

Barbara Uliasz-Misiak

**Pojemność podziemnego składowania CO₂ dla wybranych
mezozoicznych poziomów wodonośnych oraz złóż węglowodorów
w Polsce**

Streszczenie

Prezentowana monografia omawia zagadnienia dotyczące szacowania pojemności składowania dwutlenku węgla w głębokich strukturach geologicznych. Pod pojęciem pojemności składowania CO₂ rozumie się ilość dwutlenku węgla jaka może być zatłoczona do danej struktury bezpiecznie i bez skutków ubocznych dla środowiska. Opracowanie składa się z dwóch zasadniczych części. W pierwszej przedstawiono stan wiedzy dotyczący omawianej tematyki: zagadnienia związane z pojemnością składowania CO₂ – oraz metody jej szacowania – w poziomach wodonośnych oraz złożach ropy naftowej i gazu ziemnego. W drugiej oszacowano pojemności składowania CO₂ w Polsce w wybranych mezozoicznych poziomach wodonośnych oraz złożach węglowodorów.

W pierwszej części szczegółowo przedstawiono historię badań podziemnego składowania dwutlenku węgla w aspekcie szacowania pojemności jego składowania. Scharakteryzowano mechanizmy pułapkowania działające w procesie podziemnego składowania CO₂ (pułapkowanie strukturalne i stratygraficzne, pułapkowanie gazu rezydualnego, rozpuszczanie, pułapkowanie mineralne, pułapkowanie hydrodynamiczne) oraz koncepcję piramidy zasobów węglowodorów zaadaptowaną do oceny pojemności składowania dwutlenku węgla. Omówiono trzy piramidy pojemności składowania: piramidę wysokiego poziomu pojemności składowania, techniczno-ekonomiczną piramidę pojemności składowania oraz piramidy typu pułapki i efektywności. Opisano skale, w jakich wykonuje się oszacowania pojemności składowania dwutlenku węgla (kraju, basenu, regionalna, lokalna oraz miejsca składowania). Omówiono metody szacowania pojemności składowania dwutlenku węgla w poziomach wodonośnych i złożach węglowodorów stosowane przez różnych autorów. Porównano oceny pojemności

składowania CO₂ w skali globu i regionalne, wykonane przez różnych autorów i instytucje, dla poziomów wodonośnych, złóż ropy naftowej, złóż gazu ziemnego.

W drugiej części monografii dokonano oszacowania pojemności składowania CO₂ w wybranych mezozoicznych poziomach wodonośnych i złożach węglowodorów w Polsce. Uwzględniając wcześniejsze opracowania w tym zakresie, zaproponowano formuły dla szacowania pojemności składowania CO₂. Dla poziomów wodonośnych i złóż węglowodorów oszacowano teoretyczną, efektywną i praktyczną pojemność składowania CO₂ odpowiadającą różnym poziomom techniczno-ekonomicznej piramidy pojemności składowania. Stwierdzono, że największą pojemność składowania CO₂, ze wszystkich trzech rozważanych poziomów, mają utwory jury dolnej. Zawiera się ona w przedziale od około 25 600 Tg (pojemność praktyczna minimalna) do około 4 985 000 Tg (pojemność teoretyczna). Mniejsza pojemność jest dla utworów triasu dolnego od 17 700 do 3 196 1100 Tg, najmniejsza jest natomiast dla dolnej kredy, od około 4 080 Tg do 1 029 000 Tg.

Potencjał składowania CO₂ w poziomach wodonośnych dolnej kredy, dolnej jury i dolnego triasu w Polsce przedstawiono w formie map jednostkowej pojemności składowania dwutlenku węgla. Jednostkowa pojemność składowania CO₂ jest rozumiana jako wielkość pojemności składowania CO₂ wyrażona w tonach na jednostkę powierzchni obszaru wyrażoną w m². Obszarem najbardziej perspektywicznym do podziemnego składowania dwutlenku węgla w utworach kredy dolnej jest północna i północno-wschodnia część niecki mogileńsko-łódzkiej przy granicy z wałem środkowopolskim oraz centralna część niecki warszawskiej (teoretyczna jednostkowa pojemność składowania CO₂ – 15 Mg/m², efektywna i praktyczna – 0,15–0,30 Mg/m²). Obszarem najbardziej perspektywicznym do składowania CO₂ w utworach dolnej jury jest północna część niecki mogileńsko-łódzkiej, zachodnia część niecki pomorskiej i południowo-zachodnia część niecki warszawskiej (teoretyczna jednostkowa pojemność składowania CO₂ – powyżej 90 Mg/m², efektywna i praktyczna – 0,9–1,2 Mg/m²). Najbardziej perspektywicznymi obszarami do składowania CO₂ w utworach triasu dolnego jest wał pomorski i południowa część wału kujawskiego (teoretyczna jednostkowa pojemność składowania CO₂ 30–45 Mg/m², efektywna i praktyczna 0,30–0,45 Mg/m²).

