacji Emisji działającego przy Instytucie Ochrony Środowiska, z jednostek administracji samorządowej (Urzędy Marszałkowskie) oraz bezpośrednio z zakładów przemysłowych (Energetyka i Przemysł) emitujących duże ilości dwutlenku węgla.

Istotnym źródłem informacji był raport opracowany przez Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji pt.: „Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń powietrza za rok 2000 na potrzeby statystyki krajowej i zobowiązań międzynarodowych w ramach konwencji NZ w sprawie zmian klimatu” (Inwentaryzacja emisji... 2002). Przedstawiono w nim emisję gazów cieplarnianych w Polsce, w tym dwutlenku węgla. Dane zawarte w tym raporcie zestawiono w oparciu o strukturę emisji i wychwyty zawartą w metodologii „Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Tego typu raporty, oparte na metodologii IPCC, opracowywane są dla celów rozliczeń międzynarodowych w licznych krajach, co umożliwia porównywanie danych.

2. Kategorie emisji CO₂

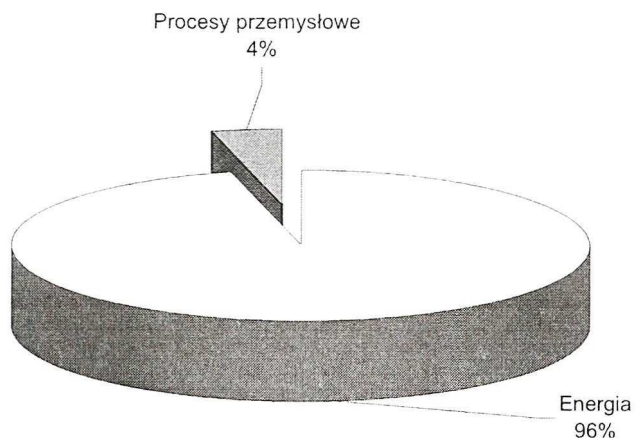
Głównym źródłem emisji dużych ilości dwutlenku węgla w Polsce są działy przemysłu zaliczone (wg metodologii IPCC) do kategorii: Energia i Procesy przemysłowe (tab. 1). Przy emisji CO₂ w 2000 roku wynoszącej 314 812 Gg, kategoria Energia odpowiedzialna jest za około 96% emisji (rys. 1). Na emisję CO₂ z różnorodnych procesów technologicznych, nie związanych z wytwarzaniem energii (kategoria Procesy przemysłowe) przypada około 4% całkowitej emisji tego gazu.

TABELA 1. Emisja dwutlenku węgla dla poszczególnych kategorii w Polsce w 2000 roku
(wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji... 2002)

TABLE 1. Carbon dioxide emission for individual categories in Poland in year 2000
(based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

Kategorie źródeł emisji	Emisja [Gg]	Udział [%]
1. Energia	302 465	
A. Spalanie paliw (podejście sektorowe)	302 282	
1. Przemysły energetyczne	176 324	56,01
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	52 056	16,54
3. Transport	28 207	8,96
4. Inne sektory	45 400	14,42
5. Inne	295	0,09
B. Emisja lotna z paliw	184	
1. Paliwa stałe	NE	
2. Ropa naftowa i gaz ziemny	184	0,06
2. Procesy przemysłowe	12 347	
A. Produkty mineralne	10 573	3,36
B. Przemysł chemiczny	1 263	0,40
C. Produkcja metali	510	0,16
D. Inna produkcja	NA	
E. Produkcja HFCs, PFC i SF ₆	NA	
F. Stosowanie HFCs, PFC i SF ₆	NA	
G. Inne		
3. Użytkowanie rozpuszczalników i innych produktów	NA	
4. Rolnictwo		
5. Zmiany użytkowania gruntów i leśnictwo		
6. Odpady		
7. Inne		
RAZEM	314 812,05	100,00
Emisje niezbilansowane powyżej		
Bunkier międzynarodowy, w tym:	1 623,50	
— transport lotniczy	358,20	
— żegluga	1 265,30	
Emisja CO ₂ z biomasy	15 589,75	

Uwagi: 0 — oszacowanie wartości poniżej 0,5 Gg; NA — nie występuje; NE — nie oszacowano



Rys. 1. Struktura emisji CO₂ w 2000 roku w Polsce (wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji... 2002)

Fig. 1. CO₂ emission structure in year 2000 in Poland (based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

Energia. Procesy wytwarzania energii są głównym źródłem antropogenicznej emisji CO₂. Spalanie paliw w celach energetycznych i związana z tym emisja CO₂ dotyczy sektorów: Przemysł energetyczny, Przemysł wytwórczy i budownictwo, Transport oraz Inne sektory.

