

JAROSŁAW ŚLIZOWSKI\*, KAZIMIERZ URBAŃCZYK\*\*

## Prognozowanie konwergencji względnej komory magazynowej gazu ziemnego przy zastosowaniu zaktualizowanego modelu górotworu solnego

### Słowa kluczowe

Konwergencja komór w złożu soli, model numeryczny, podziemne magazynowanie gazu

### Streszczenie

W artykule omówiono problem prognozowania konwergencji komór magazynowych gazu ziemnego w złożu soli od strony teoretycznej. Na konkretnym przykładzie wybranej komory magazynowej porównano dwie metody prognozowania średniorocznej konwergencji. Pierwsza to metoda przybliżona polegająca na ekstrapolacji konwergencji stacjonarnych wyliczonych dla kilku wybranych ciśnień gazu w komorze. Druga metoda polega na bezpośredniej symulacji scenariusza obciążeń. Dla trzech prostych scenariuszy obliczono przewidywania metody uproszczonej oraz zasymulowano paroletnią eksploatację komory. Było to możliwe dzięki aktualizacji programów modelujących zachowanie górotworu o procedury symulacji dowolnych, wieloetapowych scenariuszy obciążeń. Różnice pomiędzy obiema metodami nie są wielkie, choć widoczne. Również nie są wielkie różnice pomiędzy średniorocznymi konwergencjami przy różnych scenariuszach, pomimo, że chwilowe szybkości względnej konwergencji znacznie różnią się od siebie.

Uzyskane rezultaty dotyczą stacjonarnego prawa pełzania z konkretnymi współczynnikami i w przyszłości do rozważań należałoby włączyć pełzanie pierwotne.

### Wprowadzenie

Komory magazynowe gazu ziemnego są wielkogabarytowymi wyrobiskami (o objętości rzędu kilkuset tysięcy metrów sześciennych) wyługowanymi w złożu soli z powierzchni tzw.

\* Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia PAN, Kraków.

\*\* Dr, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop”, Kraków.

metodą otworową. Istotą funkcjonowania komory magazynowej jest zmienność ciśnienia gazu, tzn. jego spadek w przypadku opróżniania komory i wzrost w przypadku napełniania. Dopuszczalne wartości skrajne ciśnienia zależą głównie od głębokości jej posadowienia. Zmiany ciśnienia mają charakter zarówno sezonowy, jak i szczytowy.

Jednym z niekorzystnych, choć nieuniknionych zjawisk występujących w trakcie eksploatacji komór jest ich konwergencja, czyli zaciskanie się spowodowane reologicznymi właściwościami górotworu solnego. Należy ona do najistotniejszych czynników decydujących o długotrwałej użyteczności tych komór jako podziemnych magazynów gazu ziemnego (Ślizowski 2001b).

Na wielkość konwergencji względnej komory główny wpływ mają:

- głębokość posadowienia,
- szybkość pełzania górotworu w otoczeniu komory,
- ciśnienie gazu wewnątrz komory,

a w mniejszym stopniu:

- kształt i objętość komory,
- oddziaływanie komór sąsiednich.

Szybkość pełzania soli kamiennej zależy ponadliniowo od obciążenia, w związku z tym na średnioroczną wielkość konwergencji szczególnie istotny wpływ ma dolna granica zakresu ciśnienia, w jakim pracuje komora. Podnosząc tę granicę wydłuża się żywotność komory, ale zarazem zwiększa wielkość stałej poduszki gazu „zamrożonej” w komorze oraz zmniejsza jej pojemność magazynową. Ma to istotny wpływ na ekonomikę przedsięwzięcia, jakim jest podziemny magazyn gazu w komorach solnych.

Dlatego tak dużą wagę przywiązuje się do możliwości dokładnego prognozowania przyszłej konwergencji komór magazynowych. Prognozowanie to wymaga dobrego rozpoznania reologicznych własności soli kamiennych w otoczeniu komory oraz dobrej klasy komputera z oprogramowaniem metody elementów skończonych zorientowanym na geomechanikę. Takie komputery i oprogramowanie do niedawna było bardzo kosztowne, a obliczenia czasochłonne, co było przyczyną, że prognozy konwergencji wykonywano w bardzo ograniczonym zakresie. Poszukiwano również metod pozwalających na podstawie obliczeń wzorcowych prognozować konwergencję dla rzeczywistych scenariuszy eksploatacji komory.

Jedna z takich metod (Ślizowski 2001a) została wykorzystana przy prognozowaniu konwergencji w komorach KPMG Mogilno.

Obecnie, gdy możliwości komputerów osobistych zwiększyły się wielokrotnie, można wykonywać symulacje eksploatacji według scenariuszy liczących nawet setki etapów. Przy okazji można porównać oszacowania wykonywane według metody przybliżonej z bezpośrednią symulacją różnych scenariuszy eksploatacji.

Przedstawione poniżej obliczenia przeprowadzono przy użyciu systemu GEOSOLK (Ślizowski i in. 1990). Jest to specjalistyczny pakiet do modelowania sprężysto-plastykowo-lepkiego zachowania się górotworu w otoczeniu komór wyługowanych w złożu soli, który ostatnio został w dużym zakresie zmodernizowany.

