

Maria KARWASIECKA, Jan KWARCINŃSKI

WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Badania właściwości fizycznych skał wykonywane na próbach z otworu wiertniczego Ruptawa IG 1 dotyczyły wyłącznie osadów karbonu. Zakres zaprojektowanych i wykonanych badań był bardzo szeroki i obejmował:

- masowe pomiary gęstości objętościowej,
- pomiary prędkości fali akustycznej,
- pomiary właściwości cieplnych,
- badania parametrów geotechnicznych.

Wykonawcą pomiarów gęstości objętościowej, prędkości fali akustycznej i parametrów cieplnych skał było Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie, natomiast badania właściwości geotechnicznych skał wykonano w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Budownictwa Górniczego BUDOKOP w Mysłowicach.

MASOWE POMIARY GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ

Pomiary gęstości objętościowej wykonywano na próbkach skał z całego rdzeniowanego odcinka utworów karbonu. Do pomiarów użyto gęstościomierza GS-3 na próbkach skał nasycanych wodą przez 24 godziny.

Próbki do badań pobierano ze stałym krokiem opróbowania wynoszącym 0,25 m. Ogółem badania gęstości obję-

tościowej wykonano na 7823 próbkach skał. Sposób pobierania i opisywania próbek pozwalał na jednoznaczne określenie litologii każdej próbki. Ilość próbek reprezentujących poszczególne typy litologiczne skał jest odzwierciedleniem ich udziału w profilu litologicznym karbonu.

Tabela 54

Średnie gęstości objętościowe podstawowych typów litologicznych skał

Average densities of basic lithological types of rocks

Wydzielenie litostratygraficzne Lithostratigraphy	Litologia próbki (warstwy) Lithology of samples (layers)			
	mułowce mudstones	piaskowce sandstone		
		drobnoziarniste fine-grained	średnioziarniste medium-grained	gruboziarniste coarse-grained
	średnia gęstość objętościowa [g/cm³]/ (liczba pomiarów) average densities of basic [g/cm³]/ (number of measurements)			
Górnośląska seria piaskowcowa	2,50 (55)	2,51 (22)	2,48 (163)	2,47 (153)
Seria paraliczna warstwy porębskie	2,64 (491)	2,64 (293)	2,58 (243)	2,55 (172)
Seria paraliczna warstwy jakłowieckie	2,60 (116)	2,66 (148)	2,62 (74)	2,58 (9)
Seria paraliczna warstwy gruszowskie	2,65 (715)	2,67 (525)	2,67 (439)	2,64 (59)
Seria paraliczna warstwy pietrkowickie	2,69 (492)	2,69 (473)	2,67 (406)	2,66 (17)
Warstwy malinowickie	2,71 (13)	2,70 (120)	2,64 (125)	–

Na podstawie analizy zmian średniej gęstości objętościowej poszczególnych typów litologicznych skał płonnych w profilu utworów karbonu można ocenić stopień diagenety skał. Analizę przeprowadzono dla czterech najlicz-

niej reprezentowanych typów litologicznych skał: mułowce oraz piaskowce w rozbiciu na piaskowce drobno-, średnio- i gruboziarniste (tab. 54).

POMIARY PRĘDKOŚCI FALI AKUSTYCZNEJ

Pomiary prędkości fali podłużnej wykonano metodą prześwietlania przy użyciu aparatury ISU-1 produkcji radzieckiej. Pomiary prędkości fali poprzecznej wykonano aparaturą produkcji IPPT PAN. Komplet badań obejmował pomiary prędkości fali podłużnej i poprzecznej, w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, osobno dla próbek skał w stanie powietrzno-suchym oraz w stanie nasyconym. Próbkę skał przygotowane do badań przed wykonaniem pomiarów suszono w suszarce próżniowej, a następnie nasycano 5% roztworem NaCl.

Ogółem pobrano 233 próbki do badań prędkości fali akustycznej. W procesie wycinania kształtek pomiarowych oraz podczas nasycania część próbek uległa zniszczeniu. W związku z tym, przedmiotem analizy wyników prędkości fali akustycznej było 127 próbek, dla których wykonano komplet pomiarów prędkości fali akustycznej w analizowanych kierunkach: w kierunku równoległym do osi otworu wiertniczego (rdzenia) 107 próbek oraz w kierunku prostopadłym do osi otworu 127 próbek. Probki te reprezentowały cztery podstawowe typy litologiczne skał: mułowce (MLC), piaskowce drobnoziarniste (PSC DR), piaskowce średnioziarniste (PSC ŚR) i piaskowce gruboziarniste (PSC GR) (tab. 55 i 56).