Dwutlenek węgla emitowany jest również na innych etapach wytwarzania energii, np. uwolnienie gazów podczas wydobywania, przesyłania, magazynowania i dystrybucji paliw, emisja z górnictwa, gazownictwa (np. odwierty gazowe) i sektora naftowego (odpowietrzanie szybów naftowych, zbiorniki, transport i rafinacja ropy), ujętych w subkategorii Emisja lotna z paliw (por. tab. 1).

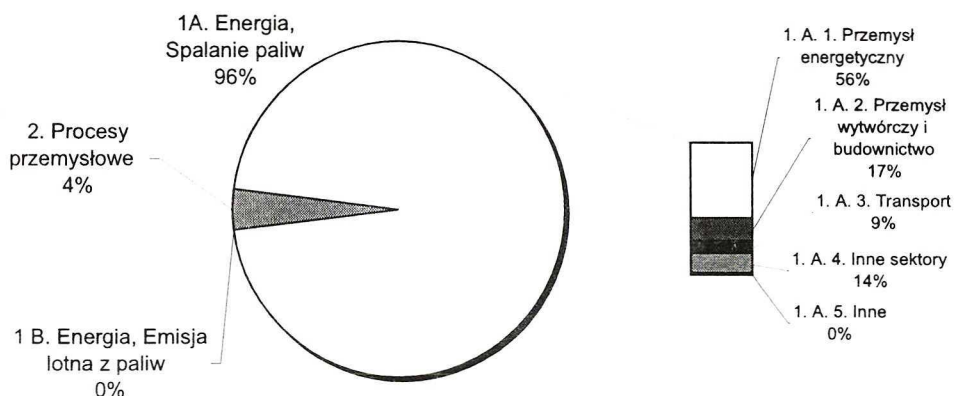
Procesy przemysłowe są drugą kategorią pod względem wielkości emisji dwutlenku węgla. Uwzględnia ona dwutlenek węgla powstający jako produkt uboczny w różnorodnych procesach przemysłowych nie związanych z wytwarzaniem energii. Emisja dwutlenku węgla dotyczy następujących subkategorii: Produkty mineralne, Przemysł chemiczny oraz Produkcja metali. Obejmują one: produkcję żelaza i stali; produkcję cementu i wapna, produkcję szkła, wytwarzanie amoniaku, produkcję petrochemiczną i inne.

Udział innych kategorii wykazanych w tabeli 1 jest znikomy i nie przekracza 0,5 Gg/rok.

3. Emisja CO₂ — kategoria Energia i Procesy przemysłowe

Poniżej, na podstawie danych z 2000 roku (Inwentaryzacja emisji... 2002), przedstawiono strukturę emisji dwutlenku węgla w Polsce w poszczególnych kategoriach, subkategoriach i działach wyróżnianych w metodologii emisji gazów IPCC.

W ramach kategorii Energia, działy przemysłu zaliczone do subkategorii Spalanie paliw są dominującym źródłem emisji CO₂ (rys. 2). Największa część tej emisji (56%) pochodzi z przemysłu energetycznego (produkcja energii elektrycznej i ciepła), około 17% — z prze-



Rys. 2. Emisja CO₂ w 2000 roku w Polsce z kategorii Energia i Procesy przemysłowe (wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji...2002)

Fig. 2. CO₂ emission in year 2000 in Poland in category Energy and Industrial processes (based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

myślu wytwórczego i budownictwa, 9% — z transportu (źródła rozproszone), 14% z innych sektorów. Emisja CO₂ w ramach subkategorii Emisja lotna ze spalania paliw stanowi jedynie 0,06% całkowitej emisji CO₂ w tej kategorii.

Produkcja energii elektrycznej i ciepła w 2000 roku w Polsce była odpowiedzialna za emisję 164 691,9 Gg dwutlenku węgla (tab. 2). Stanowiło to 54,5% emisji w ramach kategorii Energia. Udział sektora Rafinerie oraz Produkcja przetworzonych paliw stałych i inne przemysły energetyczne jest niewielki i wynosi odpowiednio 3,9%. Należy podkreślić, że ze spalania paliw stałych pochodziło 98% tej emisji, 2% natomiast z paliw ciekłych i gazowych. Gospodarka polska opiera się na wykorzystaniu węgla kamiennego i brunatnego (Ney 2001). Spalanie tych paliw odpowiedzialne było za 45% całkowitej emisji CO₂, przy czym udział węgla kamiennego wyniósł 56%, a węgla brunatnego 44% (Tarkowski 2003).

