

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE PIASKOWCÓW KROŚNIENSKICH

UKD 552.513*122:536.413:551.781(436-12)

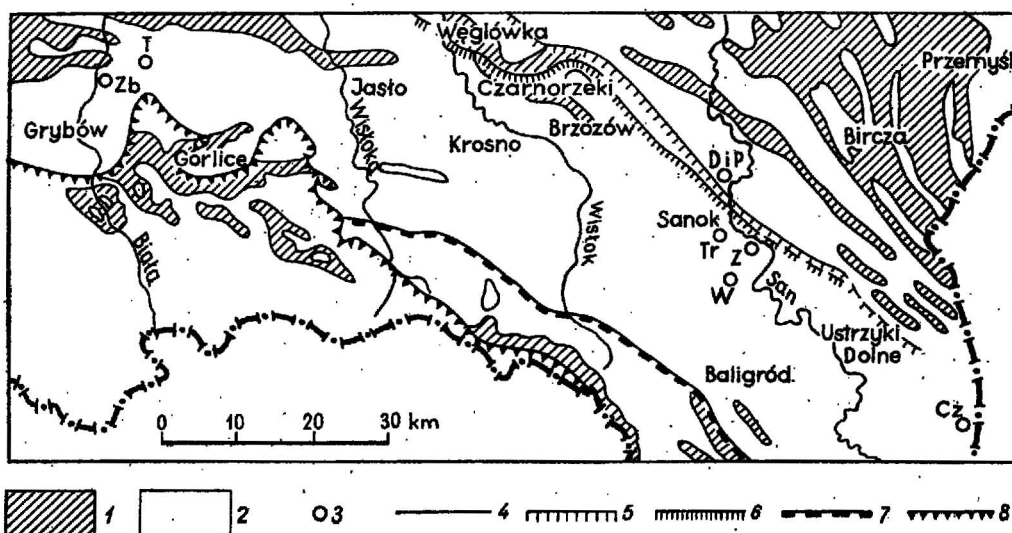
Postęp w określaniu właściwości termicznych skał staje się we współczesnej geologii ważnym elementem doskonalenia metodyki badawczej, w zakresie określania ich cech fizyczno-chemicznych. Dotyczy to zarówno kompleksowego rozpoznania ich właściwości, jak też i uwzględnienia czynników zewnętrznych, biorących udział w ich kształtowaniu. Termiczne właściwości ośrodka mają bowiem istotne znaczenie uzupełniające i współzależne w wyjaśnieniu wielu zjawisk dotyczących geotechnicznych właściwości ośrodków skalnych.

Właściwości termiczne są szeroko rozpatrywane w wielu aspektach górnictwa — zwłaszcza w zakresie ustalania odpowiednich warunków klimatycznych kopalń lub też w przemyśle materiałów budowlanych, a także w wiertnictwie przy określaniu termozwiercalności, a z punktu widzenia mechaniki skał istotna jest ich rola w kształtowaniu stanu naprężeń w masywie skalnym.

Parametry termiczne stanowią charakterystyczne cechy badanej skały i dla jej pełnego scharakteryzowania niezbędne jest określenie jak najszerszego wa-

chlarza tych cech. Właściwości termiczne pozwalają określić przebieg nagrzewania i wychładzania się skał, ich pojemność cieplną, zdolność do rozszerzania się. Do głównych parametrów termicznych należą: współczynnik przewodności cieplnej (λ), ciepło właściwe (c), współczynnik temperatury (α) i rozszerzalności cieplnej (β). Dla oceny wpływu temperatury na charakter nagrzewania się skał, osłabienia lub ich wzmocnienia wskutek działania temperatury, utraty lub akumulacji ciepła w masywie skalnym konieczna jest znajomość tych właściwości termicznych skał.

Na ogół skały są złymi przewodnikami ciepła. Zależnie jednak od ich cech: struktury, tekstury, składu mineralnego, porowatości, stopnia wypełnienia porów wodą, a także od temperatury i ciśnienia, występować będą różnice w zdolności skały do przenoszenia energii cieplnej. Zdolność skały do przewodzenia ciepła określona jest współczynnikiem przewodności cieplnej (λ) i wynika ze wzoru Fouriera, dotyczącego przewodzenia ciepła przy różnicy temperatur:



Ryc. 1. Lokalizacja miejsc pobrania próbek.

1 — kreda, 2 — paleogen, 3 — miejsca pobrania próbek do badań, 4 — brzeg jednostki skolskiej, 5 — brzeg jednostki podlaskiej, 6 — brzeg jednostki śląskiej, 7 — brzeg jednostki duklińskiej, 8 — brzeg jednostki magurskiej. Zb — Zborowice, T — Turza, D — Dębna, P — Podlas, Tr — Trepca, Z — Zagórz, W — Wielopole, Cz — Czarna.

Fig. 1. Location of sampled points.

1 — Cretaceous, 2 — Paleogene, 3 — sampled points, 4 — margin of Skole Unit, 5 — margin of Sublesian Unit, 6 — margin of Silesian Unit, 7 — margin of Dukla Unit, 8 — margin of Magura Unit. Zb — Zborowice, T — Turza, D — Dębna, P — Podlas, Tr — Trepca, Z — Zagórz, W — Wielopole, Cz — Czarna.

$$q = \lambda \frac{t_0 - t_1}{l}$$

gdzie:

q — ilość ciepła,
 λ — współczynnik proporcjonalności (współczynnik przewodności cieplnej),
 $t_0 - t_1$ — różnica temperatur na końcach elementu
 l — długość drogi przepływu przez element objętości
 t_1 — czas.

Wartość współczynnika przewodności cieplnej (λ) jest wielkością charakterystyczną dla danej skały, w danym jej stanie nasycenia wodą i danym stanie termicznym. Współczynnik λ związany jest z ciepłem właściwym skały (c) i współczynnikiem temperatury (α) następującą zależnością $\lambda = \gamma d \cdot c \cdot \alpha$ kcal/m · h · °C, gdzie γd jest gęstością objętościową szkieletu skalnego. Z zależności tej wyznaczyć można współczynnik α , gdy doświadczalnie wyznaczona jest wartość c i γd .

