

POLITYKA ENERGETYCZNA
Tom 6 ♦ Zeszyt specjalny ♦ 2003
Wyd. Instytut GSMiE PAN ♦ Kraków ♦ s. 367 – 375
PL ISSN 1429–6675

Alicja ULIASZ-BOCHEŃCZYK*, Eugeniusz MOKRZYCKI **

Emisja dwutlenku węgla w przemyśle cementowym

Streszczenie

Przemysł cementowy ma istotną rolę w rozwoju gospodarki poszczególnych krajów świata. W 2002 r. produkcja cementu w świecie wynosiła ponad 1,67 mld ton, w tym 15,1 mln ton w Polsce. Ze względu na stosowaną technologię produkcji cementu, przemysł ten jest źródłem emisji gazów cieplarnianych. Udział przemysłu cementowego w globalnej emisji gazów cieplarnianych wynosi około 3%, co stanowi 1,4 mld ton ekwiwalentu CO₂. Udział emisji CO₂ przez przemysł cementowy stanowi 5% globalnej emisji CO₂ powstałej w wyniku działalności człowieka. W artykule przedstawiono źródła emisji CO₂ w przemyśle cementowym. Wskazano możliwe kierunki zmniejszenia tej emisji. Zwrócono także uwagę na podpisany Protokół CO₂ Przemysłu Cementowego opracowany przez Grupę Roboczą ds. Cementu funkcjonującą w World Business Council for Sustainable Development.

SŁOWA KLUCZOWE: przemysł cementowy, emisja CO₂, gazy cieplarniane

Wprowadzenie

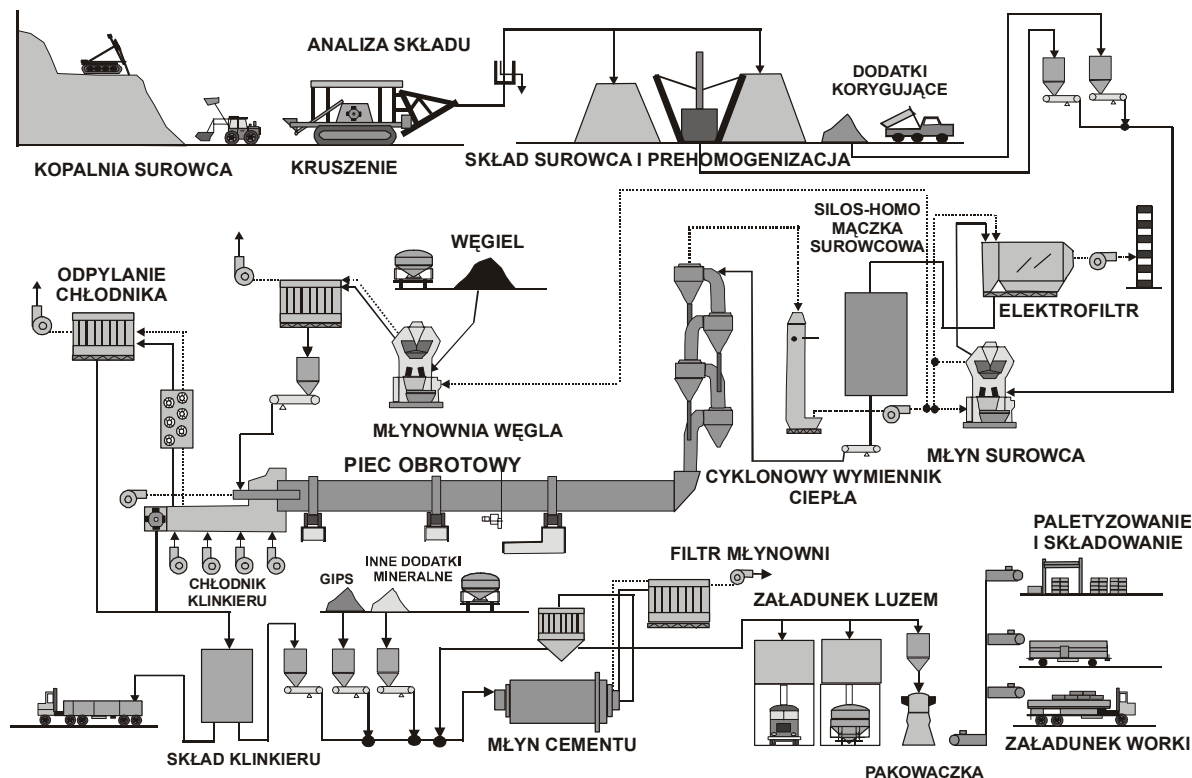
Cement jest podstawowym surowcem stosowanym w budownictwie. Produkcja cementu w świecie w 2000 r. wyniosła 1670,5 mln ton [2]. Z tej wielkości 286,7 mln ton wyprodukowano w Europie, z czego 15,1 mln ton w Polsce. W 2002 r. w Polsce wyprodukowano 11 345 tys. ton cementu w 14 cementowniach i 5 przemysłowniach należących do 10 właścicieli [6].

