



Dwa czynniki ograniczające żywotność kavern magazynujących media ciekłe

Two factors limiting the lifetime of the caverns storing liquid media

Kazimierz URBAŃCZYK

ul. Kanadyjska 34, 32-087 Zielonki e-mail: kazeku@poczta.onet.pl

STRESZCZENIE

Dwa czynniki limitują żywotność kavern magazynowych – przyrost średnicy po każdym cyklu operacyjnym i podniesienie się poziomu części nierozpuszczalnych w rżapiu kawerny. Zilustrowane jest to odpowiednim przykładem. Który z czynników odegra większą rolę decyduje wysokość kawerny i udział części nierozpuszczalnych.

Słowa kluczowe: kawerna solna, magazynowanie ciekłych produktów, żywotność kavern.

ABSTRACT

Lifetime of the caverns storing liquid media is limited by two factors: increase of the cavern diameter after every operation cycle and moving up the level of the sump filled with insolubles. An appropriate example presents the matter. Insoluble content in rock salt and height of the cavern determine which factor is more important.

Key words: salt cavern, storage of liquid products, lifetime of storage caverns.

WSTĘP

Górnictwo aspekty magazynowania ciekłych mediów w kavernach solnych były już prezentowane na sympozjach Quo Vadis Sal. W pracy (Kunzman i in., 2009) można znaleźć omówienie najistotniejszych kwestii związanych z magazynowaniem ciekłych mediów w kavernach solnych. Wspom-

niowano tam, że można do wytłaczania magazynowanego produktu używać wody słodkiej lub morskiej, a wytłaczaną solankę zrzucić do morza, lub głębokich warstw podziemnych, ale że przy takich operacjach szybko przyrastają rozmiary kawerny i liczba cykli operacyjnych jest bardzo ograniczona. W pracy Kunstmana i Urbańczyka (2008) szczegółowiej analizowano przyrosty rozmiarów kawerny podczas takich cykli i rozważano przy jakim kształcie kawerny oraz scenariuszu operacji magazynowych, przyrost rozmiarów jest najmniejszy.

Jednak jeśli kawerny magazynowe wykonane są w pokładzie solnym ograniczonej miąższości, a udział części nierozpuszczalnych jest rzędu kilku procent, może się zdarzyć, że nie przyrost rozmiarów kawerny, ale wzrost objętości zasypu i podniesienie się jego poziomu będzie ograniczać liczbę możliwych do wykonania cykli operacyjnych czyli żywotność kawerny.

Dla ilustracji posłużono się kawerną i scenariuszem podobnym, jak przypadek 3 we wspomnianej pracy (Kunzman, Urbańczyk, 2008). Porównano trzy przypadki, różniące się wysokością kawerny i udziałem części nierozpuszczalnych. Zestawiono to w tabeli 1. Początkowe kształty kawerny przedstawia ryc. 1. Po lewej jest przypadek 1, w środku przypadek 2, po prawej – 3.

Zamodelowano dla każdego z przypadków 10 cykli operacyjnych napełniania kawerny i opróżniania słodką wodą. Cykl operacyjny przedstawia tabela 2. Zarówno wydajność napełniania jak i opróżniania wynosiła 250 m³/h. Napełnianie i opróżnianie w przypadku 3. trwa dłużej z uwagi na większą wysokość, a więc i objętość kawerny.

Tabela 1. Porównywane przypadki kaverny magazynowej.**Table 1.** Compared cases of the storage cavern

Przypadek Case	1	2	3
Głębokość stropu soli [m p.p.t.] Depth of salt bed top [m b.g.l.]	800	800	780
Głębokość spągu soli [m p.p.t.] Depth of salt bed bottom [m b.g.l.]	1000	1000	1000
Miaższość pokładu soli [m] Thickness of the salt bed [m]	200	200	220
Udział części nierozpuszczalnych Content of insolubles	2,5%	5,0%	5,0%
But kolumny eksploatacyjnej [m p.p.t.] Shoe depth of production casing [m b.g.l.]	835	835	835
Górny poziom strefy magazynowej [m n.p.m.] Top of the storage zone [m b.g.l.]	880	880	860
But rury solankowej [m p.p.t.] Shoe depth of brine pipe [m b.g.l.]	960	960	960
Początkowy poziom zasypu [m p.p.t.] Initial sump level [m b.g.l.]	971	971	971
Zasypany spąg kaverny [m p.p.t.] Cavern bottom under the sump [m b.g.l.]	990	990	990
Wysokość kaverny bez szyi i zasypu [m] Cavern height (without neck and sump) [m]	117	117	137
Maksymalna średnica [m] Maximum diameter [m]	57,2	57,2	57,2
Objętość magazynowanego medium [tys.m ³] Volume of the stored medium [10 ³ m ³]	132	132	180

