

Efektywna pojemność komór magazynowych gazu w pokładowych złożach soli kamiennej

Jarosław Ślizowski¹, Monika Wiśniewska², Karolina Wojtuszczyńska¹

Effective capacity of gas storage caverns in stratiform rock salt deposits

Abstract. Potential locations of underground natural gas storages in Poland are the Zechstein stratiform salt deposits in the Łeba Elevation and the Fore-Sudetic Monocline areas as well as salt domes placed in the central Poland. Preliminary analysis indicates that the storage caverns may be effectively located in the salt deposits with: a homogeneous layer of salt at least 150 m thick and with top surface placed at depths smaller than 1800 m (Ślizowski et al., 2006). Such conditions are complied by 4 locations in the Łeba Elevation and 9 locations in the Fore-Sudetic Monocline.

Capacity of storage cavern depends on its volume and the range of storage pressure. Also important is temperature of the deposit because of its influence on the amount of stored gas and convergence rate change (loss of cavern volume in time).

The following estimation assumes, that due to leaching factors, equivalent diameter of the caverns does not exceed 60 m and their height is 50 m smaller than the deposit thickness (thickness limit for roof pillar, floor pillar and cavern neck — Guarascio, 1998). The minimum and maximum storage pressures are increasing linearly along with a depth of cavern (Ślizowski et al., 2007, 2009).

The cavern convergence was estimated using a formula in which: $\frac{dV_{konn}}{dt} = A \times e^{-\frac{Q}{RT}} (p_g - p_z)^n$, where: (dV_{konn}/dt) — relative convergence rate; p_g — gas pressure; p_z — rock massif pressure at the depth of cavern center; T — temperature; A, Q, R, n — constant coefficients.

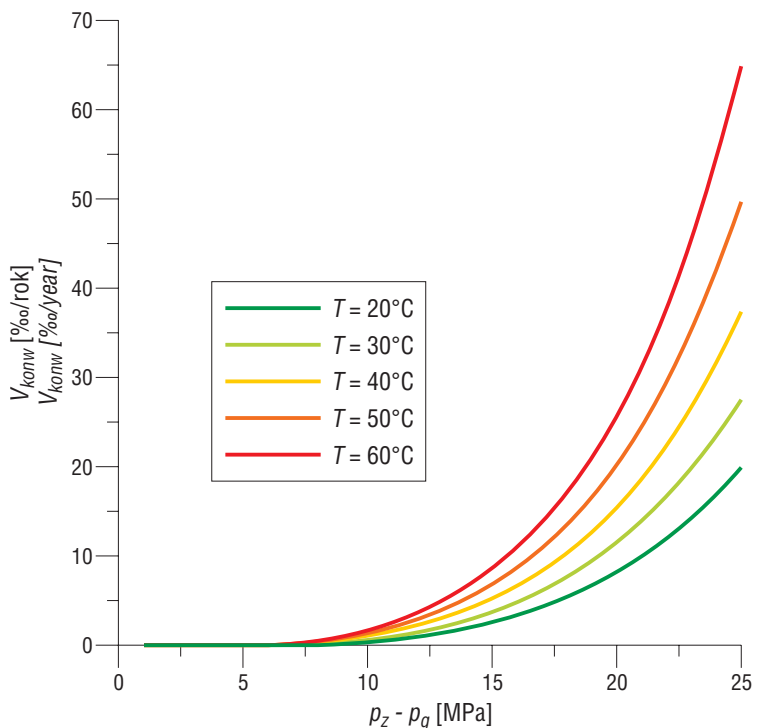
The formula parameters were calculated on the basis of parametric study, where the cavern convergence at different depths was analyzed using a numerical model based on finite element method. The convergence rate depending on the pressure difference between gas pressure and the primary rock massif pressure for different temperatures is shown in Figure 1. Storage cavern capacities calculated considering the above assumptions (initial capacities and after 15 years, which is a half of the planned operation period) in selected areas are presented in Table 1.

Values of primary storage capacities obtained for caverns placed in the Fore-Sudetic Monocline appeared higher than those for caverns from the Łeba Elevation, mainly because of large thickness of salt deposits. However, after 15 years the capacities tend to equalize because the convergence rate of the caverns placed in the Łeba Elevation is smaller, due to a lower primary temperature of the rock massif.

Poszukując potencjalnych lokalizacji podziemnego magazynu gazu ziemnego, rozważa się cechsztyńskie pokładowe złoża soli w rejonie wyniesienia Łeby i monokliny przedsudeckiej oraz struktury solne okręgu środkowopolskiego. Wyniki przeprowadzonych analiz wstępnych wskazują, że komory magazynowe mogą być efektywnie lokalizowane w złożu soli o miąższości 150 m (jeśli jest jednorodna warstwa soli) i głębokości zalegania stropu nie większej niż 1800 m p.p.t. (Ślizowski i in., 2006). Warunki te są spełnione m.in. w czterech obszarach na wyniesieniu Łeby i dziewięciu obszarach na monoklinie przedsudeckiej (tab. 1).

Pojemność komory magazynowej zależy od jej objętości i zakresu ciśnienia magazynowania. Istotne znaczenie ma również temperatura złoża, gdyż od temperatury zależy ilość magazynowanego gazu oraz szybkość konwergencji komory powodująca spadek jej objętości w czasie (ryc. 1).