## 1. Metody wyznaczania konwergencji względnej

Przybliżona metoda szacowania konwergencji (Ślizowski 2001a) polega na zamodelowaniu cyklu obciążeń komory, w którym wewnętrzne ciśnienie w komorze najpierw maleje skokowo — od ciśnienia hydrostatycznego solanki do ciśnienia minimalnego — a następnie skokowo przyrasta do ciśnienia maksymalnego. Czas trwania poszczególnych etapów ma charakter czysto teoretyczny i nie ma nic wspólnego z rzeczywistym scenariuszem eksploatacji. Wartości konwergencji uzyskane na końcach poszczególnych etapów aproksymuje się wzorem:

$$x(p) = ae^{bp} \quad (1)$$

gdzie:

- $p$  — ciśnienie wewnątrz komory,
- $x(p)$  — szybkość konwergencji,
- $a, b$  — współczynniki empiryczne.

Dla dowolnego scenariusza eksploatacji komory, w którym komora znajduje się pod zmiennym ciśnieniem  $p(t)$ , oszacowanie średniorocznej szybkości konwergencji otrzymuje się przez przecałkowanie wzoru (1) z podstawieniem pod  $p(t)$  odpowiedniego scenariusza:

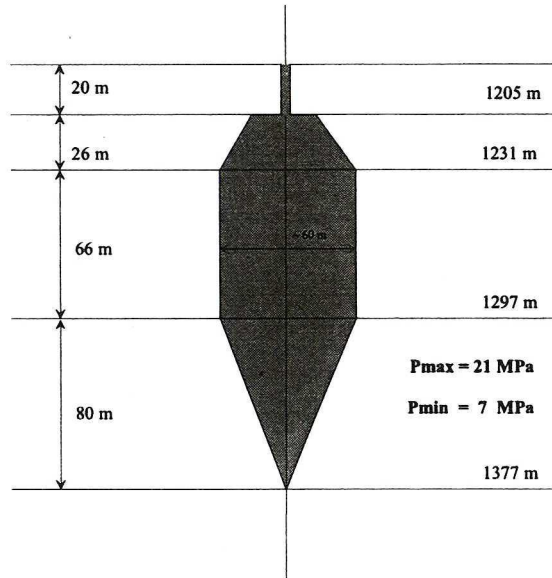
$$\bar{x} = \int_{t_0}^{t_0+365} x(p(t)) dt \quad (2)$$

Metoda dokładna polega na bezpośrednim zamodelowaniu rzeczywistego, konkretnego scenariusza eksploatacji. Wymaga to zrealizowania kilkuset-etapowego cyklu obciążeń. Obliczenia rozpoczyna się od stanu naprężeń w otoczeniu komory napełnionej do ciśnienia maksymalnego gazu.

## 2. Rozpatrywany model komory magazynowej gazu

Przykładową osiowo-symetryczną komorę magazynową o wysokości 172 m i maksymalnej średnicy 60 m przedstawiono schematycznie na rysunku 1. Najniższy punkt komory położony jest na głębokości 1377 m. Następnie komora rozszerza się stożkowo, osiągając maksymalną średnicę na głębokości 1297 m. Powyżej, aż do głębokości 1231 m, komora ma kształt walcowy. Powyżej znajduje się paraboloidalna kopuła, którą przybliżono stożkiem ściętym. Strop komory położony jest na głębokości 1205 m, w pobliżu stropu średnica komory (ściętego stożka) wynosi około 18 m. Ponad stropem komory znajduje się 20-metrowa szyja o średnicy około 2 m. Ilustruje to rysunek 1.

Założono, że powyższa komora otoczona jest innymi komorami, rozmieszczonymi w trójkątnej siatce o boku 270 m. Łączy się to z przyjęciem w modelu obliczeniowym zerowych



Rys. 1. Lokalizacja i kształt rozpatrywanej przykładowej komory

Fig. 1. Location and shape of the regarded example cavern

przemieszczeń w połowie odległości między komorami, gdzie równoważy się wpływ komory z oddziaływaniem komór sąsiednich. W przypadku rozważanego zagadnienia symetrii osiowej, założenie to oznacza przyjęcie zerowych przemieszczeń radialnych na brzegu oddalonym o 135 m od osi symetrii. Dolny i górny brzeg modelu obliczeniowego były oddalone o 120 m od spągu i szyi komory. Obszar ten następnie podzielono na 700 elementów skończonych w sposób przedstawiony na rysunku 2.

