

St. POTEMPA
S. SKOWRONEK
R. STASIK

WŁAŚCIWOŚCI DIELEKTRYCZNE SKAŁ DOLOMITOWYCH

Streszczenie. W pracy omówiono wyniki pomiarów zespolonej przenikliwości dielektrycznej skał dolomitowych. Podano przenikliwość dielektryczną skał dolomitowych w zależności od częstotliwości, temperatury, wilgotności dla różnych uwarstwień geologicznych oraz wyznaczono dla tych samych próbek optymalne częstotliwości grzania pojemnościowego.

Wstęp

Znajomość dielektrycznych właściwości górotworu skalnego jest ważna zarówno pod względem poznawczym jako i też przemysłowym.

Szczególne ważne jest znajomość tych parametrów dielektrycznych, które ulegają zmianom np. przy zmianie składu petrograficznego głębokości zalegania.

Właściwości dielektryczne górotworu skalnego mają w czasie eksploatacji skał dolomitowych metodą elektryczną podstawowe znaczenie a ustalenie właściwości skał dolomitowych w zależności od charakteru petrograficznego jest zagadnieniem aktualnym.

W roku 1967 rozpoczęto w TŻD szerokie badania nad właściwościami dielektrycznymi skał dolomitowych występujących na obszarze nadania i górniczego.

Oprócz wyznaczenia przenikliwości dielektrycznej skał dolomitowych w zależności od częstotliwości temperatury, wilgotności dla różnych uwarstwień geologicznych, wyznaczono na tych samych próbkach optymalne częstotliwości grzania pojemnościowego.

Celem niniejszej pracy jest omówienie uzyskanych wyników pomiarów.

1. Opracowanie metodyki pomiarów

Badania właściwości dielektrycznych

Badania właściwości dielektrycznych można prowadzić dwoma metodami: metodą rezonansową lub metodą mostkową. Metoda rezonansowa pozwala wykonać pomiary w szerokim zakresie częstotliwości - aż do 10^8 Hz (3) zaś w metodach mostkowych nie stosuje się częstotliwości większej niż 10^5 Hz (4,5). W związku z ograniczeniem zakresu częstotliwości metod mostkowych, dostawanie 10h do naszych celów byłoby nie celowe (6).

Badanie zespolonej przenikliwości dielektrycznej wykonano metodą rezonansową przy pomocy miernika dobroci produkcji angielskiej - typ Marconi (30 kHz-300 MHz).

Poniżej rozważymy podstawy pomiarów metodą rezonansową oraz technikę pomiarów Q-metrem (7,8).

Dowolny element w obwodzie prądu zmiennego charakteryzuje się zespoloną opornością

$$\hat{Z} = R + j X, \quad (1)$$

gdzie: R oznacza oporność czynną, zaś X - oporność bierną.

Na oporze biernym X następuje przesunięcie fazowe między napięciem na jego końcach a płynącym przez nie prądem.

Tangens kąta $(\frac{\pi}{2} - \Phi)$ nazywa się stratnością

$$\operatorname{tg}(\frac{\pi}{2} - \Phi) = \operatorname{tg} \delta = R : X \quad (2)$$

a odwrotność stratności nazywa się dobrocią obwodu i oznacza się

$$Q = (\operatorname{tg} \delta)^{-1}. \quad (3)$$

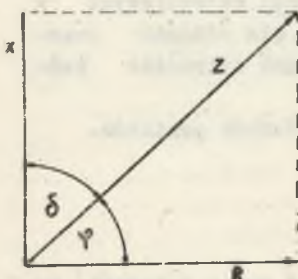
Impedancja i jej składowe, stratność i dobroć obwodu są funkcjami częstotliwości i napięcia przyłożonego do rozpatrywanych obwodów.

W przypadku połączenia szeregowo elementów RLC otrzymujemy zależność

$$\hat{Z} = R + j(\omega L - \omega C^{-1}), \quad (4)$$

gdzie

$R = r_1 + r_0$ - suma oporu indukcyjnego i pojemnościowego.



Dla częstotliwości rezonansowej ω_r , gdy przesunięcie fazy między natężeniem prądu i przyłożonym napięciem jest równe zero, amplituda drgań ma wartość maksymalną J_x , zaś dla pozostałych częstotliwości jest amplitudą wymuszonych drgań w obwodzie i jest funkcją częstotliwości i napięcia przyłożonego

$$J_x = U_0 : R; \quad J_0 = U_0 : Z \quad (5)$$

Rys. 1. Wykres wektorowy przy $\operatorname{tg} \varphi = X : R$.
impedancji

Dzieląc J_0 i J_x otrzymamy równanie krzywej rezonansu

$$J_x : J_0 = R : Z. \quad (6)$$

Przesunięcie fazy

$$\operatorname{tg} \varphi = (\omega L - \omega C^{-1}) : R. \quad (7)$$

Stąd dla $\varphi = 0$ otrzymamy wyrażenie na częstotliwość drgań własnych obwodu.