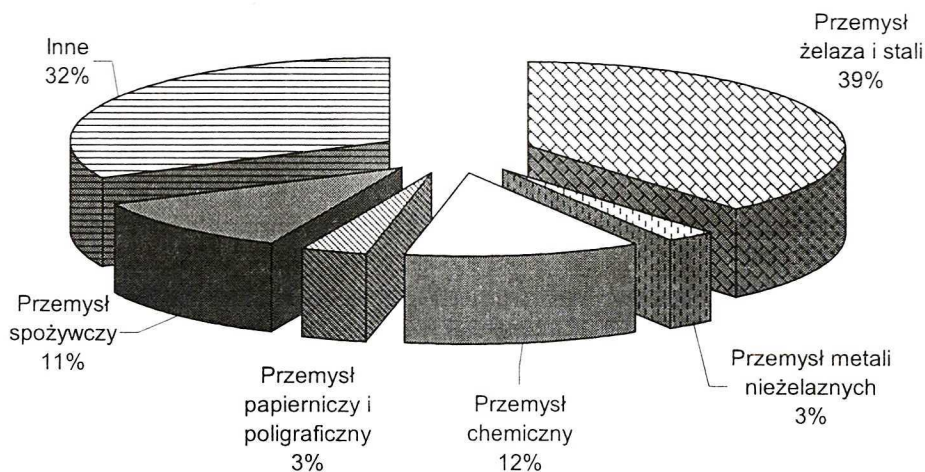
Udział emisji CO₂ powstałej w wyniku spalania paliw kopalnych w dziale Przemysł wytwórczy i budownictwo (rys. 3) wskazuje na największy udział: Przemysłu żelaza i stali (6,6% całkowitej emisji w tej kategorii), następnie Przemysłu chemicznego, Przemysłu spożywczego, Przemysłu papierniczego i poligraficznego oraz Przemysłu metali nieżelaznych. Na inne nie wymienione w tabeli 2 przypada 5,6% emisji.

Udział emisji CO₂ z działów przemysłu zaliczonych do kategorii Procesy przemysłowe w 2000 roku wyniósł 12 346,7 Gg (tab. 3). Udział subkategorii: Produkty mineralne wynosi 86% emisji (w tej kategorii), Przemysł chemiczny — 10% i Produkcja metali — 4% (rys. 4). W subkategorii Produkty mineralne największy udział ma Produkcja cementu — 71%, Produkcja wapna — 18%, Soda kalcynowana — 4% oraz Inne — 7% (rys. 5). W subkategorii Przemysł chemiczny — Produkcja amoniaku jest odpowiedzialna za 10% emisji. Niewielki udział ma produkcja karbidu, a wśród Inne na uwagę zasługuje produkcja etylenu. Udział subkategorii Produkcja metali w emisji CO₂ jest nieduży (4%) i związany jest z produkcją żelaza i stali (głównie produkcja stali konwertorowej, spieku, stali martenowskiej, odlewów żeliwnych) oraz produkcją żelazostopów i aluminium.

TABELA 2. Emisja dwutlenku węgla z kategorii Energia w Polsce w 2000 roku
(wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji...2002)

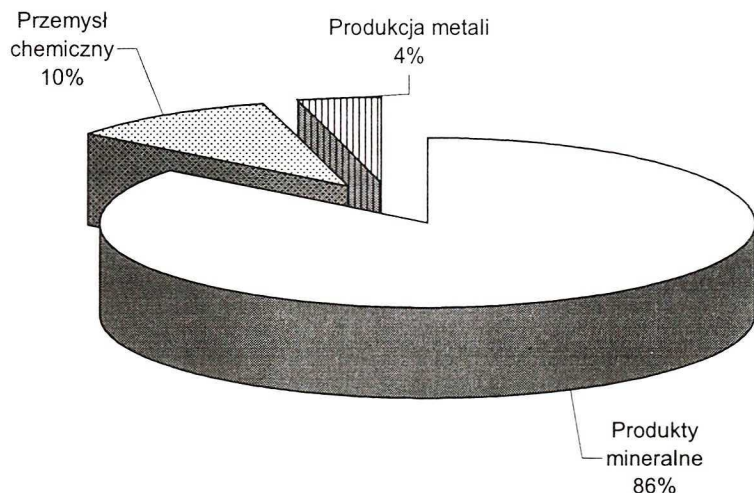
TABLE 2. Carbon dioxide emission in category Energy in Poland in year 2000
(based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

