

RADOSŁAW TARKOWSKI*, BARBARA ULIASZ-MISIAK**

Emisja dwutlenku węgla w Polsce w aspekcie podziemnego magazynowania

Słowa kluczowe

Emisja dwutlenku węgla, gazy cieplarniane, energetyka zawodowa, podziemne magazynowanie

Streszczenie

Przedstawiono emisję dwutlenku węgla w Polsce w aspekcie podziemnego magazynowania tego gazu. Omówiono emisję gazów cieplarnianych, w szczególności dwutlenku węgla (źródła informacji, analiza i prognozy emisji), zobowiązania Polski wynikające z międzynarodowych uzgodnień w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Scharakteryzowano głównych emitentów dwutlenku węgla w Polsce. Szczególną uwagę zwrócono na duże zakłady emitujące powyżej 50 tys. CO₂/rok. Zestawiono wykresy oraz tabele przedstawiające zróżnicowane aspekty prezentowanej problematyki, dotyczące: źródeł i zmian wielkości emisji, ich lokalizacji oraz największych emitentów CO₂. Przedstawione dane wykorzystane zostaną do wytypowania dużych emitentów dwutlenku węgla, dla których określone zostaną miejsca podziemnego magazynowania tego gazu w złożach surowców płynnych w Polsce.

Wprowadzenie

Klimat Ziemi kształtowany jest w dużej mierze przez stan i zmiany atmosfery. Decydującą rolę odgrywają tu niektóre gazy, naturalne składniki atmosfery, takie jak dwutlenek węgla, metan, tlenki azotu czy para wodna (tzw. gazy cieplarniane). Szczególne znaczenie przypisuje się dwutlenkowi węgla. Pomiar koncentracji tego gazu w dolnych warstwach atmosfery ziemskiej prowadzone od początku XIX w. wykazały wzrost jego stężenia z 280 ppm do 360 ppm (tj. o ok. 30%). Przyczynę tego wzrostu upatruje się przede wszystkim w spalaniu paliw kopalnych oraz wylesianiu znacznych obszarów Ziemi.

* Doc. dr hab.inż., ** Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; radek@min-pan.krakow.pl; umb@min-pan.krakow.pl

Przewidywany dalszy rozwój gospodarczy świata oraz zwiększanie się liczby ludności pozwala przypuszczać, że emisja gazów cieplarnianych, a wraz z nią koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze, będzie nadal wzrastać. Oszacowano, że jeśli wzrost emisji CO₂ utrzyma się na obecnym poziomie, doprowadzi to do wzrostu koncentracji tego gazu w atmosferze, na poziomie 500 ppm pod koniec XXI wieku. Tym samym nastąpi zwiększenie efektu cieplarnianego i dalsze globalne ocieplenie klimatu. Przy założeniu, że nie zostaną podjęte żadne działania na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych, w ciągu nadchodzącego stulecia średnia globalna temperatura może podnieść się o 1—3,5°C, a w prognozach pesymistycznych nawet o 6°C.

Na temat zwiększonego działaniem człowieka efektu cieplarnianego — rozmiarów, realności tego zagrożenia oraz roli jaką odgrywa w tym zjawisku dwutlenek węgla, trwa dyskusja wśród specjalistów. Są również głosy, że obecne ocieplenie klimatu jest zjawiskiem naturalnym, a emisja gazów cieplarnianych do atmosfery spowodowana działalnością człowieka odgrywa tu znikomą rolę. Większość naukowców przyjmuje jednak pesymistyczny scenariusz wydarzeń. Podobne zdanie mają rządy większości państw świata i organizacje międzynarodowe, które wspólnie działają na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Jednym z bezpośrednich sposobów redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery jest jego podziemne magazynowanie. Tematyka ta na świecie jest jeszcze w fazie rozważań i dyskusji naukowych. Działają już instalacje podziemnego magazynowania CO₂ na skalę przemysłową, w głębokich strukturach geologicznych.

Polska jest zainteresowana redukcją emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Konieczność dostosowania się do umów międzynarodowych, przewidywany w najbliższych latach wzrost emisji dwutlenku węgla, ograniczone możliwości technologiczne zmniejszenia emisji i radykalnego obniżenia energochłonności przemysłu, uwarunkowania geologiczne umożliwiające podziemne składowanie, uzasadniają celowość podjęcia prac dotyczących podziemnego składowania CO₂ w złożach surowców płynnych w Polsce.

Z podziemnym magazynowaniem dwutlenku węgla związane są problemy naukowe, techniczne, ekonomiczne, prawne i inne. Zaczynają się one na poziomie emitenta tego gazu i są związane z wydzieleniem dwutlenku węgla, jego transportem do miejsca podziemnego składowania, dotyczą aspektów prawnych, bezpieczeństwa, społecznej akceptacji tego przedsięwzięcia (Tarkowski i Uliasz-Misiak 2002). Pomijając uwarunkowania geologiczno-złożowe, aby podziemne magazynowanie dwutlenku węgla było możliwe i ekonomicznie uzasadnione, powinno odbywać się w pobliżu dużego emitenta tego gazu (Tarkowski i Uliasz-Misiak 2003). Dlatego też rozpoczynając omawianie zagadnienia podziemnego magazynowania dwutlenku węgla w Polsce, autorzy rozpoczęli od prezentacji analizy emisji i emitentów tego gazu. Pomijając opracowania statystyczne, emisja dwutlenku węgla do atmosfery jest tematem stosunkowo rzadko poruszonym w polskich publikacjach naukowych. Problematykę przedstawiono w szerszym ujęciu, poczynając od emisji gazów cieplarnianych. Zasadniczą część artykułu poświęcono analizie danych dotyczących emisji dwutlenku węgla w Polsce. Uwagę zwrócono na zakłady o największej emisji, w tym emitujące powyżej 50 tys. ton CO₂/rok. Do nich należy zaliczyć przede wszystkim zakłady sektora energetycznego emitujące w wyniku spalania paliw kopalnych tlenki siarki: SO₂, SO₃, tlenki azotu: NO, NO₂, N₂O, tlenki węgla: CO, CO₂, węglowodory: C_xH_y, parę wodną H₂O oraz cząstki stałe, takie jak: popiół, sadza itd. (Olkuski 2001).

Autorzy zestawili tabele oraz zaprezentowali wykresy obejmujące różne aspekty omawianego zagadnienia: źródła emisji, zmiany wielkości emisji, lokalizacje źródeł emisji, najwięksi emitenci w Polsce. Przedstawione dane mogą być pomocne w wytypowaniu dużych emitentów CO₂, w kontekście lokalizacji miejsc podziemnego składowania, w złożach surowców płynnych w Polsce.

1. Emisja gazów cieplarnianych w Polsce

Emisja gazów cieplarnianych w Polsce w latach 1988—1999 wykazuje tendencję spadkową (tab. 1). Obecna emisja gazów cieplarnianych w Polsce nie przekracza poziomu określonego przez zobowiązania Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych z Rio de Janeiro, czyli wielkości emisji w roku bazowym. Jest nawet znacznie niższa niż w 1988 r.

Największy spadek emisji gazów cieplarnianych wystąpił na początku lat dziewięćdziesiątych. W 1990 r. emisja była aż o 19% niższa od emisji w roku bazowym. W kolejnych czterech latach utrzymywała się na stałym poziomie, stanowiącym 76—78% emisji w roku bazowym. Po 1994 r. obserwuje się dalszy spadek przeplatany niewielkimi wzrostami. Kolejny znaczący spadek emisji dwutlenku węgla notuje się w latach 1998 i 1999, kiedy to osiągnęła poziom odpowiadający 71% emisji roku bazowego. W omawianym okresie zmianom wielkości emisji gazów cieplarnianych towarzyszyło zmniejszenie energochłonności gospodarki krajowej oraz zmiana struktury zużycia paliw na korzyść paliw węglowodorowych, o mniejszej zawartości węgla.

Największy udział w całkowitej emisji gazów cieplarnianych w Polsce ma dwutlenek węgla (ok. 92,4% w 1999 r.). Udział pozostałych gazów cieplarnianych jest niewielki (tab. 1). Zagregowana emisja gazów cieplarnianych wyrażona w ekwiwalencie dwutlenku węgla w 2000 r. zmniejszyła się o 16% w porównaniu z 1990 r. W 2000 r. emisja dwutlenku węgla wyniosła

TABELA 1

Zmiany emisji gazów cieplarnianych w latach 1988—1999 w tys. ton (za: Ochrona środowiska 2001)

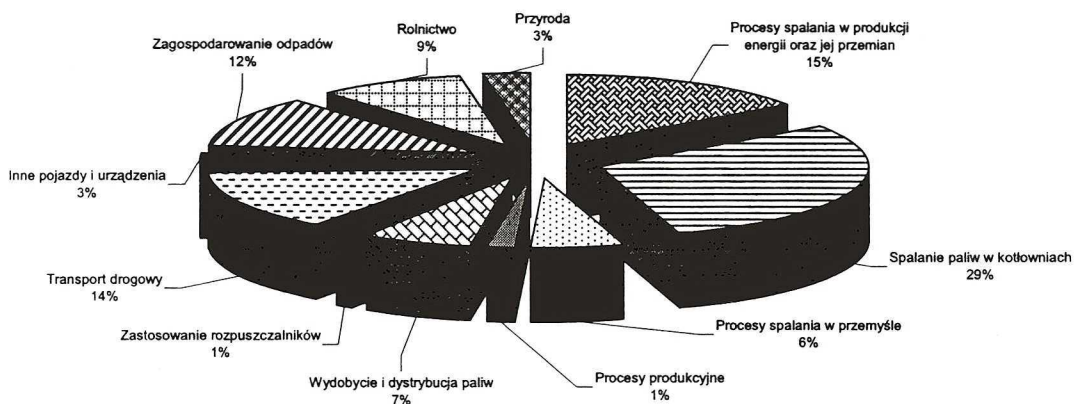
TABLE 1

Changes in emission of greenhouse gases in the years 1988—1999
(in thousand tonnes, compiled on the basis of data after Ochrona środowiska 2001)

