

Radosław Tarkowski*, Barbara Uliasz-Misiak*

**ŹRÓDŁA DWUTLENKU WĘGLA W POLSCE
DLA ZAAWANSOWANYCH TECHNIK WYDOBYCIA
ROPY NAFTOWEJ****

1. WPROWADZENIE

Zatłaczanie gazu pod ziemię w celu jego magazynowania jest czynnością znaną i praktykowaną od dawna w przemyśle naftowym. Jest ono prowadzone w celu okresowego przechowywania gazu w podziemnych magazynach (PMG). W chwili obecnej na świecie działa około 600 PMG, których pojemność magazynowania odpowiada 11% światowego zużycia gazu ziemnego [10].

Zatłaczanie dwutlenku węgla do struktur geologicznych jest prowadzone w celach komercyjnych przez firmy naftowe. Od przeszło 35 lat wykorzystuje się dwutlenek węgla w celu zwiększenia wydobycia ropy naftowej w technologii EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Zapoczątkowane to było wzrostem cen ropy naftowej na rynkach światowych [1, 12]. W technologii tej stosuje się również zatłaczanie innych gazów kwaśnych (H_2S) oraz wody. Ze względu na koszt zakupu CO_2 , firmy naftowe zainteresowane są, aby jak największa ilość zatłoczonego gazu pozostała w złożu, nie wydostawała się na powierzchnię i nie musiała być po oddzieleniu powtórnie zatłoczona do złoża.

2. ŚWIATOWE DOŚWIADCZENIA DOTYCZĄCE EOR

Jednym ze sposobów zwiększenia współczynnika odropienia złoża jest zatłaczanie CO_2 do złoża ropno-gazowego. Zatłaczany dwutlenek węgla reaguje zarówno ze skałą, jak i z płynami złożowymi, umożliwia podtrzymanie ciśnienia złożowego, zmniejsza lepkość ropy, ułatwia przemieszczanie się ropy w złożu.

* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

** Artykuł przygotowany w ramach realizacji projektu KBN nr 5T12B 041 24

Zatłaczanie CO₂ na skalę przemysłową w celu zwiększenia wydobycia ropy (EOR) datuje się od lat 70. XX w. Technologia ta została zapoczątkowana w USA, następnie została wdrożona w innych krajach: Turcji, Kanadzie, na Węgrzech i Trynidadzie. Jej wykorzystanie w latach 70. XX w. było związane z wysokimi cenami ropy naftowej na rynkach światowych. Spadek cen na ten surowiec spowodował zmniejszenie zainteresowania tą metodą. Nadal jednak działają w USA uruchomione wcześniej instalacje zatłaczania CO₂ dla celów EOR, gdyż koszty prowadzenia tych operacji są względnie niskie. Zauważalny jest w USA wzrost dostaw dwutlenku węgla do zabiegów EOR dzięki wybudowaniu nowych rurociągów dostarczających naturalny dwutlenek węgla, np. ze złóż ze stanu Kolorado.

Światowa produkcja ropy z CO₂-EOR w 1998 roku, z 79 projektów w różnych krajach świata, wynosiła 33 546 m³/dobę. Stanowiło to 0,3% światowej produkcji ropy naftowej (10,7 mln m³/dobę). Całkowita produkcja ropy z CO₂-EOR w 1998 roku w USA (74 instalacje) wynosiła 31 276 m³/dobę, w Turcji – 2 146 m³/dobę, na Trynidadzie – 80 m³/dobę, w Kanadzie – 40 m³/dobę [1]. Podkreślić należy, że wydobywanie ropy z wykorzystaniem CO₂-EOR w USA wzrosło 4-krotnie z 8 tys. m³/dobę w 1985 r. do 34 tys. m³/dobę w 2000 r.

W 2000 roku działały w USA 74 przemysłowe instalacje zatłaczające dwutlenek węgla. Większość wykorzystywanego CO₂ w projektach EOR pochodziło ze źródeł naturalnych, jedynie 20% było pochodzenia antropogenicznego [12].

W instalacjach zatłaczania CO₂ w basenie permskim w USA ponad 90% zatłaczanego w procesach EOR CO₂ pochodzi z naturalnych złóż w stanie Kolorado (McElmo Dome, Sheep Mountain, Bravo Dome). Tylko niewielki procent tego gazu pochodzi ze źródeł antropogenicznych.