Średni współczynnik anizotropii prędkości fali akustycznej (stosunek prędkości fali akustycznej mierzonej w kierunku prostopadłym do osi otworu do prędkości fali akustycznej mierzonej równoległe do osi otworu) dla skał

grubookruchowych (piaskowców) jest niewielki i wynosi: prędkość fali podłużnej, dla próbek w stanie powietrzno-suchym – 1,0516 (PSC DR); 1,0409 (PSC ŚR); 1,0196 (PSC GR);

Tabela 55

Średnie wartości prędkości fali akustycznej w kierunku równoległym do osi otworu wiertniczego

Average value of velocity of acoustic wave parallel to the axis of the borehole

Typ litologiczny Lithology	Prędkość fali podłużnej [m/s]/ (liczba pomiarów) Longitudinal wave velocity [m/s]/ (number of measurements)		Prędkość fali poprzecznej [m/s]/ liczba pomiarów Transverse wave velocity [m/s]/ (number of measurements)
	Stan pow. – suchy Dry surface condition	Stan nasycony Saturated state	
MLC	4475 (8)	4508 (8)	2656 (8)
PSC DR	4185 (36)	4488 (36)	2686 (36)
PSC ŚR	4056 (47)	4506 (47)	2624 (47)
PSC GR	3716 (16)	4117 (16)	2312 (16)

MLC – mułowiec; PSC – piaskowiec; DR – drobnoziarnisty, ŚR – średnioziarnisty, GR – gruboziarnisty; ILC – ilowiec
MLC – mudstone; PSC – sandstone, DR – fine-grained, ŚR – medium-grained, GR – coarse-grained; ILC – claystone

Tabela 56

Średnie wartości prędkości fali akustycznej* w kierunku prostopadłym do osi otworu wiertniczego

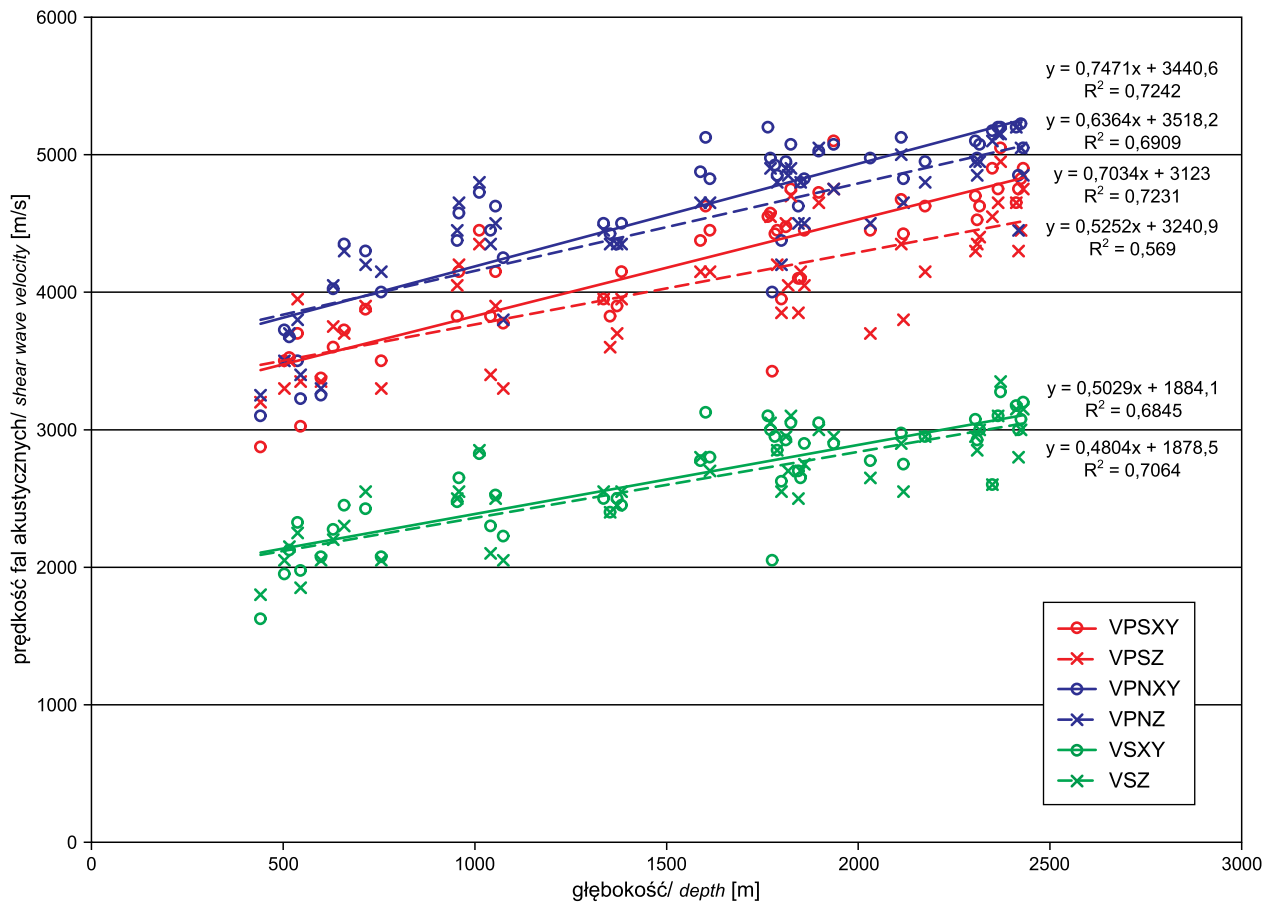
Average value of velocity of acoustic wave perpendicular to the axis of the borehole