Współczynnik rozszerzalności liniowej (β) jest stosunkiem przyrostu liniowego skały na jednostkę długości przy przyroście temperatury o 1°C:

$$\beta = \frac{(l_1 - l_0)}{l_0 (T_1 - T_0)} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$$

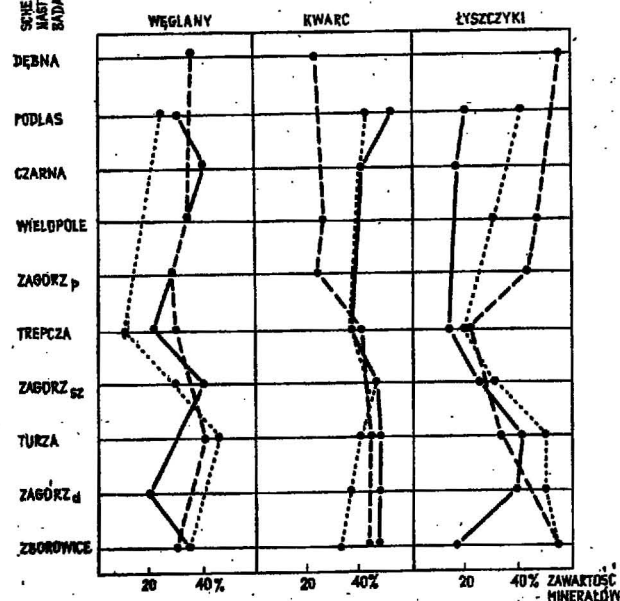
gdzie:

l_1 — długość próbki przy temperaturze T_1 ,
 l_0 — długość próbki przy temperaturze T_0 .

Badaniami wymienionych parametrów termicznych objęto piaskowce krosńskie z miejscowości: Zborowice, Dębna, Podlas, Turza, Trepca, Zagórz, Wielopole, Czarna w północnych Karpatach fliszowych (ryc. 1). Próbkę piaskowców pobierano z powierzchni, lecz reprezentowały one różne ogniwa stratygraficzne osadów krosńskich oraz pochodziły z odmienionych rodzajów ławic piaskowca. Zawartość podstawowych składników mineralnych oraz główne cechy fizyczne badanych piaskowców przedstawiono na ryc. 2 i 3. Na tle składu mineralnego, cech fizycznych, struktury i tekstury, zmian wilgotności oraz temperatury badano cechy termiczne tych osadów.

Badania współczynnika przewodności cieplnej prowadzono w aparacie firmy Feutron, a badania ciepła właściwego metodą kalorymetryczną według meto-

SCHEMATYCZNA KOLEJNOŚĆ
 NASTĘPSTWA WIEKOWEGO
 BADAANYCH PRÓBEK



Ryc. 2. Zawartość głównych minerałów skałotwórczych w badanych piaskowcach krosńskich.

— piaskowce gruboławicowe, ... piaskowce cienkoławicowe, --- piaskowce skorupowe, P — Zagórz — przebieg kolejowy, sz — Zagórz — szosa, d — Zagórz — doliny.

Fig. 2. Main rock-forming minerals of the Krosno sandstones studied.

— thick-bedded sandstones, ... thin-bedded sandstones, --- corrugated sandstones, P — Zagórz — railway cutting, sz — Zagórz — road, d — Zagórz — valleys.

dyki podanej przez K. Chmurę (1). Współczynnik przewodzenia temperatury wyliczono posługując się średnimi wartościami współczynnika przewodności cieplnej i ciepła właściwego. Współczynnik rozszerzalności cieplnej określono na derywatografie produkcji węglarskiej, przy użyciu układu dylatacyjnego w za-

ZESTAWIENIE PARAMETRÓW TERMICZNYCH PIASKOWCÓW KROŚNIEŃSKICH

Jednostka strukturalna	Wiek warstw	Miejsce pobrania próbki	Rodzaj ławicy	Ciepło właściwe kcal/kg°C	Współczynnik przewodności cieplnej λ kcal/m · h · °C	Współczynnik wyrównywania temperatury m ² /h a · 10 ⁻³	Porowatość całkowita %	Współczynnik rozszerzalności cieplnej [B] 1/°C · 10 ⁻⁵ zakres 0—100°C	
								$\beta \perp$	$\beta \parallel$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Piaszczowina skalska	warstwy środkowe	DĘBNA	sk	0,22	1,33—1,36 1,35	2,28	3,50	4,10	—
		PODLAS	g	0,30	0,82—0,83 0,83	1,26	16,20	4,40	1,83
PŁASZCZOWINA ŚLĄSKA	warstwy środkowe		o	0,29	1,45—1,57 1,49	2,15	14,10	4,90	6,84
		CZARNA	g	0,25	0,67—0,77 0,73	1,16	4,53	2,10	0,40
	warstwy dolne podjaskielakie	CZARNA p-o z „Ostrego”	g	0,29	1,74	2,34	3,74	4,10	4,30
		WIELOPOLE	sk	0,24	1,45	2,54	4,10	2,53	9,82
		ZAGÓRZ — przekop	sk	0,18	1,35—1,37 1,35	2,75	5,82	1,66	4,48
			g	0,27	1,88—2,12 1,90	2,65	7,69	3,20	3,10
		TREPCZA	o	0,27	0,95	1,46	10,75	1,54	6,21
			sk	0,25	0,85	1,32	6,69	—	1,75
		ZAGÓRZ — szosa	g	0,21	0,42—0,44 0,43	0,89	17,01	2,50	0,75
			o	0,20	0,61—0,68 0,54	1,16	11,40	3,06	8,30
		TURZA	g	0,27	1,58	2,54	12,37	2,76	1,62
			o	0,28	0,84—0,90 0,90	1,25	11,07	2,57	2,80
			sk	0,19	0,98	2,08	9,99	4,37	0,88
		ZAGÓRZ-DOLINY	g	0,26	1,05—1,09 1,08	1,71	11,00	7,20	8,80
			g	0,32	1,49	1,85	12,82	6,80	0,30
		ZBOROWICE	o	0,28	1,10	1,54	5,28	5,70	9,20
			sk	0,35	1,14	1,25	5,22	—	—

kresie temperatur 20—100 oraz 100—200°C. Wartości współczynnika przewodności cieplnej określono w kierunku prostopadłym do uławicenia — prowadzenie badań wymaga bowiem dokładnie wyszlifowanej płyty o powierzchni $\approx 400 \text{ cm}^2$, co przy łatwo nawarstwiającym się materiale, jakim są np. piaskowce cienkoławicowe, nie jest możliwe.