W przedstawionej prognozie przyjęto, że ze względu na czynniki ługownicze ekwiwalentna średnica komór nie przekroczy 60 m, a ich wysokość będzie o 50 m mniejsza od miąższość pokładu, z uwagi na konieczność pozostawienia półki stropowej i spągowej oraz szyi komory



Ryc. 1. Zależność szybkości konwergencji (V_{konn}) od różnicy pomiędzy ciśnieniem gazu (p_g) a ciśnieniem górotworu (p_z)

Fig. 1. Convergence rate (V_{konn}) vs. pressure difference between gas pressure (p_g) and rock massif pressure (p_z)

¹Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; slizow2@min-pan.krakow.pl

²OBRGSCHEM Chemkop Sp. z o.o., ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków

Tab. 1. Pojemność początkowa komór w analizowanych złożach i ich pojemność po 15 latach
 Tab. 1. Initial capacity and capacity after 15 years of operation of caverns placed in analyzed areas

Region <i>Region</i>	Wybrane obszary <i>Selected areas</i>	Głębokość stropu pokładu soli <i>Depth of salt seam top</i>	Średnia miąższość <i>Average thickness</i>	Temperatura <i>Temperature</i>	Pojemność początkowa <i>Initial capacity</i>	Konwergencja względna <i>Relative convergence</i>	Pojemność komory po 15 latach <i>Capacity after 15 years</i>
		m p.p.t. <i>m below surface</i>	m	°C	mln Nm ³ * <i>mln Sm³*</i>	%/r <i>%/year</i>	mln Nm ³ * <i>mln Sm³*</i>
Monoklina przedsudecka <i>Fore-Sudetic Monocline</i>	Nowa Sól	847,7	264	305,0	53,8	1,9	52,3
	Bronów-Wiewierz	1300,8	199,4	317,6	52,8	9,6	45,7
	Nowa Rola	1192	210	314,5	52,8	6,7	47,8
	Kąkolewo	1724	247,5	331,0	59,1	47,1	28,7
	Rybaki-Wężyska	1729,3	172,3	330,1	34,6	42,2	18,1
	Połęcko	1771,5	300	333,2	73,6	60,3	29,0
	Przyborów	1215	182,5	314,8	43,4	6,9	39,2
	Góreczki Wielkie	1567,5	180,5	325,3	40,5	24,4	28,0
	Bytom Odrzański	1012,5	266,25	310,0	63,3	3,8	59,8
Wyniesienie Łeby <i>Leba Elevation</i>	Białogarda	653,1	186,4	290,7	24,9	0,5	24,7
	Mechelinki	975,5	167,2	293,8	28,8	1,8	28,0
	Tupała	665,5	177,2	290,7	23,3	0,5	23,1
	Głuszewo	746,5	176,5	291,5	25,3	0,7	25,1

*Nm³ — ilość suchego gazu zawarta w objętości 1 m³ pod ciśnieniem 101,325 kPa w temperaturze 0°C

*Sm³ — quantities of natural gas measured in normal cubic meters (corresponding to 0°C at 101.325 kPa)

(Guarascio, 1998). Przyjęto również, że minimalne i maksymalne ciśnienie magazynowania rośnie liniowo z głębokością (Ślizowski i in., 2007, 2009).

Konwergencję komór oszacowano wg wzoru:

$$\frac{dV_{konw}}{dt} = A \times e^{-\frac{Q}{RT}} (p_g - p_z)^n$$

gdzie:

$\frac{dV_{konw}}{dt}$ — szybkość konwergencji względnej,

p_g — ciśnienie gazu,

p_z — ciśnienie górotworu na głębokości środka komory,

T — temperatura,

A, Q, R, n — stałe współczynniki.

Parametry wzoru oszacowano na podstawie studium parametrycznego, w którym analizowano konwergencję komór na różnej głębokości za pomocą modeli numerycznych opartych na metodzie elementów skończonych. Szybkości konwergencji komór, w zależności od różnicy pomiędzy ciśnieniem gazu a ciśnieniem pierwotnym górotworu w różnej temperaturze, przedstawiono na rycinie 1. Obliczoną przy tych założeniach pojemność magazynową komór (początkową i po 15 latach, tj. po połowie

okresu planowanej eksploatacji) w poszczególnych obszarach przedstawiono w tabeli 1.

Większa początkowa pojemność magazynowa cechuje komory planowane w pokładach soli na monoklinie przedsudeckiej, głównie ze względu na większą miąższość złoża. Po 15 latach pojemność się wyrównuje z parametrami obiektów planowanych na wyniesieniu Łeby, ponieważ szybkość konwergencji lokalizowanych tam komór jest mniejsza, a to z powodu niższej temperatury pierwotnej górotworu.

Literatura

- GUARASCIO M. (ed.) 1998 — Guidelines for safety assessment of salt caverns. Proc. Technical Class, SMRI Fall Meeting, Roma.
- ŚLIZOWSKI K., BRAŃKA S., JAWOR E., LANKOF L., ŚLIZOWSKI J., MACIEJEWSKI A., MAZUR M., NEY R., PISIEWICZ T., ROGOWSKA E., URBAŃCZYK K. & WIŚNIEWSKA M. 2006 — Ocena możliwości magazynowania substancji w złożach soli kamiennych. IGSMiE PAN, Kraków. CAG Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa [715/2006].
- ŚLIZOWSKI J., LANKOF L. & WOJTUSZEWSKA K. 2007 — Geomechaniczna ocena optymalnej głębokości komór magazynowych gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennych. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie. WUG, 6: 50–61.
- ŚLIZOWSKI J., URBAŃCZYK K. & WOJTUSZEWSKA K. 2009 — Ocena konwergencji pola komór magazynowych gazu w wysadzie solnym. Gosp. Sur. Min. (w druku).