Dobroć indukcyjnej i pojemnościowej gałęzi obwodu Q_L i Q_0 dla częstotliwości rezonansowej ω określają wzory

$$Q_L = L : r_F \quad \text{i} \quad Q_0 = (\omega_0 r_F C)^{-1} \quad (8)$$

zaś dobroć całego obwodu

$$Q_F = L : R = (R \omega C)^{-1}. \quad (9)$$

Zachodzi między nimi związek

$$Q_F^{-1} = Q_L^{-1} + Q_0^{-1}. \quad (10)$$

W przypadku rezonansu amplitudy napięcia U_L na cewce oraz U_0 na kondensatorze przyjmują wartości większe od przyłożonego napięcia

$$U_L = J_F \cdot \omega_F \cdot L = Q_0 \cdot U \quad (11)$$

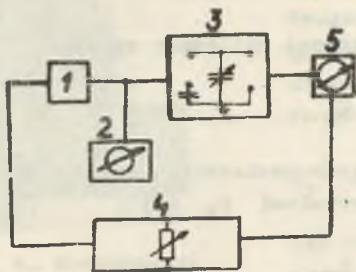
oraz

$$U_0 = J_0 (\omega_F C)^{-1} = Q_L \cdot U$$

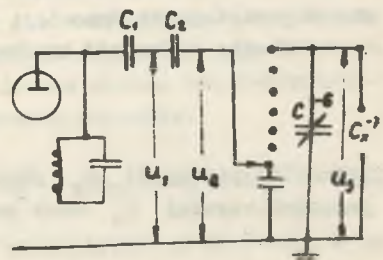
stąd otrzymamy

$$U_L : U = U_0 : U = Q_0. \quad (12)$$

Uzyskanie większych wartości napięcia nazywamy zjawiskiem przepięcia obwodu rezonansowego. Zjawisko to stanowi podstawę pomiaru miernikiem dobroci Q-metrem. Schemat ideowy Q-metru przedstawiony jest na rysunku 12 zaś jego obwód rezonansowy na rysunku 13.



Rys. 12. Schemat ideowy miernika dobroci



Rys. 13. Obwód rezonansowy miernika dobroci

gdzie:

- 1 - generator w.cz. LC przesłajany w szerokim zakresie częstotliwości,
- 2 - woltomierz lampowy mierzący napięcia wejściowe
- 3 - obwód pomiarowy
- 4 - obwód wzorcowania i kompensacji
- 5 - woltomierz lampowy do pomiaru przepięcia wyskalowany w jednostkach dobroci (Q),
- 6 - C - kondensator wycechowany w jednostkach pojemności
- 7 - C - kondensator pomiarowy.

Aparaturę stosowaną w niniejszej pracy przedstawiają fotografie na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Q-metr produkcji Marconi-
Anglia



Rys. 5. Q-metr produkcji Marconi-
Anglia o zakresie częstotliwości
od 30 kHz do 300 MHz

Wyznaczenie części rzeczywistej zespolonej przenikliwości dielektrycznej skał dolomitowych

Układ pomiarowy z podłączoną cewką wzorcową (rys. 3) dostraja się do rezonansu i odczytuje się wartość Q_x ze wskaźnika woltomierza oraz C_x ze skali kalibrowanego kondensatora. Napięcie do zacisków miernika dobroci podłącza się kondensator pomiarowy C_x (rys. 5) i ponownie dostraja się do rezonansu po czym odczytuje się wartość Q_x i C_x . Częstotliwość pomiaru pozostaje stała.

Całkowitą pojemność kondensatora pomiarowego obliczamy ze wzoru

$$C_x = C_T - C_E \quad (13)$$

Całkowita pojemność C_x pustego kondensatora pomiarowego składa się z pojemności czynnej C_0 oraz pojemności doprowadzeń C_d czyli

$$C_x = C_0 + C_d \quad (14)$$

Wartość C_d - można wyznaczyć z dwukrotnego pomiaru pojemności, zaś C_0 - obliczyć można ze wzoru

$$C_0 = (F \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0) : d. \quad (15)$$

Przenikliwość dielektryczna badanej próbki skały wyznacza się ze wzoru:

$$\varepsilon' = (C_x - C_d) : C_0 = (C_x - C_d - C_E) : C_0, \quad (16)$$

gdzie:

- C_x - pojemność kondensatora wzorcowego przy rezonansie układu pomiarowego bez założonego kondensatora pomiarowego
- C_E - pojemność kondensatora w przypadku rezonansu z kondensatorem pomiarowym napełnionym badaną próbką skały dolomitowej.

Warto tu może zwrócić uwagę, że w badaniach właściwości dielektrycznych szczególnie ważna jest konstrukcja kondensatora pomiarowego, gdyż do kładność pomiaru przenikliwości dielektrycznej w sposób istotny zależy od ustawienia i od reprodukowalności pojemności zerowej.

W badaniach niniejszych zastosowano kondensator składający się z dwóch części: 1 - uchwytu na podkładce ceramicznej i "właściwego" kondensatora. Okładki kondensatora "właściwego" stanowią warstwy srebra napyłone na równoległych powierzchniach próbek badanych. Tak wykonany kondensator zabezpieczał dobre wypełnienie i stałość warunków elektrycznych i mechanicznych. Kondensator pomiarowy z próbką badaną przedstawia fotografia na rysunku 6.

Wyznaczenia absorpcji dielektrycznej

Absorpcja dielektryczna wyraża się wzorem:

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (17)$$

gdzie:

- ε' - przenikliwość dielektryczna
- δ - kąt strat dielektrycznych.