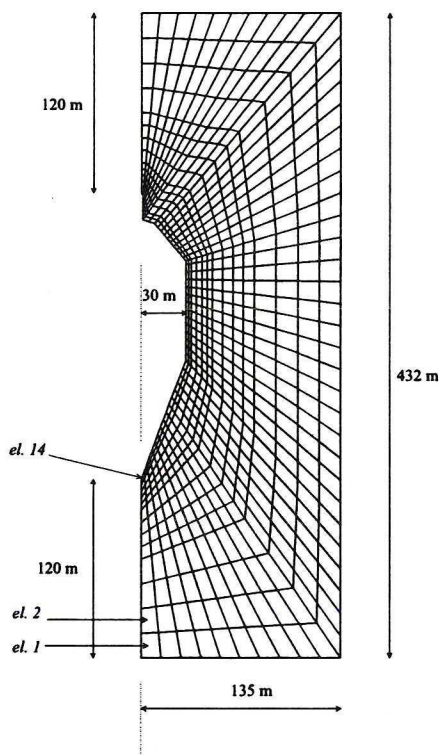
Jako równanie konstytutywne dla soli kamiennej, przyjęto prawo Nortona opisujące szybkość pełzania stacjonarnego:

$$\dot{\varepsilon}_{ef}^{re} = A e^{-\frac{Q}{RT}} \sigma_{ef}^B \quad (3)$$

gdzie:

- $\dot{\varepsilon}_{ef}^{re}$  — szybkość odkształceń efektywnych pełzania [1/d],
- $\sigma_{ef}$  — naprężenie efektywne (intensywność naprężeń) [MPa],
- $Q$  — wolna energia aktywacji [ $J \cdot mol^{-1}$ ],
- $R$  — stała gazowa —  $8,3144 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ,
- $T$  — temperatura (w skali bezwzględnej) [K],
- $A, B$  — stałe empiryczne.

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych prób soli kamiennej ze strefy lokalizacji komory, a mianowicie: 8 testów pełzania jednoosiowego w temperaturze pokojowej, przy



Rys. 2. Górótwór w otoczeniu komory objęty modelem i jego podział na elementy

Fig. 2. Rock salt massif surrounding the cavern, within the model limits and its meshing

naprężeniach efektywnych w przedziale 8—10 MPa oraz 11 testów trójosiowych, w tym 5 dla temperatury 60°C, przy naprężeniach efektywnych w przedziale 10—17,5 MPa, dopasowano następujące wartości parametrów prawa pełzania (stosując metodykę opisaną w pracach Ślizowski, Kasprzyk 1994 i Ślizowski 2001b):

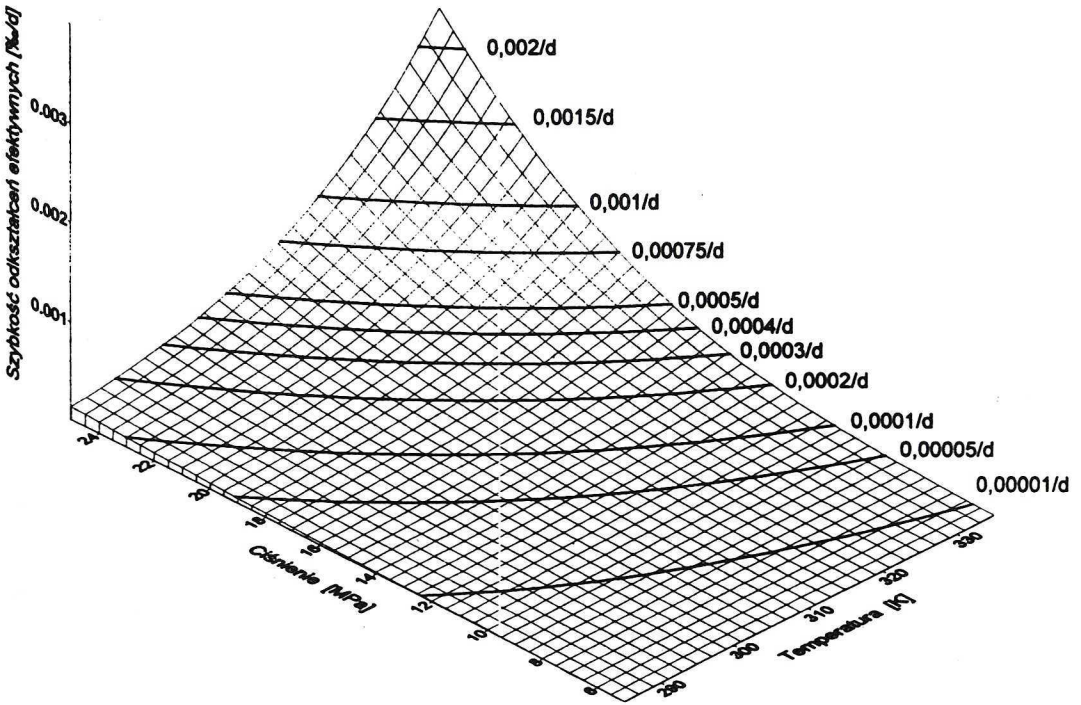
$$A = 0,1541 \text{ MPa}^{-3,7} \text{d}^{-1}$$

$$B = 3,7$$

$$Q/R = 5400 \text{ K}$$

Zależność szybkości pełzania od efektywnego naprężenia i temperatury, przy dopasowanych współczynnikach prawa Nortona, ilustruje rysunek 3.

Używana w obliczeniach numerycznych jednostka szybkości odkształceń pełzania [1/d] powoduje, że uzyskane wartości są bardzo małe. W dalszych rozważaniach dotyczących szybkości konwergencji będzie używana wygodniejsza jednostka [%/rok], nawet w przypadku szybkości chwilowej.