Lata	1988	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO ₂	477 584	381 482	367 689	372 311	363 980	372 293	348 926	373 202	362 300	338 095	329 739
CH ₄	3 141	2 801	2 588	2 474	2 432	2 467	2 458	2 252	2 279	2 335	2 250
N ₂ O	70	63	52	50	50	50	54	54	54	52	75
HFC _s	—	—	—	—	—	—	—	0,216	0,453	0,595	0,681
PFC _s	—	—	—	—	—	—	—	0,116	0,120	0,122	0,120
Całkowita emisja	507 840	414 385	394 689	398 230	389 553	396 942	373 629	393 946	385 683	372 784	356 733

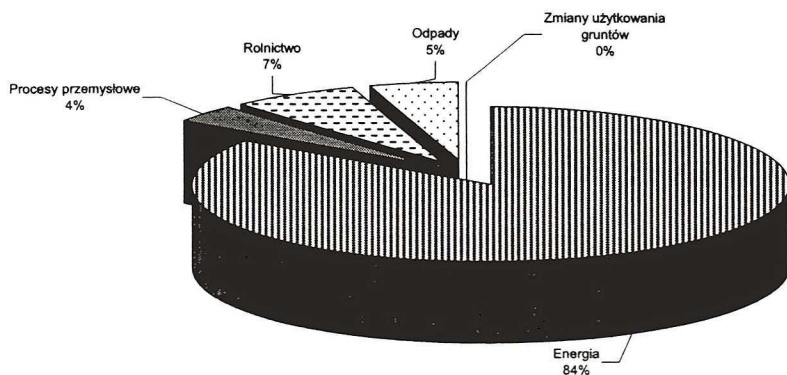
około 315 Mt/rok (o 17% mniej niż w 1990 r.), metanu — 2,2 Mt/rok (mniej o 20%), a podtlenku azotu 0,077 Mt/rok (mniej o 8%) (Biuro Wykonawcze...).

Emisja gazów cieplarnianych w Polsce w 1996 r. według klasyfikacji CORINAIR (rys. 1) pozwala stwierdzić, że największy udział w emisji tych gazów mają następujące kategorie źródeł emisji: Spalanie paliw w kotłowniach, Procesy spalania w produkcji energii oraz jej przemian, Transport drogowy oraz Zagospodarowanie odpadów (razem 70%). Mniej znaczący jest udział kategorii: Procesy spalania w przemyśle, Wydobywanie i dystrybucja paliw, Rolnictwo (22%). Wpływ pozostałych kategorii nie przekracza kilku procent całości emisji.



Rys. 1. Udział poszczególnych kategorii źródeł emisji gazów cieplarnianych w Polsce w 1996 r. według klasyfikacji CORINAIR (zestawiono na podstawie danych z: Stan środowiska w Polsce 1998)

Fig. 1. Shares of individual categories of sources of emission of greenhouse gases in Poland in the year 1996 (classification of sources after CORINAIR, compiled on the basis of data after Stan środowiska w Polsce 1998)



Rys. 2. Udział poszczególnych kategorii źródeł emisji gazów cieplarnianych w Polsce w 1999 r. według klasyfikacji IPPC (zestawiono na podstawie danych z: Biuro Wykonawcze Konwencji Klimatycznej)

Fig. 2. Shares of individual categories of sources of emission of greenhouse gases in Poland in the year 1999 (classification after IPPC, compiled on the basis of data after Executive Office of the Climate Convention)

Biorąc pod uwagę kategorie źródeł emisji IPCC (rys. 2), największy udział w zagregowanej emisji gazów cieplarnianych w Polsce ma kategoria Energia obejmująca emisję ze spalania paliw i lotną emisję z użytkowania paliw. Ta kategoria stanowi ponad 84% emisji ogółem, przy czym w 1988 r. jej udział wyniósł 87,1%. Znaczenie pozostałych źródeł jest niewielkie. Najistotniejszym pozostaje Rolnictwo, które w 1988 r. odpowiadało za blisko 5,5% emisji oraz Procesy przemysłowe i Odpady. Wpływ: Zmiany użytkowania gruntów rolnych wyniósł poniżej 0,1%.

2. Polska a uzgodnienia międzynarodowe dotyczące emisji

Ustabilizowanie koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze na bezpiecznym dla systemu klimatycznego poziomie jest podstawowym celem działalności Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu tzw. Konwencji Klimatycznej. Została ona podpisana w czerwcu 1992r. w Rio de Janeiro przez 152 kraje, w tym i Polskę. W 1994 r., po jej ratyfikacji, Polska stała się Stroną Konwencji, a w 1998 r. sygnatariuszem Protokołu do Konwencji tzw. Protokołu z Kioto. Polska jest obecnie stroną około 40 konwencji i porozumień dotyczących ochrony środowiska (Olkuski 2001).

Konwencja Klimatyczna zobowiązuje kraje rozwinięte oraz kraje z gospodarką w okresie przejściowym do stabilizacji emisji gazów cieplarnianych (dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu) na poziomie roku 1990, do roku 2000. Dla Polski za rok odniesienia przyjęto rok 1988. Podczas III Konferencji Stron Konwencji w Kioto w 1997 r., podpisany został protokół określający zobowiązania krajów uprzemysłowionych i tych z gospodarką w okresie przejściowym do redukcji emisji gazów cieplarnianych po roku 2000. Zgodnie z Protokołem z Kioto, państwa sygnatariusze zobowiązały się do redukcji emisji gazów cieplarnianych do atmosfery w latach 2008—2012, średnio o 5,2%. Wielkości tej redukcji w stosunku do roku odniesienia są zróżnicowane i wahają się od 8% dla Unii Europejskiej i krajów z nią stowarzyszonych (poza Polską i Węgrami), 7% dla Stanów Zjednoczonych, 6% dla Japonii, Kanady, Węgier i Polski, 0% (czyli stabilizacji) dla Rosji i Ukrainy. Dla trzech krajów rozwiniętych dopuszczono możliwość wzrostu emisji: o 1% dla Norwegii, 8% dla Australii i 10% dla Islandii.

Dopuszczono szereg mechanizmów wspomagających wywiązywanie się ze zobowiązań dotyczących redukcji emisji: handel nadwyżkami emisji (Emission Trading — ET), zaliczanie na poczet zobowiązań danego kraju redukcji emisji uzyskanej w wyniku realizacji inwestycji w innym kraju poprzez mechanizm wspólnych działań (Joint Implementation — JI). Uwzględniono handel emisjami, czyli nadwyżkami zredukowanej emisji pomiędzy Stronami, które podjęły zobowiązanie redukcji emisji.

Kraje, uczestnicy Konwencji, zobowiązały się do wdrożenia działań prowadzących do redukcji emisji gazów cieplarnianych np. promowania i wdrażania technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii, pochłaniających dwutlenek węgla, stopniowej redukcji barier rynkowych utrudniających redukcję emisji w sektorach gospodarczych, w tym eliminowanie dotacji, wprowadzanie ulg podatkowych, tworzenie zachęt do wdrażania reform sprzyjających redukcji i pochłanianiu gazów cieplarnianych. Dowodem wypełniania zobowiązań Stron w zakresie redukcji emisji jest inwentaryzacja emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych,

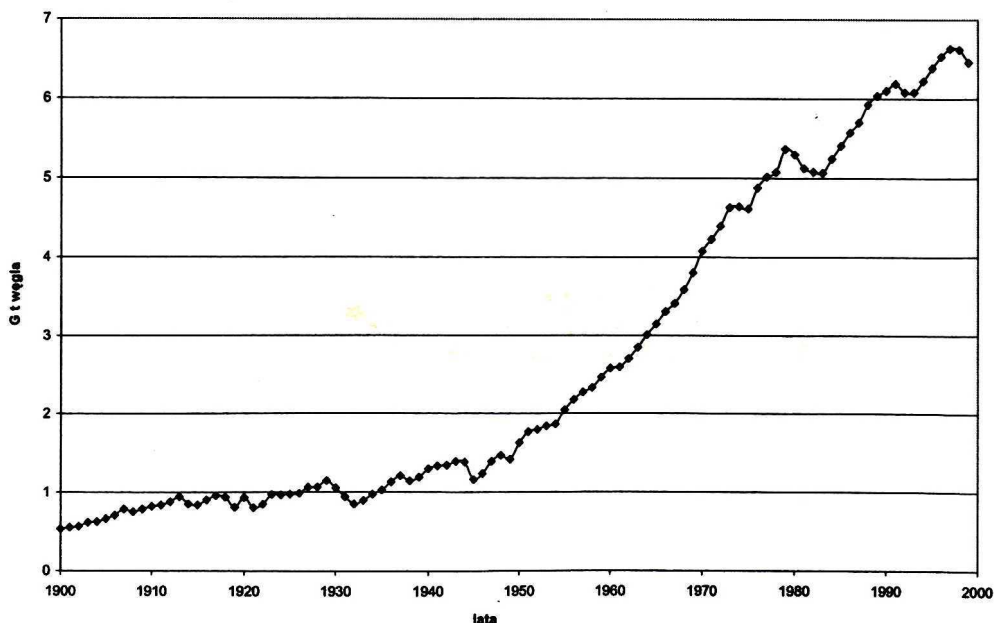
wykonywana corocznie według metodologii opracowanej przez IPCC/OECD i przyjęta przez Konferencję Stron Konwencji.