Tangens kąta strat dielektrycznych wyznaczany przez pomiar dobroci kondensatora wypełnionego do połowy próbką. Dobroć obwodu bez kondensatora pomiarowego wyznacza równanie:

$$Q_x^{-1} = Q_L^{-1} + Q_0^{-1} = Q_L^{-1} + (\varepsilon' C_0 \cdot \omega_x - C^x)^{-1} \quad (18)$$

zaś po dołączeniu kondensatora pomiarowego z badaną próbką



Rys. 6. Kondensator pomiarowy z próbką dolomitu

$$Q_S^{-1} = Q_L^{-1} + Q_{O_X}^{-1} = Q_L^{-1} + (R_C \cdot \omega_F \cdot C_X)^{-1}. \quad (19)$$

Po odjęciu wyrażenia (18) od (17) stronami otrzymamy:

$$Q_X^{-1} - Q_S^{-1} = (\omega_F C_X)^{-1} \cdot (r_{C_O}^{-1} - r_{C_X}^{-1}), \quad (20)$$

gdzie:

Q_{C_X} - dobroć podłączonego kondensatora pomiarowego

C_X - pojemność rezonansowa

r_{C_X} - oporność czynna gałęzi pojemnościowej z kondensatora pojemnościowego

r_{C_O} - oporność czynna gałęzi pojemnościowej bez kondensatora pomiarowego.

Korzystając dalej z zależności

$$r_X^{-1} = r_O^{-1} - r_{C_X}^{-1}; \quad Q_X = r_X \cdot \omega_F \cdot C_X \quad (21)$$

i z zależności (19) otrzymamy wyrażenie na dobroć kondensatora pomiarowego.

$$Q_X = (C_X \cdot Q_F \cdot Q_Z) : C_F (Q_r - Q_z) \quad (22)$$

Na podstawieniu wyrażenia (22) do wzoru (17) otrzymamy

$$\varepsilon^n = (C_X - C_d) \cdot (Q_F - Q_Z) \cdot C_F : (C_X \cdot C_O \cdot Q_F \cdot Q_Z), \quad (23)$$

gdzie:

C_F - odczyt pojemności kondensatora wzorcowego

C_O - pojemność okładek kondensatora

C_X - pojemność kondensatora pomiarowego

C_d - pojemność doprowadzeń

Q_Z - dobroć odczytana na mierniku dobroci z przyłączonym kondensatorem pomiarowym.

Q_r - dobroć obwodu bez kondensatora pomiarowego.

2. Pomiar przenikliwości dielektrycznej skał dolomitowych w funkcji częstotliwości dla różnych uwarstwień

Próbki do pomiarów przenikliwości dielektrycznej pobrano z trzech warstw pokładu skał dolomitowych w Bobrownikach. Ilość próbek z poszczególnych warstw w ujęciu petrograficznym wynosiła 6.

Na każdej pobieranej z ciałny próbce oznaczono białą farbą rozciągnięciem i upad w celu wycięcia płytki równoległe do uwarstwienia, zwracano

też uwagę w czasie pobierania próbek na ich rozmiary, a to ze względu na potrzebę wykonania z nich płytek w kierunku uwarstwienia.

Rozmiary próbek do badania wynosiły około 49 cm^3 . Próbki do badania właściwości dielektrycznych przygotowano przez wycięcie przy pomocy przecinarki diamentowej płytek z próbek skał dolomitowych o grubości 11 mm , po czym szlifowano ich powierzchnie doprowadzając je do możliwie dokładnej równoległości względem siebie. Po wypolerowaniu obu powierzchni płytki sprawdzono mikrometrycznie ich równoległość (rysunek 7 i 8).



Rys. 7. Próbki pomiarowe - na tle prób uzyskanych scaliszyny uwarstwienia od 1-4



Rys. 8. Próbki pomiarowe skał dolomitowych uwarstwienia od 5-8

Po obróbce mechanicznej próbek i napyłaniu powierzchni równoległych srebrów, wysuszono je w suszarce przy temperaturze 104°C w czasie 49 godzin. Po wysuszeniu próbki włożono do eksykatora w celu zabezpieczenia ich przed wilgocią z powietrza i obniżenia temperatury do temperatury otoczenia. Następnie na tych próbkach przeprowadzono badania właściwości dielektrycznych. Po zbadaniu przenikliwości dielektrycznych i kąta strat próbki nawilgacano przez 48 godzin, do wartości $0,83$ po czym wyznaczono ponownie ich charakterystyki dielektryczne w temperaturze otoczenia ($22,5^{\circ}\text{C}$).