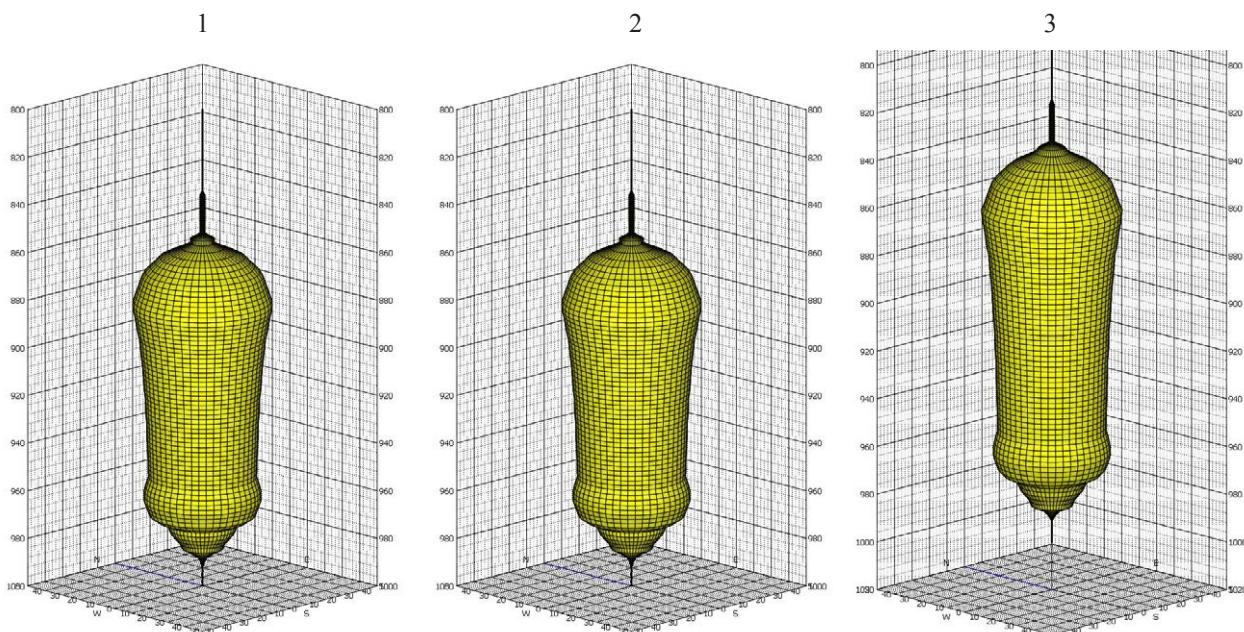
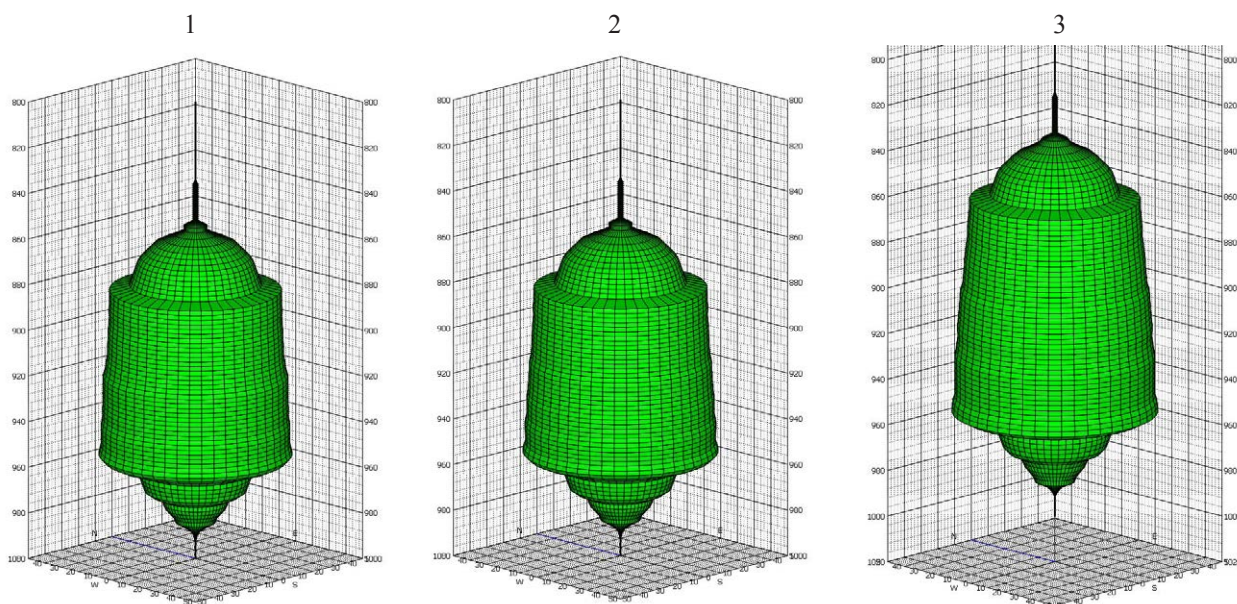
**Ryc. 1.** Początkowy kształt kaverny magazynowej przed rozpoczęciem operacji**Fig. 1.** Initial shape of the storage cavern before the start of operation

