

RYSZARD SKAWIŃSKI\*

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS CONCERNING THE COMPATIBILITY OF CERTAIN BRINES AND ROCKS

### DOŚWIADCZALNE BADANIA KOMPATYBILNOŚCI NIEKTÓRYCH SOLANEK I SKAŁ

In sedimentary rocks with a porous structure which is filled by water or water based solutions there exists a physico-chemical equilibrium state in regard of a system composed of water solutions and minerals (mainly clay minerals) which constitute active rock components. The equilibrium is represented by the stability of the amount of water sorbed by the rock components, i.e. the stability of internal rock swelling. Any variation of the composition of the solution contained in the pore system creates an instability of the equilibrium state and results in the swelling or shrinkage of the rock mass. Such internal swelling or shrinkage of the rock is characterised by a variation of the pore dimensions and it may be observed as a variation of the permeability during the flow of fluid in the rock-mass. The paper presents the results of experimental investigations of the permeability variations in the rock implied by the replacement of liquids contained in the rock pore system by other liquids. It was recorded that the replacement of the "native" brine filling the rock pores by brines of different composition may result in the variation of rock permeability of as much as two orders of magnitude. An attempt has been made to explain the recorded results from the standpoint of the physico-chemical interaction in the brine-rock system.

**Key words:** brine-rock interaction, rock physico-chemistry, rock permeability variations

Z kopalń węgla i kopalń innych surowców mineralnych podczas ich eksploatacji wydobywa się również, nieraz w ogromnej ilości, wody kopalniane, które są przeważnie solankami o różnym stężeniu zawartych w nich soli. Pozbycie się tych solanek, jako ubocznego produktu kopalni, stanowi poważny i trudny problem. Najczęściej stosowaną metodą pozbycia się tych solanek jest odprowadzenie ich do rzek. Ten sposób stwarza jednak duże niebezpieczeństwa dla gospodarki, przemysłu i przyrody, dlatego też poszukiwane są inne rozwiązania tego problemu. Jedną z takich metod jest wtłaczanie solanek do głębokich warstw wodo- lub solankonośnych w głębi ziemi. Warunkiem umożliwiającym stosowanie tej metody jest znalezienie warstw skalnych głęboko zalegających, aby uniemożliwić

---

\* INSTYTUT MECHANIKI GÓROTWORU, POLSKA AKADEMIA NAUK, UL.REYMONTA 27, 30-059 KRAKÓW, POLAND

kontakt solanek z powierzchnią ziemi, oraz o wystarczająco dużej przepuszczalności, aby uzyskać odpowiedni wydatek właczania. Następnym warunkiem, o którym czasem się zapomina, jest niezmiennosc przepuszczalności w przepływie właczanej solanki w wybranej warstwie geologicznej, czyli kompatybilność zrzucanej solanki z wybraną skałą.

Podczas wprowadzania solanki do skał suchych, zawadzionych lub zawierających już solankę pierwotną można się spodziewać zmiany przepuszczalności w takich przepływach.

O zmianach przepuszczalności w przepływach wody lub solanek w niektórych skałach osadowych, np. w piaskach, piaskowcach, marglach itp. oraz w węglu, dawno już było wiadomo. W niektórych monografiach inżynierii złożowej można spotkać wzmianki na ten temat (Amyx 1960; Engelhardt 1960; Grim 1962; Mayer-Gurr 1976). Nieliczne są jednak prace poświęcone bliższemu omawianiu lub wyjaśnianiu tego zagadnienia.

Po wprowadzeniu solanki do skały suchej następuje oddziaływanie wody z aktywnymi składnikami skały, ich pęcznienie i zmniejszenie przepuszczalności. Po wprowadzeniu solanki do skały nasyconej już wodą lub solanką pierwotną następuje zmiana rodzajów i stężeń jonów w roztworze w porach, co wpływa na charakter i wielkość oddziaływania wody z aktywnymi składnikami skały i powoduje zwiększenie lub zmniejszenie ich stanu pęcznienia, co z kolei prowadzi do zmniejszenia lub zwiększenia przepuszczalności w tych przepływach (Skawiński 1986; Skawiński, Dyrka 1986; Skawiński et al. 1991).