Pomiarów właściwości dielektrycznych wykonano dla 18 różnych częstotliwości w zakresie od $0,09$ do 57 MHz . Częstotliwości pomiarowe zostały

Tablica 1

Zestawienie analiz, prób dolomitu surowego z pokładów Kopalni Bobrowniki

Nr próby	Pokład	Wilgoć	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃	% CaO	% Mgo	% Zno	MgCO ₃ + CaCO ₃	S kg/cm ³
1	poz. górny	1,231	1,02	7,86	0,49	31,37	16,44	0,39	90,241	2257
2	"	1,291	1,86	4,29	0,76	31,53	17,52	0,34	92,701	2177
3	"	1,171	0,84	2,78	1,56	32,32	17,74	0,28	94,531	2497
4	" średni	1,061	0,74	4,57	0,88	31,84	17,63	0,32	93,461	2196
5	"	1,221	1,25	3,64	1,23	32,26	17,31	0,30	93,571	2339
6	"	1,041	0,95	3,43	1,29	32,44	17,36	0,30	94,001	2582
7	" dolny	1,101	0,78	4,14	0,73	31,45	18,22	0,32	93,951	2381
8	"	1,131	2,44	6,29	0,36	30,88	17,02	0,38	90,511	2491

Tablica 2

Zestawienie średnich wyników pomiarów przenikalności dielektrycznej skał dolomitów w funkcji uwarstwienia geologicznego i częstotliwości

Nr próby	kHz	Na uwarstwienie							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,092	8,18	6,46	9,279	6,85	6,87	7,40	7,97	7,59
2	0,290	7,98	6,39	8,91	6,71	6,86	7,40	7,85	7,59
3	0,640	7,60	6,23	6,67	6,60	6,86	7,35	7,80	7,59
4	0,925	7,40	6,21	8,54	6,60	6,86	7,32	7,57	7,41
5	1,025	7,21	6,11	8,22	6,54	6,68	7,30	7,52	7,40
6	1,450	7,16	6,11	8,22	6,54	6,68	7,30	7,52	7,40
7	1,650	7,16	6,11	8,11	6,54	6,68	7,30	7,50	7,40
8	2,100	7,16	6,11	8,10	6,42	6,62	7,30	7,50	7,38
9	2,950	7,16	6,11	8,10	6,42	6,60	7,29	7,45	7,36
10	4,600	7,16	6,09	8,01	6,41	6,60	7,26	7,35	7,28
11	6,850	7,16	6,09	7,96	6,40	6,58	7,26	7,35	7,28
12	10,200	7,02	6,06	7,96	6,40	6,56	7,25	7,32	7,18
13	12,250	7,02	6,06	7,69	6,40	6,56	7,25	7,30	7,18
14	14,750	6,94	6,00	7,54	6,40	6,52	7,25	7,30	7,05
15	32,250	6,91	5,98	7,03	6,40	6,49	7,10	7,27	7,03
16	40,250	6,40	5,50	5,80	6,00	6,20	6,70	7,02	5,80
17	46,200	6,02	5,02	-	5,82	6,00	6,01	6,89	5,85
18	57,300	5,70	4,71	-	5,40	5,50	5,73	6,07	5,00

dobrane w ten sposób, aby pojemność kondensatora wzorcowego po przyłączeniu różnych cewek wzorcowych była taka sama.

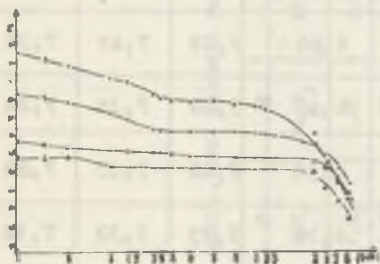
Ze względu na zależność właściwości dielektrycznych do uwarstwienia geologicznego przeprowadzono badanie dla ośmiu różnych warstw. Badania takie pozwalają m.i. ustalić wpływ uwarstwienia geologicznego na zmianę właściwości dielektrycznych skał dolomitowych.

Pomiarów w zależności od uwarstwienia geologicznego przeprowadzono na 32 próbkach skał dolomitowych stosując częstotliwości 0,09; 0,29; 0,64; 0,92; 1,02; 1,55; 1,65; 2,10; 2,95; 4,60; 6,85; 10,20; 12,25; 14,75; 32,25; 40,25; 46,20 oraz 57,3 MHz.

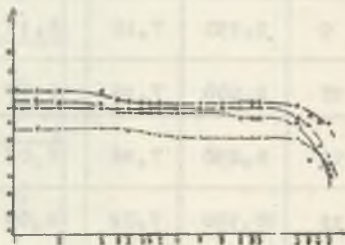
Skały dolomitowe przeznaczone do pomiarów dostarczono z pokładów Kopalni w Bobrownikach Śl. Skład chemiczny tych próbek zestawiono w tabelicy 1. Wycięte z tych skał próbki pomiarowe w postaci foremnych prostopadłościaków o wymiarach 70x70x10 mm przedstawione są na rysunkach 7 i 8.

W tabelicy 2 zestawione są wyniki średnie pomiarów przenikliwości dielektrycznej skał dolomitowych w funkcji uwarstwienia geologicznego dla 18 różnych częstotliwości pomiarowych przy wilgotności próbek 0,00%.

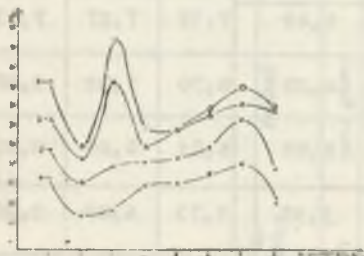
Graficzny obraz średniej przenikliwości dielektrycznej badanych skał dolomitowych w funkcji częstotliwości dany jest na rysunkach 9 i 10, zaś w zależności od uwarstwienia geologicznego na rysunku 11.