Podpisanie przez Polskę protokołu z Kyoto oraz późniejsze ustalenia i wynikające stąd zobowiązania obligują do uwzględnienia w polityce gospodarczej Polski redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Polska w latach 2008—2012 powinna zredukować emisję gazów cieplarnianych o 6% względem przyjętego poziomu odniesienia z roku 1988 (roku bazowego).

3. Emisja dwutlenku węgla

3.1. Emisja dwutlenku węgla na świecie

Po roku 1751 około 277 bilionów ton węgla (1016 bln ton w przeliczeniu na CO₂) zostało wyemitowanych do atmosfery w wyniku spalania paliw kopalnych, w celach energetycznych i produkcji cementu. Połowa tej emisji pochodzi z okresu po 1975 roku. Oszacowana w 1999 r. światowa emisja dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych wyniosła 6,5 Gt węgla, co oznacza 2,4-procentowy spadek w stosunku do 1998 r. (Carbon Dioxide Information Analysis Centre...). Prognoza globalnej emisji CO₂ ze spalania paliw kopalnych w latach 1900—1998 (rys. 3), wskazuje, że emisja tego gazu do roku 1945 była na względnie stałym poziomie.



Rys. 3. Prognoza globalnej emisji CO₂ ze spalania paliw kopalnych w latach 1900—1998 (zestawiono na podstawie danych z: Carbon Dioxide Information Analysis Center)

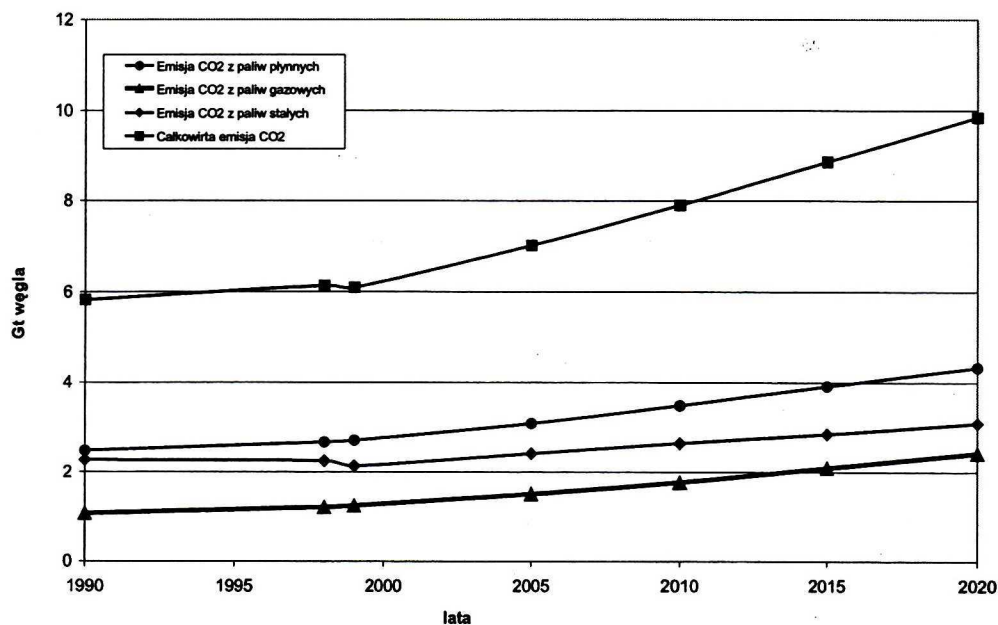
Fig. 3. Prognosis of global emission of CO₂ from combustion of fossil fuels in the years 1900—1998 (compiled on the basis of data of Carbon Dioxide Information Analysis Center)

Rok zakończenia II wojny był momentem, od którego ilość tego gazu emitowana do atmosfery zaczęła bardzo szybko rosnąć, co trwa z pewnymi zmianami do dnia dzisiejszego.

Publikowane są liczne prognozy zmian ilości dwutlenku węgla w atmosferze w ciągu XXI wieku. Niektóre przewidują przed końcem bieżącego stulecia koncentrację CO_2 na poziomie nawet 800—1200 ppm. Prognozy Energy Information Administration przewidują, że emisja dwutlenku węgla będzie się zwiększać średnio około 1,5% na rok, z 6 Gt węgla w 1999 roku do 9,9 Gt węgla w 2020 (rys. 4). Jest to wartość o 65% wyższa w porównaniu z emisją w 1999 r. Tak znaczny wzrost jest konsekwencją zarówno wzrostu zaludnienia globu ziemskiego powodującego wzrost zapotrzebowania na energię, jak i przewidywanego znacznego udziału w produkcji energii paliw kopalnych (węgiel, gaz ziemny, ropa naftowy).

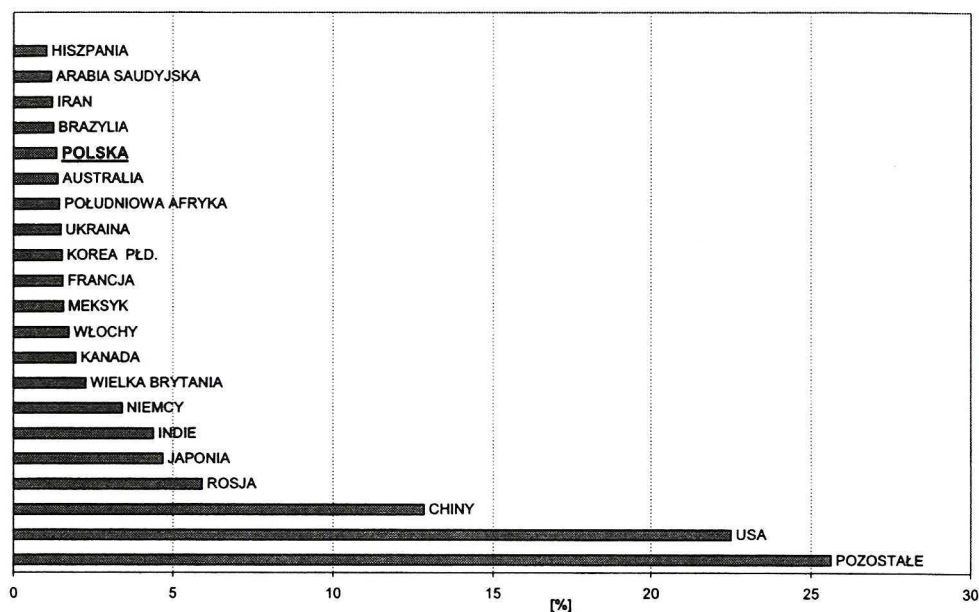
Według prognoz Międzynarodowej Agencji Energii do 2010 roku emisja dwutlenku węgla wzrośnie o około 50% w stosunku do poziomu z 1990 r., tj. z około 21,1 do 31,5 Gt CO_2 . Największa emisja pochodzić będzie z krajów nie należących do OECD, gdzie przewiduje się jej podwojenie. W krajach OECD wzrośnie o około 30% (Energy and... 1997). Będą też występowały znaczne różnice w emisji dwutlenku węgla na jednego mieszkańca w poszczególnych krajach.

Prognozowanie emisji poza rok 2020 jest utrudnione i obarczone dużym błędem, ponieważ zależy od tego, czy w okresie najbliższych 20 lat zostaną wdrożone nowe, bezodpadowe technologie produkcji energii jądrowej, które mogłyby spowodować istotny wzrost udziału tego źródła w produkcji energii. Wzrost udziału „czystej energii” produkowanej z surowców od-



Rys. 4. Globalna emisja CO_2 ze spalania paliw kopalnych w latach 1990—1999 oraz prognoza do roku 2020 (zestawiono na podstawie danych z: Energy Information Administration)

Fig. 4. Global emission of CO_2 from combustion of fossil fuels in the years 1900—1999 and prognosis of the emission till the year 2020 (compiled on the basis of data from Energy Information Administration)



Rys. 5. Najwięksi światowi emitenci CO₂ w 1998 roku
(zestawiono na podstawie danych z: Carbon Dioxide Information Analysis Center)

Fig. 5. The largest world emittents of CO₂ in the year 1998
(compiled on the basis of data from Carbon Dioxide Information Analysis Center)

nawialnych (wiatr, energia słoneczna, energia geotermalna) uzależniony jest natomiast od finansowych możliwości oraz woli subsydiowania takiej produkcji w poszczególnych krajach. Przewidywania w wykorzystaniu tych źródeł nie są optymistyczne. Należy sądzić, że w ciągu najbliższych 20—30 lat nie nastąpi najprawdopodobniej zasadniczy przełom w użytkowaniu surowców energetycznych w skali świata i w dalszym ciągu rosnąca ilość energii będzie głównie produkowana z ropy, węgla i gazu ziemnego, których spalanie stanowi najistotniejsze źródło emisji CO₂ (Marzec 2001).

Największymi światowymi emitentami dwutlenku węgla są USA i Chiny (ok. 35% emisji). Polska w 1998 r. znajdowała się na 16 pozycji, z wielkością odpowiadającą około 1,6% światowej emisji (rys. 5). W 2000 r. poziom emisji dwutlenku węgla w Polsce był wysoki i wyniósł około 315 Mt/rok.