Typ litologiczny Lithology	Prędkość fali podłużnej [m/s]/ (liczba pomiarów) Longitudinal wave velocity [m/s]/ (number of measurements)		Prędkość fali poprzecznej [m/s]/ liczba pomiarów Transverse wave velocity [m/s]/ (number of measurements)
	Stan pow. – suchy Dry surface condition	Stan nasycony Saturated state	
MLC	4938 (18)	4903 (18)	2842 (18)
PSC DR	4401 (43)	4663 (43)	2742 (43)
PSC ŚR	4222 (50)	4608 (50)	2670 (50)
PSC GR	3789 (16)	4170 (16)	2325 (16)

* Do obliczeń wartości prędkości fali akustycznej wzięto wartość średnią z dwóch wzajemnie prostopadłych kierunków.

* For the calculation of average value of velocity of acoustic wave of two mutually perpendicular directions was taken into account

MLC – mułowiec; PSC – piaskowiec, DR – drobnoziarnisty, ŚR – średnioziarnisty, GR – gruboziarnisty; ILC – ilowiec
MLC – mudstone; PSC – sandstone, DR – fine-grained, ŚR – medium-grained, GR – coarse-grained; ILC – claystone



VPSXY	średnia prędkość fali podłużnej w kierunku prostopadłym do osi rdzenia, stan suchy average value of longitudinal wave velocity perpendicular to the axis of the core, dry surface condition
VPSZ	prędkość fali podłużnej w kierunku równoległym do osi rdzenia, stan suchy longitudinal wave velocity parallel to the axis of the core, dry surface condition
VPXNY	średnia prędkość fali podłużnej w kierunku prostopadłym do osi rdzenia, w stanie nasyconym average value of longitudinal wave velocity perpendicular to the axis of the core, saturated state
VPXZ	prędkość fali podłużnej w kierunku równoległym do osi rdzenia, w stanie nasyconym longitudinal wave velocity parallel to the axis of the core, saturated state
VSXY	średnia prędkość fali poprzecznej w kierunku prostopadłym do osi rdzenia average value of transverse wave velocity perpendicular to the axis of the core
VSZ	prędkość fali poprzecznej w kierunku równoległym do osi rdzenia transverse wave velocity parallel to the axis of the core

Fig. 40. Wykresy pomiarów prędkości fali akustycznej z głębokością – dla prób piaskowców średnioziarnistych (PSC ŚR)

Velocity of acoustic wave the deep – for medium grained sandstone (PSC ŚR)

- prędkość fali podłużnej, dla próbek w stanie nasyconym – 1,0390 (PSC DR); 1,0226 (PSC ŚR); 1,0129 (PSC GR);
 - prędkość fali poprzecznej – 1,0201 (PSC DR), 1,0175 (PSC ŚR), 1,0056 (PSC GR).
 - Współczynnik anizotropii dla mułowców jest większy i wynosi odpowiednio:
 - prędkość fali podłużnej, dla próbek w stanie powietrzno-suchym – 1,1035;
 - prędkość fali podłużnej, dla próbek w stanie nasyconym – 1,0876;
 - prędkość fali poprzecznej – 1,0700.
- Dla wszystkich analizowanych typów litologicznych skał, rodzajów fali akustycznej, stanu próbki oraz kierunków prowadzenia pomiarów obserwujemy wzrost prędkości fali akustycznej wraz głębokością pobrania próbki (fig. 40).