W polskim przemyśle wydobywczym przykładem konieczności pozbycia się solanki kopalnianej jest kopalnia rudy miedzi w Rudnej. Kilka lat temu rozpoczęto rozważania i badania możliwości zrzutów solanki z tej kopalni do głębokich warstw geologicznych. Takie kompleksowe badania prowadzone były w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Siemek 1994, 1 i 2). Pewną część tych badań, sprawdzenie kompatybilności wybranych skał z solanką z kopalni Rudna przeprowadzono w Instytucie Mechaniki Górnotworu Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

Istotą wykonanych eksperymentalnych badań było prowadzenie przepływów solanki przeznaczonej do właczania w próbkach wybranych skał, do których projektowane było właczanie tej solanki. Podczas prowadzonych przepływów mierzona była przepuszczalność w celu znalezienia ewentualnych jej zmian w czasie.

W okolicach Borzęcina pod utworami górnego permu—cechsztynu na głębokości od około 1390 m do około 1450 m zalega seria wapienno-dolomitowa z ilastymi przewarstwieniami. Pod nią znajduje się seria łupkowa, grubości około 3 m, a jeszcze niżej seria szarych piaskowców o spoiwie wapnistym. Całość leży na utworach dolnego permu — czerwonym spągowcu. (Budowa Geologiczna Polski 1987)

Do tych serii projektowane były zrzuty solanki wydobywanej z kopalni Rudna (solanka Rudna). W seriach tych znajduje się rodzima solanka (solanka Borzęcin). Próbkę skał i próbki nasycającej je solanki rodzimej (solanka Borzęcin) pobrane zostały z omówionych utworów z kilku otworów badawczych (Borzęcin 21, 22, 25, 26). Do badań kompatybilności skał i solanek użyte zostały rdzenie wiertnicze z serii szarych piaskowców (Borzęcin 21 i Borzęcin 22) i z serii wapienno-dolomitowej (Borzęcin 25 i Borzęcin 26).

Z otrzymanych rdzeni wiertniczych z serii szarych piaskowców przygotowano zostały próbki skał do badań, nazwane Borzęcin 21 (1446–1455 m) i Borzęcin 22 (1441–1450 m), a z serii wapienno-dolomitowej próbki nazwane Borzęcin 25 (1431–1435 m) i Borzęcin 26 (1401–1405 m).

Oba użyte roztwory: solanka Rudna i solanka Borzęcin, różniły się stężeniem zawartych w nich soli. Solanka Rudna, o ogólnej zawartości różnych soli 14%, zawierała 12% chlorku sodu, 1,2% chlorków wapnia i magnezu i drobne ilości innych soli. Solanka Borzęcin natomiast, o ogólnej zawartości różnych soli 21%, zawierała 16,5% chlorku sodu, 4,1% chlorków wapnia i magnezu i drobne ilości innych soli.

Przepływ w przygotowanych próbkach prowadzony był pod ciśnieniem słupa roztworu wysokości 6,4 m. Wydatek przepływu oznaczany był wagowo w mierzonym czasie i wyliczany z uwzględnieniem odpowiedniej gęstości roztworu.

W przygotowanych próbkach skał (piaskowcach: Borzęcin 21 i 22 i dolomitach: Borzęcin 25 i 26) prowadzone były przede wszystkim przepływy solanki rodzimej (solanki Borzęcin) i następnie solanki właczanej (solanki Rudna). Prowadzone były również inne kombinacje przepływów

solanek oraz przepływy wody. Pomiary przepuszczalności prowadzone były aż do praktycznego jej ustalenia się.

Wyniki eksperymentów w postaci znalezionej przebiegu zmian przepuszczalności w czasie w prowadzonych przepływach zebrane są na ośmiu rysunkach. Każdy rysunek przedstawia zmiany przepuszczalności, wyrażonej jako stosunek aktualnej mierzonej przepuszczalności w przepływie wody lub solanki, do przepuszczalności standardowej,  $k/k_N$ . Przepuszczalność standardowa mierzona była w przepływie azotu w próbce suchej „as received”, przy różnicy ciśnienia 0,1 MPa (nadciśnienia) do ciśnienia atmosferycznego.

Rysunki przedstawiają zmiany przepuszczalności w czasie (wyrażonym w dniach) podczas badanych przepływów. W próbkach piaskowca, w przepływie wody lub solanek (Borzęcin i Rudna), przepuszczalność zmienia się niewiele. Przedstawione to jest na rysunkach 1, 2 i 3.