Wyniki doświadczalne wskazują, że współczynnik przewodności cieplnej piaskowców krośnieńskich mierzony w kierunku prostopadłym do uławicenia, dla próbek powietrzno-suchych w temperaturze 20—25°C wynosi od 0,42—2,12 kcal/°C · m · h, zależnie od rodzaju piaskowca i miejsca pobrania próbki (tab.).

Ponieważ przewodność cieplna poliminerálního szkieletu skalnego, jakim są piaskowce krośnieńskie zależy od przewodności cieplnej budujących je składników, teoretycznie wartość λ wypadkowego (λ_w) powinna wynosić

$$\lambda_w = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

gdzie:

λ_i — współczynnik przewodności cieplnej minerału składowego,
 v_i — zawartość objętościowa tego minerału w skale.

Zgodnie z tym założeniem, w nawiązaniu do właściwości termicznych głównych minerałów skałotwórczych budujących piaskowce krośnieńskie, najwyższych wartości λ należy szukać w tych piaskowcach, które zawierają najwięcej kwarcu krystalicznego, gdy

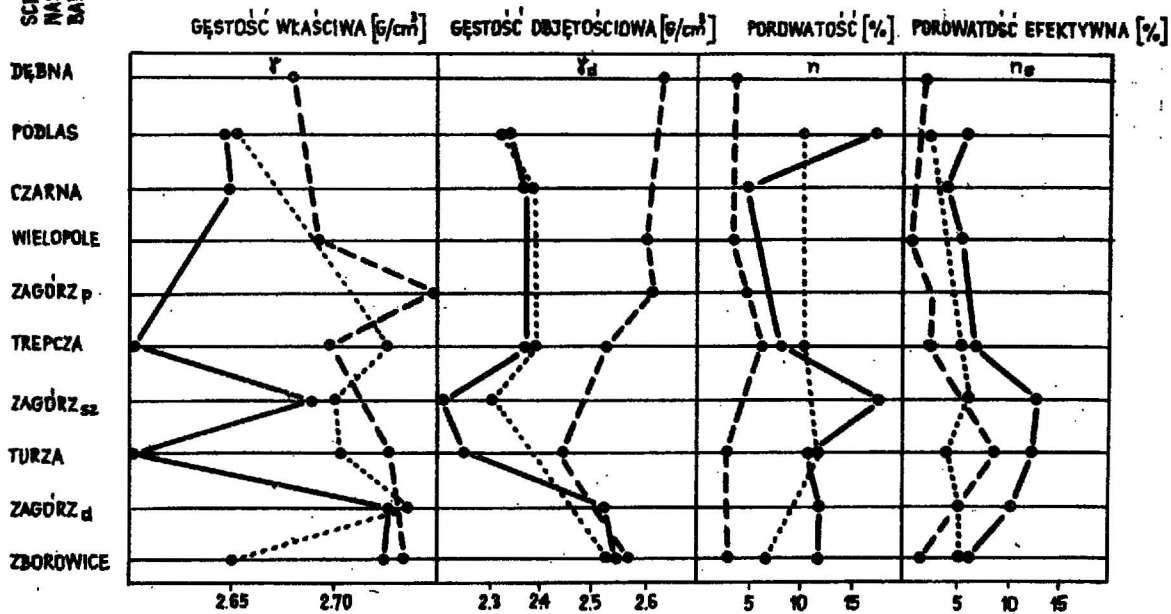
bezpociągowe i skrytokrystaliczne formy krzemionki, podobnie jak wyższe zawartości drobnokrystalicznego kalcytu oraz dolomitu, powinny wartości λ obniżać. Z łyszczyków silniej na podwyższenie λ powinien wpływać biotyt niż muskowit.

Takie tendencje w badanych skałach nie zawsze są wyraźnie widoczne lub jednoznaczne (ryc. 4). Zauważono na przykład, że zwiększenie zawartości węglanów powoduje obniżenie wartości λ , w odniesieniu do kwarcu nie daje się zauważyć żadnych korelacji, a wzrost zawartości muskowitu wpływa obniżająco na wartość λ .

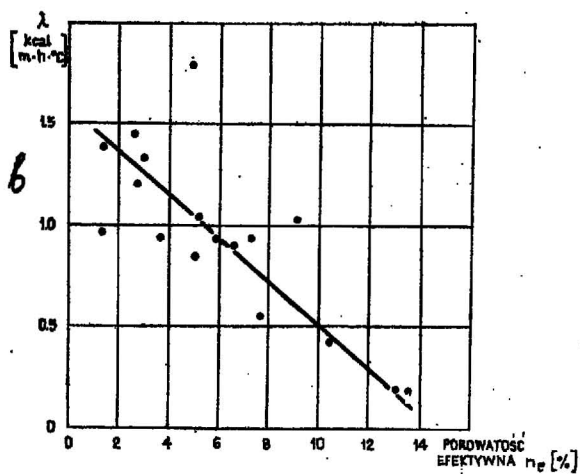
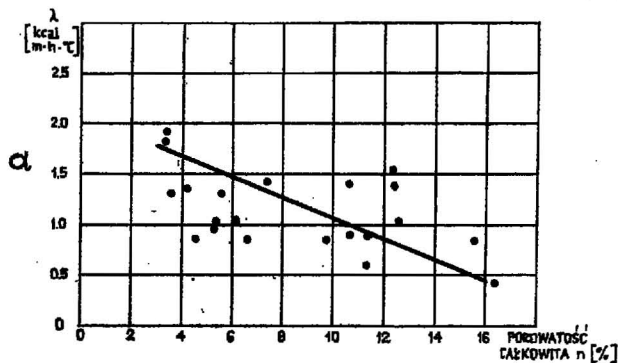
Doświadczenia więc wykazują, że w piaskowcach krośnieńskich wartość współczynnika przewodności cieplnej uwarunkowana jest nie tyle składem mineralnym, co wielu innymi czynnikami. Główną rolę w kształtowaniu tego parametru odgrywają właściwości fizyczne, zwłaszcza porowatość, przy czym istotny jest tu kształt i wielkość porów, ich ułożenie w stosunku do kierunku przepływu ciepła, stopień wypełnienia gazami bądź cieczami. Pod tym kątem należy poszukiwać głównie przyczyn zróżnicowania wartości współczynnika przewodności cieplnej piaskowców krośnieńskich.