POMIARY WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH

Pomiary przewodności cieplnej skał wykonano w warunkach stacjonarnego przepływu ciepła przy zastosowaniu aparatury λ M-2 skonstruowanej w Politechnice Szczecińskiej, a następnie zmodernizowanej w Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych (PBG). Podstawową zaletą metod realizowanych w warunkach stacjonarnych jest wysoka dokładność (1%). Wadą jest natomiast konieczność wykonania znormalizowanych kształtek i długi czas pomiaru.

Próbki przygotowane do badań przed wykonaniem pomiarów suszono w suszarce próżniowej a następnie nasycano 5% roztworem NaCl. Powierzchnie kształtek próbek pokryto pastą silikonową w celu minimalizacji oporności kontaktowej. Powierzchnie boczne kształtek zabezpieczono materiałem izolacyjnym. Pomiary właściwej pojemności cieplnej zrealizowano metodą kalorymetryczną, pomiary

wykonano dla próbek suchych. Gęstość próbek określono gęstościomierzem GS-3. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów przewodności cieplnej, pojemności cieplnej i gęstości obliczono współczynnik wyrównania temperatury. Pomiary przewodności cieplnej skał wykonano ogółem dla 253 próbek, przy czym 182 pomiary wykonano prostopadłe do osi otworu wiertniczego (p), natomiast 71 pomiarów wykonano w kierunku równoległym do osi rdzenia (r). Średnie wartości parametrów cieplnych dla poszczególnych podstawowych typów litologicznych skał karbońskich z otworu wiertniczego Ruptawa IG 1 zestawiono w tabeli 57.

W profilu Ruptawa IG 1 nie obserwowano związków korelacyjnych przewodności cieplnej z głębokością.

Tabela 57

Średnie wartości parametrów cieplnych skał

Average value of thermal properties of rocks

Litologia próbek Lithology of samples	Średnie wartości parametrów cieplnych/ (liczba pomiarów) average value of thermal properties/ (number of measurements)					
	przewodność cieplna (próbka nasycona) thermal conductivity [W/m ² K]		właściwa pojemność cieplna thermal capacity [J/g ² K]		współczynnik wyrównania temperatury thermal diffusivity [m ² /s]	
	kierunek „p” direction „p”	kierunek „r” direction „r”	pr. sucha samples to dry	pr. nasycona samples to saturated	kierunek „p” direction „p”	kierunek „r” direction „r”
ILC	2,40 (12)	2,19 (12)	0,887 (26)	0,924 (25)	0,969 (12)	0,889 (12)
MLC	2,58 (57)	2,02 (24)	0,884 (83)	0,923 (82)	1,045 (57)	0,813 (24)
PSC DRZ	2,99 (45)	2,64 (15)	0,867 (61)	0,903 (61)	1,240 (45)	1,092 (15)
PSC SRZ	3,54 (45)	3,26 (10)	0,853 (55)	0,896 (55)	1,490 (45)	1,365 (10)
PSC GRZ	3,80 (16)	3,61 (7)	0,858 (23)	0,945 (23)	1,570 (16)	1,492 (7)

BADANIA PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH

Badania parametrów geotechnicznych przeprowadzono na próbkach rdzenia wiertniczego ze stropowej części utworów karbonu, do głęb. 1000 m. Zasięg głębokościowy badań odpowiadał głębokości projektowanych (w latach 80. XX w.) kopalń węgla kamiennego. Zakres rzeczowy wykonanych badań obejmował:

- badania właściwości fizycznych skał,
- badania wskaźników wytrzymałości jednoosiowej,
- badania wskaźników wytrzymałości w trójosiowym stanie naprężeń próbek,
- badania właściwości sprężystych,
- badania parametrów reologicznych.