3.2. Emisja dwutlenku węgla w Polsce

3.2.1. Źródła informacji

Poczynając od lat osiemdziesiątych, Polska systematycznie bilansuje emisje zanieczyszczeń do atmosfery. Dane te są gromadzone i bilansowane według metodologii: CORINAIR, Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmian Klimatu IPCC oraz podziału tradycyjnie stosowanego w polskiej

statystyce. Klasyfikacja CORINAIR, przyjęta przez Europejską Agencję Środowiska, uwzględnia całkowitą emisję głównych zanieczyszczeń powietrza (dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, amoniak, metan, tlenek węgla), w tym i gazy cieplarniane (Stan środowiska w Polsce 1998).

Według metodologii Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu IPCC, ilość gazów emitowanych do atmosfery określana jest na podstawie pomiarów lub wyliczana jest z poszczególnych źródeł emisji na podstawie danych charakteryzujących badany proces, np. wielkości zużycia surowców energetycznych czy wielkości produkcji. Wykorzystuje się również międzynarodowe lub krajowe wskaźniki emisji dla charakterystycznych procesów technologicznych. Emisja liczona jest w następujących kategoriach źródeł: 1. Energia, 2. Procesy przemysłowe, 3. Wykorzystanie rozpuszczalników, 4. Rolnictwo, 5. Zmiany użytkowania gruntów i lasów, 6. Odpady oraz 7. Inne. W ramach kategorii piątej określana jest również wielkość pochłaniania dwutlenku węgla przez biomasę (Biuro Wykonawcze Konwencji Klimatycznej). Emisja gazów cieplarnianych bywa też przedstawiana w postaci zagregowanej emisji, tzn. zsumowanej emisji trzech podstawowych gazów cieplarnianych, wyrażonej w ekwiwalencie dwutlenku węgla.

Zgodnie z zaleceniami Protokołu z Kioto, w Polsce dąży się do stworzenia krajowego systemu inwentaryzacji i raportowania, którego celem byłoby umożliwienie oceny emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w kontekście przyjętych przez nasz kraj zobowiązań. Pierwszym krokiem w tym kierunku było powołanie Krajowego Centrum Inwentaryzacji Emisji i Biura Wykonawczego Konwencji Klimatycznej, współpracujących ściśle z Ministerstwem Środowiska, w celu koordynacji wykonywania zadań i zobowiązań Konwencji.

Polska posiada uregulowania prawne dotyczące publicznego dostępu do informacji o środowisku. 27 kwietnia 2001 r. Sejm uchwalił ustawę — Prawo Ochrony Środowiska (2001 r.). Ustawa ta wprowadziła do polskiego prawa instytucję dostępu do informacji o środowisku jako element podstawowych praw człowieka w dostępie do informacji. Informacje dotyczące emisji oraz działań i środków wpływających lub mogących wpływać negatywnie na środowisko (Art. 19 Ustawy) mogą być udostępnione zainteresowanemu na pisemny wniosek.

Podstawowym źródłem informacji o poszczególnych grupach emisji są oficjalne publikacje Głównego Urzędu Statystycznego (Rocznik Statystyczny, Gospodarka Paliwowo-Energetyczna, Roczniki Statystyczne: Przemysł, Leśnictwo, Ochrona Środowiska, Zwierzęta Gospodarskie, Zużycie nawozów sztucznych i wapniowych), EMITOR, oficjalne dane publikowane przez Generalną Dyрекcję Lasów Państwowych i inne.

W Polsce od kilku lat informacje i dokumenty dotyczące środowiska dostępne są również w formie elektronicznej, na stronach internetowych lub poprzez rozsyłanie do odbiorców pocztą elektroniczną. Największym „dystrybutorem” elektronicznej informacji o środowisku i jego ochronie jest strona internetowa Ministerstwa Środowiska (Biuro Promocji Informacji). Udostępnianiem informacji elektronicznej na temat stanu środowiska oraz kontroli przestrzegania prawa o ochronie środowiska zajmuje się Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska oraz wojewódzkie inspektoraty ochrony środowiska.

3.2.2. Prognozy emisji

Prognozy dotyczące emisji dwutlenku węgla w Polsce potwierdzają w najbliższych kilkunastu latach wzrost emisji gazów spalinyowych do atmosfery, w tym i dwutlenku węgla. Dlatego

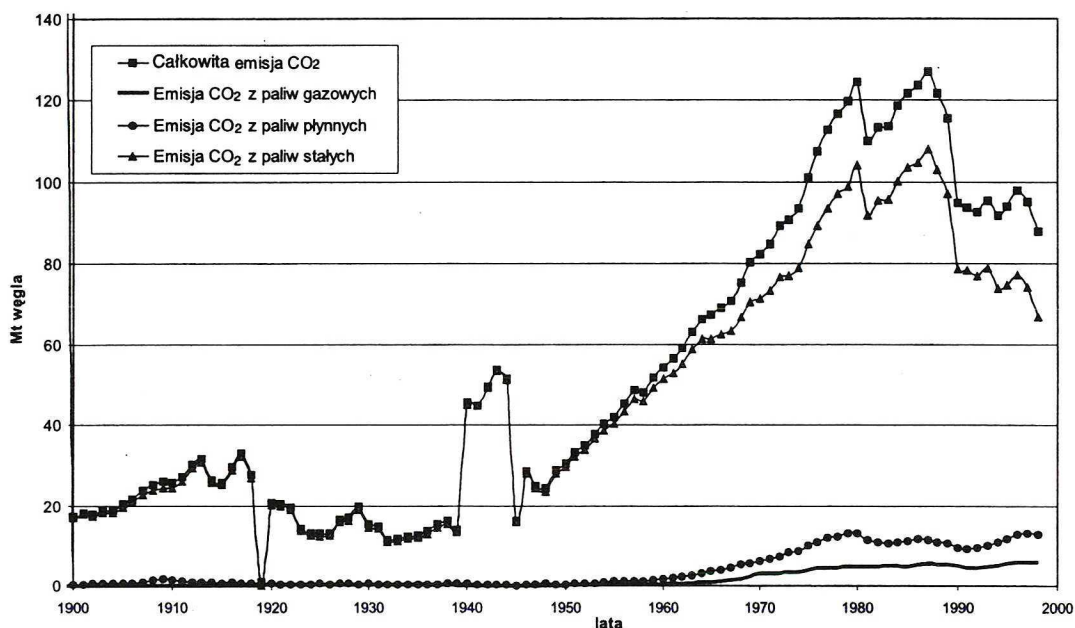
też problem ograniczenia emisji CO₂ w Polsce będzie coraz bardziej aktualny. Możliwości technologiczne jej zmniejszenia lub/albo radykalnego ograniczenia energochłonności polskiej gospodarki są nieduże. Struktura zużycia kopalnych paliw stałych dla potrzeb energetycznych w Polsce jest niekorzystna, a krajowa emisja dwutlenku węgla, przypadająca na jedną tonę spalanego paliwa umownego (ekwiwalentu ropy) należy do najwyższych w Europie (ok. 3,5 tony CO₂ /1 toe) (Marzec i Czajakowska 1999).

Prognozy Ministerstwa Gospodarki dotyczące bilansu węgla kamiennego, ropy naftowej oraz gazu ziemnego we wszystkich trzech scenariuszach (PRZETRWANIA, ODNIESIENIA I POSTĘPU-PLUS) przewidują do 2020 r. wzrost zapotrzebowania na te paliwa przez elektrownie i elektrociepłownie zawodowe. Dane te wskazują, że należy oczekiwać wzrostu produkcji energii elektrycznej od około 41% (scenariusz PRZETRWANIA) do około 66% (scenariusz POSTĘP-PLUS) (Kozłowski 2001; Ney 2001a), a co za tym idzie — odpowiedni wzrost emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Według opracowania Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej, należy oczekiwać znacznego wzrostu zapotrzebowania na energię pierwotną do 2020 r. Prognozy prof. R. Ney'a wykazują również wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną w tym okresie, chociaż w mniejszym stopniu niż poprzednie (Nodzyński 2001).

Należy też mieć na uwadze pewne aspekty, które spowodują ograniczenie emisji gazów spalinowych. Proces regionalizacji w polityce energetycznej przyczyni się zapewne do wykorzystania lokalnych zasobów energii, w tym szczególnie energii odnawialnych. W pewnej skali może to pomóc w rozwiązaniu problemów ekologicznych na terenie określonych obszarów (Ney 2001b). Również urealnienie cen energii może się przyczynić do jej bardziej oszczędnego i efektywnego wykorzystania (Ney 2002). Siłownie nowej generacji i korzyści wynikające z tlenowego spalania (wyższa sprawność energetyczna, redukcja: objętości spalin, strat ciepłych, zawartości NO_x w spalinach) w znacznej mierze zrekompensują koszty produkcji tlenu i przyczynią się do zmniejszenia kosztów unieszkodliwiania dwutlenku węgla (Marzec 2001). Niewątpliwym wpływem na zwrócenie uwagi na ilość i jakość emitowanych gazów będą nowe przepisy, które będą obowiązywały w Polsce po wejściu do Unii Europejskiej (Rubczyński i Jemiołkowski 2002).