Inaczej jest w innych regionach USA (Rocky Mountain, Mid-Continent i inne), gdzie większość zatłaczanego dwutlenku węgla pochodzi ze źródeł antropogenicznych (instalacje przetwarzania gazu oraz zakłady azotowe) [1].

3. ŹRÓDŁA DWUTLENKU WĘGLA DO ZABIEGÓW CO₂-EOR W POLSCE

W Polsce brak jest dużych naturalnych złóż dwutlenku węgla. Dlatego też do zaawansowanych technik wydobywania ropy naftowej proponuje się wykorzystać dwutlenek węgla pochodzenia antropogenicznego, z zakładów produkujących ten gaz lub jego emitentów. Pomijając kilku producentów dwutlenku węgla w Polsce, jego źródła należy szukać wśród zakładów przemysłowych emitujących czysty lub skoncentrowany strumień tego gazu, powstający w wyniku spalania paliw kopalnych lub w procesach przemysłowych.

W większości przypadków, w wyniku spalania paliw kopalnych powstaje strumień gazów spalinowych o niedużej zawartości CO₂ (kilka – kilkanaście procent), a ilość dwutlenku węgla powstającego przy spalaniu paliw kopalnych jest pochodną rodzaju paliwa i zawartości w nim węgla pierwiastkowego. Natomiast zawartość dwutlenku węgla w gazach przemysłowych uzależniona jest od procesu, w którym on powstaje. Strumień o wysokiej koncentracji CO₂ jest emitowany w niektórych procesach przemysłowych, np. przy produkcji amoniaku w zakładach azotowych, tlenku etylenu w przemyśle petrochemicznym, w niektórych procesach hutniczych [4].

Poniżej, w nawiązaniu do obowiązującej w UE metodologii IPCC (*International Panel Climate Change*) inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych [5], scharateryzowano emisję dwutlenku węgla oraz przedstawiono dane o jego zawartości w gazach spalinowych/przemysłowych.

Głównym źródłem emisji dwutlenku węgla w Polsce są działy przemysłu zaliczone do kategorii:

- Energia,
- Procesy przemysłowe.

Przy emisji CO₂ w 2000 r. wynoszącej 314 812 Gg, kategoria Energia odpowiedzialna była za około 96%, natomiast Procesy przemysłowe za 4% całkowitej emisji tego gazu.

Kategoria: Energia

Procesy wytwarzania energii są głównym źródłem antropogenicznej emisji CO₂ na świecie i w Polsce. Gospodarka polska opiera się na wykorzystaniu węgla kamiennego i brunatnego [9]. Spalanie tych paliw odpowiedzialne było za 45% całkowitej emisji CO₂, przy czym udział węgla kamiennego wyniósł 56%, a węgla brunatnego 44% [13]. W Polsce w ramach kategorii Energia, subkategoria Spalanie paliw jest dominującym źródłem emisji CO₂. Największa jej część – 57,9% pochodzi z przemysłu energetycznego, 15,4% – z przemysłu wytwórczego i budownictwa, 9,8% – z transportu, 16,3% z innych sektorów [5]. Gazy spalinowe z elektrowni opalanych gazem ziemnym zawierają około 3÷3,5% CO₂, z elektrowni spalających węgiel brunatny od 8,5 do 13,5%, ze spalania węgla kamiennego od 9,5 do 15,2% CO₂ [14].

Kategoria: Procesy przemysłowe

Dwutlenek węgla stanowi produkt uboczny powstający w różnorodnych procesach przemysłowych, niezwiązanych z wytwarzaniem energii.

W ramach kategorii Procesy przemysłowe, w 2000 r., udział emisji CO₂ w subkategoriach wyniósł [14]:

- Przemysł chemiczny – 10%,
- Produkcja metali – 4%.
- Produkty mineralne – 86%.

Subkategoria: Przemysł chemiczny

Największe ilości dwutlenku węgla emitują do atmosfery zakłady produkujące nawozy azotowe. Gaz ten powstaje głównie przy produkcji gazu syntezowego oraz przy produkcji mocznika. Wytwórnia amoniaku emituje do atmosfery praktycznie czysty (ok. 99%) dwutlenek węgla. Silnie skoncentrowany strumień CO₂ emitowany jest również przy produkcji tlenku etylenu (przemysł petrochemiczny) [6, 14].

Wśród największych emitentów CO₂ w Polsce jest pięć zakładów azotowych:

- 1) Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach S.A.,
- 2) Zakłady Azotowe „Puławy” S.A.,
- 3) ANWIL S.A. we Włocławku,
- 4) Zakłady Azotowe Kędzierzyn S.A.,
- 5) Zakłady Chemiczne „Police” S.A.