Przeprowadzone doświadczenia wykazują, że związek współczynnika λ z porowatością jest wyraźny i wraz ze wzrostem porowatości przewodność cieplna skały maleje (ryc. 5). W wypadku próbek wysuszonych w temperaturze +105°C uwidacznia się tu wpływ fazy gazowej, gdyż przewodność ciepła jest bardzo niska:

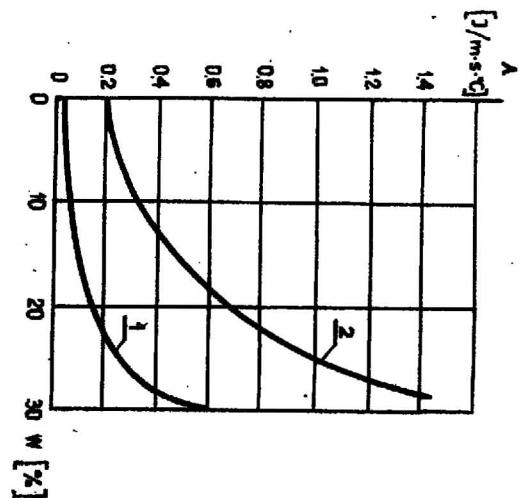
$$\lambda_{pow} = 0,02 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$



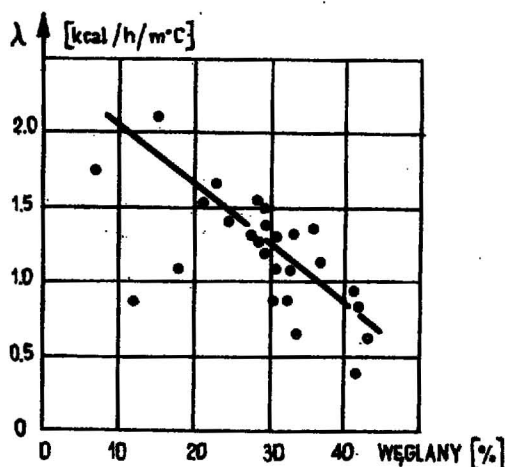
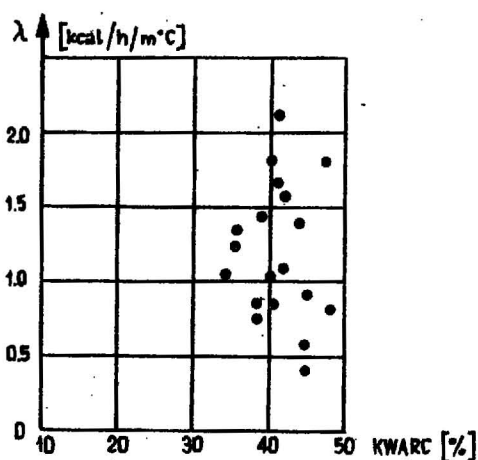
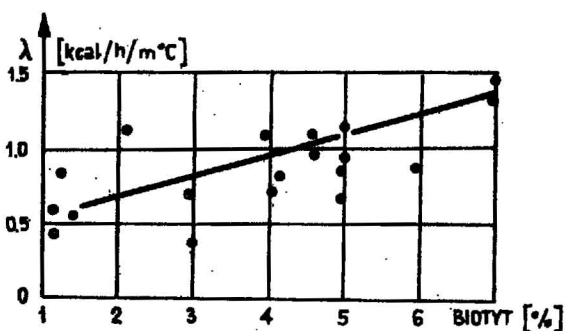
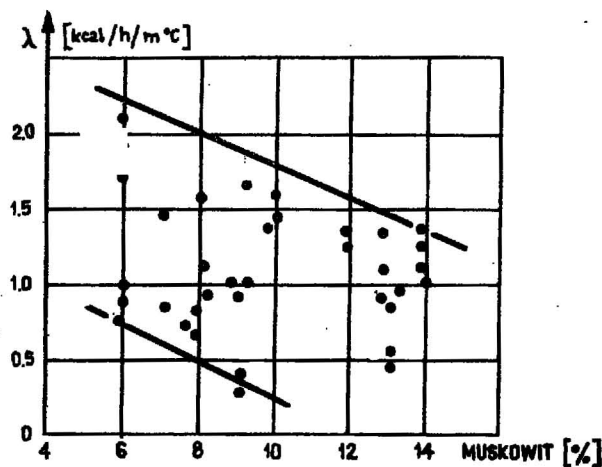
Ryc. 3. Podstawowe własności fizyczne badanych piaskowców krosnieńskich (oznaczenia jak na ryc. 2).
Fig. 3. Principal physical properties of the Krosno sandstones studied (explanations as given in Fig. 2).



Ryc. 5. Zależność współczynnika przewodności cieplnej (λ) od porowatości w piaskowcach krosnieńskich.
a — porowatość całkowita, b — porowatość efektywna.
Fig. 5. Dependence of heat conductivity coefficient (λ) on porosity of the Krosno sandstones.
a — total porosity, b — effective porosity.