Kategoria — Energia	Emisja [Gg]	Udział [%]
A. Spalanie paliw (Podejście sektorowe)	302 281,50	
1. Przemysł energetyczny	176 324,20	
a. Produkcja energii elektrycznej i ciepła	164 691,90	54,45
b. Rafinerie	5 321,40	1,76
c. Produkcja przetworzonych paliw stałych i inne przemysły energetyczne	6 310,90	2,09
2. Przemysł wytwórczy i budownictwo	52 055,70	
a. Przemysł żelaza i stali	20 041,00	6,63
b. Przemysł metali nieżelaznych	1 327,20	0,44
c. Przemysł chemiczny	6 437,50	2,13
d. Przemysł papierniczy i poligraficzny	1 666,50	0,55
e. Przemysł spożywczy	5 777,70	1,91
f. Inne	16 805,80	5,56
3. Transport	28 206,90	
a. Transport lotniczy	478,80	0,16
b. Transport drogowy	26 919,80	8,90
c. Koleje	436,40	0,14
d. Żegluga	79,50	0,03
e. Inny transport	292,40	0,10
4. Inne sektory	45 400,00	
a. Instytucje handlowe i publiczne	7 413,40	2,45
b. Gospodarstwa domowe	27 012,40	8,93
c. Rolnictwo/ Leśnictwo/ Rybołówstwo	1 0974,20	3,63
5. Inne	294,70	0,10
a. Stacjonarne	0,00	—
b. Mobilne	0,00	—
B. Emisja lotna z paliw	183,85	
1. Paliwa stałe	0,00	—
a. Kopalnictwo węgla	0,00	—
b. Przetwórstwo paliw stałych	0,00	—
c. Inne	0,00	—
2. Ropa naftowa i gaz ziemny	183,85	
a. Ropa naftowa	174,76	0,06
b. Gaz ziemny	9,09	—
c. Zrzuty gazu i pochodnie	0,00	—
d. Inne	0,00	—
RAZEM	302 465,35	100,00



Rys. 3. Emisja CO₂ ze spalania paliw w sektorach Przemysł wytwórczy i budownictwo, w Polsce w 2000 roku (wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji... 2002)

Fig. 3. CO₂ emission from fuel combustion in Manufacture industry and Building industry sectors, in year 2000 in Poland (based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)



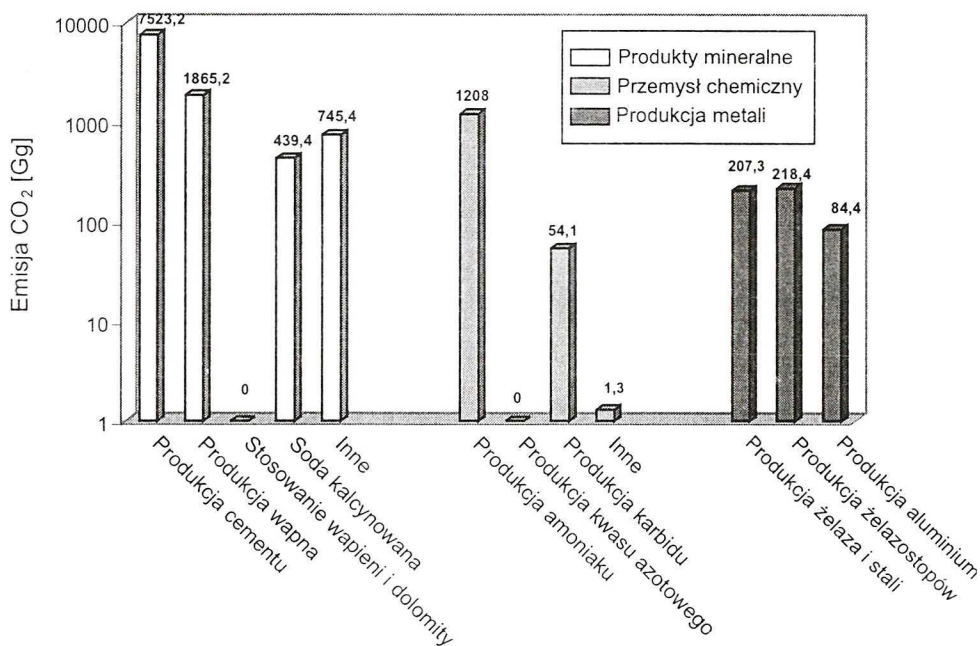
Rys. 4. Emisja CO₂ z kategorii Procesy przemysłowe w ujęciu sektorowym w Polsce w 2000 roku (wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji... 2002)

Fig. 4. CO₂ emission in category Industrial Processes in sector work out in Poland in year 2000 (based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

TABELA 3. Emisja dwutlenku węgla z kategorii Procesy przemysłowe w Polsce w 2000 roku
(wykorzystano dane: Inwentaryzacja emisji ...2002)