Rys. 3. Szybkość pełzania soli przy dopasowanych współczynnikach prawa Nortona

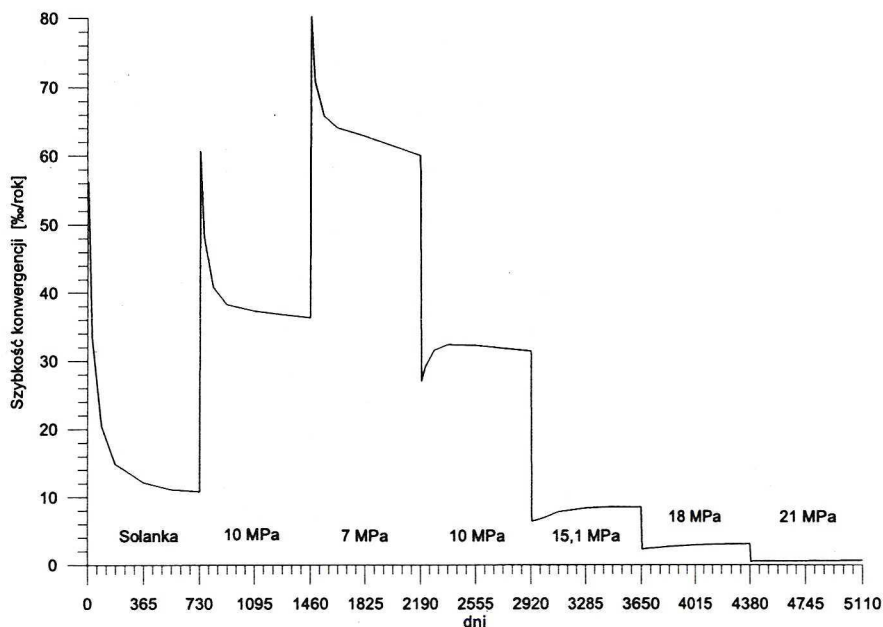
Fig. 3. Creep rate with fitted coefficients of Norton law

### 3. Wstępne modelowanie dla metody przybliżonej

Zakres obliczeń obejmował (por. Ślizowski 2001a) wyznaczenie stanu deformacyjno-naprężeniowego dla pięciu wartości ciśnienia wewnętrznego w komorze. Najpierw wyznaczono rozwiązanie dla komory wypełnionej solanką, co w rozważanym przypadku oznacza, że ciśnienie w stopnie komory wyniosło 13,9 MPa, a w spągu 16,2 MPa. Następnie symulowano proces dwukrotnego zmniejszenia ciśnienia wewnętrznego, odpowiednio do wartości 10 i 7 MPa. W dalszej kolejności symulowano wzrost ciśnienia, kolejno do wartości 10 MPa, 15,1 MPa (średnie ciśnienie solanki), 18 i 21 MPa, która to wartość odpowiada ciśnieniu maksymalnemu wynikającemu z warunku szczelinowania. W sumie więc proces symulacyjny składał się z siedmiu etapów, których łączny czas wynosił 5110 dni.

Szybkość konwergencji względnej otrzymaną w tych obliczeniach przedstawia rysunek 4.

Wartości szybkości konwergencji względnej uzyskane na końcu poszczególnych etapów zawiera tabela 1.



Rys. 4. Szybkość konwergencji względnej otrzymana z obliczeń dla metody przybliżonej. Nad osią czasu opisano ciśnienia gazu wewnątrz komory podczas poszczególnych etapów obciążenia

Fig. 4. Rate of relative cavern convergence obtained using the approximate method. Internal cavern pressures are placed above the time axis

TABELA 1

Szybkości konwergencji komory na końcu etapów obciążenia

TABLE 1

Rate of cavern convergence at the end of loading stages

| Numer etapu | Ciśnienie w komorze [MPa] | Szybkość konwergencji [%/rok] |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1           | solanka                   | 10,82                         |
| 2           | 10                        | 36,30                         |
| 3           | 7                         | 59,95                         |
| 4           | 10                        | 31,39                         |
| 5           | 15,1                      | 8,56                          |
| 6           | 18                        | 3,12                          |
| 7           | 21                        | 0,68                          |

Dopasowane metodą najmniejszych kwadratów współczynniki wzoru (1) są następujące:

$$a = 731,06,$$

$$b = -0,30924.$$

#### 4. Rozpatrywane scenariusze eksploatacji komory

Rozpatrzono klasę scenariuszy dotyczącą pracy komory w charakterze magazynu sezonowego. Założono, że w ciągu roku odbywa się jedno napełnienie komory i jedno opróżnienie, po napełnieniu komora znajduje się pod ciśnieniem maksymalnym, po opróżnieniu — pod minimalnym. Założono również, że napełnianie i opróżnianie odbywa się z jednostajną zmianą ciśnienia.