Tabela 2. Cykl operacyjny
Table 2. Operational cycle

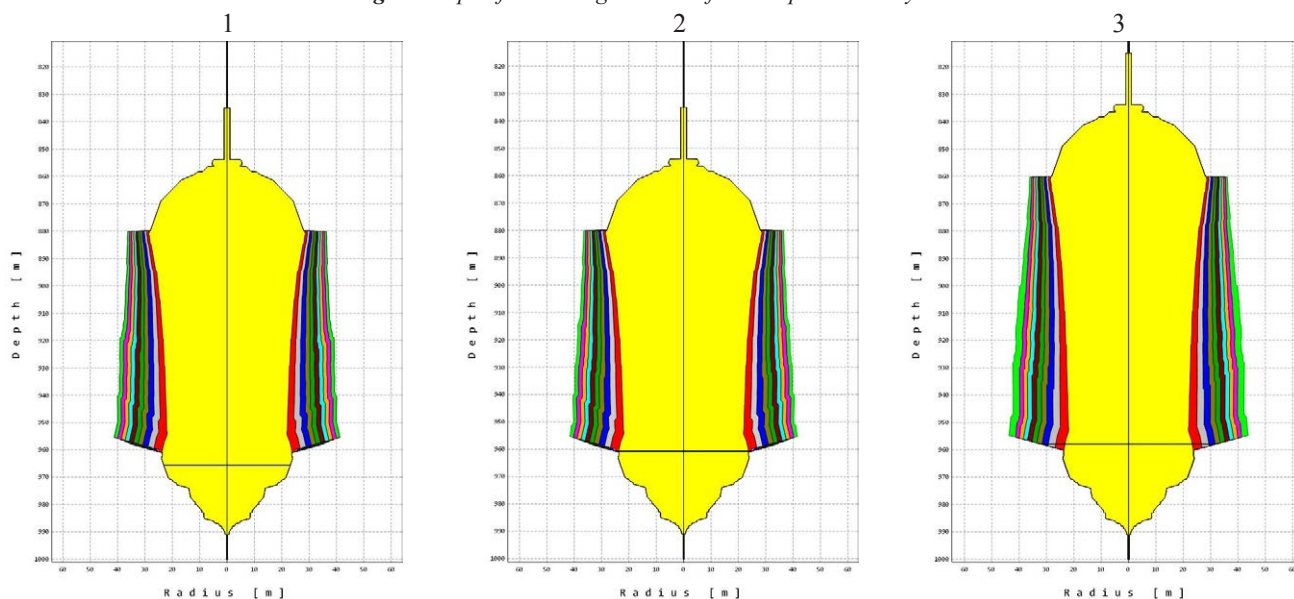
Przypadek <i>Case</i>	1, 2	3
	Dni Days	Dni Days
Napełnianie <i>Filling-in</i>	22	28,5
Postój <i>Standstill</i>	160	153,5
Opróżnianie <i>Withdrawal</i>	22	28,5
Postój <i>Standstill</i>	161	154,5
	365	365

Zamodelowano dla każdego z przypadków 10 cykli operacyjnych napełniania kawerny i opróżniania słodką wodą. Cykl operacyjny przedstawia tabela 2. Zarówno wydajność napełniania jak i opróżniania wynosiła 250 m³/h. Napełnianie i opróżnianie w przypadku 3 trwa dłużej z uwagi na większą wysokość, a więc i objętość kawerny.