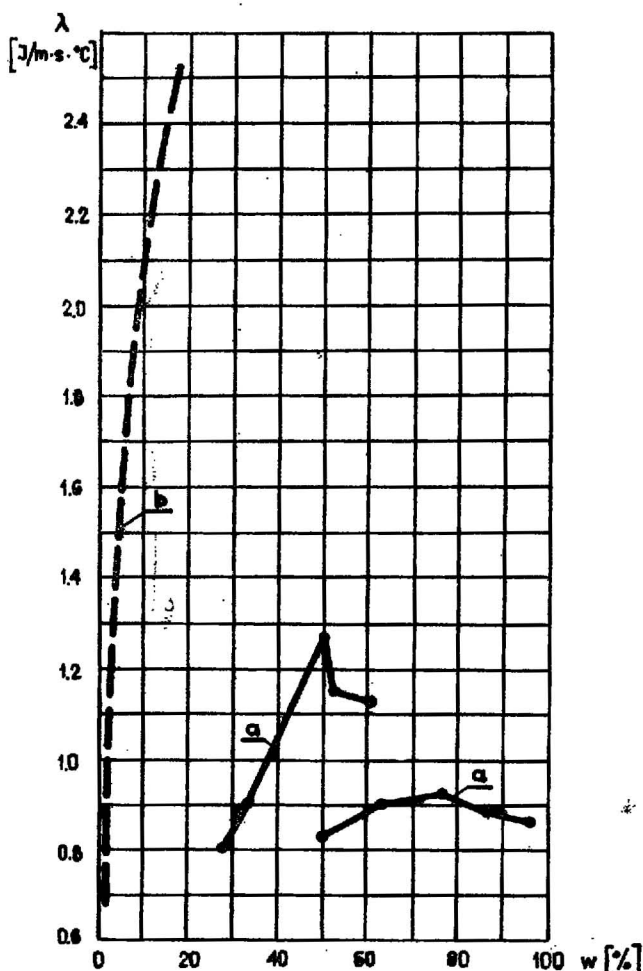


Ryc. 6. Teoretyczna zależność współczynnika przewodności cieplnej (λ) od wilgotności (w) wg W. Rzewskiego i G. Nowika (3).
1 — dla ciała nie w pełni nasyconego wodą, 2 — dla ciała nasyconego.
Fig. 6. Theoretical dependence of heat conductivity coefficient (λ) on moisture (w) after W. Rzewski and G. Nowik (3).
1 — for body not fully saturated with water, 2 — for body fully saturated with water.



Ryc. 4. Zależność współczynnika przewodności cieplnej (λ) od składu mineralnego piaskowców krośnieńskich.

Fig. 4. Dependence of heat conductance coefficient (λ) on mineral composition of the Krosno sandstones.



Ryc. 7. Doświadczalne zależności współczynnika przewodności cieplnej (λ) od wilgotności (w).

a — według W. Rzewskiego i G. Nowika (3), b — w piaskowcach krośnieńskich.

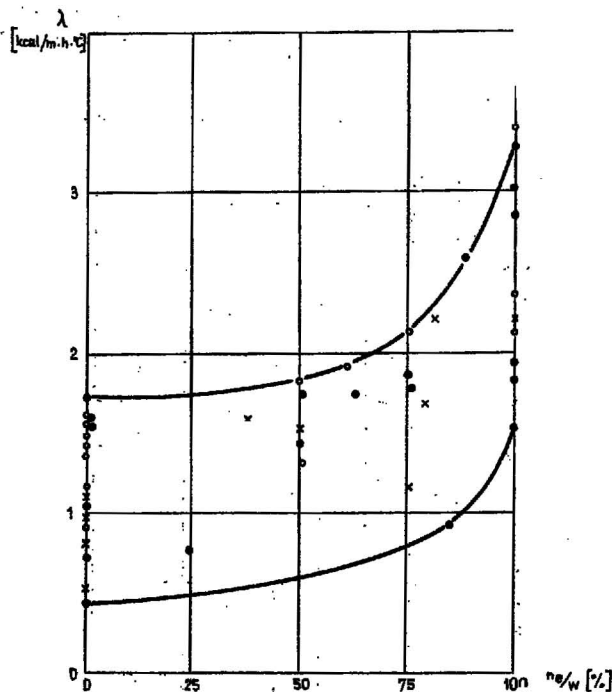
Fig. 7. Experimental dependence of heat conductance coefficient (λ) on moisture (w).

a — after W. Rzewski and G. Nowik (3), b — for Krosno sandstones.

Pory, spękania, powierzchnie uwarstwienia i nieciągłości zmniejszają więc znacznie współczynnik przewodności cieplnej piaskowców krośnieńskich. Podobne zależności zauważa dla piaskowców karbońskich K. Chmura (1).

Zgodnie z przewidywaniami, wynikającymi z założeń teoretycznych wpływ porowatości (n) na wartość współczynnika przewodności cieplnej zaznacza się w piaskowcach krośnieńskich silniej lub słabiej, zależnie od rodzaju ławicy piaskowca. Ponieważ piaskowce gruboławicowe są najbardziej porowate i mają najniższą gęstość objętościową są lepszymi „izolatorami” od piaskowców cienkoławicowych i skorupowych. Na ogół najwyższe wartości współczynnika λ wykazują piaskowce skorupowe, mniejsze — cienkoławicowe, a najniższe — gruboławicowe, co uzasadnione byłoby stwierdzonym poprzednio odwrotnie proporcjonalnym związkiem parametru λ z porowatością.

Duży wpływ porowatości jest przyczyną, że na ogół nie daje się wyodrębnić wpływu zawartości składników mineralnych na zmianę wartości współ-



Ryc. 8. Zależność między współczynnikiem przewodności cieplnej (λ) a stopniem wypełniania porów skały wodą (ne/v) w piaskowcach krosnieńskich.

● piaskowce gruboławicowe, ○ piaskowce skorupowe, × — piaskowce cienkoławicowe.

Fig. 8. Dependence between heat conductance coefficient (λ) and degree of infilling of pores with water (ne/v) for Krosno sandstones.

● thick-bedded sandstones, ○ corrugated sandstones, × thin-bedded sandstones.

czynnika przewodności cieplnej. W piaskowcach krosnieńskich zagadnienie to komplikuje się jeszcze bardziej, gdyż na ogół w tych skałach, gdzie zawartość kwarcu jest większa, większe są również rozmiary jego ziarn, a co z tym się wiąże — powiększa się wielkość pustek międzyziarnowych. Z badań petrograficznych wynika bowiem, że zawartość kwarcu jest wyższa w piaskowcach o strukturze psamitowej bądź psefitowej niż aleurytowej. W konsekwencji piaskowce o większej zawartości kwarcu są też bardziej porowate.