W próbkach dolomitu skała wykazuje dużą aktywność wobec wody i jonów w niej zawartych. W przepływie wody lub obcej solanki (Rudna) w próbce, po pierwszym nieznacznym zmniejszeniu się przepuszczalności w pierwszych kilku dniach przepływu, następują mniej szybkie zmiany przepuszczalności. Zmiany te wynikają z oddziaływania wody i solanek ze składnikami skały. Przedstawiają to rysunki 4, 5, 7.

Przepływ rodzimej solanki (Borzęcin) w początkowo suchych próbkach dolomitu nie powoduje znaczących zmian przepuszczalności. Skała w naturalnym stanie w złożu była w równowadze oddziaływania ze solanką rodzimą. Po pobraniu rdzenia ze złoża, jego wysuszeniu i ponownym nasyceniu solanką rodzimą, została odtworzona ta równowaga, a wraz z nią stan pęcznienia i przepuszczalność. Po zamianie w tych przepływach rodzimej solanki na obcą (Rudna) w pierwszych kilku dniach następuje szybki i duży (dziesięciokrotny) spadek przepuszczalności. Dalszy przepływ tej solanki powoduje dalszy spadek przepuszczalności, po 20 do 30 dniach nawet kilkudziesięciokrotny. Przedstawione to jest na rysunkach 6 i 8.

Każde obserwowane zachowanie się przepływu może być wyjaśnione fizyczno-chemicznymi zjawiskami zachodzącymi w układzie: wodny roztwór jonów i aktywne składniki skały (minerały iłowe obecne w skałe).

W przepływie wody i obcej solanki (solanki Rudna) w próbkach skał dolomitowych następuje znaczne zmniejszanie się przepuszczalności. Następuje to w wyniku zmniejszenia ogólnego stężenia soli i stężenia jonów wapnia i magnezu w porach skały. Solanka Rudna jest bowiem znacznie mniej stężona (14%), w porównaniu do rodzimej solanki Borzęcin (21%). To samo dotyczy oczywiście przepływów wody. Takie różnice w stężeniu jonów wystarczą do wywołania wzrostu wewnętrznego pęcznienia aktywnej skały, co powoduje duże (nawet kilkudziesięciokrotne) zmniejszenie się przepuszczalności w takich przepływach.

Opisane wyniki badań oddziaływania skały z przepływającym roztworem są przykładem konieczności poznania przebiegu i wielkości takiego oddziaływania w każdym przewidywanym przypadku zmiany przepływającego roztworu w skałe. Poznanie oddziaływania skały z przepływającym roztworem może być wykorzystane do zamierzonej zmiany przepuszczalności w przepływach w skałach.

**Słowa kluczowe:** oddziaływanie skała-solanka, chemia fizyczna skał, zmiany przepuszczalności w przepływach w skałach

## 1. Introduction

The process of mining coal, metal ores and other raw materials requires the pumping out of the huge amount of water contained in the rock mass. The pumped water is rarely pure and very often consists of brines of various salt concentrations. The removal of brines, which are an unwanted by-product of mining operations, constitutes a serious problem.



The method often applied to solve this problem is to discharge brines to rivers. This solution implies water pollution and damage to the natural river environment. Consequently, other ideas to solve the problem of brines are searched for.

One of the most attractive proposed solutions for this situation suggests that brines may be injected to subsurface aquifers, i.e. deeply located strata the porous system of which is filled by water or brine. Aquifers are isolated from the earth's surface by systems of non-permeable strata. The thickness and the permeability of the aquifer must be sufficiently great to achieve the required injection intensity. An additional requirement concerning the efficiency of the considered technique is the stability of permeability of a selected aquifer, i.e. the compatibility of the injected brine with the aquifer's constituent rock.

The Rudna Copper Mine located in the Lower Silesian region is an example of a mine from which the huge amount of brine must be pumped. Several years ago investigations concerning the injection of brine from Rudna to natural aquifers were initiated (cf. Siemek et al. 1994a, b), and the majority of investigations have been completed. The investigations concerning the compatibility of aquifer's rock with the Rudna brine were conducted in the Strata Mechanics Research Institute in Cracow.

## **2. Formulation of problem**

The introduction of brine to the dry rock, water-saturated rock or rock containing "native" brine may imply variability of the permeability in these flows.

Some time ago, information concerning the variability of the permeability of various sedimentary rocks, e.g. sands, sandstones, marls and coal was recorded.

Certain monographs in the field of petroleum reservoir engineering (e.g. Amyx et al. 1960; Engelhardt 1960; Grim 1962; Mayer-Gurr 1976) present some information concerning this matter. On the other hand, papers containing detailed discussions of the problem or analysing its mechanisms are rare.