Przy tych założeniach, wykonanie całki (2) prowadzi do następującego wzoru:

$$\bar{x} = x(p_{\min})\Delta t_{\min} + x(p_{\max})\Delta t_{\max} + \frac{x(p_{\max}) - x(p_{\min})}{b(p_{\max} - p_{\min})} (\Delta t_{\text{nap}} + \Delta t_{\text{opr}}) \quad (4)$$

gdzie:

$$x(p_{\min}) = a \exp(b p_{\min}),$$

$$x(p_{\max}) = a \exp(b p_{\max}),$$

a, b — współczynniki ze wzoru (1),

$p_{\min}$  — ciśnienie po opróżnieniu komory do minimum,

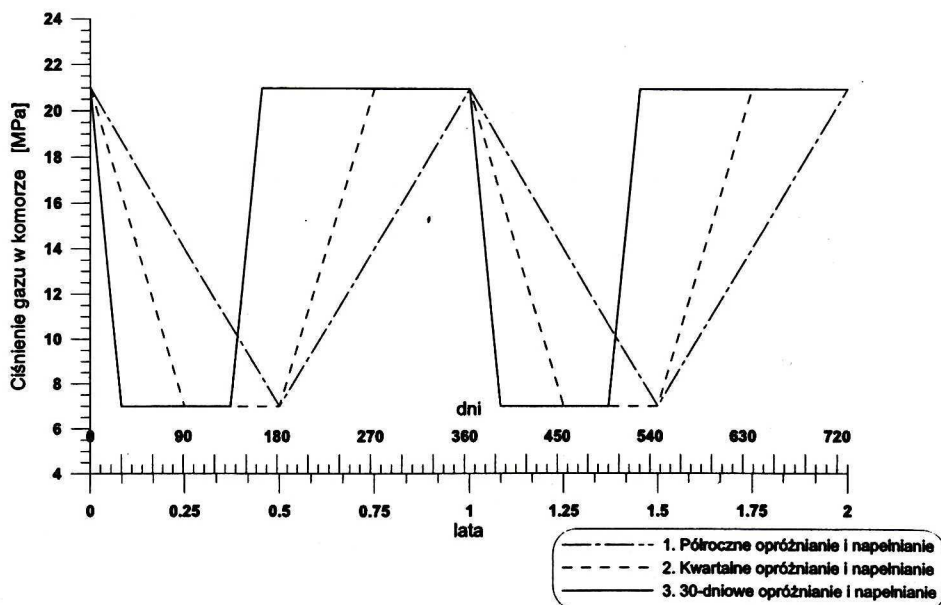
$p_{\max}$  — ciśnienie po napełnieniu komory do maximum,

$\Delta t_{\min}$  — czas postoju komory napełnionej,

$\Delta t_{\max}$  — czas postoju komory opróżnionej,

$\Delta t_{\text{nap}}$  — czas napełniania,

$\Delta t_{\text{opr}}$  — czas opróżniania.



Rys. 5. Zmiany ciśnienia wewnątrz komory podczas rozpatrywanych scenariuszy eksploatacji

Fig. 5. Changes of internal cavern pressure during regarded scenarios of cavern exploitation



Do celów obliczeniowych przyjęto trzy scenariusze eksploatacji komory:

1. Półroczne opróżnianie i półroczne napełnianie.
2. Kwartalne napełnianie, kwartalne opróżnianie i kwartalne postoje napełnionej i opróżnionej komory.
3. Miesięczne napełnianie i opróżnianie, okres pod niskim ciśnieniem blisko połowę krótszy niż pod wysokim ciśnieniem.

Zmiany ciśnienia gazu w komorze w trakcie 2 lat pracy według rozpatrywanych scenariuszy przedstawia rysunek 5.

Scenariusze 1 i 2 mają znaczenie raczej teoretyczne, scenariusz 3 natomiast przypomina rzeczywistą eksploatację komory, pracującej jako magazyn sezonowy.

## 5. Porównanie metod prognozowania konwergencji

### 5.1. Metoda przybliżona

Dla rozpatrywanych scenariuszy wzór (4) prowadzi do wartości konwergencji przedstawionych w tabeli 2.

TABELA 2

Rozpatrywane scenariusze i prognoza średniorocznej konwergencji metodą przybliżoną