Te dwa wymienione czynniki oddziałują więc przeciwnie na zdolność skały do przewodzenia ciepła i utrudnia to znacznie teoretyczne określenie wypadkowej wartości λ . Równie istotnym czynnikiem, wywierającym wpływ na kształtowanie się wartości przewodności cieplnej skały, jest — w jakim stopniu jej pory wypełnione są cieczą? W masywie skalnym — skałę stanowi zespół trójfazowy, w którym znaczny udział biorą roztwory wodne; zwiększają one przewodność cieplną materiału. Współczynnik przewodności cieplnej mokrego ciała porowatego W. Rzewski i G. Nowik (3) proponują obliczać:

$$\lambda_{\text{wypadkowe}} = \lambda_{\text{szkieletu}} (1 - n_e) + 0,56 W.$$

Autorzy ci uważają jednak, że teoretyczne krzywe podane w nawiązaniu do tych wyliczeń (ryc. 6) znacznie odbiegają od danych doświadczalnych (ryc. 7 — krzywa a), co można zauważyć również w odniesieniu do piaskowców krosnieńskich (krzywa b), gdzie wraz ze wzrostem wilgotności próbki, współczynnik λ rośnie bardzo znacznie.

Wpływ cieczy na zmianę wartości λ zauważa się dobitniej analizując, w jakim stopniu pory skały wypełnione są wodą. Dla piaskowców przedstawiono zależność pomiędzy stopniem wypełnienia porów wodą, wyliczoną w stosunku do porowatości efektywnej (n_e), a wartością λ (ryc. 8). Jak można zauważyć,

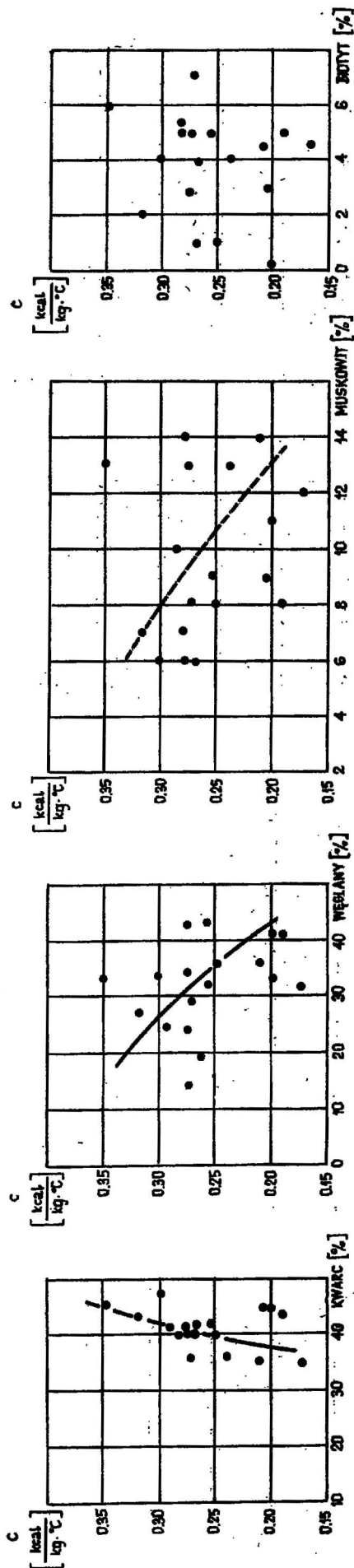


Fig. 9. Dependence of specific heat (c) of Krosno sandstones on their mineral composition.

Ryc. 9. Zależność ciepła właściwego (c) piaskowców krosnieńskich od ich składu mineralnego.

wzrost wartości λ rozpoczyna się, gdy co najmniej 50% porów skały jest wypełnione wodą, a główny wzrost następuje od 75% do pełnego nasycenia. Z doświadczeń tych wynika, że wartość współczynnika przewodności cieplnej (λ), nawet przy niewielkich wahanach wilgotności, ok 8–15%, może ulegać 2–3-krotnemu zwiększeniu. Ciepło właściwe piaskowców krośnieńskich jest bardzo mało zróżnicowane (0,18–0,35 kcal/kg°C).

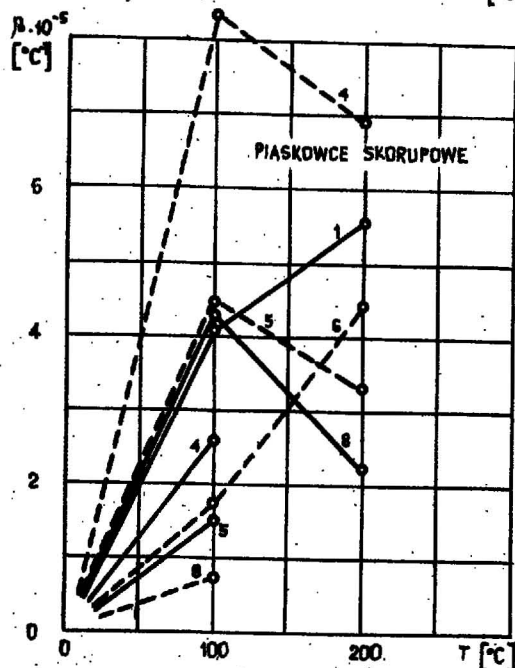
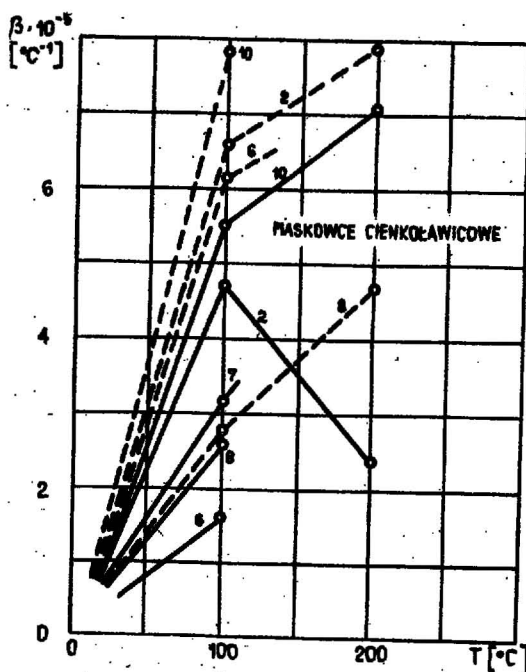
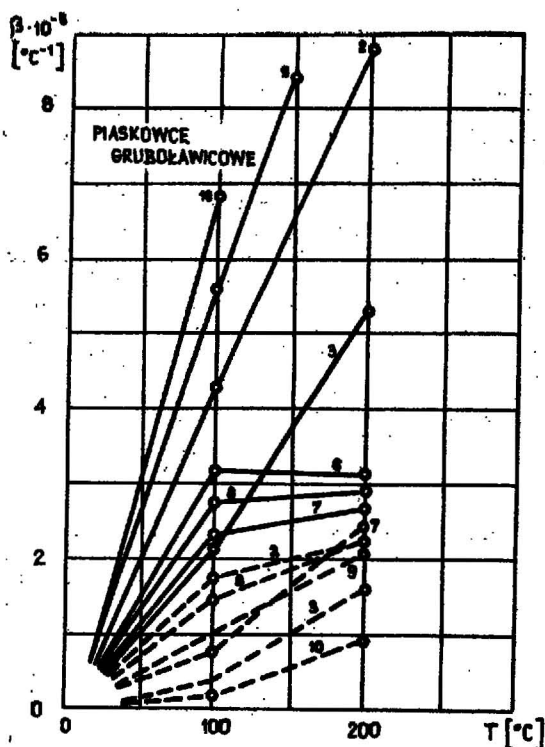
Przeciętnie najniższe ciepło właściwe wykazują piaskowce skorupowe, nieco wyższe piaskowce cienkoławicowe, a najwyższe — piaskowce gruboławicowe. Odstępstwo od tej zasady stwierdzono u skorupowych piaskowców ze Zborowic, w których wartość ciepła właściwego jest wysoka (0,35 kcal/kg°C). Ponieważ wartości ciepła właściwego dla minerałów takich, jak np.: kwarc, ortoklaz, muskowi i kalcyt nie wiele się różnią, stąd też trudno określić ściślej zależność pomiędzy wielkością ciepła właściwego skały a procentowym udziałem tych składników (ryc. 9).