Oszacowano sumaryczną teoretyczną pojemność składowania CO₂ w złożach węglowodorów w Polsce, która wynosi 1045,3 Tg; efektywna pojemność składowania – 926,4 Tg i praktyczna – 700,7 Tg. Teoretyczna pojemność składowania CO₂ w złożach gazu ziemnego w Polsce wynosi 1009,5 Tg, efektywna – 908,5 Tg i praktyczna 685 Tg. Pojemność składowania CO₂ w złożach ropy naftowej jest mniejsza niż w złożach gazu ziemnego; teoretyczna pojemność składowania wynosi 35,8 Tg, efektywna – 17,9 Tg i praktyczna – 15,7 Tg. Obliczono błędy względne oszacowania teoretycznej, efektywnej i praktycznej pojemności składowania CO₂ w poziomach wodonośnych. Oceniono niepewność oszacowania teoretycznej, najmniejszej efektywnej i najmniejszej praktycznej pojemności składowania CO₂ w poziomach wodonośnych oraz w złożach węglowodorów.

Przedstawiono propozycję klasyfikacji pojemności składowania dwutlenku węgla. W obrębie efektywnej pojemności składowania CO₂ zaproponowano wyróżnienie efektywnej stwierdzonej pojemności składowania CO₂, efektywnej prawdopodobnej pojemności składowania CO₂ oraz efektywnej możliwej pojemności składowania CO₂.

Oceniono pojemność składowania CO₂ wybranej struktury wodonośnej oraz złoża ropy naftowej. Oceny zostały wykonane przy wykorzystaniu modeli komputerowych oraz wzorów. Pojemność składowania CO₂ na podstawie modelowania procesu zatłaczania CO₂ dla struktury wodonośnej wynosi 14,2 Tg CO₂. Pojemność składowania CO₂ oszacowana na podstawie

obliczeń dla różnych współczynników efektywności składowania wynosi: najmniejsza 17,9 Tg (współczynnik efektywności 10%), średnia 35,7 Tg (współczynnik efektywności 20%) i najlepsza 71,5 Tg (współczynnik efektywności 40%). Pojemność składowania CO₂ w złożu ropy naftowej oszacowana na podstawie symulacji zatłaczania wynosi 4 Tg. Teoretyczna i efektywna pojemność składowania CO₂ obliczona na podstawie wzorów bazujących na zasobach wydobywalnych wynosi odpowiednio 0,06 Tg i 0,03 Tg, a na podstawie szacunków objętościowych 0,08 Tg i 0,04 Tg.

Zestawienie dużych emitentów dwutlenku węgla na tle praktycznej jednostkowej pojemności składowania tego gazu w utworach dolnej kredy, dolnej jury i dolnego triasu pozwoliło określić możliwości składowania CO₂ w tych utworach. Dla 24 dużych emitentów CO₂ (powyżej 0,5 Tg/rok) (zakłady energetyczne, zakłady chemiczne, zakłady papiernicze, cementownie, rafinerie ropy) wskazano najbardziej perspektywiczne obszary w głębokich solankowych poziomach wodonośnych, odpowiednie do składowania dwutlenku węgla.

CO₂ storage capacity in selected Mesozoic aquifers and hydrocarbon deposits of Poland

Summary

This monograph discusses issues concerning evaluation of the CO₂ sequestration capacity in deeply seated geological structures. The CO₂ storage capacity is the amount of CO₂ that can be stored in the given geological structure, safe and not harmful to the environment. The report consists of two sections. The first of them presents the state of knowledge on the problems under consideration: the CO₂ storage capacity and evaluation methods in aquifers and natural gas and crude oil reservoirs. The second section discusses estimates of the CO₂ storage capacity in Poland for a number of selected Mesozoic aquifers and hydrocarbon reservoirs.

The first section of the monograph thoroughly presents the history of research on the underground CO₂ storage in terms of evaluation of the CO₂ storage capacity. The section discusses trapping mechanisms that operate in the process of underground CO₂ storage (structural and stratigraphic trapping, residual gas trapping, dissolution, mineral trapping, hydrodynamic trapping), as well as the concept of the hydrocarbon resource pyramid adapted to evaluate the CO₂ storage capacity.

Three resource pyramids for CO₂ storage capacity are characterized: high level resource pyramid, techno-economic resource pyramid, trap type and effectiveness resource pyramid. The scales for evaluation of the CO₂ storage capacity is made (for the country, basin, region, local area and storage site) are also described. The report discusses methods of evaluation of the CO₂ storage capacity in aquifers and hydrocarbon reservoirs, used by various authors. A comparison of estimates of the CO₂ storage capacity on global and regional scales, performed by various authors and institutions for aquifers and crude oil and natural gas reservoirs, is given.