Cement produkowany jest następującymi metodami: suchą, pół-suchą, pół-mokłą, mokłą.

* Dr. inż., ** Doc. dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
Recenzował prof. dr hab. inż. Roman NEY

W Polsce stosowane są jedynie dwie metody sucha (89% produkcji klinkieru w 2002 r.) i mokra (11% produkcji klinkieru w 2002 r.) [6]. Schemat produkcji cementu metodą suchą przedstawiono na rys. 1.

Ze względu na stosowane procesy przemysł cementowy jest źródłem emisji gazów cieplarnianych m.in.: tlenków azotu (NO_x), dwutlenku siarki (SO_2), tlenków węgla (CO , CO_2) oraz pyłów. Technologia produkcji cementu sprawia, że przemysł ten jest jednym z większych emitorów dwutlenku węgla.



Źródło: [1]

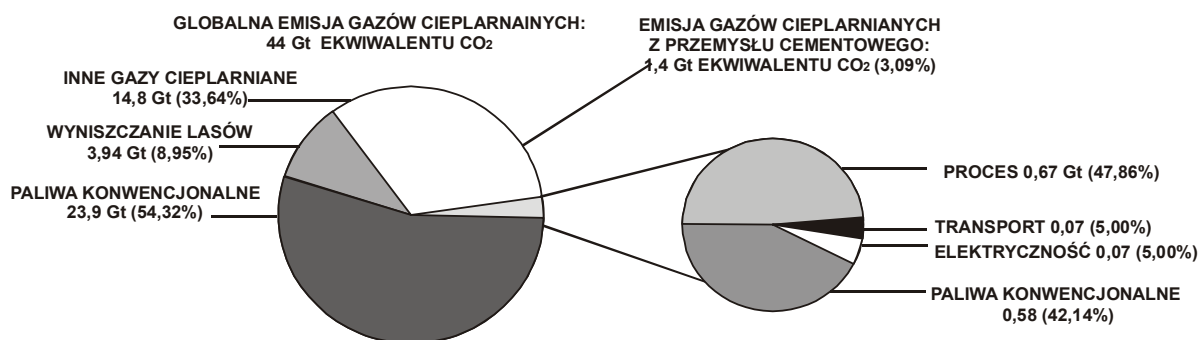
Rys. 1. Schemat produkcji cementu metodą suchą
Fig. 1. Production of cement by the dry process

Emisja gazów cieplarnianych przez przemysł cementowy

Spalanie pierwotnych nośników energii jest głównym czynnikiem emisji gazów cieplarnianych, która wynosi ponad 54% globalnej emisji. Wypalanie lasów stanowi około 9% globalnej emisji gazów cieplarnianych, 34% pochodzi z rolnictwa oraz procesów przemysłowych, a pozostała ilość (3%) jest wynikiem działalności przemysłu cementowego.

Przemysł cementowy jest jednym z większych emitorów gazów cieplarnianych. Badania wykazały, że udział przemysłu cementowego w globalnej emisji gazów cieplarnianych wynosi, jak już wspomniano, 3% co stanowi 1,4 mld ton ekwiwalentu CO_2 . Jeżeli natomiast rozpatrywać emisję CO_2 powstałą w wyniku działalności człowieka, to udział przemysłu cementowego stanowi około 5% ogólnej emisji.

W przemyśle cementowym, emisja gazów cieplarnianych pochodząca z procesów wytwarzania cementu wynosi ponad 47%, ze spalania pierwotnych nośników energii wynosi ponad 40%, z transportu – około 5%, i ze spalania paliw zużytych do produkcji energii elektrycznej niezbędnej dla procesów produkcji cementu – około 5% – rysunek 2.