After the injection of brine into dry rock an interaction between the brine and the active components of the rock is initiated. Consequently, rock swelling and the reduction of permeability in the rock may be observed.

The injection of brine into brine or water-containing rock implies a variation of the concentration of ions present in solution located in the rock pore system. The form and intensity of the brine-rock interaction depends on the kinds of ions and their concentration in the solution. These factors generally lead to a swelling or shrinkage of the rock's skeleton, and consequently to the increase or decrease of the permeability, resulting in fluid flow changes (cf. Skawiński 1996; Skawiński, Dyrka 1986; Skawiński et al. 1991).

Another mechanism causing variations in permeability is represented by the phenomenon known as colmatage, which may be encountered following the injection of brine containing suspended solid particles. A similar phenomenon may be caused by the precipitation of sediments produced as a result of mixing brines of different composition.

An interaction of clay minerals constituting the active components of sedimentary rocks with water occurs in all situations in which variations of dissolved ion concentrations in the water contained in the pore system take place. The phenomenological results of the interactions under consideration may be various, and they depend on rock-type and type of ions dissolved in the water. For a given rock-brine system the results of the interaction cannot generally be predicted in a rational manner, and they must be determined experimentally.

The experimental investigations presented in the subsequent sections of this paper consist of the realisation of the flow of brines predestined to be injected in the future through the samples of appointed sedimentary rocks. In the experiments the variations of the permeability in rock in time have been recorded.

### 3. Rocks and brines used in the experiments

In the vicinity of Borzęcin (a town in Poland), under the Zechstein level rocks there is the limestone-dolomite strata containing small clay-type "substratae". The depth of the strata varies from 1390 m to 1450 m. Directly beneath the limestone-dolomite strata there is a thin shale zone the thickness of which is about 3 m. Below the shales there is a layer of grey sandstones with a calceous binder. The sandstone layer is located directly above sediments of lower Permian age, in Polish literature called "czerwony spagowiec" (cf. Budowa Geologiczna Polski 1987).

The brines from the Rudna mine, located not far from the Borzęcin, were projected to be injected into the layers presented above. The rocks referring to the layers considered were saturated by the "native" brine which in the subsequent part of the paper will be referred to as "Borzęcin brine".

Rock samples cut from the layers described above, and samples of the Borzęcin brine were obtained from the Borzęcin wells nos. 21, 22, 25 and 26. For the investigations of the brine-rock compatibility, cores of the grey sandstones from the Borzęcin well 21 (depth from 1446 to 1455 m) and from the Borzęcin well 22 (depth from 1441 to 1450 m) were used. Additionally, and for the same purpose, cores of the limestone-dolomite layer from the Borzęcin well 25 (depth from 1431 to 1435 m) and the Borzęcin well 26 (depth from 1401 to 1405 m) were used.

The samples used in the laboratory investigations were prepared directly from the cores. The identification codes assigned to samples were the same as the names of wells from which the cores were obtained. Consequently, the samples from the grey sandstone were identified as Borzęcin 21 and Borzęcin 22, and the samples from the limestone-dolomite were identified as Borzęcin 25 and Borzęcin 26.

The samples for the investigation were cut from the well cores in the form of circular cylinders 32 mm in diameter and about 50 mm in length. Each raw sample was inserted in a brass sleeve, and the gap between the sample and the sleeve was filled with the epoxy resins, making flow between the raw sample and the sleeve wall impossible. Employing the samples prepared in the manner outlined above, the permeability of grey



sandstone and limestone-dolomite rocks in a flow of nitrogen were measured. The results of such measurements were treated as the "reference permeability" for a given sample. A list of the recorded reference permeabilities is presented in Table 1.

TABLE 1

The reference permeability for samples used in the experiments

TABLICA 1

Przepuszczalność odniesienia dla próbek użytych w eksperymentach

Sample	Rock type	Reference permeability
Borzęcın 21	gray sandstone	0.9 mD, 0.6 mD
Borzęcın 22	gray sandstone	1.3 mD
Borzęcın 25	dolomite	15 mD, 10 mD
Borzęcın 26	dolomite	26 mD, 29 mD, 98 mD

The brines used for the experiments were taken directly from the Rudna mine (Rudna brine) or from wells located in the vicinity of Borzęcın (Borzęcın brine). Before the experiments took place, any solid substances suspended in the original brines were removed by means of filtration in order to avoid the colmatage process which might otherwise have accompanied the flow in the porous medium.