TABLE 3. Carbon dioxide emission in category Industrial Processes in Poland in year 2000
(based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

Kategoria – Procesy przemysłowe	Oszacowanie emisji [Gg]	Udział %
A. Produkty mineralne	10 573,2	
1. Produkcja cementu	7 523,2	60,93
2. Produkcja wapna	1 865,2	15,11
3. Stosowanie wapieni i dolomitów	0,0	—
4. Soda kalcynowana	439,4	3,56
5. Inne	745,4	
5a. Wapno rolnicze	745,4	6,04
B. Przemysł chemiczny	1 263,4	
1. Produkcja amoniaku	1 208,0	9,78
2. Produkcja kwasu azotowego	0,0	—
3. Produkcja karbidu	54,1	0,44
4. Inne	1,3	0,01
C. Produkcja metali	510,1	
1. Produkcja żelaza i stali	207,3	
1a. Spiek	65,4	0,53
1b. Stal martenowska	21,6	0,17
1c. Odlewy staliwne	2,3	0,02
1d. Odlewy żeliwne	25,9	0,21
1e. Ładow. wielk. pieców	1,4	0,01
1f. Stal konwertorowa	76,5	0,62
1g. Stal elektryczna	14,2	0,12
1j. Koks	0,0	—
2. Produkcja żelazostopów	218,4	1,77
3. Produkcja aluminium	84,4	0,68
EMISJA CAŁKOWITA	12 346,7	100,00



Rys. 5. Emisja CO₂ z kategorii Procesy przemysłowe w Polsce w 2000 r.
(na podstawie danych: Inwentaryzacja... 2002)

Fig. 5. CO₂ emission in category Industrial Processes in Poland in year 2000
(based on data: National Inventory Report 2001 Poland, 2002)

4. Zawartość CO₂ strumieniu gazów spalinowych/przemysłowych

Zawartość dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych jest pochodną rodzaju paliwa i zawartości w nim węgla pierwiastkowego, natomiast w gazach przemysłowych uzależniona jest od procesu, w którym on powstaje. Strumień o wysokiej zawartości CO₂ jest emitowany w niektórych procesach technologicznych np. przy wytwarzaniu amoniaku w zakładach azotowych, przy produkcji etylenu w przemyśle petrochemicznym oraz w niektórych procesach hutniczych (Grzywa, Molenda 2000).

Poniżej przedstawiono informacje o koncentracji dwutlenku węgla w gazach spalinyowych/przemysłowych w Polsce. Pochodzą one z zakładów przemysłowych emitujących znaczące ilości dwutlenku węgla. Uzupełniono je o dane z literatury.

Energetyka. Analiza składu gazów spalinowych z dwóch elektrowni opalanych gazem ziemnym wskazuje, że gazy spalinowe zawierają: azot — 76,3 do 81,7%, tlen — 14 do 15%, parę wodną — 6,5%, CO₂ — 3,2 do 3,3%, oraz w niewielkiej ilości inne gazy. Dane z elektrowni spalających węgiel brunatny (dane z 5 elektrowni) pokazują, że zawartość CO₂

w gazach spalinowych jest większa niż w poprzednim przypadku i wynosi 8,5 do 13,5%. W gazach spalinowych ze spalania węgla kamiennego (dane z 13 elektrowni i elektrociepłowni) dominuje azot — 71,6 do 80,8%, CO₂ — 9,5 do 15,2%, O₂ — 6 do 10%, H₂O — 4,8 do 10,1%, w niewielkiej ilości obecne są inne gazy (CO, SO₂, NO_x).

Spalanie paliw kopalnych odpowiada za zdecydowaną większość emisji antropogenicznego dwutlenku węgla, która jest uzależniona od rodzaju użytego paliwa. Wartości opałowe i ilość wydzielanego dwutlenku węgla przy spalaniu gazu ziemnego, paliw płynnych i węgla kamiennego przedstawiono w tabeli 4. Uwagę zwraca fakt, że przy spalaniu węgla kamiennego wydziela się prawie dwa razy więcej dwutlenku węgla niż w przypadku gazu ziemnego, w odniesieniu do tego samego efektu cieplnego.