Źródło: [5]

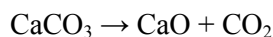
Rys. 2. Emisja gazów cieplarnianych z przemysłu cementowego w 2000 r.
 Fig. 2. Greenhouse gases emission from the cement industry in 2000

Emisja dwutlenku węgla przez przemysł cementowy

Dwutlenek węgla w procesach produkcji cementu jest emitowany z dwóch podstawowych źródeł bezpośrednich: procesu dekarbonizacji węglanu wapnia i spalania paliw oraz dwóch źródeł pośrednich: produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej w cementowni i transportu.

Emisja CO₂ z dekarbonizacji surowca

Procesem technologicznym w przemyśle cementowym, w którym powstaje najwięcej dwutlenku węgla jest proces konwersji (dekarbonizacji) węglanu wapnia CaCO₃ do tlenku wapnia CaO:



Rozpatrując emisję CO₂ z procesu dekarbonizacji należy rozróżnić dwa składniki [7]:

- ♦ CO₂ z produkcji klinkieru,
- ♦ CO₂ ze składowanych pyłów.

CO₂ powstałe z produkcji klinkieru jest proporcjonalne do zawartości wapnia w klinkierze, które się niewiele różni w czasie i pomiędzy różnymi zakładami. W rezultacie współczynnik emisji CO₂ na tonę jest stały (wartość według Integrated Pollution Prevention and Control - IPPC: 510 kg CO₂/Mg klinkieru).

Emisja CO₂ ze składowania pyłów powstałych w wyniku procesu produkcji cementu różni się bardzo w zależności od typu pieca oraz norm jakościowych cementu i zawiera się w przedziale od 0 do 100 kg na tonę cementu [7].

Emisja CO₂ ze spalania paliw

Tradycyjnym, podstawowym nośnikiem energii stosowanym w przemyśle cementowym jest węgiel kamienny. Stosowane są również inne paliwa takie jak: koks naftowy, gaz ziemny, olej opałowy, jak również różne rodzaje paliw alternatywnych. Ze spalania 1 kg węgla kamiennego emisja tlenków węgla wynosi 84,6 – 94,6 kg/GJ [4].

Emisja z produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej w cementowni

Cementownie są zakładami mającymi bardzo wysokie zużycie energii elektrycznej związanej z eksploatacją urządzeń produkcyjnych (np. młynów) – rys.1.

Emisja CO₂ z transportu

Przemysł cementowy wykorzystuje różne środki transportu zarówno te w ramach zakładu (przenośniki – emisja CO₂ z produkcji energii wykorzystywanej w cementowni) oraz transport poza zakładem obejmujący m.in. dowóz surowców oraz transport wyprodukowanego cementu.

W tabeli 1 zamieszczono emisję całkowitą CO₂ z przemysłu cementowego w poszczególnych regionach geograficznych świata w 2000 r. Emisja całkowita CO₂ przez przemysł cementowy w skali globalnej w 2000 r. wynosiła 1,372 mld ton. Największy udział w globalnej emisji ma Azja (największy producent cementu z regionów) na świecie – 726 mln ton, co stanowi 53% całkowitej emisji. Wśród krajów tego kontynentu udziały w emisji CO₂ przedstawiają się następująco (mln ton): Chiny – 449, Indie – 64, Japonia – 60, Południowa Korea – 40. Na drugim miejscu pod względem wielkości emisji CO₂ jest Europa Zachodnia – 186 mln ton, co stanowi ponad 13,5% całkowitej emisji CO₂ przemysłu cementowego świata. Dalej idzie Afryka i Środkowy Wschód – 142 mln ton, co stanowi ponad 10,3% globalnej emisji CO₂ z przemysłu cementowego (na Afrykę przypada 74 mln ton (5,39%), a na kraje Środkowego Wschodu – 68 mln ton (4,96%)). Udział Ameryki Południowej i Środkowej w globalnej emisji przemysłu cementowego stanowi 7,94%, a więc wynosi 109 mln ton CO₂.