Rys. 9. Zależność średnich wartości przenikliwości dielektrycznej dla warstw od 1-4



Rys. 10. Zależność średnich wartości przenikliwości dielektrycznej skał dolomitowych dla warstw od 5-8



Rys. 11. Zależność średnich wartości przenikliwości dielektrycznych skał dolomitowych w zależności od uwarstwienia geologicznego

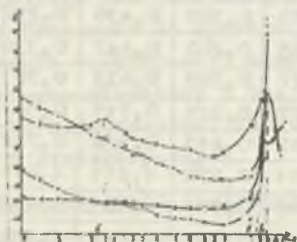
3. Wyznaczenie absorpcji dielektrycznej

W tablicy 3 zestawione są wyniki średnie pomiarów absorpcji dielektrycznych skał dolomitowych w zależności uwarstwienia geologicznego dla 18 różnych częstotliwości.

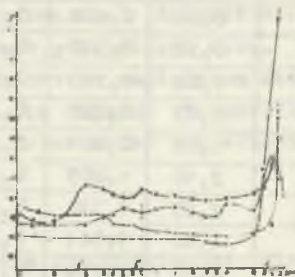
Tablica 3

Zestawienie średnich wartości absorpcji dielektrycznej w funkcji uwarstwienia geologicznego i częstotliwości

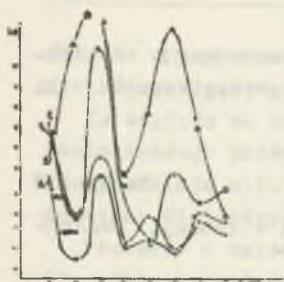
Nr próby		Nr uwarstwienia							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,09	0,760	0,381	0,648	0,232	0,370	0,199	0,318	0,288
2	0,29	0,678	0,261	0,641	0,228	0,301	0,192	0,294	0,288
3	0,64	0,638	0,218	0,624	0,224	0,301	0,198	0,471	0,288
4	0,92	0,577	0,186	0,640	0,224	0,301	0,197	0,468	0,318
5	1,02	0,562	0,177	0,600	0,222	0,260	0,197	0,439	0,333
6	1,45	0,529	0,164	0,583	0,215	0,260	0,197	0,436	0,347
7	1,65	0,522	0,152	0,567	0,202	0,247	0,197	0,436	0,340
8	2,10	0,479	0,152	0,567	0,205	0,244	0,197	0,442	0,339
9	2,99	0,451	0,128	0,534	0,205	0,231	0,196	0,412	0,345
10	4,60	0,422	0,109	0,512	0,198	0,231	0,196	0,409	0,351
11	6,85	0,408	0,103	0,493	0,192	0,231	0,196	0,397	0,334
12	10,20	0,379	0,096	0,477	0,192	0,216	0,181	0,389	0,315
13	12,25	0,351	0,090	0,461	0,185	0,209	0,181	0,395	0,315
14	14,75	0,347	0,09	0,507	0,185	0,208	0,181	0,394	0,380
15	32,25	0,352	0,10	0,667	0,192	0,220	0,241	0,407	0,344
16	40,25	0,780	0,352	1,189	0,492	0,223	0,556	0,421	0,475
17	46,20	0,565	1,204	-	0,890	0,252	0,841	0,564	0,602
18	57,30	0,587	1,328	-	0,583	0,825	0,369	0,789	0,490



Rys. 12. Zależność absorpcji dielektrycznej od częstotliwości dla uwarstwień 1, 2, 3 i 4



Rys. 13. Zależność absorpcji dielektrycznej od częstotliwości dla uwarstwień 5, 6, 7 i 8



Rys. 14. Zależność absorpcji dielektrycznej od uwarstwienia dla częstotliwości

Wyniki średnie absorpcji dielektrycznych z pomiarów dla 4 prób dolomitowych pochodzących z tego samego uwarstwienia. Pomiarzy przeprowadzono przy wilgotności 0,00%.

Graficzny obraz absorpcji dielektrycznej skał dolomitowych w funkcji częstotliwości przedstawia rys. 12 i 13, zaś zależność dla różnych uwarstwień rysunek 14.

Optymalna częstotliwość grzania pojemnościowego skał dolomitowych

W przedstawionych wyżej wynikach wykazano istnienie maksimum absorpcji dielektrycznej skał dolomitowych. Z rysunków 12 i 13 wyznaczyć można częstotliwość relaksacyjną skały badanej. Częstotliwości optymalne – przy których efekt grzania jest największy – nie jest częstotliwością relaksacyjną, gdyż ilość ciepła wydzielonego zależy od iloczynu $f' \cdot \epsilon''$.

Optymalną jest zatem ta częstotliwość, przy której wystąpi maksimum $f' \cdot \epsilon''$, nie zaś funkcji ϵ'' .

W tablicy 4 zestawiono średnie wartości funkcji w zależności od uwarstwienia i częstotliwości.