TABELA 4. Wpływ rodzaju paliwa na emisję dwutlenku węgla (za: Jarosiński 1996)

TABLE 4. Influence of the type of fuel on CO₂ emission (Jarosiński 1996)

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa [MJ/kg]	Emisja CO ₂ [g/MJ]
Gaz ziemny	55,7	49,4
Ropa naftowa	45,5	69,0
Węgiel kamienny	29,5	87,9

Dobrym wskaźnikiem oceny ilości emitowanego dwutlenku węgla na jedną kW·h produkowanej energii jest współczynnik emisji CO₂. W elektrowniach węglowych współczynnik emisji dwutlenku węgla będzie zależał od sprawności elektrowni, czyli rodzaju stosowanych technologii spalania. Poniżej, przedstawiono współczynnik emisji dwutlenku węgla w zależności od wartości współczynnika sprawności elektrowni (Ciok 2001):

- ✧ elektrownia węglowa o sprawności 37% — 0,91 g/kW·h,
- ✧ elektrownia węglowa o sprawności 43% — 0,78 g/kW·h,
- ✧ elektrownia węglowo-gazowa o sprawności 55% — 0,37 g/kW·h.

Przemysł chemiczny. W zakładach przemysłu chemicznego największe ilości dwutlenku węgla emitowane są do atmosfery w zakładach produkujących nawozy azotowe. Gaz ten emitowany jest w kilku procesach technologicznych, głównie przy produkcji gazu syntezowego. W przypadku gdy zakład produkuje mocznik lub ciekły dwutlenek węgla, część tego dwutlenku węgla jest wykorzystywana, reszta zaś jest emitowana do atmosfery. Istnieją zakłady, które dwutlenek węgla pochodzący z produkcji gazu syntezowego w całości emitują do atmosfery.

Dane z przemysłu chemicznego pokazują, że wytwórnia amoniaku emituje do atmosfery: czysty dwutlenek węgla oraz gazy spalinowe zawierające: azot, dwutlenek węgla, tlen, parę wodną i inne. Przy produkcji mocznika, z instalacji rozkładu, absorpcji i kondensacji NH₃, emitowany jest w sposób ciągły gaz o następującym składzie: NH₃ — 28 kg/h, CO₂ — 27 kg/h i H₂O — 1045 kg/h (Jędrzejowski 1987a). Przy produkcji etyliny, w przemyśle petrochemicznym, emitowany jest również silnie skoncentrowany strumień CO₂.

W jednym z zakładów w Polsce produkujących sodę kalcynowaną emitowany jest dwutlenku węgla o zawartości 37% objętości gazów.

Produkcja żelaza i stali. Emitowany przy produkcji żelaza i stali dwutlenek węgla pochodzi ze spalania paliw oraz z procesów przemysłowych (por. tab. 2 i 3, rys. 5). Gaz ten jest emitowany w trakcie produkcji: koksu, spieku, stali konwertorowej, spustu z wielkich pieców, stali elektrycznej, w mniejszych ilościach przy produkcji stali martenowskiej i odlewów żeliwnych (Jędrzejowski 1987b; Ryszka 1976).

TABELA 5. Skład chemiczny gazu konwertorowego przed dopaleniem CO nad gardzielią według różnych źródeł (za: Jędrzejowski 1987b)

TABLE 5. Chemical constitution of convert gas before finish burning CO over choke according to different sources (Jędrzejowski 1987b)

Udział objętości [%]			
CO	CO ₂	O ₂	N ₂ + reszta
45	5,8	3,3	45,9
81—84	10—14	2,5	2,5—3,5
85	7	—	8
75—80	13	10—20	0—2
90	10	—	—

Produkcja surówki i stali surowej jest najbardziej energochłonnym etapem (ok. 60% zapotrzebowania na energię). Powstają w nim również największe ilości CO₂. Mniejsze ilości energii potrzebne są na walcowanie (25% zapotrzebowania na energię), spiekanie (9%) i piece koksownicze (ok. 7%) (Błachowicz i in. 2003). Największa emisja CO₂ powstaje podczas produkcji żelaza i stali i związana jest z użyciem środka redukującego (węgla lub koksu). Odpowiedzialna jest za około 90% całej emisji CO₂ z procesu technologicznego (Błachowicz, Levina 2003).

W instalacjach do produkcji surówki i stali, w tym w urządzeniach do ciągłego odlewania, emisja CO₂ pochodzi z następujących źródeł: surowców do produkcji (kalcynowanie wapienia i/lub dolomitu), paliw konwencjonalnych (gaz ziemny i koks), środków redukujących (koks, węgiel, itd.), gazów technologicznych (gaz koksowniczy, gaz wielkopiecowy i gaz konwertorowy), zużycia elektrod grafitowych, innych paliw (Błachowicz, Levina 2003).