TABLE 2

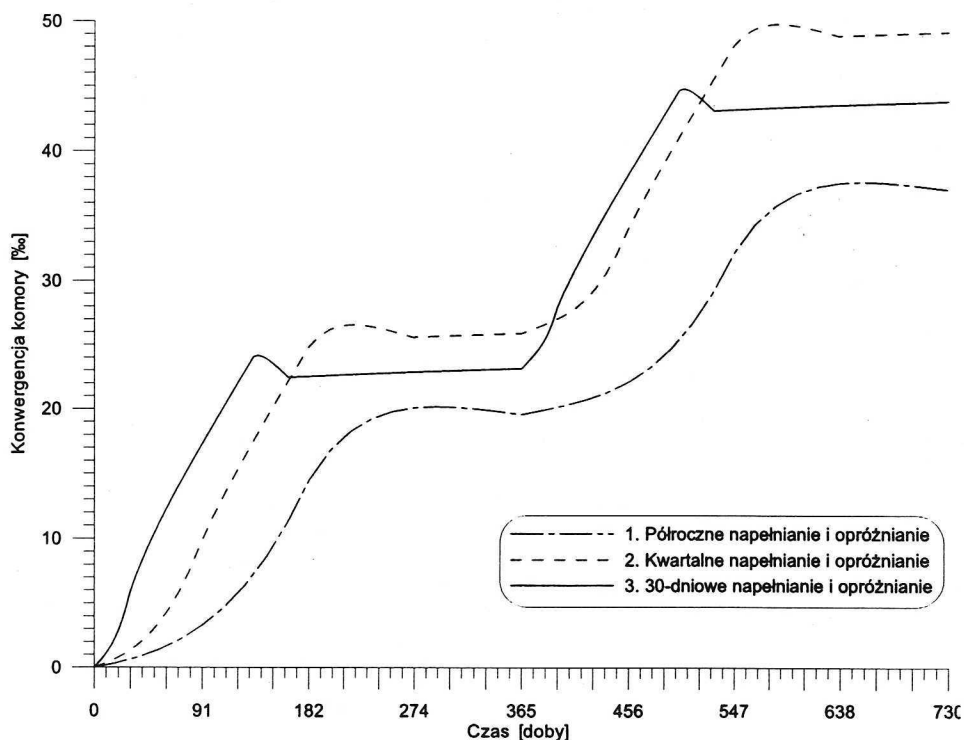
Regarded scenarios and prediction of mean yearly convergences using the approximate method

| Wyszczególnienie           | Jednostka | Scenariusz |       |        |
|----------------------------|-----------|------------|-------|--------|
|                            |           | 1          | 2     | 3      |
| $\Delta t_{opr}$           | lata      | 0,5        | 0,25  | 0,0822 |
|                            | dni       | 182,5      | 91,25 | 30     |
| $\Delta t_{min}$           | lata      | 0          | 0,25  | 0,2877 |
|                            | dni       | 0          | 91,25 | 105    |
| $\Delta t_{nap}$           | lata      | 0,5        | 0,25  | 0,0822 |
|                            | dni       | 182,5      | 91,25 | 30     |
| $\Delta t_{max}$           | lata      | 0          | 0,25  | 0,5479 |
|                            | dni       | 0          | 91,25 | 200    |
| Średnioroczna konwergencja | %/rok     | 19,13      | 30,82 | 27,89  |

### 5.2. Bezpośrednia symulacja scenariuszy

Punktem wyjścia do obliczeń był stan naprężeń uzyskany na końcu obliczeń wstępnych, czyli dla ciśnienia gazu 21 MPa.

W efekcie zamodelowania scenariuszy otrzymano konwergencję względną przedstawioną na rysunku 6 oraz szybkość konwergencji przedstawioną na rysunku 7.



Rys. 6. Konwergencja względna komory podczas dwuletniej jej eksploatacji dla trzech rozpatrywanych scenariuszy

Fig. 6. Relative cavern convergence during two years of exploitation according to the three regarded scenarios

Średnioroczne szybkości konwergencji względnej uzyskane w trakcie symulacji czterech lat pracy komory według rozpatrywanych scenariuszy dało rezultaty przedstawione w tabeli 3.

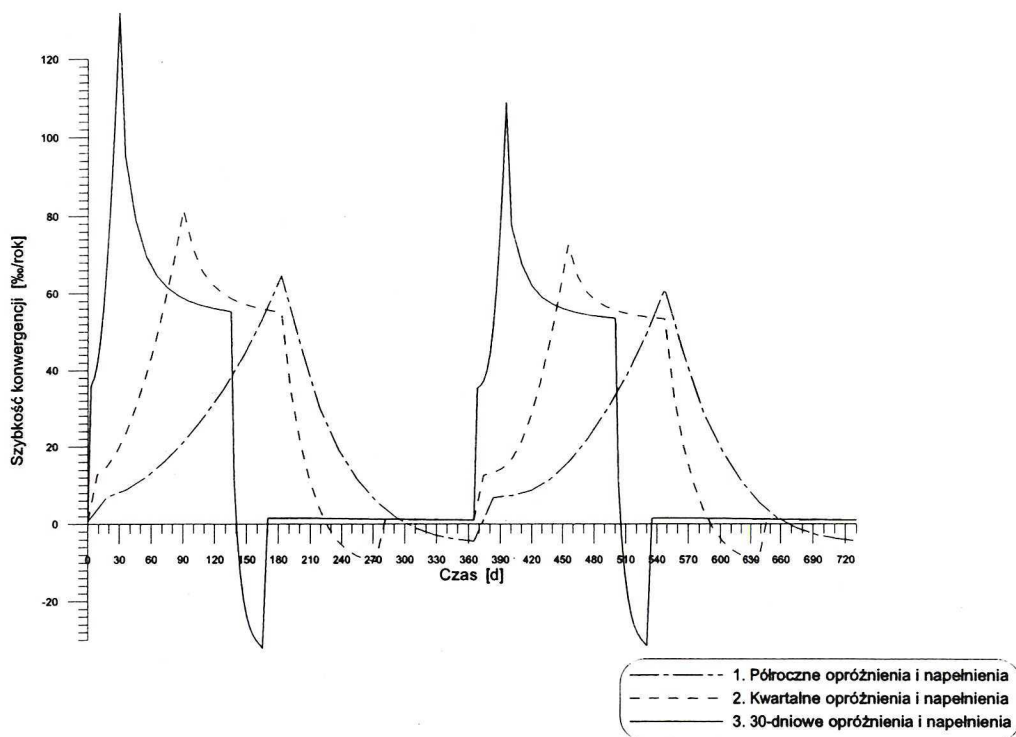
TABELA 3

Porównanie konwergencji według przybliżonej metody i według symulacji scenariuszy