3.2.3. Analiza emisji

Emisję dwutlenku węgla w Polsce w latach 1900—1998 przedstawiono na rysunku 6. Wielkość emisji dwutlenku węgla w Polsce w latach 1900—1940 była na względnie stałym poziomie. W latach II wojny światowej notuje się jej dwukrotny, a nawet większy wzrost. Począwszy od roku 1945r. obserwuje się stały wzrost emisji, aż do końca lat osiemdziesiątych. Podobnie jak w przypadku innych gazów cieplarnianych, wzrost ten spowodowany był spalaniem paliw kopalnych w celu zaspokajania rosnących potrzeb energetycznych. Począwszy od końca lat osiemdziesiątych obserwuje się spadek wielkości emisji dwutlenku węgla. Dzisiejszy poziom emisji tego gazu odpowiada temu z połowy lat siedemdziesiątych. Należy podkreślić, że przemiany gospodarcze w Polsce po 1989 r. oraz liczne działania na rzecz efektywniejszego wykorzystania energii, prowadzące do ograniczenia i względnej stabilizacji jej zużycia, spowodowały w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych znaczne ograniczenie emisji CO₂.



Rys. 6. Emisja dwutlenku węgla w Polsce w latach 1900—1998
(zestawiono na podstawie danych z: Carbon Dioxide Information Analysis Center)

Fig. 6. Carbon dioxide emission in Poland in the years 1900—1998
(compiled on the basis of data from Carbon Dioxide Information Analysis Center)

Emisja pochodząca ze spalania paliw stałych naśladowuje generalny trend. Począwszy od połowy lat sześćdziesiątych zaznacza się zwiększenie udziału emisji z paliw gazowych i płynnych, co związane było ze zwiększeniem udziału tych paliw w bilansie paliwowo-energetycznym kraju. W ostatnich latach emisja dwutlenku węgla nie przekracza poziomu określonego przez zobowiązania Konwencji (czyli wielkości emisji w roku bazowym). Jest ona nawet mniejsza niż w 1988 r. W latach 1998 i 1999 nastąpił jej znaczący spadek do poziomu emisji odpowiadającej 71% z roku bazowego.

Wielkość emisji dwutlenku węgla na 1 mieszkańca Polski w skali roku wykazuje tendencję malejącą i zmniejszyła się z 12,6 ton CO₂/osobę w 1988 r. do 9,65 ton CO₂/osobę w 1994 r. Średnia wartość tego wskaźnika w krajach OECD wynosiła w 1998 r. 11,8 ton CO₂/osobę, a w świecie 3,9 ton CO₂/osobę. (Stan środowiska w Polsce 1998; CO₂ emissions... 1997).

Rozważając emisję i wiązanie dwutlenku węgla w Polsce, według źródeł emisji, w 1999 r., największy udział miał dział Energia — Spalanie paliw (ok. 97%) (tab. 2). Wpływ procesów przemysłowych (Produkty mineralne, Przemysł chemiczny i Produkcja metali) jest niewielki (ok. 3%). Należy zaznaczyć znaczący udział pozycji Zmiany użytkowania gruntów i lasów w wiązaniu dwutlenku węgla, co należy łączyć z przemianami ilości biomasy w lasach i terenach niezalesionych.

TABELA 2

Całkowita emisja głównych gazów cieplarnianych i wiązanie dwutlenku węgla według źródeł emisji w 1999 roku w Polsce (zestawiono na podstawie: Ochrona środowiska 2001)

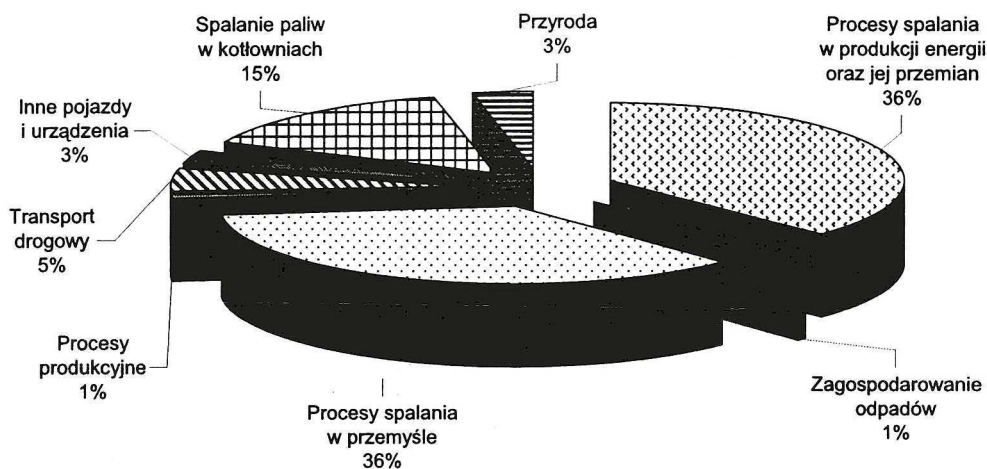
TABLE 2

Total emission of major greenhouse gases and binding of carbon dioxide at the background of sources of emissions in Poland in the year 1999 (compiled on the basis of data after Ochrona środowiska 2001)

Wyszczególnienie	Dwutlenek węgla [tys. ton]		Metan [tys. ton]	Podtlenek azotu [tys. ton]
	emisja	wiązanie		
Energia w tym:	319 087,7	—	827,7	7,4
— Spalanie paliw	318 962,7	—	50,3	7,4
— Emisja lotna z paliw	125,0	—	777,4	—
Procesy przemysłowe	10 609,4	—	8,0	12,1
— Produkty mineralne	9 983,4	—	—	—
— Przemysł chemiczny	60,8	—	5,8	12,1
— Produkcja metali	565,2	—	2,2	—
Rolnictwo	—	—	509,3	55,6
Zmiany użytkowania gruntów i lasów w tym:	42,0	43 505,8	0,1	0,0
— Zmiany biomasy w lasach i terenach nie zalesionych	—	39 766,9	—	—
— Przekształcenia lasów i ekosystemów trawiastych	42,0	—	0,1	0,0
— Emisja i wiązanie w glebie	0,0	3 738,9	—	—
Odpady	—	—	905,1	—
Ogółem	329 739,3	43 505,8	2250,2	75,1

Struktura emisji dwutlenku węgla w Polsce według klasyfikacji CORINAIR (rys. 7) wskazuje na znaczący udział w emisji następujących grup: Procesy spalania w produkcji energii oraz jej przemian i Procesy spalania w przemyśle (razem 72%). Istotną pozycję stanowi Spalanie paliw w kotłowniach (15%). Udział kategorii: Transport drogowy, Inne pojazdy i urządzenia, Przyroda, Procesy produkcyjne i Zagospodarowanie odpadów nie przekracza kilku procent emisji.

W skali Polski istnieje kilkadziesiąt zakładów szczególnie uciążliwych dla środowiska. Rozważając te zakłady (tab. 3), w 2000 r. największy procent emisji CO₂ pochodził z następujących działów: Wytwarzanie i zaopatrzenie w energię elektryczną, gaz i wodę (73,8%) oraz z Przetwórstwo przemysłowe (24,7%). Oddziaływanie w postaci emisji tego gazu przez: Górnictwo i kopalnictwo, Budownictwo, Pozostałą działalność usługową i inne, było mało



Rys. 7. Struktura emisji CO₂ w Polsce według klasyfikacji CORINAIR (zestawiono na podstawie danych z: Energy Information Administration)

Fig. 7. Structure of CO₂ emission in Poland according to CORINAIR classification (compiled on the basis of data from Energy Information Administration)

TABELA 3

Emisja zanieczyszczeń powietrza z zakładów szczególnie uciążliwych według klasyfikacji PKD w 2000 r. (zestawiono na podstawie: Ochrona środowiska 2001)

TABLE 3

Emission of air pollutants from plants especially strenuous for the environment in PKD (Polish Classification of Economic Activity) classification, in the year 2000 (compiled on the basis of data after Ochrona środowiska 2001)

Wyszczególnienie	Emisja zanieczyszczeń gazowych [tys. ton/rok]	Emisja dwutlenku węgla [tys. ton/rok]	Procent emisji dwutlenku węgla
Górnictwo i kopalnictwo	2 510,2	2 201,9	1,09
Przetwórstwo przemysłowe	50 385,9	49 845,0	24,73
Wytwarzanie i zaopatrzenie w energię elektryczną, gaz i wodę	150 007,8	148 786,3	73,83
Budownictwo	138,3	136,1	0,07
Pozostała działalność usługowa	40,4	39,6	0,02
Pozostałe sekcje	528,1	518,5	0,26
Ogółem	203 610,6	201 527,4	100,00

TABELA 4

Emisja zanieczyszczeń powietrza z poszczególnych działów produkcji z zakładów szczególnie uciążliwych według klasyfikacji PKD w 2000 r. (zestawiono na podstawie: Ochrona środowiska 2001)

TABLE 4

Emission of air pollutants from plants especially strenuous for the environment in PKD classification, representing individual sectors of the national economy, in the year 2000 (compiled on the basis of data after Ochrona środowiska 2001)