Europa Wschodnia wyemitowała 104 mln ton CO₂, co stanowi 7,58% globalnej emisji CO₂ przemysłu cementowego. Udział krajów byłego ZSRR w tej emisji wynosi 71 mln ton CO₂ (5,17%), a pozostałych krajów Europy Wschodniej (w tym również Polski) – 33 mln ton CO₂ (2,41%). Przemysł cementowy Ameryki Północnej wyemitował 99 mln ton CO₂, co stanowi 7,22% globalnej emisji przemysłu cementowego. Z tej wielkości 90 mln ton CO₂ (6,56%) przypada na USA, a 8 mln ton CO₂ na Kanadę (0,58%).

Przemysły cementowe Australii i Nowej Zelandii wyemitowały 6 mln ton CO₂, co stanowi 0,44% globalnej emisji CO₂ przemysłu cementowego.

W tabeli 2 przedstawiono emisję jednostkową CO₂ w kg na kg wyprodukowanego cementu w poszczególnych regionach. Średnia jednostkowa emisja CO₂ przemysłu cementowego w świecie dla lat 1990 i 2000 wynosiła odpowiednio: 0,89 i 0,87 kg CO₂/ kg cementu. Wskaźnik ten jest najwyższy dla Ameryki Północnej i wynosi 0,99 kg CO₂/ kg cementu.

Dla Europy Zachodniej wskaźnik ten dla 1990 r. wynosił 0,85 a dla 2000 r. – 0,84. Dla Azji wskaźnik ten wynosi odpowiednio: 0,91 i 0,89.

Dla Europy Wschodniej wskaźnik ten kształtuje się następująco: 0,84 i 0,83.

Dla pozostałych regionów geograficznych wskaźnik ten wynosi odpowiednio: Ameryka Południowa i Środkowa 0,86 i 0,82; Afryka i Środkowy Wschód: 0,87 i 0,85; Australia i Nowa Zelandia: 0,80 i 0,79 kg CO₂/ kg cementu.

Emisja CO₂ w Polsce ogółem w 1999 r. wynosiła 329,739 mln ton, w tym emisja z przemysłu cementowego – 11,8896 mln ton. Emisja CO₂ z przemysłu cementowego w latach 2000 i 2001 wynosiła odpowiednio: 11,3591 i 8,6957 mln ton. Emisja jednostkowa CO₂ wynosiła (kg CO₂/kg cementu):

- ♦ rok 1999 – 0,77,
- ♦ rok 2000 – 0,75
- ♦ rok 2001 – 0,71.

Tak więc w 2001 r. spadek emisji jednostkowej CO₂ w porównaniu z rokiem 1999 wynosił 7,8% (0,06 kg CO₂/kg cementu).

TABELA 1. Emisja całkowita dwutlenku węgla z przemysłu cementowego w 2000 r.

TABLE 1. Total emission of CO₂ by region (year 2000)

Region	Całkowita emisja CO ₂ w regionie [mln ton/rok]	Udział przemysłu cementowego w emisji CO ₂ w regionie [%]
Ameryka Północna	99	7,22
Europa Zachodnia	186	13,56
Azja	726	52,91
Europa Wschodnia	104	7,58
Ameryka Południowa i Środkowa	109	7,94
Afryka i Bliski Wschód	142	10,35
Australia i Nowa Zelandia	6	0,44
Ogółem	1 372	100,00

Źródło: [5]

TABELA 2. Emisja jednostkowa dwutlenku węgla z przemysłu cementowego w latach 1990 i 2000
[kg CO₂/kg cementu]

TABLE 2. Cement industry unit-based emissions by region (year 1999 and 2000)
[kg CO₂/kg cement]

Region	Emisja jednostkowa CO ₂	
	1990	2000
Ameryka Północna	0,99	0,99
Europa Zachodnia	0,85	0,84
Azja	0,91	0,89
Europa Wschodnia	0,84	0,83
Ameryka Południowa i Łacińska	0,86	0,82
Środkowy Wschód i Afryka	0,87	0,85
Australia i Nowa Zelandia	0,80	0,79
Świat	0,89	0,87

Źródło: [5]

Strategie ograniczenia emisji CO₂ przez przemysł cementowy

Jak już wcześniej wspomniano w przemyśle występują cztery główne źródła emisji CO₂, które są niezależne od siebie. W związku z tym przemysł cementowy ogranicza emisję CO₂ poprzez [3]:

- ♦ poprawę (udoskonalenie) procesów produkcyjnych:
- ♦ poprawę wydajności pieców cementowych,
- ♦ zastępowanie energochłonnej metody mokrej, metodami: suchą i półsuchą,
- ♦ modernizację cementowni w celu redukcji zużycia energii elektrycznej i w konsekwencji tego zmniejszenie emisji CO₂ z elektrowni,
- ♦ koncentrację większej produkcji w bardziej wydajnych zakładach,
- ♦ poprzez „waloryzację” odpadów w procesach produkcyjnych:
- ♦ zastosowanie odpadów jako paliw alternatywnych i eliminowanie w ten sposób utylizacji przez składowanie i spalanie w spalarniach w rezultacie czego następuje ograniczenie emisji gazów cieplarnianych,
- ♦ zastosowanie odpadów jako surowca w produkcji klinkieru,
- ♦ poprzez optymalizację składu cementu;
- ♦ redukcję ilości klinkieru na tonę cementu poprzez zastosowanie np. granulowanych żużli wielkopieczowych, popiołów lotnych, naturalnej pucolany jako składników cementu, a tym samym obniżenie emisji CO₂,
- ♦ polepszenie jakości produktów, dzięki czemu następuje zwiększenie wytrzymałości, a tym samym poprawa efektywności stosowania cementu,

- ♦ odzyskiwanie energii cieplnej z procesów produkcyjnych i zastosowanie jej do produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej następnie w procesach technologicznych, a tym samym ograniczenie produkcji elektryczności i związanej z nią emisji CO₂.

Monitoring i sposoby obliczania emisji CO₂ z przemysłu cementowego

Ze względu na brak jednolitości w wykonywaniu, liczeniu i zbieraniu danych dotyczących emisji CO₂ opracowany został przez Grupę Roboczą ds. Cementu Światowej Rady Biznesu ds. Zrównoważonego Rozwoju (Working Group Cement World Business Council for Sustainable Development) – zrzeszającą między innymi takie koncerny jak: Cemex, Holcim, Heidelberg, Italcementi, Lafarge, RMC – Protokół CO₂ Przemysłu Cementowego dotyczący emisji, monitoringu i kontroli CO₂ w zakładach cementowych (The Cement CO₂ Protocol: CO₂ Emissions Monitoring and Reporting Protocol for the Cement Industry). Protokół zawiera wszystkie podstawowe dane dotyczące monitoringu CO₂, określenie źródeł emisji CO₂ z przemysłu cementowego i sposoby liczenia emisji CO₂ na poziomie zakładu, grupy, koncernu i przemysłu. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe dane zawarte w tym Protokole.

TABELA 3. Źródła emisji CO₂ z przemysłu cementowego oraz propozycja pomiarów emisji bezpośredniej i pośredniej zawarte w „The Cement CO₂ Protocol”

TABLE 3. Parameters and proposed data sources for calculation direct and indirect emissions

Emisja	Parametr	Jednostka	Źródło danych
Emisja bezpośrednia			
CO ₂ z procesu kalcynacji - z produkcji klinkieru - ze składowania pyłów	produkcja klinkieru CaO+MgO w klinkierze CaO+MgO w surowcu	Mg klinkieru % %	pomiar na poziomie zakładu pomiar na poziomie zakładu pomiar na poziomie zakładu
	składowane pyły współczynnik emisji stopień kalcynacji pyłu	Mg pyłu Mg CO ₂ /Mg klinkieru % kalcynacji	pomiar na poziomie zakładu obliczany pomiar na poziomie zakładu
CO ₂ ze spalania paliw - paliwa konwencjonalne - konwencjonalne paliwa alternatywne (emisja brutto) - paliwa alternatywne z odpadów roślinnych i zwierzęcych - paliwa „nie do pieca”	zużycie paliwa wartość opałowa współczynnik emisji	Mg paliwa GJ/Mg paliwa Mg CO ₂ /GJ paliwa	pomiar na poziomie zakładu pomiar na poziomie zakładu pomiar lub wartość wg IPCC
	zużycie paliwa wartość opałowa współczynnik emisji	Mg paliwa GJ/Mg paliwa Mg CO ₂ /GJ paliwa	pomiar na poziomie zakładu pomiar na poziomie zakładu pomiar lub wartość szacunkowa
	zużycie paliwa wartość opałowa współczynnik emisji	Mg paliwa GJ/Mg paliwa Mg CO ₂ /GJ paliwa	pomiar lub wartość wg IPCC pomiar lub wartość wg IPCC
	zużycie paliwa wartość opałowa współczynnik emisji	Mg paliwa GJ/Mg paliwa Mg CO ₂ /GJ paliwa	
Emisja pośrednia			
CO ₂ z zewnętrznych zakładów energetycznych	zużycie paliwa współczynnik emisji	GWh Mg CO ₂ /GWh paliwa	pomiar na poziomie zakładu wartość charakterystyczna dla dostawcy energii lub krajowy współczynnik siatkowy
CO ₂ z kupowanego klinkieru	klinkier współczynnik emisji	Mg klinkieru Mg CO ₂ /Mg klinkieru	pomiar na poziomie zakładu własny przybliżony współczynnik emisji