Powstający w procesie konwertorowym gaz konwertorowy, w konwertorze (przed dopaleniem) zawiera około 90% CO i 10% w CO₂. Ilość spalin z pieca martenowskiego wynosi 2500—3000 m³/Mg stali. Skład chemiczny spalin zależy od rodzaju spalanego paliwa. Spaliny z krajowych pieców martenowskich zawierają 14—18% CO₂, 2—5% O₂, zawartość CO i SO₂ dochodzi do 0,5%, zawartość wody do 25%. Skład chemiczny gazów odprowadzanych z elektrycznych pieców łukowych do produkcji stali w dużej mierze zależy od

sposobu odciągania gazu i od fazy wytopu, a także od pojemności pieca (tab. 6) (Ryszka 1976). Należy podkreślić, że nowe technologie produkcji żelaza i stali, wprowadzane również w Polsce, wpływają znacząco na zmniejszenie emisji CO₂ z tych procesów.

TABELA 6. Skład chemiczny gazów odlotowych z łukowych pieców elektrycznych o pojemności 1,5 do 45 Mg — przy odciąganiu gazów sposobem bezpośrednim (za: Ryszka 1976)

TABLE 6. Chemical constitution of flue gases from electric arch furnaces with capacity from 1,5 to 45 Mg — with direct broaching of gases (Ryszka 1976)

Składnik gazu	Zawartość składnika gazowego w fazach procesu [%]				
	topienia	topienia końcowego	świeżenia rudą	świeżenia tlenem	wykańczania
CO ₂	0,4—1,6	0,2—0,7	0,3—1,6	1,1—4,6	0,2—0,9
CO	—	—	—	—	—
SO ₂	do 0,002	do 0,0025	do 0,003	do 0,002	do 0,002
O ₂	19,6—20,8	20,3—20,7	19,4—20,8	19,2—20,5	20,1—20,6
N ₂ +reszta	reszta do 100%	reszta do 100%	reszta do 100%	reszta do 100%	reszta do 100%

Produkcja cementu. Polska w 2000 roku wyprodukowała 15,1 Gg cementu, co spowodowało emisję około 11,36 Gg CO₂, przy emisji jednostkowej CO₂ w wysokości 0,75 kg CO₂/kg (Uliasz-Bocheńczyk, Mokrzycki 2003). W cementowniach emisja CO₂ pochodzi z następujących źródeł: z kalcynowania wapienia występującego w surowcach, spalania paliw konwencjonalnych, paliw alternatywnych, z biomasy oraz paliw nie stosowanych w piecach.

W procesie produkcji cementu wydziela się trzy zasadnicze etapy: przygotowanie surowców do produkcji, wypał klinkieru, przemiał klinkieru z dodatkami. Przy produkcji cementu około 60% emisji CO₂ powstaje jako produkt uboczny podczas wytwarzania wapna, podczas gdy 40% jako produkt spalania paliw i odpadów. Najbardziej energochłonny (około 90% zużywanej energii) jest wypał klinkieru, gdzie emitowana jest większość dwutlenku węgla powstającego przy produkcji cementu (Błachowicz, Levina 2003). Emisja CO₂ z procesu technologicznego występuje również w trakcie wypału klinkieru. Dwutlenek węgla jest produktem ubocznym, którego emisja pochodzi z węglanów podczas kalcynowania (spiekania) w piecu oraz z kalcynowania (spiekania) pyłu cementowego (Błachowicz, Levina 2003).

Podsumowanie

Analiza danych o wielkości emisji CO₂ w Polsce, opracowanych w metodologii IPCC, dostarcza interesujących i porównywalnych danych. Według tej metodologii, znaczna część krajów europejskich przygotowuje na potrzeby statystyki sprawozdania dotyczące emisji

gazów cieplarnianych. Szczególną uwagę zwraca kategoria Energia oraz Procesy przemysłowe. W Polsce kategoria Energia — Spalanie paliw odpowiedzialne jest za 96% emisji antropogenicznego dwutlenku węgla. Więcej niż połowa z tej emisji pochodzi ze spalania paliw w przemyśle energetycznym. Ze względu na małe zawartości CO₂ w strumieniu gazów spalinowych oraz wysokie koszty separacji tego gazu, w chwili obecnej podziemne składowanie CO₂ pochodzącego z tej kategorii nie jest rozważane.

Procesy przemysłowe dostarczają około 4% całkowitej emisji CO₂ w Polsce. Chociaż odpowiedzialne są za małą część emisji, jej unieszkodliwienie może budzić zainteresowanie. Istnieją działy przemysłu, które w procesach technologicznych emitują do atmosfery skoncentrowany strumień CO₂, np. przy produkcji mocznika w przemyśle chemicznym czy tlenu etylenu w przemyśle petrochemicznym lub mniej skoncentrowany, jak to ma miejsce przy produkcji cementu, żelaza i stali.