Wyszczególnienie	Emisja zanieczyszczeń gazowych [tys. ton/ rok]	Emisja dwutlenku węgla [tys. ton/ rok]	Procent emisji dwutlenku węgla
Górnictwo i kopalnictwo			
Górnictwo węgla kamiennego i brunatnego, wydobywanie torfu	1 812,2	1 510,8	0,75
Pozostałe działy	698,0	691,1	0,34
Ogółem	2 510,2	2 201,9	
Przetwórstwo przemysłowe			
Produkcja artykułów spożywczych i napojów	3245,2	3 207,1	1,59
Produkcja masy celulozowej, papieru oraz wyrobów z papieru, poligrafia	3409,9	3 391,1	1,68
Wytwarzanie koksu, produktów rafinacji ropy naftowej i paliw jądrowych	6 296,1	6 244,6	3,10
Produkcja wyrobów chemicznych	9 033,9	8 949,4	4,44
Produkcja wyrobów z surowców niemetalicznych pozostałych	14 652,7	14 577,0	7,23
Produkcja metali	9 421,0	9 215,2	4,57
Pozostałe działy	4 327,1	4 260,6	2,11
Ogółem	50 385,9	49 845,0	
Wytwarzanie i zaopatrzenie w energię elektryczną gaz i wodę			
Wytwarzanie i dystrybucja energii elektrycznej	134 674,2	133 594,5	66,29
Produkcja i dystrybucja ciepła, pary wodnej i gorącej wody	15 076,7	14 942,3	7,41
Pozostałe działy	256,9	249,5	0,12
Ogółem	150 007,8	148 786,3	
Budownictwo	138,3	136,1	0,07
Pozostała działalność usługowa	40,4	39,6	0,02
Pozostałe sekcje	528,1	518,5	0,26
Ogółem	203 610,6	201 527,4	100,00

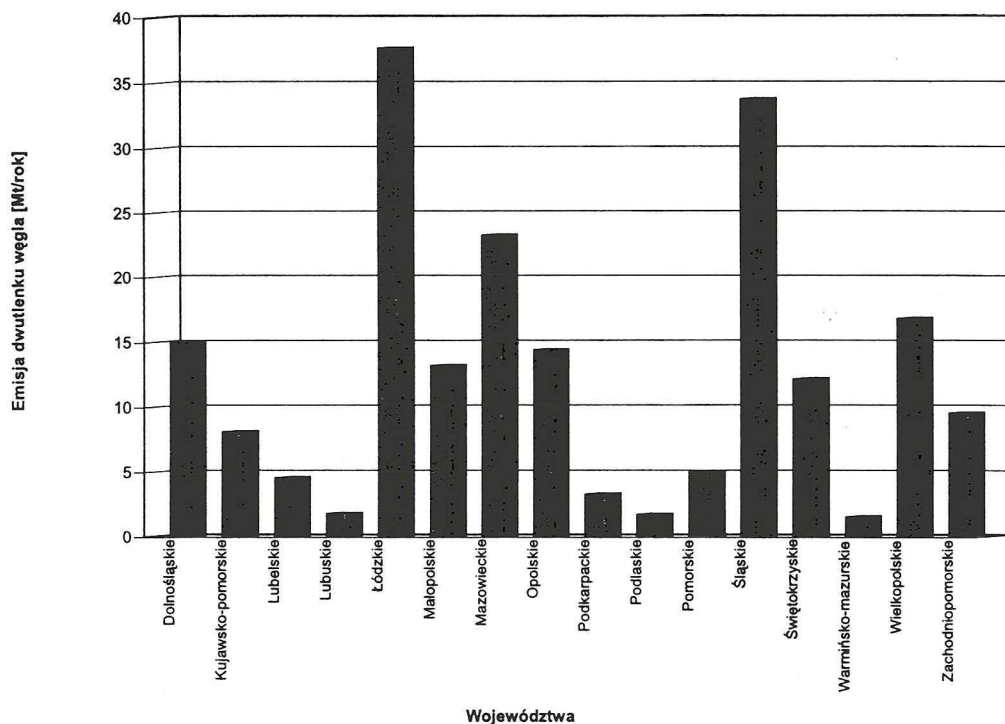
znaczące. Szczegółową strukturę zanieczyszczeń powietrza, w tym dwutlenku węgla z zakładów szczególnie uciążliwych, według klasyfikacji PKD (Polska Klasyfikacja Działalności), przedstawiono w tabeli 4. Wynika z niej, że Wytwarzanie i zaopatrzenie w energię elektryczną, gaz i wodę, odpowiada za emisję dwutlenku węgla w wysokości 66,3%, a Produkcja i dystrybucja ciepła, pary wodnej i gorącej wody 7,4% wszystkich działań. Na tych dwóch działach skupiona będzie uwaga w dalszej części analizy, a w szczególności na analizie wielkości emisji z energetyki zawodowej. Inne działy wykazane w tabeli 4, pomimo znacznie niższego udziału w emisji, są również interesujące. Należy do nich: Produkcja wyrobów z surowców niemetalicznych (7,2%), Wytwarzanie koksu, produktów rafinacji ropy naftowej i paliw jądrowych (3,1%), Produkcja metali (4,6%), Produkcja wyrobów chemicznych (4,4%). W obrębie tych działań funkcjonuje kilkanaście zakładów przemysłowych będących dużymi emitentami dwutlenku węgla.

3.3. Charakterystyka emitentów CO₂ w Polsce

Analiza danych o wielkości i źródłach emisji dwutlenku węgla w Polsce wskazuje, że największy wpływ na ilość i rodzaje zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery ma zużycie paliw kopalnych, a największy udział w emisji dwutlenku węgla do atmosfery ma energetyka zawodowa. Około 75% zużywanej w Polsce energii pierwotnej wytwarzane jest w instalacjach zasilanych paliwami stałymi — węglem brunatnym i kamiennym, 12% uzyskiwane jest przy wykorzystaniu ropy naftowej, a 10% — gazu ziemnego. Inne rodzaje paliw, do których zalicza się przede wszystkim drewno, nie mają istotnego znaczenia w ogólnym bilansie (Stan środowiska... 1998). Emisja znacznych ilości dwutlenku węgla pochodzi również z hut stali, cementowni, fabryk nawozów oraz rafinerii (por. tab. 4).

Poniżej przedstawiono analizę emitentów dwutlenku węgla z: zakładów szczególnie uciążliwych w poszczególnych województwach, z miast o dużej skali zagrożenia środowiska emisją tego gazu oraz zakładów energetyki zawodowej w Polsce. Emisja dwutlenku węgla z zakładów szczególnie uciążliwych w poszczególnych województwach w 2000 r. została przedstawiona na rysunku 8. Największa emisja (ok. 38 Mt/rok) przypada na województwo łódzkie. Ma na to wpływ Elektrownia Bełchatów — największy emitent dwutlenku węgla w Polsce (ok. 33 Mt/rok). Nieco niższa jest w największej aglomeracji przemysłowej w Polsce — w województwie śląskim (ok. 34 Mt/rok). Wysoki poziom emisji, powyżej 10 Mt/rok, stwierdza się w województwach: dolnośląskim, małopolskim, mazowieckim, opolskim, świętokrzyskim, wielkopolskim. Województwa typowo rolnicze posiadają niewielką emisję, poniżej 5 Mt/rok.

Nieco inaczej niż na rysunku 8 przedstawia się liczba zakładów w województwach emitujących ponad 50 tys. CO₂ ton/rok (rys. 9). Na rozważanych w Polsce 1706 zakładów, 240 zakładów należy do grona dużych emitentów, o wielkości emisji powyżej 50 tys. CO₂ ton/rok. Najwięcej takich zakładów (53) zlokalizowane jest w województwie śląskim. Dużo mniej jest ich w województwach: dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim, małopolskim, mazowieckim i wielkopolskim. W województwach typowo rolniczych (lubelskie, podkarpackie) więcej jest dużych emitentów dwutlenku węgla niż wynikałoby to z danych o wielkości emisji w skali kraju. Na uwagę zasługuje województwo opolskie, gdzie na 90 zakładów jest tylko dwóch dużych emitentów.



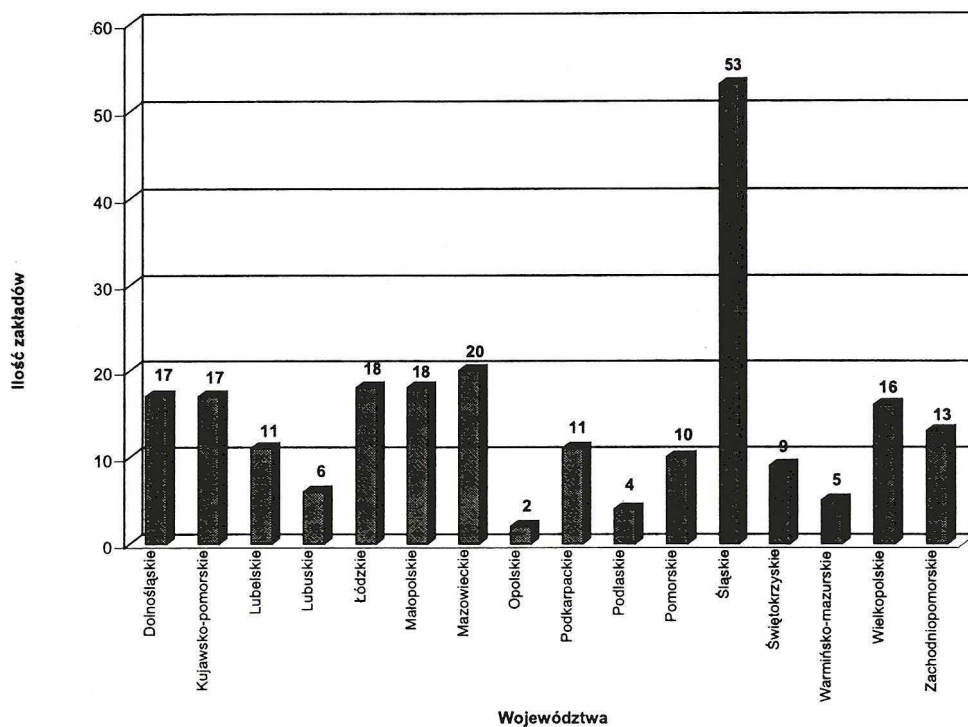
Rys. 8. Emisja dwutlenku węgla z zakładów szczególnie uciążliwych
(zestawiono na podstawie danych z: Ochrona środowiska 2001)

Fig. 8. Carbon dioxide emission from plants especially strenuous for the environment
(compiled on the basis of data from Ochrona środowiska 2001)

Analiza miast o dużej skali zagrożenia środowiska emisją dwutlenku węgla z zakładów szczególnie uciążliwych w 2000 r. (rys. 10) pokazuje, że na 149 rozważanych miast: 5% wykazuje emisję powyżej 5 Mt CO₂/rok, 18% od 1 do 5 Mt CO₂/rok, 11% od 0,5 do 1 Mt CO₂/rok, 66% poniżej 0,5 Mt CO₂/rok. W grupie największych emitentów są 4 miasta, w kolejnych grupach odpowiednio: 11, 6 i 9 miast.

