

Rozprzestrzenianie się solanki w wodach Zatoki Puckiej

Małgorzata Robakiewicz¹, Wojciech Robakiewicz²

Spreading of brine in the Puck Bay

Abstract. Polskie Górnictwo Naftowe i Gazowe (PGNiG) is planning to construct underground gas storages at Kosakowo near Gdynia. The storages, encompassing 10 caverns (total volume $25 \times 10^7 \text{ m}^3$) and situated at a depth of 800–1600 m, will be located about 4 km onshore from the Puck Bay. The gas storages will be created by drilling of boreholes and leaching of rock salt (approx. $5.6 \times 10^6 \text{ t}$). The concentration of brine will reach up to 250 kg/m^3 (salinity 250 PSU), and its discharge will attain a rate of $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0.083 \text{ m}^3/\text{s}$).

Due to the unique biological significance of Puck Bay (the Natura 2000 region), the location of brine discharge and the system of its release required detailed analysis. One of the most important criteria of the project was to ensure that brine spreading occurs to such an extent that salinity increase in the near-field does not exceed 0.5 PSU. The discharge system (diffuser) was designed by Przedsiębiorstwo Projektowo-Wdrożeniowe Emporium, while investigations of nozzles were carried out by the Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery PAS.

Analysis of brine dilution in the Puck Bay was conducted by IBW PAN in co-operation with Deltares (the Netherlands) and was carried out in the following steps: 1) determination of kinematic parameters of brine stream coming from a single nozzle; 2) determination of mixing conditions of a single stream in the surrounding water; 3) spreading of brine in the near-field of diffuse and 4) spreading of brine in Puck Bay. Based on the analysis of the near-field dilution of brine, the following solution was selected: 48 nozzles (0.008 m each) located in 16 heads (3 nozzles per head, distributed every 120°). The stream of brine will be directed 45° towards the free surface, while the nozzles will be located 3 m above the bottom. The brine stream will move about 2 m towards the free surface, and later downwards. When reaching the sea bed the stream will be about 7.5 m from the head axis; the surface covered by diluted brine will reach a circle of 2 m diameter. After initial dilution in the near-field of the diffuser, and upon reaching the sea-bed, this mixture does not behave as a stream; further mixing takes place, in accordance with advection-diffusion equations. For modeling of brine spreading in Puck Bay (far field) the 3D hydrodynamic model, set-up based on Delft3D-FLOW, was applied. Calculations were carried out for 4 sites (accepted by Maritime Office in Gdynia) where depth increases from 8 m to 34.5 m with increasing distance from the shore. In all the considered cases, similar near-field discharge of brine in the Puck Bay was assumed.

Based on the results of the calculations, the following conclusions were reached: 1) applicability of the proposed technical solution will lead to limited salinity increase in the near-field of diffusers (not exceeding 0.5 PSU); 2) in any of the sites considered, salinity increase will not exceed 0.5 PSU, regardless of hydro-meteorological conditions. Even under the most unfavorable conditions, i.e. those of long-term of wind and in the site located at 8 m depth, salinity will increase by a maximum of 0.5 PSU.

Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA (PGNiG) planuje budowę podziemnych magazynów gazu w gminie Kosakowo koło Gdyni. Magazyny, składające się z 10 podziemnych komór na głębokości 800–1600 m, o łącznej objętości $25 \times 10^7 \text{ m}^3$, mają zostać zbudowane w odległości ok. 4 km od brzegu Zatoki Puckiej. Zbiorniki powstaną po wykonaniu odwiertów i wypłukaniu złóż soli kamiennej w ilości ok. 5,6 mln t. Przewiduje się, że zawartość soli w wypłukiwanej solance może osiągnąć 250 kg/m^3 (zasolenie 250 PSU), a uzyskana w ten sposób solanka będzie odprowadzana do Zatoki Puckiej w ilości $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,083 \text{ m}^3/\text{s}$).

Ze względu na wyjątkowe walory przyrodnicze Zatoki Puckiej (obszar objęty programem *Natura 2000*) wybór lokalizacji oraz sposób wyprowadzania solanki do akwenu wymagał szczegółowej analizy. Jednym z istotniejszych warunków, koniecznych do spełnienia przez inwestora, jest konieczność takiego rozpraszania zrzucanej solanki, aby zasolenie wód zatoki w polu dyfuzora nie wzrastało o wartość większą niż 0,5 PSU. Projekt zrzutu wraz z koncepcją rozmieszczenia dysz wylotowych wykonało Przedsiębiorstwo Projektowo-Wdrożeniowe *Emporium*, a badania dysz wylotowych — Instytut Maszyn Przepływowych PAN.