Część z nich produkuje i sprzedaje ciekły CO₂, głównie dla celów spożywczych. Jednakże większość dwutlenku węgla z tych zakładów jest emitowana do atmosfery.

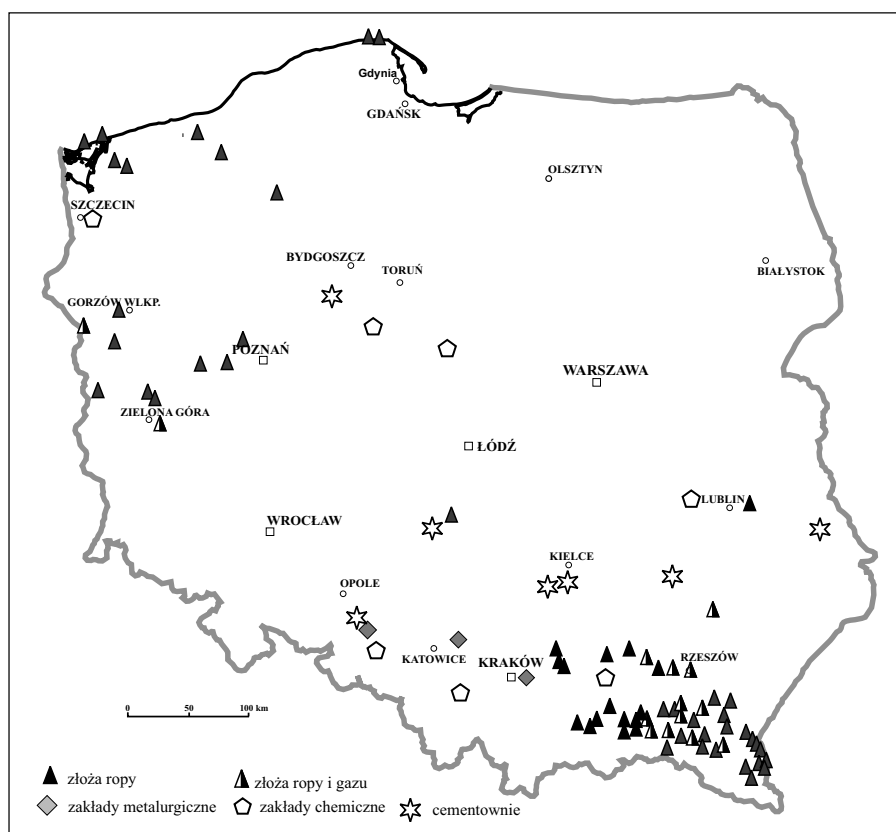
Subkategoria: Produkcja metali (produkcja żelaza i stali)

Dwutlenek węgla jest emitowany w trakcie produkcji koksu, spieku, stali konwertorowej, elektrycznej i martenowskiej oraz odlewów żeliwnych, w czasie spustu z wielkich pieców [3, 7, 11]. Spaliny z krajowych pieców martenowskich zawierają około 14÷18% CO₂, a ich skład chemiczny jest uzależniony od stosowanych paliw, urządzeń i technologii [14].

Subkategoria: Produkty mineralne (produkcja cementu)

W Polsce przy produkcji cementu w 2000 r. emisja jednostkowa CO₂ wynosiła 0,75 kg CO₂/kg (całkowita emisja 11,36 Gg CO₂) [15]. Podstawowymi źródłami emisji CO₂ z cementowni jest proces dekarbonizacji surowca oraz spalanie paliw. Szacuje się, że emisja z procesu dekarbonizacji wynosi około 50%, a ze spalania paliw około 40% emisji całkowitej z cementowni. Pozostałe 10% to emisja z transportu oraz wytwarzania energii elektrycznej stosowanej w cementowniach [3].

Realizacja projektu badawczego MNiI pt.: „Możliwości podziemnego składowania CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych)” pozwoliła zebrać dane o emisji i koncentracji CO₂ w gazach spalinowych/przemysłowych.