Tak szeroki zakres badań był podyktowany wymogami projektowania górniczego oraz koniecznością oceny zagrożeń naturalnych już na etapie projektowania. Ogółem pobrano 42 próbki skał, przy czym 11 próbek reprezentowało

utwory górnośląskiej serii piaskowcowej natomiast 31 utwory serii paralicznej (warstwy porębskie). Długość próbek rdzenia do badań standardowych, to jest właściwości fizycznych oraz wskaźników wytrzymałości i sprężystości, wynosiła ok. 1,0 m, natomiast do badań rozszerzonych, uwzględniających badanie wskaźników wytrzymałościowych w trójosiowym stanie naprężeń i parametrów reologicznych, pobierano próbki o długości ok. 2,0 m. Dla każdej próbki wykonywano po kilka oznaczeń poszczególnych parametrów geotechnicznych (od 2 do 5). Po krytycznej ocenie poszczególnych oznaczeń (wyeliminowanie pomiarów błędnych) każdej z próbek przyporządkowano wartość średnią badanego parametru geotechnicznego jako średnią arytmetyczną poszczególnych wyników pomiarów. Zestawienie wyników tych badań zestawiono w tabeli 58.

Tabela 58

Zestawienie wyników badań parametrów geotechnicznych skal (interwał zmienności średnich wartości dla poszczególnych prób skal)

Results of geotechnical parameters of rocks (average value for individual samples of rocks)

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Górnośląska seria piaskowcowa Upper Silesian Sandstones Series				Seria paraliczna Paralic Series			
		MLC (1)	PSC DR (6)	PSC ŚR (4)	ILC (4)	MLC (11)	PSC DR (12)	PSC ŚR (4)	
Właściwości fizyczne skal/physical properties of rocks									
Gęstość właściwa	kg/m ³ 10 ³	2,75	2,70–2,76	2,70–2,73	2,72–2,77	2,67–2,80	2,69–2,76	2,67–2,69	
Gęstość objętościowa w stanie wilgotnym	kg/m ³ 10 ³	2,53	2,03–2,51	2,43–2,54	2,50–2,59	2,47–2,64	2,41–2,64	2,39–2,58	
Gęstość objętościowa w stanie suchym	kg/m ³ 10 ³	2,48	1,77–2,43	2,35–2,44	2,42–2,56	2,42–2,59	2,35–2,59	2,34–2,51	
Wilgotność	%	1,93	2,62–14,85	3,20–3,90	1,26–3,46	1,43–2,35	1,90–2,67	1,75–2,85	
Porowatość całkowita	%	10	11–35	11–13	6–11	3–11	4–14	6–13	
Rozmakalność (skala GIG)	–	0,80	0,12–0,76	0,44–0,82	0,10–0,80	0,62–0,68	0,56–0,89	0,60–0,80	
Wskaźniki wytrzymałości i sprężystości skal/ index of strenght and elasticity of rock									
Wytrzymałość na ściskanie	MPa	10	3,6–32	3,2–33	15–26	17–41	23–48	23–37	
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	1,0	0,5–2,2	0,5–3,9	0,9–2,0	0,9–3,1	1,3–3,2	2,0–2,9	
Moduł Younga	MPa 10 ³	3,22	4,17–6,38	4,87–7,66	3,20–4,46	2,25–7,86	3,53–11,91	4,36–9,88	
Graniczne odkształcenie właściwe podłużne	10 ⁻⁴	59	45–62	49–58	60	43–71	39–62	39–62	
Liczba Poissona	–	0,33	0,25–0,34	0,30–0,32	0,26–0,34	0,21–0,32	0,15–0,30	0,24–0,29	
Wskaźniki wytrzymałości w trójosiowym stanie naprężeń próbek/index of strenght in triaxial state of stress									
Spójność	MPa	–	9,5–15,5	–	–	10,5–16,0	15,5–17,6	18	
Kąt tarcia wewnętrznego	stopnie°	–	40–41	–	–	34–41	40–41	41	
właściwości reologiczne/rheology properties									
Czas opóźnienia sprężystego	min	–	180–195	–	–	226–306	216–219	192	
Współczynnik lepkości	MPa min 10 ³	–	952–956	–	–	941–2104	1279–1632	1139	
Czas relaksacji naprężeń	min	–	90–98	–	–	140–186	124–130	101	

MLC – mulowiec; PSC – piaskowiec; DR – drobnziarniste; ŚR – średnioziarniste; ILC – ilowiec
 MLC – mudstone; PSC – sandstone; DR – fine-grained; ŚR – medium-grained; ILC – claystone