The brine solutions used in the experiments were different in their composition. The Rudna brine contained 12% sodium chloride, 1.2% calcium and magnesium chlorides and small amounts of other salts. The overall salt concentration was about 14%. The Borzęcın brine contained 16.5% sodium chloride, 4.1% calcium and magnesium chlorides and small amount of other salt. The overall salt concentration was about 21%.

#### 4. The technique used in the experiments

Flow through the rock samples was achieved by applying hydrostatic pressure produced by means of a piezometric head equal to 6.4 m of the brine. The mass flow-rate was determined by weighing the quantity of liquid which passed through a sample in a defined time interval. The volumetric flow-rate was obtained dividing the mass flow-rate by the density of the liquid.

The creation of the flow under hydrostatic pressures conditions inhibited the creation of small gas bubbles in the pore system of the sample. Small amounts of air which remain in the sample after saturation by water do not constitute a problem, taking into account that this air becomes dissolved in the water during the flow, and is transferred by it outside the sample, after which the sample is then entirely saturated by the liquid.

Applying the well-known Darcy's formula, the permeability in the flow was determined from the flow rate, length and diameter of the sample, solution viscosity and the longitudinal pressure differential. In the calculations the temperature variations were also taken into consideration. The permeability was expressed in the practical units i.e. in millidarcys ( $1 \text{ mD} = 10^{-15} \text{ m}^2$ ). Permeability measurements in the flow of a brine in a sample were performed for a sufficiently long time to achieve steady flow conditions.

For the prepared sandstone samples Borzęcin 21 and Borzęcin 22, and the dolomite samples Borzęcin 25 and Borzęcin 26 the flow of "native" brine (i.e. Borzęcin brine) was measured. Subsequently, for the same samples, the flow-rate of injected brine (i.e. Rudna brine) was investigated. Flow-rates of other combinations of brines and fresh water through the samples were also measured in the course of the experiments.

## 5. Discussion of the results

The results of the experiments show the dependence of permeability on the duration of the flow and are depicted in Figs. 1 to 8. Each of them exhibits the time-variation of the relative permeability (i.e. the ratio of the permeability in the flow of water or brine  $k$ , and the reference permeability  $k_N$ ). The reference permeability for a given rock sample was determined by applying a flow of nitrogen through the dry sample at a longitudinal pressure drop of 0.1 MPa.

The figures show the time-variation of the relative permeability in the flows of the Borzęcin brine, the Rudna brine and fresh water through the grey sandstone samples extracted from the Borzęcin wells 21 and 22 and through limestone-dolomite samples from the Borzęcin wells 25 and 26.

From each sample from the limestone-dolomite rocks directly after the initiation of flow (i.e. after the "flooding" of the sample), a flooding effect consisting of a significant reduction in permeability in a short time-period was observed. The permeability in the flow decreased several times or even several dozen times within a time interval equal to several days even as little as several hours. The magnitudes of the falls in permeability are expressed in the figures by the drop in the  $k/k_N$  ratio (cf. Figs. 4, 5 and 7).

With regard to the sandstones, after some permeability reduction in the initial flow period, in the subsequent flow of another brine the permeability drop was relatively small. This recording of the permeability variation over time is depicted in Figs. 1, 2, and 3. The activity of this rock did not appear to be significant. This rock was compatible with the various flowing brines.

In the case of the dolomite samples the rock is highly reactive with respect to water and to the ions dissolved in it. In the flow of the original "native" brine (Borzęcin brine) through these samples, variation of permeability was not observed to any great extent. After the subsequent replacement of "native" brine with the "foreign" brine (Rudna brine) a rapid reduction in the permeability was recorded. In the initial period, lasting several days, of the flow of the latter Rudna brine the permeability in the flow, fell to

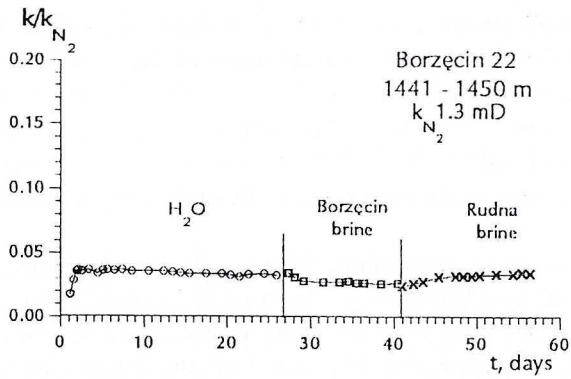


Fig. 1. Flow of water, Borzęcin brine and Rudna brine in the sample of sandstone Borzęcin 22