Zwiększenie ilości kwarcu w niezręcznym stopniu podwyższa wartość c . Zawartość węglanów powyżej 30% wpływać może obniżająco na wielkość c , co wskazywałoby na udział kalcytu mikrokrystalicznego. Z łyszczyków, szczególnie muskowi powoduje obniżenie wartości c . Ponieważ jednak zauważone różnice są bardzo nieznaczne można przyjąć, że ciepło właściwe piaskowców krośnieńskich wynosi średnio 0,26 kcal/kg°C.

Współczynnik wyrównywania temperatury określa szybkość wychładzania lub nagrzewania się skały. Dla piaskowców krośnieńskich wartość tego współczynnika wynosi 0,89–2,75 $\cdot 10^{-3}$ m²/h w stanie suchym. Są to wartości stosunkowo niskie. Dla porównania — wartości α dla piaskowców karbońskich drobno- i średnioziarnistych w zagłębieniu górnośląskim wahają się od 0,61–6,06 $\cdot 10^{-3}$ m²/h; w zagłębieniu dolnośląskim dla warstw np. wałbrzyjskich — α wynosi 2,64–3,82 $\cdot 10^{-3}$ m²/h (1).

Przy analizie naprężeń w masywie skalnym istotnym parametrem jest współczynnik rozszerzalności cieplnej (β). Zdolność do zmiany wymiarów wskutek temperatury jest jedną z ważniejszych cech fizyczno-termicznych i obrazuje zdolność skały do transformacji ciepła w energię mechaniczną.

Wartość β zależy od zdolności rozszerzania się poszczególnych składników skały i nie powinna zależeć od jej porowatości. Praktycznie jednak w skałe



Ryc. 10. Zależność współczynnika rozszerzalności cieplnej (β) piaskowców krośnieńskich od temperatury (T).

1 — Dębna, 2 — Podlas, 3 — Czarna, 4 — Wielopole, 5 — Zagórz p, 6 — Trepca, 7 — Zagórz sz, 8 — Turza, 9 — Zagórz d, 10 — Zborowice. ——— prostopadłe do uławicenia, ——— równoległe do uławicenia.

Fig. 10. Dependence of heat expansion coefficient (β) of Krosno sandstones on temperature (T).

1 — Dębna, 2 — Podlas, 3 — Czarne, 4 — Wielopole, 5 — Zagórz p, 6 — Trepca, 7 — Zagórz sz, 8 — Turza, 9 — Zagórz d, 10 — Zborowice. ——— normal to the bedding, ——— parallel to the bedding.

bardziej porowatej rozszerzanie odbywa się kosztem wolnych przestrzeni międzyziarnowych i stąd charakteryzują się one niższym współczynnikiem rozszerzalności. W piaskowcach krośnieńskich, zależnie od ich rodzaju, β wynosi 0,3–9,82 $\cdot 10^{-5}$ °C⁻¹ w zakresie temperatur do 100°C; są to znaczne wartości. Wartość β dla granitów wynosi $\approx 0,8 \cdot 10^{-5}$ °C⁻¹, dla marmuru 0,9 $\cdot 10^{-5}$ °C⁻¹.

Znaczne różnice β , które obserwuje się w piaskowcach wynikają z różnej porowatości i stopnia zorientowania ziarn mineralnych. Skały te bowiem

charakteryzuje znaczna anizotropia termiczna. Godne zauważenia jest, że w piaskowcach gruboławicowych proces rozszerzania jest silniejszy w kierunku $\perp$, tj. zgodnym z kierunkiem obciążenia geostatycznego, a piaskowce cienkoławicowe rozszerzają się bardziej w kierunku równoległym do ławicy, wzdłuż blaszek łyśczyków uporządkowanych zgodnie z kierunkiem uławicenia.

Przy przyjęciu pojęcia współczynnika anizotropii rozszerzalności termicznej jako:

$$K = \frac{\beta_{\perp}}{\beta_{\parallel}} \text{ przeprowadzić można następujący podział:}$$

- piaskowce gruboławicowe $K > 1$
- piaskowce cienkoławicowe $K < 1$
- piaskowce skorupowe $1 < K < 1$

Współczynnik anizotropii może więc być różny dla skał pochodzących z tego samego punktu, lecz różniących się teksturą.

Rozszerzalność skały zależy również od czynników zewnętrznych, jak np. temperatura badania. W piaskowcach krośnieńskich ze wzrostem temperatury współczynnik β na ogół wzrasta aż do krytycznej temperatury, przy której powinien nastąpić spadek β , tj. 573°C, gdy następuje polimorficzne przekształcenie kwarcu α w kwarc β . Dla niektórych jednak piaskowców (zwłaszcza skorupowych) zauważa się spadek wartości β już w niższej temperaturze — w zakresie 100–200°C. Zachowanie się współczynnika β zależnie od temperatury jest różne i zależy od tekstury piaskowca. Można również zauważyć, że wraz ze wzrostem temperatury wzrasta anizotropia termiczna tych skał.