TABLE 3

Comparison of convergences determined using the approximate method and using scenario simulation

| Wyszczególnienie | Scenariusz |       |       |
|------------------|------------|-------|-------|
|                  | 1          | 2     | 3     |
| metoda przybl.   | 19,13      | 30,82 | 27,89 |
| symulacja 1 rok  | 19,56      | 25,89 | 23,15 |
| symulacja 2 rok  | 17,45      | 23,23 | 20,62 |
| symulacja 3 rok  | 17,14      | 22,70 | 20,19 |
| symulacja 4 rok  | 16,84      | 22,17 | 19,78 |



Rys. 7. Szybkość konwergencji względnej komory podczas dwuletniej pracy według rozpatrywanych scenariuszy

Fig. 7. Rate of relative cavern convergence during two years

Widoczny jest spadek szybkości konwergencji w czasie, pomimo przyjęcia stacjonarnego prawa pełzania. W przypadku uwzględnienia pełzania pierwotnego, którego prędkość maleje w czasie, spadek ten byłby jeszcze większy. Efekt ten jest znany specjalistom, dlatego też w literaturze zaleca się, by w pierwszych latach eksploatacji komory nie schodzić do minimalnego ciśnienia, przewidzianego docelowo w komorze (Fernandez, Guarascio 1998).

Biorąc pod uwagę wszelkie przybliżenia, jakimi obarczone jest prognozowanie przy użyciu metody elementów skończonych (np. przy obrotowej symetrii nie jest możliwe odwzorowanie zróżnicowania własności wysadu solnego), metoda przybliżona daje oszacowanie wystarczające z punktu widzenia dokładności inżynierskiej.

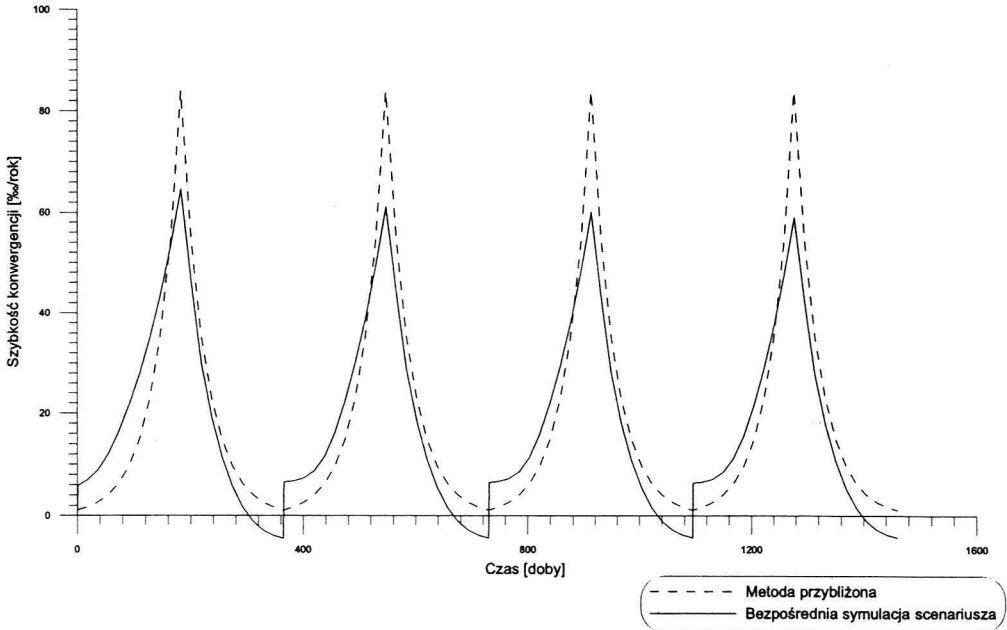
Należy jednak zastrzec się, że modelowanie scenariuszy przeprowadzono na komorze mającej już parunastoletnią historię, tzn. przyjmując jako początkowy stan naprężeń uzyskany po obliczeniach wstępnych. Gdyby założyć, że komora została wykonana w ciągu 2 lat i natychmiast rozpoczęto jej eksploatację, otrzymamy szybkości konwergencji wyższe średnio o 4–5 promili na rok.

Istnieje również efekt odwrotny, tzn. zmniejszający szybkość konwergencji, związany z faktem, że górotwór w otoczeniu komory jest wychłodzony (Kunzman i in. 1992). Ostateczna wypadkowa szybkości konwergencji zależy również od lokalnych warunków, takich

jak klimat i temperatura wody użytej do ługowania oraz głębokość komory i lokalna temperatura *in situ*.