Rys. 1. Przepływ wody, solanki Borzęcin i solanki Rudna w próbce piaskowca Borzęcin 22

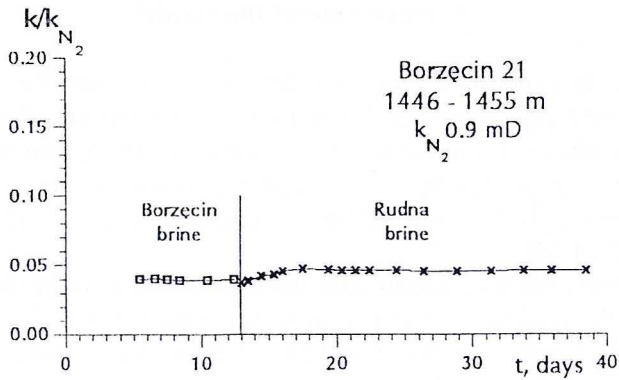


Fig. 2. Flow of Borzęcin brine and Rudna brine in the sample of sandstone Borzęcin 21

Rys. 2. Przepływ solanki Borzęcin i solanki Rudna w próbce piaskowca Borzęcin 21

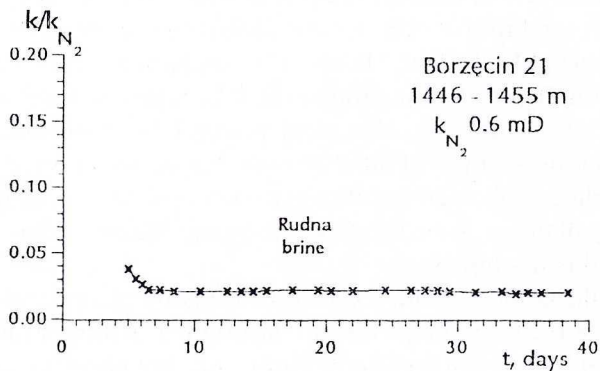


Fig. 3. Flow of Rudna brine in the at first dry sample of sandstone Borzęcin 21

Rys. 3. Przepływ solanki Rudna w początkowo suchej próbce piaskowca Borzęcin 21



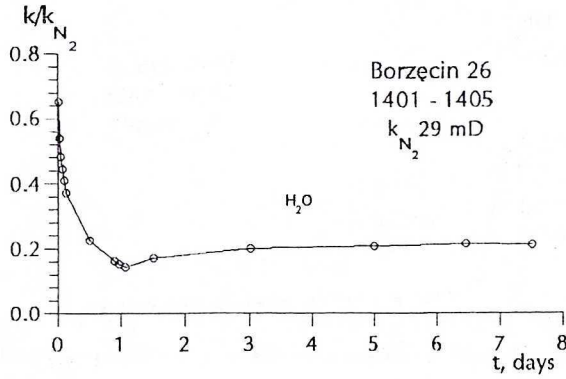


Fig. 4. Flow of water in the at first dry sample of the dolomite Borzęcin 26

Rys. 4. Przepływ wody w początkowo suchej próbce wapienia Borzęcin 26

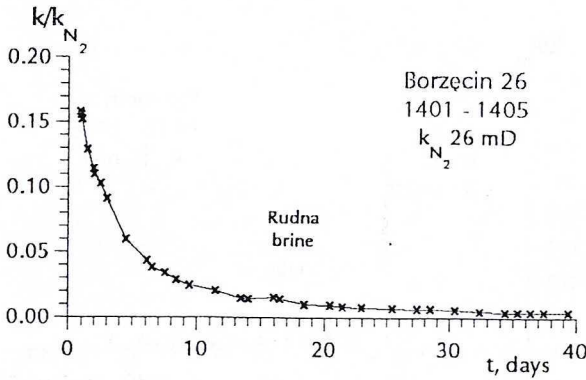


Fig. 5. Flow of Rudna brine in the at first dry sample of dolomite Borzęcin 26

Rys. 5. Przepływ solanki Rudna w początkowo suchej próbce wapienia Borzęcin 26

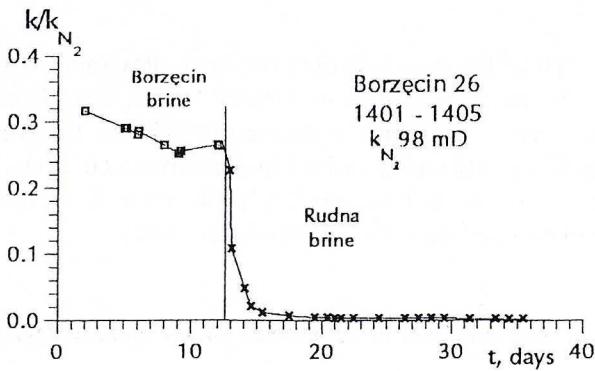


Fig. 6. Flow of Borzęcin brine and Rudna brine in the sample of dolomite Borzęcin 26

Rys. 6. Przepływ solanki Borzęcin i solanki Rudna w próbce wapienia Borzęcin 26

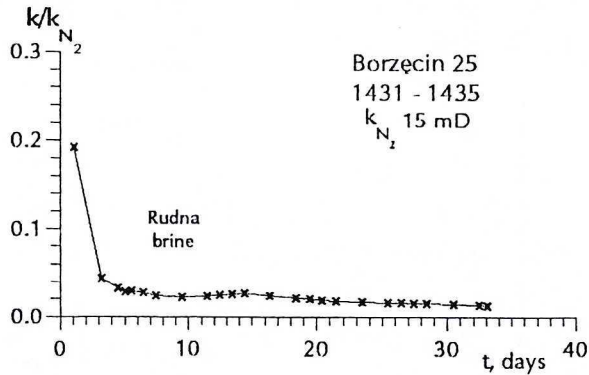


Fig. 7. Flow of Rudna brine in the at first dry sample of the dolomite Borzęcin 25  
 Rys. 7. Przepływ solanki Rudna w początkowo suchej próbce wapienia Borzęcin 25

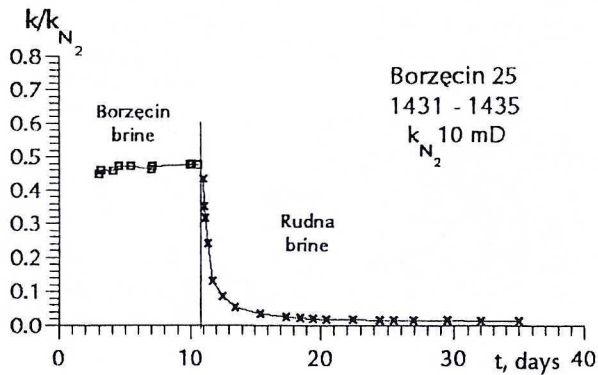


Fig. 8. Flow of Borzęcin brine and Rudna brine in the sample of dolomite Borzęcin 25  
 Rys. 8. Przepływ solanki Borzęcin i solanki Rudna w próbce wapienia Borzęcin 25 (Skawiński 1994)