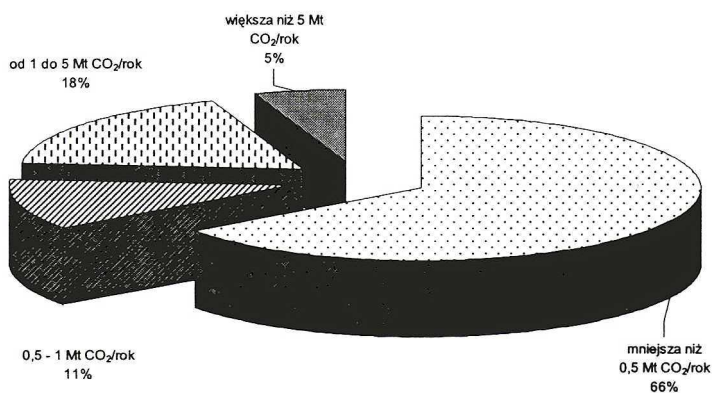
Ze względu na dostępność danych (EMITOR 2000), przeprowadzono szczegółową analizę emisji dwutlenku węgla z zakładów energetyki zawodowej w Polsce. Energetyka w szeroki znaczeniu jest głównym emitentem CO₂ (Ney 2002). Jest też postrzegana jako branża generująca największe szkody w środowisku przyrodniczym. Na terenie Polski działały w 2000 r. 71 duże zakłady elektroenergetyczne, z czego 45 to elektrociepłownie, 26 elektrownie (rys. 11). Największe zlokalizowane są w pobliżu złóż węgla brunatnego — rejon Bełchatowa, Konina, Turoszowa, oraz w dużych rejonach przemysłowych, np. Górny Śląsk. Mniejsze rozproszone są na terenie całego kraju. Ciepłownie zawodowe zlokalizowane są w dużych aglomeracjach miejskich, takich jak: Warszawa, Kraków, Poznań i inne.

Szacowana emisja tych zakładów wynosi 144,3 Mt CO₂/rok (EMITOR 2000). Z zakładów spalających: węgiel brunatny wynosi — 58,5 Mt CO₂/rok (40,6% emisji), węgiel kamienny —



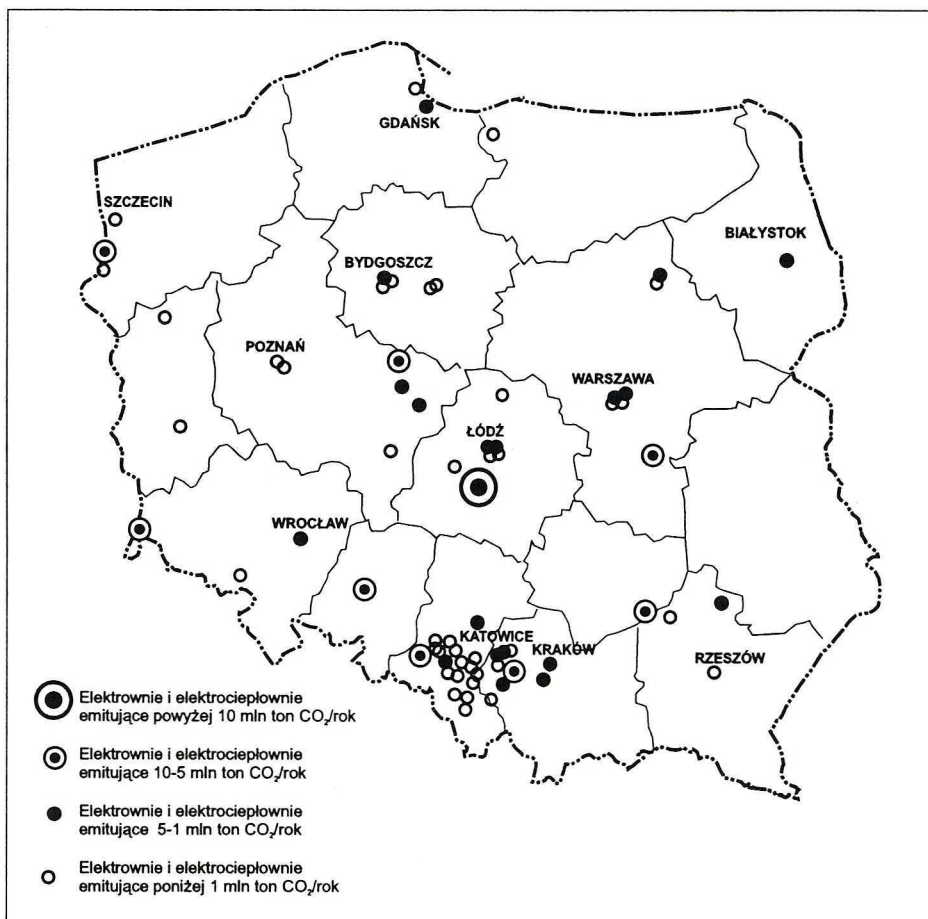
Rys. 9. Zakłady emitujące ponad 50 tys. CO₂ ton/rok w poszczególnych województwach (zestawiono na podstawie danych z: Ochrona środowiska 2001)

Fig. 9. Plants emitting over 50,000 tonnes of CO₂ per year in individual voivodeships (compiled on the basis of data after Ochrona środowiska 2001)



Rys. 10. Miasta o dużej skali zagrożenia środowiska emitują dwutlenku węgla, z zakładów szczególnie uciążliwych w 2000 r. (zestawiono na podstawie danych z: Ochrona środowiska 2001)

Fig. 10. Cities exposed to large emission of CO₂ from plants especially strenuous for the environment in the year 2000 (compiled on the basis of data from Ochrona środowiska 2001)



Rys. 11. Lokalizacja emitentów (elektrownie i elektrociepłownie zawodowe) CO₂ w Polsce

Fig. 11. Location map of major CO₂ emittents (major power and power and heat plants) in Poland

85,8 Mt CO₂/rok (59,4% emisji). Jej wielkość zależy przede wszystkim od ilości produkowanej energii elektrycznej lub ciepła. Największym zakładem energetyki zawodowej w Polsce jest Elektrownia Bełchatów. Wytwarzała ona około 33,5 Mt CO₂/rok, co stanowi 23,2% całkowitej emisji tego gazu z energetyki zawodowej. Zakładów emitujących od 5 do 10 Mt jest 8, od 5 do 1 Mt — 19. Najwięcej jest najmniejszych emitentów — poniżej 1 Mt CO₂/rok — 44.

4. Koncepcja podziemnego magazynowania dwutlenku węgla

Spośród sposobów redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery, składowanie w geosferze jest interesujące i możliwe nie tylko ze względu na objętość deponowanego gazu, ale i czas przechowywania. Koncepcja podziemnego magazynowania CO₂ została przedstawiona w lic-

nych publikacjach (Herzog 2000; Herzog i in. 2000; Holloway 1996, 2002; Holloway i Van der Straaten 1995; May i in. 2002 i in.).

Wyklucza się płytkie, podpowierzchniowe składowanie dwutlenku węgla, ze względu na brak odpowiednio dużych i szczelnych podziemnych zbiorników oraz występowanie na tych głębokościach zbiorników wód pitnych. Możliwe jest magazynowanie w głęboko zalegających i przepuszczalnych skałach, przykrytych utworami nieprzepuszczalnymi. Dotyczy to wyeksploatowanych całkowicie lub częściowo złóż ropy naftowej i gazu ziemnego bądź głęboko zalegających poziomów wodonośnych, pokładów węgla czy struktur solnych. Z przedstawionych miejsc, podziemne składowanie CO₂ w wyeksploatowanych złożach węglowodorów (ropy i gazu ziemnego) i w głębokich poziomach wodonośnych wydaje się być najbardziej obiecujące.

We wszystkich przypadkach podziemnego składowania dwutlenku węgla musimy mieć pewność, że będzie on przechowywany w sposób bezpieczny i nieinwazyjny dla środowiska (Herzog i in. 2000; Holloway 2002). Stąd główne problemy podkreślane w publikacjach dotyczących podziemnego składowania CO₂ sprowadzają się do odpowiedzi na pytania: gdzie go można magazynować, jak można sprawdzić, czy składowanie jest bezpieczne, jakie ilości gazu można deponować.

Są przykłady na to, że podziemne magazynowanie dwutlenku węgla jest technicznie możliwe. Nie znaczy to, że jest możliwe wszędzie, uzależnione jest bowiem od warunków geologicznych. Na złożu Sleipner, w norweskiej części Morza Północnego, rocznie jest składowane około 1 Mt dwutlenku węgla. W licznych złożach węglowodorów w USA dwutlenek węgla zatłacza się do złóż w celu intensyfikacji wydobycia tych surowców. Znane są na świecie są naturalne złoża CO₂. Istnieją one od wielu milionów lat i są dowodem na to, że magazynowanie podziemne może obejmować okres liczony czasem geologicznym.