Wyniki doświadczeń przedstawione na ryc. 10 wskazują, że w piaskowcach gruboławicowych i cienkoławicowych β rośnie znacznie w zakresie do 200°C (z wyjątkiem piaskowców z Podlasa). W piaskowcach skorupowych natomiast trudno jest mówić o bardziej ukierunkowanej współzależności β i T . Wskazuje to na duży wpływ porowatości skały na wartość β . W skałach, gdzie jest możliwe rozszerzanie się również do „wewnątrz” (porowatych), w pierwszej fazie wzrost β nie jest tak znaczny, jak w skałach o niskiej porowatości, w których już w pierwszej fazie ogrzewania możliwe jest jedynie rozszerzanie „na zewnątrz”, a dalszy wzrost temperatury powoduje zniszczenie struktury w wyniku znacznych naprężeń termicznych. O wielkości naprężeń termicznych decyduje bowiem moduł sprężystości (E) skały, współczynnik rozszerzalności β , różnica temperatur ΔT ; wielkość ich wyraża się wzorem $\sigma_T = E \cdot \beta \cdot \Delta T$. Z rosnącą temperaturą wzrasta więc również wartość σ_T . Naprężenia te jednak nie mogą rosnąć nieskończenie, lecz do krytycznej wartości ograniczonej wytrzymałością skały na rozciąganie. Po jej przekroczeniu w skale następują trwałe zmiany (szczeliny i spękania), rozluźnienie kontaktów międzyziarnowych, co w badaniach mikroskopowych zauważają np. G. A. Savanick, D. I. Johnson (4).

Jak więc z badań tych wynika współzależność współczynnika z mechanicznymi cechami skały jest bardzo ścisła i w wypadkach, gdy w masywie skalnym czynniki technologiczne wymuszają znaczne, zamierzone podwyższenie temperatury (2), niezbędna jest znajomość wartości β danego masywu skalnego. Wielu autorów podaje często wspólnie potraktowaną wartość $\beta \cdot E$ jako parametr charakterystyczny dla danego ośrodka skalnego. Dla piaskowców krośnieńskich średnie wartości $\beta \cdot E$, w kierunku największego rozszerzania i dla skał nie spękanych są następujące:

- piaskowce gruboławicowe ($\perp$) — 1,26 kg·cm⁻²·°C⁻¹
- piaskowce cienkoławicowe ($\parallel$) — 1,74 kg·cm⁻²·°C⁻¹
- piaskowce skorupowe — 1,06 kg/cm²·°C.

Z powyższych rozważań wynika więc, że cechy mechaniczne trudno jest rozpatrywać bez nawiązania do właściwości termicznych skały, gdyż pozostają one w ścisłym związku.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wskazują na ścisły związek cech termicznych z cechami strukturalno-teksturalnymi.

2. W poliminerálnym materiale skalnym badania cech termicznych powinny być określone za pomocą bezpośredniego pomiaru, gdyż określenie ich w sposób teoretyczny w nawiązaniu do procentowej zawartości składników nie uwzględnia wielu czynników wywierających wpływ na wartość wypadkową i prowadzi do znacznych błędów.

3. Skały o większej porowatości charakteryzują się mniejszą wartością współczynnika rozszerzalności cieplnej, gdyż część rozszerzania odbywa się kosztem przestrzemi porowych.

4. W piaskowcach krośnieńskich wartość parametru $\beta \cdot E$ osiąga znaczną wartość od 1,06 do 1,74 kg/cm²·°C zależnie od rodzaju piaskowca, co wywoływać może naprężenie termiczne $\sigma_T > 100$ kg/cm², przy różnicy temperatur ok. 100°.

LITERATURA

1. Chmura K. — Właściwości fizyko-termiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Wyd. „Śląsk”, Katowice, 1970.
2. Rybicki S. — Geologiczno-inżynierskie problemy otworowej eksploatacji siarki. Zesz. naukowe AGH — geologia 1973, z. 20.
3. Rzewski W., Nowik G. — The physics of Rocks. Wyd. Mir, Moskwa, 1970.
4. Savanick G. A., Johnson D. I. — Measurements of the strenght of grain boundaries in rock. Int. Journal Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech., no. 5, Pergamon — Press, 1974.

SUMMARY

The problem of relations between thermal parameters and physical and mechanical properties, structure, texture and mineral composition is analysed on the example of the Krosno sandstones. The analysis covered changes in values of these features resulting from changes in moisture, direction studied and course of discontinuities. In the vertical (stratigraphical) profile the thermal properties of the Krosno sandstones are determined by their age as well as texture, porosity, degree of saturation with water and in a some degree by mineral composition. An important discovery in the case of the Krosno sandstones is the that studies have shown differentiated direction of thermal anisotropy. Directions more suitable to expansion depend on texture of sandstone. In thick-bedded sandstones the expansion is greater in the direction normal to the bedding and in the thin-bedded sandstones — in direction parallel to the bedding.

Sandstones of the Krosno Beds are characterized by thermal conductivity coefficient λ ranging from 0.42 to 2.12 kcal/cm·h, heat proper c — 0.18 to 0.35 kcal/°kgG, coefficient of temperature compensation α — 0.89 to 2.75·10⁻³ m³/h and thermal expansion coefficient β — 0.4–0.2·10⁻⁵°C⁻¹.

The coefficient of heat conductivity is the lowest for thick-bedded sandstones and the highest for the corrugated. Intermediate values were found for thin-bedded sandstones. A full water saturation of sandstones results in increase of their heat conductivity two or three times or even more in higher temperatures. A differentiated thermal expansion of the Krosno sandstones results in unequal stress state in the rock massif and, therefore, in formation of fractures and discontinuities.

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены вопросы связи термических параметров с физическими и механическими свойствами: структурой, текстурой и минеральным составом — на примере кросненских песчаников. Эти свойства рассмотрены в широких пределах, на основании наблюдения их изменений в зависимости от влажности, направления исследований и положения поверхности раздела. В стратиграфическом профиле термические свойства кросненских песчаников зависят прежде всего не от возраста осадков,