Interesujące jest również, jak przedstawia się chwilowa szybkość konwergencji w przybliżonej metodzie oraz według dokładnej symulacji scenariusza.

Ilustruje to rysunek 8.



Rys. 8. Szybkość konwergencji względnej dla eksploatacji czteroletniej według scenariusza 1

Fig. 8. Rate of relative convergence during four years of exploitation according to the scenario I

Zwraca uwagę, że przy dokładnej symulacji scenariusza, w trakcie napełniania komory gazem, pod koniec napełniania szybkość konwergencji staje się ujemna, tzn. objętość komory przyrasta. Jest to efekt reakcji sprężystej. Jeszcze bardziej efekt ten zaznacza się podczas szybkiego napełniania, kiedy to reakcja sprężysta jest natychmiastowa, a pełzanie zostaje praktycznie powstrzymane. W rzeczywistości reakcja sprężysta nie jest natychmiastowa, ma pewien czas rozchodzenia się, jednak ten czas jest stosunkowo krótki w porównaniu z rozpatrywanymi przedziałami czasowymi.

### Uwagi końcowe

Uzyskane rezultaty wykazują stosunkowo niewielkie różnice pomiędzy rozpatrywanymi scenariuszami w konwergencji średniorocznej, przy bardzo dużych różnicach wartości konwergencji chwilowej.

W przypadku pierwszego scenariusza eksploatacji obie metody prognozowania dają zbliżone rezultaty. W dwóch pozostałych metoda przybliżona zawyża szybkość konwergencji.

Powyższe przykłady nie są jednak wystarczające do wyciągnięcia ostatecznych wniosków dotyczących wpływu scenariusza eksploatacji komory na wartość konwergencji średniorocznej.

W pierwszej kolejności należy przeprowadzić obliczenia dla soli kamiennej o innych współczynniku B w prawie pełzania Nortona oraz różnymi wartościami ciśnienia minimalnego, dopuszczalnymi z punktu widzenia wytrzymałości.

W dalszej kolejności należy rozpatrzyć formuły pełzania uwzględniające oprócz pełzania stacjonarnego pełzanie pierwotne. W takim przypadku przydatność metody przybliżonej jest w znacznym stopniu ograniczona, gdyż spadek szybkości konwergencji w kolejnych latach będzie większy niż w przypadku uwzględniania wyłącznie pełzania stacjonarnego.

Publikacja opracowana w ramach tematu badawczego Nr 5 T12B 043 22 finansowanego ze środków KBN.

#### LITERATURA

- Fernandez G., Guarascio M., 1998 — Cavern design, safety and environmental adequacy. [In:] Guidelines for safety assesment of salt caverns. Technical Class of Fall SMRI Meeting, Rome.
- Kunstman A., Poborska-Młynarska K., Urbańczyk K., 2002 — Zarys otworowego ługownictwa solnego — aktualne kierunki rozwoju. Wyd. AGH, Kraków.
- Ślizowski J., 2001a — Prognoza konwergencji komory magazynowej gazu ziemnego w wysadzie solnym. Gosp. Sur. Min. 11, 107—116.
- Ślizowski J., 2001b — Badanie własności reologicznych soli kamiennej przy projektowaniu komór magazynowych gazu ziemnego w górotworze solnym. Przegl. Górn. 56, z. 5.
- Ślizowski J., Kasprzyk W., 1994 — Wpływ temperatury na własności soli kamiennej. Przegl. Górn. 50, z. 10, 49—51.
- Ślizowski J., Urbańczyk K., 1993 — Wpływ kształtu komory magazynowej gazu ziemnego w złożu soli kamiennej na jej wybrane parametry geomechaniczne. Prace Komisji Górnictwo-Geodezyjnej. Górnictwo 30, 87—96.
- Ślizowski J., Urbańczyk K., Walaszczyk J., 1990 — Programy metody elementów skończonych do określania stanu wyciężenia górotworu w sąsiedztwie komór solnych. Mechanika i komputer t. 8, 101—110, PAN IPPT, Warszawa.

**PREDICTING THE RELATIVE CONVERGENCE OF NATURAL GAS STORAGE CAVERN APPLYING UPDATED MODEL OF SALT ROCK MASSIF****Key words**

Convergence of salt cavern, numerical model, underground gas storage

**Abstract**

Problem of predicting the convergence of salt cavern working as natural gas storage is discussed from the theoretical point of view. Two methods of predicting the average annual convergence are compared on a real example of storage cavern. The first is approximate method consisting in extrapolation of stationary convergences calculated for few selected values of natural gas pressure inside the cavern. The second method consists in direct simulation of loading scenario. Calculations were performed for three simple scenarios. Predictions of approximate method are obtained and compared with direct scenario simulations for few-years periods of cavern exploitation. It was possible due to updating of the programs modelling rock massif behaviour by adding the procedures for simulation of multiple-stage loading scenario. Difference between discussed two methods are not big. Differences between average annual convergences for three discussed scenarios are not big also, while local rates of relative convergence significantly vary each other.

The results are obtained basing on stationary creeping law with real coefficients. Primary creeping should be included into consideration in the future.