Tablica 4

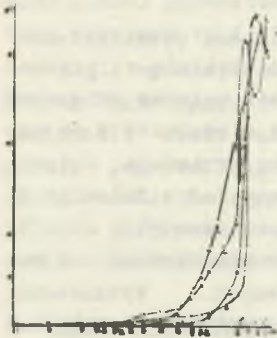
Zestawienie wartości w zależności od uwarstwienia geologicznego i częstotliwości

Nr próby		Nr uwarstwienia							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,09	0,068	0,034	0,058	0,020	0,033	0,017	0,028	0,025
2	0,29	0,196	0,075	0,178	0,066	0,087	0,055	0,085	0,083
3	0,64	0,408	0,139	0,399	0,143	0,192	0,126	0,301	0,184
4	0,92	0,530	0,171	0,588	0,206	0,276	0,181	0,430	0,292
5	1,02	0,573	0,180	0,612	0,226	0,265	0,200	0,447	0,339
6	1,45	0,767	0,237	0,845	0,311	0,377	0,285	0,632	0,503
7	1,65	0,861	0,250	0,935	0,333	0,507	0,325	0,719	0,561
8	2,10	1,005	0,319	1,190	0,430	0,512	0,413	0,928	0,711
9	2,95	1,330	0,377	1,575	0,604	0,681	0,578	1,215	1,017
10	4,60	1,941	0,501	2,355	0,910	1,062	0,901	1,881	1,614
11	6,85	2,794	0,705	3,377	1,315	1,582	1,342	2,719	2,287
12	10,20	3,865	0,979	4,865	1,958	2,203	1,846	3,967	3,213
13	12,25	4,299	1,102	5,647	2,266	2,560	2,217	4,838	3,858
14	14,75	5,118	1,327	7,478	2,728	3,068	2,669	5,811	5,605

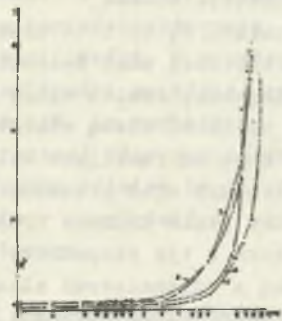
od. tablicy 4

Nr próby		Nr uwarstwienia							
		1	2	3	4	5	6	7	8
15	32,25	11,352	3,225	21,51	6,192	7,095	7,772	13,125	11,094
16	40,25	31,395	14,168	48,85	19,80	8,975	22,379	16,945	19,118
17	46,20	26,10	55,62	-	41,118	11,642	38,854	26,056	27,812
18	57,30	33,62	76,09	-	33,40	47,27	78,443	45,209	28,077

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wykresy funkcji w zależności od częstotliwości.



Rys. 15. Zależności funkcji $f' \epsilon \operatorname{tg} \delta$ od częstotliwości dla prób 1, 2, 3 i 4



Rys. 16. Zależność funkcji $f' \epsilon \operatorname{tg} \delta$ od częstotliwości dla prób 5, 6, 7 i 8

4. Analiza wyników pomiarów zespolonej przenikalności dielektrycznej skał dolomitowych

Badania nad zespoloną przenikalnością dielektryczną skał dolomitowych były konieczne do opracowania optymalnych parametrów generatora w.c.z. w metodzie elektrycznej urabiania skał. Skały dolomitowe ze względu na skomplikowane struktury i niejednorodność nie stosują się zapewne do prostej teorii relaksacyjnej to też nie można było z góry przewidzieć ich właściwości dielektrycznych.

a) Przenikalność dielektryczna skał dolomitowych

W tablicy 2 zestawione są średnie wyniki pomiarów przenikalności dielektrycznej skał dolomitowych w funkcji uwarstwienia geologicznego dla 18 różnych częstotliwości pomiarowych. Tablica 2 zawiera wyniki średnie uzyskane z pomiarów dla 4 próbek dolomitowych należące do jednego uwarstwienia geologicznego.

Z tablicy 2 widać, że przenikalność skał dolomitu jest w pomiarowym zakresie częstotliwości i uwarstwienia wielkością zmienną. Wartość jej maleje ze wzrostem głębokości przy przejściu z uwarstwienia 2 3; 4 6 i 6 7, oraz maleje ze wzrostem częstotliwości. Stosunki te widać wyraźnie na rysunkach 9, 10 i 11.

Zmniejszenie wartości przenikalności dielektrycznej skał dolomitowych w miarę wzrostu częstotliwości przyłożonego napięcia jest wyraźne, przy czym obszar dyspersji dielektrycznej przenieszcza się w miarę zmiany uwarstwienia.

Dla wszystkich uwarstwień widoczne są dwa obszary dyspersji, pierwszy leży w zakresie od 0,5 KHz do 3 MHz drugi zaś obejmuje zakres od 30 MHz do 70 MHz. Obszary te dla skał o różnych głębokościach zalegania są względem siebie przesunięte. Przesunięcia te wyraźnie występują w zakresie wysokich częstotliwości.

Z rysunków, 9, 10 i 11 oraz tabeli 1 widać, że wielkości przenikalności dielektrycznej skał dolomitowych zależą od składu mineralnego i głębokości zalegania. Pewien wpływ na przenikalność dielektryczną, skał dolomitowych wywierają muszą własności fizyczne i mechaniczne skał. Własności fizyczne skał są funkcjami zależne od ich składu petrograficznego, struktury i tekstury oraz procesów diagenetycznych, a tym samym od ciśnienia i temperatury jakim poddane były skały podczas ich formowania się.