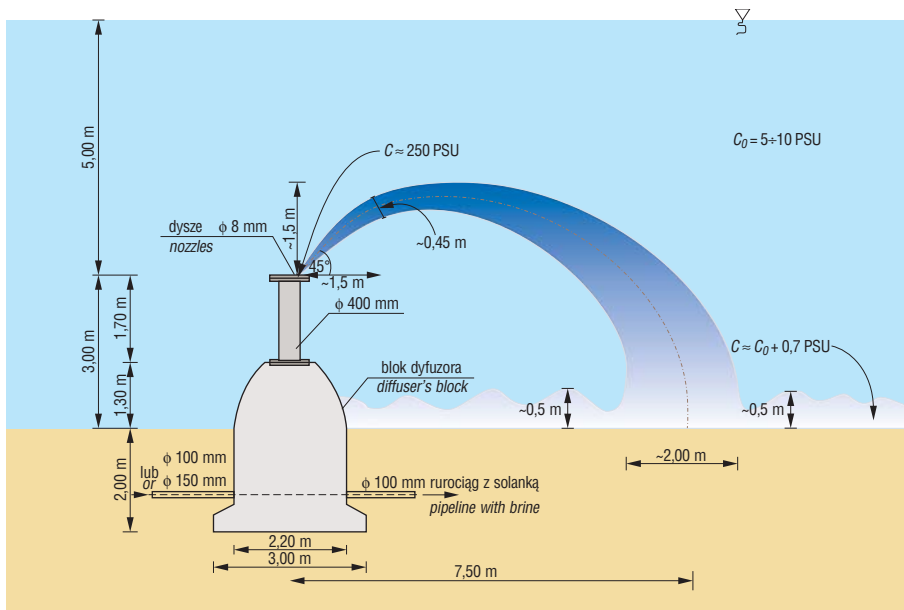
Ocena stopnia wymieszania się solanki z wodami Zatoki Puckiej została wykonana przez Instytut Budownictwa Wodnego PAN we współpracy z Instytutem Deltares z Holandii, kolejne etapy polegały na określeniu:

- parametrów kinematycznych strugi solanki wypływającej z pojedynczej dyszy,
- warunków mieszania się pojedynczej strugi solanki w toni wodnej,
- rozprzestrzeniania się solanki w polu bliskim dyfuzora,
- rozprzestrzeniania się solanki w wodach Zatoki Puckiej.

W wyniku przeprowadzonej analizy rozpraszania się solanki w polu bliskim, za pomocą modelu matematycznego uwzględniającego teorię strug wodnych rozprzestrzeniających się w toni wodnej, wybrano rozwiązanie, w którym przewiduje się zastosowanie 48 dysz o średnicy 8 mm, rozmieszczonych w 16 głowicach (po 3 w każdej głowicy, rozmieszczone co 120°); wyloty dysz znajdują się 3 m ponad dnem. Strumień solanki z dyszy będzie skierowany pod kątem 45° ku powierzchni wody. Taka instalacja pozwoli, aby początkowo struga solanki płynęła ukośnie na odcinku o długości ok. 2 m w kierunku zwierciadła wody, a następnie opadała w kierunku dna. W momencie dotarcia do dna odległość osi strugi od osi głowicy będzie wynosić ok. 7,5 m, a średnica powierzchni dna zajęta przez strugę solanki będzie mieć ok. 2 m. Po wstępnym wymieszaniu w polu bliskim dyfuzora i dotarciu solanki do dna mieszanina przestaje się zachowywać jak struga, a jej dalsze mieszanie

¹Instytut Budownictwa Wodnego PAN, ul. Kościarska 7, 80-328 Gdańsk; marob@ibwpan.gda.pl;

²wojrob@poczta.onet.pl



Ryc. 1. Sposób wypływu solanki z pojedynczej dyszy, C — zasolenie zrzucanej solanki; C_0 — zasolenie wody

Fig. 1. Spreading of brine from a single nozzle, C — brine salinity; C_0 — water salinity

odbywa się zgodnie z prawami opisanymi równaniami adwekcji-dyfuzji. Do modelowania rozprzestrzeniania się solanki w wodach Zatoki Puckiej (pole dalekie) zastosowano trójwymiarowy model matematyczny warunków hydrodynamicznych, opracowany za pomocą oprogramowania *Delft3D-FLOW*. Modelowano różne warunki hydrologicz-

no-meteorologiczne dla czterech wariantów lokalizacji zrzutów (zaakceptowanych przez Urząd Morski w Gdyni), w których głębokość w miejscu zrzutu wzrosła od 8 m do 34,5 m wraz ze wzrostem odległości miejsca zrzutu od brzegu Zatoki Puckiej. We wszystkich prowadzonych obliczeniach przyjęto taki sam sposób wyprowadzania solanki do wód Zatoki Puckiej.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że:

□ zastosowanie zaproponowanego rozwiązania technicznego gwarantuje, że w polu bliskim dyfuzora przyrost zasolenia nie przekroczy wartości 0,5 PSU, co spełnia wymogi stawiane inwestorowi;

□ każda z analizowanych lokalizacji ma tak rozwiązane wyprowadzenie zrzutu, że w polu dalekim przyrost zasolenia będzie

zależny od warunków hydrologiczno-meteorologicznych, jednak nie przekroczy 0,5 PSU. Nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach, tj. długotrwałej ciszy oraz przy zrzucie na głębokości 8 m, przyrost zasolenia w polu dalekim nie przekroczy 0,5 PSU.