between 1/5 and 1/10 of the initial. During the later flow (about 30 days) the permeability diminishes by much in excess of 100-fold. This significant decrease of permeability was the result of an intensive interaction between minerals contained in the rock with the sorbed ions and ions dissolved in the introduced brine (cf. Figs. 6. and 8.). This ion-exchange caused the internal swelling of the rock. Thus, this rock with sorbed, "native" ions is not compatible with the introduced brine.

## 6. The analysis of variations of the permeability

All the effects mentioned above are the results of the strong or weak interaction within the brine-rock system. Each of these effects may be explained by means of the physico-chemical phenomena occurring in the two-phase system composed of

the water, dissolved ions and the clay minerals that constitute active substances in the rock.

The permeability variations accompanying the flows of solutions through a rock depend on:

- type and amount of clay minerals and kind and concentration of the ions present in the system,
- accessibility of a solution (water and ions) to clay minerals,
- possibility of clay minerals to swell.

When the clusters of clay minerals are embedded in a rigid rock structure, their interaction with the solution is weak. Such a situation was probably encountered in the case of the sandstone rocks investigated. (cf. Figs. 1, 2, 3) In other cases, clay minerals may be present, thinly inter-layered with other minerals, within rock containing a micro-pore structure in which the diffusion of ions may easily occur and consequently the swelling of clay minerals may occur. Such a situation was probably encountered for the dolomite rocks investigated (cf. Figs. 4–8).