Sektory przemysłowe (kategoria Procesy przemysłowe) emitujące skoncentrowany strumień CO₂ i w przyszłości, w pierwszej kolejności, mogą stanowić źródło dwutlenku węgla dla celów podziemnego magazynowania. Pierwsze pilotowe instalacje podziemnego składowania CO₂ pojawią się zapewne w najbliższych latach w Europie w pobliżu tych źródeł. W każdym przypadku podziemne składowanie CO₂ musiałoby być poprzedzone szczegółową analizą ekonomiczną przedsięwzięcia uwzględniającą ilość CO₂ przewidzianą do zatłoczenia, koszty transportu, instalacji, energii potrzebnej do zatłoczenia oraz inne. Można by też wykorzystać dwutlenek węgla do celów intensyfikacji wydobywania ropy naftowej, co ma miejsce na kilkudziesięciu złożach ropy naftowej w USA i Kanadzie.

Artykuł przygotowany w ramach realizacji projektu KBN: Nr 5T12B 041 24

Literatura

- BŁACHOWICZ A., LEVINA E., 2003 — Przewodnik po monitorowaniu, raportowaniu i weryfikacji (MRV) emisji gazów cieplarnianych dla przedsiębiorstw. Broszura 3/3. Center for Clear Air Policy, Warszawa.
- BŁACHOWICZ A., KOLÁŘ S., KITTELL M., 2003 — Przewodnik po handlu emisjami dla przedsiębiorstw. Broszura 2/3 (wyd. II). Center for Clear Air Policy, Warszawa.
- CIOK Z., 2001 — Ochrona środowiska w elektroenergetyce. Podstawowe Problemy Współczesnej techniki Tom XXIX. Wyd. Naukowe PAN, Warszawa.
- GRZYWA E., MOLEND A., 2000 — Technologia podstawowych syntez organicznych. Tom 1 i 2. WNT, Warszawa.
- Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń powietrza za rok 2000 na potrzeby statystyki krajowej i zobowiązań międzynarodowych w ramach konwencji NZ w sprawie zmian klimatu. Kier. Olen-drzyński K. Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji, Warszawa 2002.
- JAROSIŃSKI J., 1996 — Techniki czystego spalania. Wyd. Nauk.-Techn., Warszawa.
- JĘDRZEJEWSKI J., 1987a — Procesy przemysłowe a zanieczyszczenie środowiska. Przemysł chemiczny. PWN, Warszawa.

- JĘDRZEJOWSKI J., 1987b — Procesy przemysłowe a zanieczyszczenie środowiska. Przemysł hutniczy i cementowy. PWN, Warszawa.
- NEY R., 2001 — Dylematy polskiej polityki energetycznej na początku XXI wieku. Mat. Konf. „Paliwa i energia dziś i jutro — 2001”, Kraków 12—13 czerwca 2001 r., Wyd. IGSMiE, Kraków.
- RYSZKA E., 1976 — Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem w hutnictwie żelaza. Wyd. Śląsk, Katowice.
- TARKOWSKI R., ULIASZ-MISIAK B., 2002 — Możliwości podziemnego składowania CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Przegl. Górn. nr 12, s. 25—29.
- TARKOWSKI R., 2003 — Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla z energetyki w Polsce. Polityka Energetyczna t. 6, z. spec., s. 321—332.
- TARKOWSKI R., ULIASZ-MISIAK B., 2003a — Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla. Przegląd Geologiczny 5, s. 402—409.
- TARKOWSKI R., ULIASZ-MISIAK B., 2003b — Emisja dwutlenku węgla w aspekcie podziemnego magazynowania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 19, z. 2, s. 81—102.
- TARKOWSKI R., ULIASZ-MISIAK B., 2004 — Przemysłowe źródła emisji CO₂ na świecie w aspekcie podziemnego składowania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 25, z. 2, s.
- ULIASZ-BOCHEŃCZYK A., MOKRZYCKI E., 2003 — Emisja dwutlenku węgla w przemyśle cementowym. Polityka Energetyczna t. 6, z. spec., s. 367—375.

Radosław TARKOWSKI, Barbara ULIASZ-MISIAK

Carbon dioxide emission from fuel combustion and industrial processes in Poland

Abstract

Industrial sectors responsible for large amount of CO₂ emissions in Poland are characterized. On the basis of official statistics, figures from local administration and industrial institutions the authors presents: magnitude of emissions from selected categories, sub-categories and sectors of industry (in accordance with methodology of IPCC), concentration of CO₂ in combustion gases and those emitted by industry. A special attention was paid to those sectors of industry which may be the first to act as a source of carbon dioxide for underground storage in the nearest future.

KEY WORDS: CO₂, emission sources, industrial gases, combustion gases, underground storage, Poland