Widok kawerny po wykonaniu 10 cykli operacyjnych przedstawia ryc. 2. Podobnie jak poprzednio lewej jest przypadek 1, w środku – 2, po prawej – 3. Na ryc. 3 przedstawiono z kolei, jak przyrastały rozmiary kawern po kolejnych cyklach. Czarna linia oznacza poziom zasypu. Widać, że tylko w przypadku 1 części nierozpuszczalne nie sprawiają problemu. W przypadku 2 w cyklu 10, poziom zasypu znalazł się niebezpiecznie blisko buta rury solankowej, zaś w przypadku 3 jest powyżej tego buta.



Ryc. 2. Kształt kawerny magazynowej po 10 cyklach operacyjnych
Fig. 2. Shape of the storage cavern after 10 operational cycles



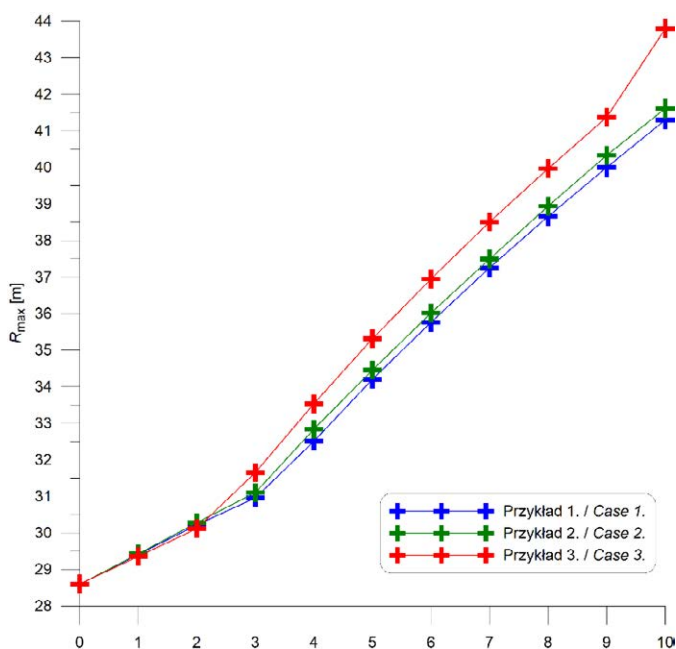
Ryc. 3. Przyrost rozmiarów kawerny podczas 10 cykli napełniania i wytlaczania słodką wodą
Fig. 3. Increase of the cavern size during 10 cycles of filling and emptying

Liczbowo zmiany parametrów kawern zawiera tabela 3. Zmiany maksymalnej średnicy oraz poziomu zasypu przedstawiają również graficznie ryc. 4 i ryc. 5. Widać, że w przypadku 3, co najmniej trzy ostatnie cykle wymagają podniesie-

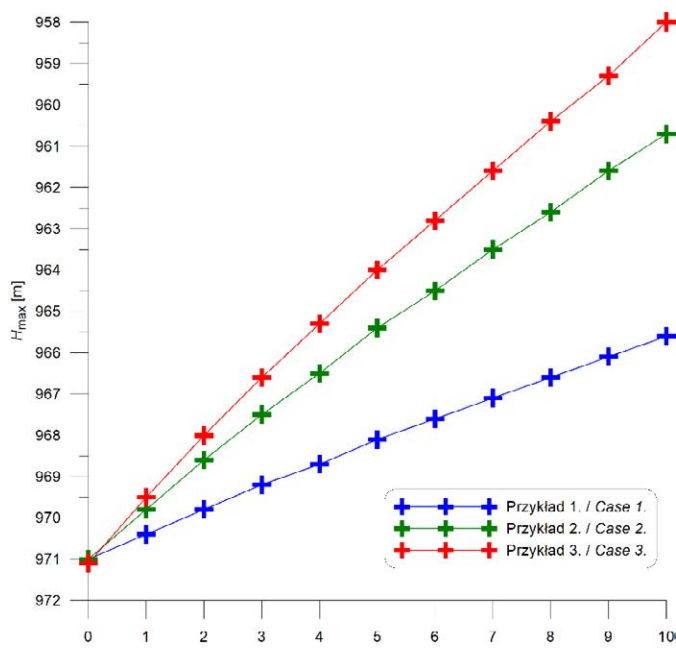
nia buta kolumny solankowej. Widać też, że rola części nierozpuszczalnych jest tym większa, im większy jest ich udział w skale solnej oraz im kawerna jest wyższa.