W celu wyboru lokalizacji miejsc podziemnego składowania CO₂ konieczne jest przeprowadzenie badań geologicznych, w powiązaniu z lokalizacją dużych emitentów CO₂ (rys. 12). Przedstawiona analiza oraz inne dane wykorzystane zostaną do wytypowania dużych emitentów dwutlenku węgla w Polsce. Dla nich zostaną określone miejsca podziemnego magazynowania tego gazu w złożach surowców płynnych.



Rys. 12. Wybór miejsc podziemnego składowania dla dużych emitentów

Fig. 12. Selection of sites for underground storage of CO₂ for major emittents

Podsumowanie

Polska, jako strona Konwencji Klimatycznej z Rio de Janeiro oraz sygnatariusz Protokołu do Konwencji tzw. Protokołu z Kioto, zobowiązała się do wdrożenia działań prowadzących do redukcji gazów cieplarnianych. Zgodnie z zaleceniami tego Protokołu dąży się w Polsce do stworzenia krajowego systemu inwentaryzacji i raportowania, którego celem byłoby umożliwienie oceny emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w kontekście przyjętych przez nasz kraj zobowiązań.

W ostatnich latach emisja dwutlenku węgla uległa obniżeniu (ok. 315 Mt/rok w 2000 r.), a poziom emisji tego gazu odpowiada temu z połowy lat siedemdziesiątych. Największy udział ma dział Energia — Spalanie paliw, a około 75% zużywanej w Polsce energii pierwotnej wytwarzane jest w instalacjach zasilanych paliwami stałymi (węglem brunatnym i kamiennym). Prognozy Ministerstwa Gospodarki dotyczące bilansu węgla kamiennego, ropy naftowej oraz gazu ziemnego przewidują do 2020 roku wzrost zapotrzebowania na te paliwa przez elektrownie i elektrociepłownie zawodowe. Dane te wskazują, że należy oczekiwać wzrostu produkcji energii elektrycznej od około 41% do około 66%, z czym wiąże się odpowiedni wzrost emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

Szczegółowa analiza źródeł emisji i emitentów dwutlenku węgla w Polsce pozwala na następujące spostrzeżenia. Największa emisja tego gazu przypada na województwo łódzkie. W Polsce jest 240 zakładów o emisji powyżej 50 tys. ton CO₂/rok, a najwięcej znajduje się w województwie śląskim. Analiza miast o dużej skali zagrożenia emisją dwutlenku węgla, z zakładów szczególnie uciążliwych w 2000 r., wskazuje na istnienie kilkudziesięciu miast o emisji powyżej 1 Mt CO₂/rok. Szczegółowa analiza danych dotyczących emisji dwutlenku węgla z zakładów energetyki zawodowej wskazuje, że największym emitentem w Polsce jest Elektrownia Bełchatów (33,5 Mt CO₂/rok). Zakładów emitujących od 5 do 10 Mt jest 8, od 5 do 1 Mt — 19. Najwięcej jest emitentów poniżej 1 Mt CO₂/rok — 44. Lista tych zakładów będzie podstawą do prac mających na celu powiązanie dużych emitentów CO₂ z lokalizacją szczyerpanych złóż węglowodorów i głębokich horyzontów wodonośnych.

LITERATURA

- Biuro Promocji Informacji — (http://www.mos.gov.pl/mos/komorki/biu_pii.htm).
- Biuro Wykonawcze Konwencji Klimatycznej — (<http://www.climate.pl/>).
- Carbon Dioxide Information Analysis Centre. U.S. Department of Energy — (<http://cdiac.esd.ornl.gov/>).
- CO₂ emissions from fuel combustion. OECD/IEA, Paryż 1997.
- EMITOR 2000. Emisja zanieczyszczeń środowiska w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych. Warszawa, Agencja Rynku Energii S.A., 2001.
- Energy and climate change. OECD/IEA, Paryż 1997.
- Energy Information Administration — (<http://www.cia.doe.gov/>).
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska — (<http://www.pios.gov.pl>).
- Główny Urząd Statystyczny — (<http://www.stat.gov.pl>).
- Herzog H., 2000 — The economics of CO₂ separation and capture. Technology vol. 7, supplement 1, s. 13—23.
- Herzog H., Eliasson B., Kaarstad O., 2000 — Wyłapywanie gazów cieplarnianych. Świat Nauki, maj 2000, s. 58—65.

- Holloway S., 1996 — An overview of the Joule II project “The underground disposal of carbon dioxide”. *Energy Conversion and Management* vol. 37, 6—8, s. 1149—1154.
- Holloway S., 2002 — Underground sequestration of carbon dioxide — a viable greenhouse gas migration option. [In:] *Proceedings of the 5th Int. Symp. On CO₂ Fixation and the Efficient Utilization of Energy (C&E 2002)*. March 4—6, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, s. 373—380.
- Holloway S. & Van Der Straaten R., 1995 — The Joule II project the underground disposal of carbon dioxide. *Energy Conversion and Management* vol. 36, 6—9, s. 519—522.
- Kozłowski Z., 2001 — Krajowe paliwa stałe uzasadnioną alternatywą pokrycia potrzeb wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce. *Mat. Konf.: Paliwa i energia dziś i jutro — 2001*. Kraków 12—13 czerwca 2001, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 85—96.
- May F., Gerling J.P., Krull P., 2002 — Underground storage of CO₂ VGB. *Powertech* 8, s. 1—9.
- Marzec A., 2001 — Nadmierna emisja dwutlenku węgla towarzysząca spalaniu kopalnych surowców energetycznych i możliwości jej redukcji. *Mat. XV Konf. z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej pt. Stan obecny kompleksu paliwowo-energetycznego Polski i pożądane kierunki jego rozwoju w latach 2002—2030*. Zakopane 14—17 października 2001, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 235—243.
- Marzec A., Czajakowska S., 1999 — Prognozy światowego i krajowego zapotrzebowania na energię i surowce energetyczne oraz ich ekologiczne konsekwencje. *Karbo* nr 11, s. 368—370.
- Ney R., 2001a — Dylematy polskiej polityki energetycznej na początku XXI wieku. *Mat. Konf.: Paliwa i energia dziś i jutro—2001*. Kraków 12—13 czerwca 2001, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN.
- Ney R., 2001b — Problem regionalizacji polityki energetycznej (zarys problemu). *Mat. XV Konf. z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej pt. Stan obecny kompleksu paliwowo-energetycznego Polski i pożądane kierunki jego rozwoju w latach 2002—2030*. Zakopane 14—17 października 2001, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 9—13.
- Ney R., 2002 — Energia odnawialna — moda czy konieczność. *Mat. XV Konf. z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej pt. Przyszłość energetyczna Polski*. Zakopane 6—9 października 2002, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 165—172.
- Nodzyński R., 2001 — Kierunki i problemy polityki energetycznej Polski w pierwszej połowie XXI wieku. *Mat. XV Konf. z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej pt. Stan obecny kompleksu paliwowo-energetycznego Polski i pożądane kierunki jego rozwoju w latach 2002—2030*. Zakopane 14—17 października 2001, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 61—110.
- Ochrona Środowiska 2001— *Environment 2001*. Informacje i opracowania statystyczne. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2001.
- Olkuski T., 2001 — Energetyka a konwencje międzynarodowe dotyczące ochrony środowiska. *Mat. XV Konf. z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej pt. Stan obecny kompleksu paliwowo-energetycznego Polski i pożądane kierunki jego rozwoju w latach 2002—2030*. Zakopane 14—17 października 2001, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 225—233.
- Prawo Ochrony Środowiska. Dz.U. RP nr 62, poz. 627 z dnia 20 czerwca 2001 r.
- Rubczyński A., Jamiołkowski W., 2002 — Problem ograniczenia emisji SO₂ w elektrociepłowniach zawodowych na przykładzie EC Siekierki. *Mat. XV Konf. z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej pt. Przyszłość energetyczna Polski*. Zakopane 6—9 października 2002, Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, s. 471—479.
- Stan środowiska w Polsce. Raport Państwowej Inspekcji Środowiska. Warszawa, Biblioteka Monitoringu Środowiska, 1998.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2002 — Możliwości podziemnego składowania CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). *Przegląd Górniczy* nr 12, s. 25—30.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2003 — Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla. *Przegląd Geologiczny* nr 5.

CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN POLAND VERSUS POTENTIAL SEQUESTRATION BY UNDERGROUND STORAGE**Key words**

Carbon dioxide emissions, greenhouse gases, carbon dioxide sequestration, major power and power and heat plants, underground storage

Abstract

The paper deals with the scale of carbon dioxide emissions in Poland in relation to possibilities of sequestration of this gas by underground storage. Emissions of greenhouse gases, especially carbon dioxide, are presented along with relevant sources of data, analyses and forecasts and commitments to reduce the emissions, resulting from international agreements signed by Poland. Major Polish carbon dioxide emittents are characterized with a special attention paid to large plants emitting over 50,000 tonnes of CO₂ per year. Various aspects of the issues of sources and changes in scale of emissions, their distribution and location of major CO₂ emittents are presented in graphs and tables. These data are being collected for selecting major CO₂ emittents for which it would be possible to select sites for sequestration of this gas by underground storage in liquid fossil fuel deposits.