The second section of the monograph provides evaluations of the CO₂ storage capacity in selected Mesozoic aquifers and hydrocarbon reservoirs of Poland. Taking into account previous reports, a number of formulas have been proposed to evaluate the CO₂ storage capacity. Theoretical, effective and practical CO₂ storage capacities were determined for aquifers and hydrocarbon reservoirs, corresponding to different levels of the techno-economic resource pyramid. It has been ascertained that Lower Jurassic deposits show the highest CO₂ storage capacity of all the 3 levels under consideration. The capacity values range from approximately 25,600 Tg (minimum practical capacity) to about 4,985,000 Tg (theoretical capacity). Lower Triassic deposits have a lower capacity of 17,700 to 3,196,100 Tg. The lowest capacity values are suggested for the Lower Cretaceous, ranging from 4,080 Tg to 1,029,000 Tg.

The CO₂ storage capacity potential in Lower Cretaceous, Lower Jurassic and Lower Triassic aquifers of Poland is presented on maps of CO₂ storage capacity per area unit, which is understood as the amount of CO₂ storage capacity expressed in tones per unit area expressed in square metres. The most prospective areas for the underground CO₂ storage in Lower Cretaceous deposits are the northern and north-eastern part of the Mogilno-Łódź Trough along the

Mid-Polish Swell, and the central part of the Warsaw Trough (theoretical CO₂ storage capacity per area unit is 15 Mg/m², effective and practical capacity is 0.15–0.30 Mg/m²). The most prospective areas for the underground CO₂ storage in Lower Jurassic deposits are the northern part of the Mogilno-Łódź Trough, western part of the Pomerania Trough and south-western part of the Warsaw Trough (theoretical CO₂ storage capacity per area unit is >90 Mg/m², effective and practical capacity is 0.9–1.2 Mg/m²). The most prospective areas for the underground CO₂ storage in Lower Triassic deposits are the Pomerania Swell and the southern part of the Kujawy Swell (theoretical CO₂ storage capacity per area unit is 30–45 Mg/m², effective and practical capacity varies from 0.30 to 0.45 Mg/m²).

The total theoretical CO₂ storage capacity in hydrocarbon reservoirs of Poland is evaluated at 1045.3 Tg, effective storage capacity is 926.4 Tg, and practical capacity is 700.7 Tg. The theoretical CO₂ storage capacity in natural gas of Poland is 1009.5 Tg, effective capacity is 908.5 Tg, and practical capacity is 685 Tg. The CO₂ storage capacity in crude oil reservoirs is lower compared with natural gas reservoirs; theoretical CO₂ storage capacity is 35.8 Tg, effective capacity is 17.9 Tg, and practical capacity is 15.7 Tg. Relative errors of the estimates of the theoretical, effective and practical in aquifers have been calculated. Uncertainty of the estimates of the theoretical, least effective and least practical CO₂ storage capacity in aquifers and hydrocarbon reservoirs has also been assessed.

Proposal of a CO₂ storage capacity classification is presented in this report. It is recommended to establish a category of the confirmed effective CO₂ storage capacity, probable effective CO₂ storage capacity and possible effective CO₂ storage capacity.

The CO₂ storage capacities have been evaluated for an aquifer and a hydrocarbon reservoir. The estimates were made based on computer simulations and formulas. The CO₂ storage capacity evaluated from computer simulation of a CO₂ injection process into an aquifer is 14.2 Tg CO₂. The CO₂ storage capacities evaluated from calculations made using different storage effectiveness ratios are as follows: the least capacity is 17.9 Tg (storage effectiveness ratio = 10%), the average capacity is 35.7 Tg (storage effectiveness ratio = 20%) and the best capacity is 71.5 Tg (storage effectiveness ratio = 40%). The CO₂ storage capacity in an oil reservoir, evaluated based on CO₂ sequestration simulation, is 4 Tg. The theoretical and effective CO₂ storage capacities, calculated from formulas based on recovery reserves, are 0.06 Tg and 0.03 Tg, respectively. The values calculated from volume estimates are 0.08 Tg and 0.04 Tg.

A comparison of large CO₂ emitters against the practical CO₂ storage capacity per area unit in Lower Cretaceous, Lower Jurassic and Lower Triassic deposits enabled determination of the possibility of CO₂ sequestration in these formations. For 24 large CO₂ emitters (above 0.5 Tg/year) (power plants, chemical companies, cement works, petroleum refineries, paper plants), it has been indicated that the most prospective levels suitable for CO₂ storage are those related to deep groundwater brine zones.