Tabela 3. Zmiany parametrów kawerny podczas kolejnych cykli operacyjnych
Table 3. Changes of the cavern parameters during successive operation cycles

Cykl operacyjny <i>Operation cycle</i>	Maksymalna średnica <i>Maximum diameter</i> [m]			Poziom zasypu <i>Sump level</i> [m p.p.t.]			Lustro solanka-produkt <i>Brine-product surface</i> [m p.p.t.]		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	58,8	58,9	58,7	970,4	969,8	969,5	950,8	950,8	952,4
2	60,5	60,6	60,2	969,8	968,6	968,0	941,3	941,1	939,0
3	61,9	62,2	63,3	969,2	967,5	966,6	934,4	934,0	930,1
4	65,0	65,7	67,1	968,7	966,5	965,3	929,1	929,0	923,4
5	68,4	68,9	70,6	968,1	965,4	964,0	924,9	925,0	917,9
6	71,5	72,0	73,9	967,6	964,5	962,8	921,7	921,4	913,5
7	74,5	75,0	77,0	967,1	963,5	961,6	918,9	918,4	909,7
8	77,3	77,9	79,9	966,6	962,6	960,4	916,6	915,9	906,5
9	80,0	80,7	82,8	966,1	961,6	959,3	914,5	914,0	903,8
10	82,6	83,2	87,6	965,6	960,7	958,0	912,6	912,3	900,8



Ryc. 4. Przyrosty maksymalnego promienia kawerny po kolejnych cyklach operacyjnych
Fig. 4. Increase of the maximum cavern radius after successive operational cycles



Ryc. 5. Przyrosty poziomu zasypu w kawernie po kolejnych cyklach operacyjnych
Fig. 5. Increase of the cavern sump level after successive operational cycles

Załamanie, jakie widać na ryc. 4, wiąże się z tym, że początkowo maksymalny promień kawerny znajdował się w jej górnej części. W pewnym momencie, gdy dolna część kawerny powiększała się szybciej niż górna, promień w dolnej części przerósł promień w górnej. Warto również zwrócić uwagę, że w ciągu 161 dni solanka się dosyca powyżej stężenia przemysłowego, ale wciąż nieco poniżej chemicznego nasycenia. Tym bardziej w ciągu 154 i pół dnia. Z tego powodu linie na ryc. 5 nie są idealnymi prostymi, ale są nieco wklęsłe (patrz z dołu).

Gdyby kawernę opróżniać nie wodą słodką a półsolanką, czy solanką o nasyceniu przemysłowym, te same efekty wystąpią, tyle, że po wielokrotnie większej liczbie cykli.

Podany powyżej przykład wystarczająco ilustruje tezę, że dwa czynniki limitują żywotność kawern magazynujących ciekłe media: przyrost średnicy i podnoszenie się zasypu.

SUMMARY

Lifetime of the caverns storing liquid media is limited by two factors: increase of the cavern diameter after every operational cycle and moving up the level of the sump filled with insolubles. Three cases are used as an example. Their parameters are summarized in Table 1. The initial cavern shapes are shown in Fig. 1 the case 1 on the left, the case 2 in the middle, the case 3 on the right. 10 operational cycles of filling the cavern and emptying it using fresh water were modeled

for each case. The operational cycle parameters are shown in Table 2. Both filling and withdrawal rate were 250 m³/h. The cavern views after 10 operational cycles are shown in Fig. 2. In Fig. 3 increase of the cavern size during successive 10 cycles of filling and emptying is visible. The black line indicates the level of insolubles in the cavern sump. Calculated changes of the cavern parameters are contained in Table 3, Fig. 4 and Fig. 5 present graphically how the maximum cavern diameter and the level of insolubles increase after successive operational cycles.

It can be seen that in case 2, the level of insolubles in 10th cycle is dangerously close to the brine string shoe. In case 3, at least the last three cycles require moving up the brine string shoe. It can be also seen that the role of insolubles is all the greater, the higher their content in the rock salt and the higher the cavern volume.

LITERATURA/REFERENCES

- KUNSTMAN A., URBAŃCZYK K., 2008. Designing of the Storage Cavern for Liquid Products Anticipating Its Size and Shape Changes during Withdrawal Operations with Use of Unsaturated Brine. SMRI Fall 2008 Conference, Porto, Portugal, April 2008. Prezentowany również na XIV Quo Vadis Sal w Kłodawie, w 2008 roku.
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2009. Geologiczne i górnicze aspekty budowy magazynowych kawern solnych. *Prz. Geol.* 57(2009) Nr9, 812-818