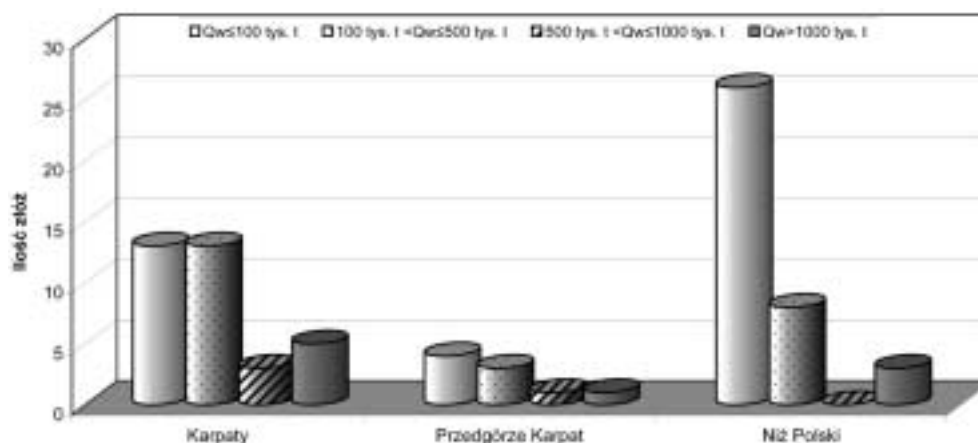
Rys. 1. Lokalizacja źródeł CO₂ do CO₂-EOR z uwzględnieniem występowania ważniejszych złóż ropy naftowej (na podstawie [8])

Wśród 53 zakładów, których emisja za 2002 rok wyniosła powyżej 500 Gg – 36 to elektrownie i elektrociepłownie, 7 – cementownie, 7 – zakłady chemiczne, 3 – huty i koksownie (rys. 1).

Źródeł taniego antropogenicznego dwutlenku węgla do CO₂-EOR należy szukać w zakładach przemysłowych, gdzie emitowany jest czysty lub silnie skoncentrowany strumień dwutlenku węgla. Dotyczy to głównie zakładów azotowych i petrochemii. Wykorzystanie dwutlenku węgla emitowanego z energetyki, pomimo ogromnych ilości, ze względów ekonomicznych nie jest obecnie opłacalne. Techniki separacji tego gazu są dzisiaj jeszcze bardzo kosztowne i energochłonne.

4. ZŁOŻA ROPY NAFTOWEJ W POLSCE JAKO MIEJSCA ZATŁACZANIA DWUTLENKU WĘGLA

W Polsce jest 85 różnej wielkości złóż ropy naftowej, w tym 73 zagospodarowane, 6 niezagospodarowanych i 6, w których zaniechano eksploatacji. Największa ilość zagospodarowanych złóż ropy naftowej (złoża ropy oraz kondensatu) jest w Karpatach – 34, następnie na Niżu Polskim – 30 i na Przedgórzu Karpat – 9 [2, 8]. Największa produkcja ropy naftowej jest ze złóż na Niżu Polskim, gdzie zasoby wydobywalne ropy naftowej są największe i stanowią w 2002 roku około 94% krajowych zasobów (rys. 2).



Rys. 2. Zasoby wydobywalne ropy naftowej w poszczególnych regionach Polski [2]

W wyniku wieloletniej eksploatacji nastąpiło znaczne sczerpanie zasobów we wszystkich wymienionych regionach. Zastosowanie zaawansowanych technik wydobycia ropy naftowej poprzez zatłaczanie dwutlenku węgla może być interesujące ze względu na możliwość intensyfikacji wydobycia ropy. W szczególności może to dotyczyć złóż będących w końcowym stadium eksploatacji.

Należy skojarzyć źródła emisji dwutlenku węgla oraz złoża ropy naftowej – potencjalne miejsca zatłaczania tego gazu, uwzględniając odległość oraz koncentrację dwutlenku

węgla w gazach spalinowych/przemysłowych. Wyniki prac autorów wskazują, że w przypadku złóż ropy naftowej, większość dużych emitentów dwutlenku węgla znajduje się w znacznej odległości do złóż ropy (por. rys. 1).

Wśród dużych emitentów tego gazu, dla celów zaawansowanych technik wydobycia ropy naftowej, w pierwszej kolejności należałoby wykorzystać gaz pochodzący z wybranych zakładów chemicznych, w których w procesach technologicznych powstaje czysty strumień dwutlenku węgla. Niektóre z zakładów azotowych produkują ciekły dwutlenek węgla; mają one również potencjalne możliwości zwiększenia produkcji. Z braku zainteresowania, powstający w procesach produkcyjnych nadmiar tego gazu emitowany jest do atmosfery. Najlepszą lokalizację w stosunku do położenia złóż ropy naftowej mają Zakłady Azotowe Tarnów-Mościce S.A. W celu pozyskania dwutlenku węgla, w dalszej kolejności należałoby uwzględnić pozostałe zakłady azotowe, zakłady emitujące skoncentrowany strumień tego gazu (np. zakłady petrochemiczne). Pozyskanie dwutlenku węgla od innych dużych emitentów (zakłady energetyczne, cementownie, huty) będzie możliwe w przyszłości po opracowaniu tanich metod separacji dwutlenku węgla z gazów spalinowych/przemysłowych.