W związku z tym rozpatrzmy te zależności między przenikalnością dielektryczną a wspomnianymi własnościami fizykomechanicznymi. Wyznaczono przenikalność dielektryczną i gęstość w funkcji głębokości ich występowania. Z wyników zestawionych w tablicach widać, że dla niskich częstotliwości - w zakresie obszaru "pierwszej" dyspersji - przebieg funkcyjny przenikalności dielektrycznej w zależności od głębokości występowania jest taki jak dla funkcji gęstości tych skał. Czego nie można zauważyć dla zakresu częstotliwości obejmującego obszar "drugiej" dyspersji (tabl. 1). Łatwo z wyników zawartych w tablicach 1 i 2 odczytać, że większą gęstością cechują się skały dolomitowe posiadające większą przenikalność dielektryczną. Wzrost wartości przenikalności dielektrycznej wraz ze wzrostem gęstości skał wyjaśnia się być może - tym, że skały o większej gęstości ujawniają mniejszą porowatość. Te czynniki mogą w pewnym stopniu tłumaczyć tę wspólną zależność w zakresie niskich częstotliwości. W zakresie wysokich częstotliwości zależność omawiana nie jest zachowana. Dla interesujących nas celów szczegółowa analiza znaczenia poszczególnych składników mineralnych w różnych zakresach dyspersyjnych nie jest konieczna. Sprawy te - w razie potrzeby - winny być zbadane osobno.

Absorpcja dielektryczna skał dolomitowych

W tablicy 3 zestawiono wartości średnie absorpcji dielektrycznych badanych skał. Z zestawionych wartości pomiarów wynika, że absorpcja die-

lektryczna skał dolomitowych zmienia się ze zmianą uwarstwienia oraz z częstotliwością przy czym największe wartości (maksimum) dla większości prób reprezentujących różne głębokości zalegania występują dla częstotliwości wysokich. Zależności przedstawiono na rysunkach 12 i 13. Dla prób dolomitowych absorpcje dielektryczne wykazuje wyraźne maksima, które leżą np. dla uwarstwień nr 1 w zakresie częstotliwości (30-45) MHz, zaś dla prób z uwarstwień 4 i 8 w przedziale od 40 MHz - 57 MHz. A więc występuje tu przesunięcie zakresu dyspersji ze wzrostem głębokości pokładu w kierunku wyższych częstotliwości.

Łatwo ponadto z wykresów 12 i 13 odczytać, że funkcja $\epsilon'' \text{tg} \delta$ przechodzi także przez minimum zawarte w przedziale częstotliwości od 10 MHz do 30 MHz, a więc w tym zakresie częstotliwości, który jest łatwo dostępny przy pomocy generatorów produkowanych powszechnie w kraju. Z przedstawionych wykresów 12 i 13 łatwo oszacować różnice wartości absorpcji dielektrycznej w odniesieniu do poszczególnych częstotliwości. W przedstawionym przypadku różnice wartości dla różnych częstotliwości są różne, najmniejsze są w przedziale do 30 MHz i wynoszą około 45%. Ze względu na procesy grzejne istotne są różnice absorpcji dielektrycznej występujące przy częstotliwości relaksacyjnej. W rozważanym przypadku różnice te dla poszczególnych prób zawarte są w granicach 700%, należy uwzględnić w ekonomicznym rachunku przemysłowego grzania pojemnościowego.

5. Wpływ temperatury pomiarów i wilgoci skał na przenikalność i absorpcja dielektryczna skał dolomitowych

Omówione właściwości dielektryczne skał dolomitowych na tle składu petrograficznego i właściwości fizycznych wyznaczone zostały w ustalonych warunkach termicznych, przy temperaturze 22°C i wilgotności 0,00%.

Jednak dla pełniejszego naświetlenia kształtowania się właściwości dielektrycznych zbadano dodatkowe skały w zależności od temperatury i wilgotności.

Ponieważ z temperaturą 10, 15 i 30°C mamy do czynienia w urobiskach skalnych, zbadano skały dolomitowe pod względem przenikalności dielektrycznej i kąta strat przy tych temperaturach. Temperatury próbek badanych ustalono przy pomocy termostatu. Uzyskane wyniki pomiarów przenikalności dielektrycznej i kąta strat nie wykazały zależności temperaturowej. Otrzymane różnice wyników pomiarów w obszarze temperatur pomiarów leżą w zakresie błęd pomiaru. Z tego wynika, że właściwości dielektryczne skał dolomitowych powinny utrzymać się w tym zakresie temperatur w wartościach podanych w tablicach od 1 do 3.

Drugim czynnikiem mogącym wpłynąć na właściwości dielektryczne skał jest wilgotność. W warunkach kopalnianych często skały są nasiąknięte wodą gruntową. Nasiąkliwość skał jest różna i zależna jest ona tutaj od ilości porowatości, która osiąga dla pewnych odmian skał dolomitowych 7%.

Występująca woda w skale ma znaczny wpływ na parametry właściwości dielektrycznych. Dla stwierdzenia wpływu wody chemicznie nie związanej w skałach dolomitowych na parametry właściwości dielektrycznych, przeprowadzono pomiary próbek przenikalności dielektrycznej i kąta strat. Po zbadaaniu parametrów na próbkach wysuszonych (patrz 4) próbki te nawilgano przez 5 godzin mocząc je w wodzie przy temperaturze 22°C, po czym bezpośrednio wkładano do uchwytu i wyznaczono przenikalność dielektryczną i kąt strat. Próbki po nawilganiu wodą zawierały wilgotność około 0,9-1,2%.