For two dolomite samples the flow of the “native” Borzecin brine was investigated (Figs. 6, 8) in addition to the experiments using fresh water and the “foreign” Rudna brine. For the flow-rates of the original brine the permeability variations were low. The rock material remained in a physico-chemical equilibrium state with the original brine. After the drying of the original rock sample and afterwards saturating it with the original brine the initial physico-chemical equilibrium state became restored and in consequence the swelling state and the permeability of the sample was approximately the same as before the drying procedure.

For the flow of fresh water or “foreign” brine (Rudna brine) through the samples of dolomite rock a significant reduction in permeability was observed (Figs. 4 and 5). Such a situation was a result of reduction of the ion-concentration in the solution filling the rock pores and increased sorption of water in the rock. The salt concentration in the Rudna brine (14%) is much less than the salt concentration in the original Borzecin brine (21%). For fresh water the concentration differential is even greater than for the Rudna brine.

It is justifiable to form the opinion that variations in ion concentrations are sufficient to initiate the internal swelling or shrinkage of active rock. The swelling process may be recorded by the external observer as a resultant and considerable variation (even to the extent of several dozen times) in the permeability in the flow.

## 7. Recapitulation

In mining and petroleum engineering activities, the replacement of solutions flowing through a rock mass sometimes occur. The change of solution type may be understood as the variation of the concentration and variation of the composition of dissolved ions. For sedimentary rocks in which clay minerals are present the change of the kind of a flowing solution implies the swelling or shrinkage of the rock skeleton. The internal swelling or



shrinkage result in a variation of the permeability in the fluid flow in the rock and hence the change in the rate of the flow. The permeability variations are observed on the basis of a decrease or increase in the flow intensity.

The results of the investigations presented above indicate that in the case of a change in the physico-chemical properties of a solution flowing in the rock-mass the investigations of the physico-chemical interactions between the rock material and flowing solution must be analysed for each individual case. From data and results it may be determined whether the flowing or introduced solution is compatible or non-compatible with the rock. Knowledge of such fluid-rock interactions may be applied to undertake operations which make it possible to reduce the permeability-variation effect, or may be applied to operations whose intended purpose is to obtain an increase or reduction of the permeability and hence the flow in the rock-mass.

#### REFERENCES

- Amyx J.W., Bass D.M., Withing R.J., 1960: Petroleum reservoir engineering. Physical properties, Mc Grow-Hill, New York.
- Budowa Geologiczna Polski, 1987: Złoże surowców mineralnych. T IV. Praca zbiorowa Instytutu Geologicznego, Wyd. Geologiczne.
- Engelhardt von W., 1960: Der Porenraum der Sedimente. Springer, Berlin.
- Grim R.E., 1962: Applied clay mineralogy. Mc Grow-Hill, New York.
- Mayer-Gurr A., 1976: Geology of petroleum vol. 3. Petroleum Engineering, Stuttgart.
- Siemek J., Kijewski P., Stopa J., Rybicki C., 1994: Komputerowa symulacja procesu zatłaczania solanki do złoże gazu Borzęcin. Materiały konferencji „Głębinowe zatłaczanie solanki z kopalń rud miedzi z wykorzystaniem struktur pogazowych”, Sobótka, KBN, KGHM Polska Miedź w Lubinie.
- Siemek J., Rybicki C., Stopa J., 1994: Określenie przepuszczalności struktury Borzęcin na podstawie testu chłonności. Materiały konferencji „Głębinowe zatłaczanie solanki z kopalń rud miedzi z wykorzystaniem struktur pogazowych”, Sobótka, KBN, KGHM Polska Miedź w Lubinie.
- Skawiński R., 1986: Przepływ wody w ośrodkach porowatych. Archiwum Górnictwa 31, 1, 111–123.
- Skawiński R., Dyrka L., 1986: Zmiany przepuszczalności w przepływach wody w skałach osadowych. Archiwum Górnictwa 31, 1, 125–133.
- Skawiński R., Żółcińska J., Dyrka L., 1991: Experimental investigations of the flow of water and some water solutions in sandstones. Mining Science and Technology 13, 423–432.
- Skawiński R., 1994: Some examples of non-compatibility of saline water and rock. 5th Intern. Mine Water Congress, Nottingham, September 1994, Proceedings vol. 2. s. 835–843.

REVIEW BY: PROF. DR HAB. INŻ. JAKUB SIEMEK, KRAKÓW

Received: 13 October 2000