Zawansowana technika eksploatacji złóż ropy poprzez zatłaczanie dwutlenku węgla uznawana jest również za metodę sekwestracji tego gazu. Zatłaczanie dwutlenku węgla może być realizowane jednocześnie w celu zwiększenia wydobycia ropy naftowej (aspekt ekonomiczny) jak również unieszkodliwienia emisji tego gazu (aspekt środowiskowy, w niedalekiej przyszłości również ekonomiczny).

5. PODSUMOWANIE

Zatłaczanie dwutlenku węgla do złóż ropy naftowej będących w końcowym stadium stanowi interesującą opcję umożliwiającą przedłużenie okresu eksploatacji złoża. W Polsce źródłem dwutlenku węgla w pierwszej kolejności mogą być zakłady azotowe, z których część produkuje ciekły CO₂. Technika eksploatacji złóż ropy poprzez zatłaczanie antropogenicznego dwutlenku węgla stanowi również metodę sekwestracji tego gazu, gdyż oprócz zwiększenia wydobycia ropy przyczynia się do unieszkodliwienia antropogenicznej emisji dwutlenku węgla.

LITERATURA

- [1] Amarnath A.: *Enhanced Oil Recovery Scoping Study. Final Report*. October 1999, EPRI, Palo Alto 1999
- [2] *Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce, wg stanu na 31.12.2002 r.* Warszawa, PIG 2003
- [3] Błachowicz A., Levina E.: *Przewodnik po monitorowaniu, raportowaniu i weryfikacji (MRV) emisji gazów cieplarnianych dla przedsiębiorstw*. Broszura 3/3. Warszawa, Center for Clear Air Policy 2003
- [4] Grzywa E., Molenda J.: *Technologia podstawowych syntez organicznych. Tom 1 i 2*. Warszawa, WNT 2000

- [5] Olendrzyński K., Kargulewicz I., Skośkiewicz J., Dębski B., Kluz M., Radwański E., Galiński W., Kozakiewicz J., Mąkosa J.: *Inwentaryzacja emisji gazów cieplarnianych i ich prekursorów w roku 2002*. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska 2004
- [6] Jędrzejewski J.: *Procesy przemysłowe a zanieczyszczenie środowiska. Przemysł chemiczny*. Warszawa, PWN 1987
- [7] Jędrzejewski J.: *Procesy przemysłowe a zanieczyszczenie środowiska. Przemysł hutniczy i cementowy*. Warszawa, PWN 1987
- [8] Karnkowski P.: *Oil and gas deposits in Poland*. W. Górecki (Ed.), Cracow, GEOS 1999
- [9] Ney R.: *Dylematy polskiej polityki energetycznej na początku XXI wieku*. Mat. Konf. „Paliwa i energia dziś i jutro – 2001”, Kraków 12–13 czerwca 2001 r., Kraków, Wyd. IGSMiE 2001
- [10] *Reduction of Greenhouse Gas Emissions through Underground CO₂ Sequestration in Texas Oil and Gas Reservoirs, 1999*. EPRI Technical Report. WO4603-04, Final Report, August 1999
- [11] Ryszka E.: *Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem w hutnictwie żelaza*. Katowice, Wyd. Śląsk 1976
- [12] Stevens S., Kuuskraa V., Gale J.: *Sequestration of CO₂ in Depleted Oil and Gas Fields: Global Capacity, Costs and Barriers*. Advanced Resources International and IEA Greenhouse Gas R&D Programme 2001
- [13] Tarkowski R.: *Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla z energetyki w Polsce*. Polityka Energetyczna, 6 zeszyt specjalny, 2003
- [14] Tarkowski R., Uliasz-Misiak B.: *Emisja CO₂ ze spalania paliw oraz procesów przemysłowych w Polsce*. Polityka Energetyczna, z. 2, 2004
- [15] Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E.: *Emisja dwutlenku węgla w przemyśle cementowym*. Polityka Energetyczna, 6 zeszyt specjalny, 2003