W wyniku nawilgania próbek stratność dielektryczną wzrasta tak, że w stosowanej metodzie można będzie ją wyznaczyć tylko z dokładnością 95%. W związku z tym wyznaczenie rzeczywistych wartości przenikalności dielektrycznej i kąta strat na próbkach nawilżonych mogą być tylko z grubsza oszacowane. Fakt ten nie ma wpływu na rozwiązanie naszego problemu.

Oszacowanie optymalnej częstotliwości grzania pojemnościowego skał dolomitowych

Przedstawione wyżej wyniki pomiarów wykazały istnienie kilku maksimum absorpcji oraz ustaliły częstotliwości relaksacyjne w funkcji uwarstwienia wartości częstotliwości optymalnych dla różnych uwarstwień przedstawiono w tabeli 5. Z otrzymanych wyników (tabl. 5) widać, że maksimum funkcji $f \cdot \tan \delta$ przemieszcza się ze zmianą uwarstwienia wartość tego maksimum rośnie ze wzrostem głębokości.

Tablica 5

Zestawienie wartości częstotliwości optymalnych i częstotliwości granicy zakresu liniowego przenikalności dielektrycznej dla skał dolomitowych

Nr uwarstwienia	1		2		3		4		5		6		7		8	
Częstotliwość MHz	39	60	-	40	-	39	45	60	-	50	-	42	-	50	-	60

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wykresy funkcji w zależności od częstotliwości przy temperaturze pomiarów 22,5% i wilgotności 0,00%. Dla próbek dolomitowych pochodzących z warstw 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 i 8.

Na podstawie ekstrapolacji otrzymanych wyników pomiarów - przedstawionych graficznie na rys. 15 i 16 - można stwierdzić, że dla częstotliwości pola elektrycznego o 63 MHz wartości funkcji będą nieznacznie różniły się między sobą i mogą odpowiadać częstotliwości optymalnej badanych skał dolomitowych.

7. Omówienie wyników badań oraz wnioski

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie wniosków dotyczących właściwości dielektrycznych skał dolomitowych. Znajomość strat i przenikalności dielektrycznej skał dolomitowych ma zasadnicze znaczenie przy projektowaniu generatorów w.o.z. dla celów skruszenia, gdyż korzystanie w projekcie z wyników badań, które uzyskano przy użyciu generatorów będących w przypadkowym posiadaniu ośrodków badawczych prowadzić musi najczęściej także do przypadkowych a więc niedostatecznych informacji.

Z otrzymanych wartości pomiarów parametrów właściwości dielektrycznych wynika co następuje:

1. Przenikalność dielektryczna skał wzrasta wraz ze wzrostem gęstości w zakresie niskich częstotliwości.
2. Przenikalność dielektryczna zmienia się z głębokością zalegania skał.
3. Odpowiednie minimum absorpcji dielektrycznej dla przebadanych skał dolomitowych w obszarze od 10 do 30 MHz, a w zakresie częstotliwości generatorów produkowanych do celów grzejnictwa pojemnościowego.
4. Wyznaczona częstotliwość optymalna dla uwarstwienia 1 i 4 wynosi 39 MHz i 40 MHz.
5. Oszacowana częstotliwość optymalna dla badanych skał dolomitowych z pokładów Kopalni w Bobrownikach wynosi około 63 MHz.
6. Właściwości dielektryczne badanych skał dolomitowych nie ulegają zmianie w zakresie temperatur od 10–30°C.

LITERATURA

- [1] Patent nr 53241 pt. "Sposób rozdrabniania brył skalnych".
- [2] Potempa St., Stasik R.: Ratownictwo Górnicze nr 1, 1970.
- [3] Arsz E.K.: Przemienienie tokowo wysokiej częstoty w goronom djelje Niedra 1967 r.
- [4] Zeibler K.: Zastosowanie metod fizycznych w badaniach technicznych, PWN Warszawa 1957 r.
- [5] Hippel A.R.: Dielektryki i fale, PWN, Warszawa 1963.
- [6] Drewnowski K.: Pomiary elektryczne, PWN, Warszawa 1959.
- [7] Brand A.A.: Issledowanie dielektrikow na swierohwysokich czastotach, Moskwa 1963.
- [8] Majewski W.: Cwiczenia laboratoryjne z fizyki ciała stałego, Warszawa, 1963 Cz. II.

СВОЙСТВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОРОД ДОЛОМИТА ТЗД

Р е з ю м е

В работе обсуждено успехи измерений комплексной проницаемости диэлектрической пород доломита. Заявлено диэлектрическую проницаемость пород доломита в зависимости от частоты, температуры, влажности для различных слоистости геологических а также назначено для этих самых пробок оптимальные частоты нагревания ёмкостного.

THE DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF DOLOMITE ROCKS T Z D

S u m m a r y

In this paper have been discussed the measuring results of joint dielectric penetration in dolomite rocks. There has been indicated the dielectric penetration of dolomite rocks according to the frequency, temperature, humidity for various geologic layers as well as for the same samples the optimum frequency of capacitive heating determined.