Źródło: [7]

Podsumowanie

Produkcja cementu na świecie w 2000 r. wyniosła ponad 1,67 mld ton. W wyniku tej produkcji przemysł cementowy wyemitował do atmosfery 1,4 mld ton gazów cieplarnianych (w przeliczeniu na CO₂), co stanowi 3% globalnej emisji gazów cieplarnianych i około 5% emisji CO₂ powstałej w wyniku działalności człowieka. Dwutlenek węgla w procesach produkcji cementu jest wynikiem: procesu dekarbonizacji węgla wapnia, spalania paliw, produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej w urządzeniach cementowni oraz transportu.

Średnia emisja jednostkowa CO₂ dla świata w 2000 r. wynosiła 0,87 kg CO₂/kg cementu, a dla Polski 0,75 kg CO₂/kg cementu. Polska w 2000 r. wyprodukowała 15,1 mln ton cementu, spowodowało to emisję około 11,36 mln ton kg CO₂.

Duża emisja CO₂ przez przemysł cementowy spowodowała wypracowanie strategii ograniczenia tej emisji poprzez: udoskonalenie procesów produkcyjnych, modernizację urządzeń, zastępowanie paliw pierwotnych paliwami alternatywnymi z odpadów, optymalizację składu cementu, odzyskiwanie energii cieplnej z procesów produkcyjnych. Ponadto powołana Grupa Robocza ds. Cementu Światowej Rady Biznesu ds. Zrównoważonego Rozwoju (Working Group Cement World Business Council for Sustainable Development) opracowała Protokół CO₂, w którym przedstawiono dane dotyczące monitoringu CO₂, źródła jego emisji i sposoby liczenia tej emisji na poziomie zakładu i koncernu.

Literatura

- [1] Best available techniques for the cement industry. Brussels, Wyd. Cembureau, 1999.
- [2] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 1996–2000. Kraków, Wyd. Instytut GSMiE PAN, 2002.
- [3] Climate Change, Cement and the UE. The European cement industry contribution to CO₂ emission reduction by choosing the best policies for Europe. Positive action by CEMBUREAU Members. Brussels, Wyd. Cembureau, 1998.
- [4] Emitter, 1990–1996 – Emisja zanieczyszczeń środowiska w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych. Centrum Informatyki Energetyki, Warszawa.
- [5] Humphreys K., Mahasenan M., 2002 – Climate Change. Toward a sustainable cement industry. An Independent Study Comissioned by World Business Council for Sustainable Development.
- [6] Informator SPCiW. Kraków, Wyd. Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, 2003.
- [7] Vanderborght B., Brodmann u., 2001 – The Cement CO₂ Protocol: CO₂ Emissions Monitoring and Reporting Protocol for the Cement Industry. Guide to the Protocol, version 1.6.

Alicja ULIASZ-BOCHENĆZYK, Eugeniusz MOKRZYCKI

Carbon dioxide emission in the cement industry

KEY WORDS: cement industry, CO₂ emission, greenhouse gases

Abstract

The cement industry features economy of individual world countries. In 2002 the world-wide cement production was 1670 M tonnes, out of which 15.1 M tonnes in Poland. Applied technology of production causes that the cement industry emits significant amounts of greenhouse gases. The cement industry is responsible for 3% of global greenhouse gases emission (1400 M tonnes of CO₂ – equivalent). The cement industry is responsible for approximately 5% of global manmade emissions. This paper presents the sources of CO₂ emission from cement industry and possible directions emission reduction. It also notices the signature of the Protocol CO₂ by Working Group Cement World Business Council for Sustainable Development.