

ANALIZA GĘSTOŚCI I POROWATOŚCI Z BADAŃ LABORATORYJNYCH ORAZ WYNIKÓW POMIARÓW OTWOROWYCH I OBLICZEŃ W PROGRAMIE *ESTYMACJA* W WYBRANYCH OTWORACH W KARPATACH ZACHODNICH

**Analysis of density and porosity measurements on cores
and results of density log and *Estymacja* calculations
in the selected wells in the West Carpathians**

Jadwiga JARZYNA

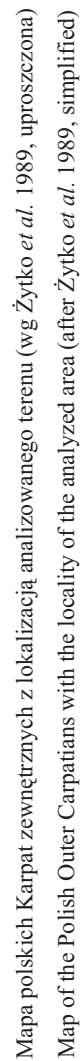
*Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: jarzyna@uci.agh.edu.pl*

Treść: Wykonano analizę zmian gęstości i porowatości w wybranych otworach Karpat Zachodnich. Wykorzystano wyniki badań laboratoryjnych z bazy PITAKA Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. oraz otworowe profilowania gęstościowe i wyniki obliczenia gęstości programem *Estymacja*, a także dane dotyczące kilkudziesięciu próbek poddanych badaniom porozymetrycznym. Zaobserwowano zgodność wyników pochodzących z różnych źródeł. Zestawienie danych dotyczących różnych formacji litostratygraficznych w grupach otworów z tego samego rejonu pozwoliło na wzajemne uzupełnienie informacji. Charakterystyka gęstościowa formacji litostratygraficznych została wykorzystana do modelowania grawimetrycznego. Porowatość i gęstość zostały włączone do utworzenia zgeneralizowanych modeli własności fizycznych wybranych formacji litostratygraficznych w Karpatach Zachodnich.

Słowa kluczowe: gęstość, porowatość, badania laboratoryjne, profilowania geofizyki otworowej, Karpaty Zachodnie

Abstract: The analysis of density and porosity changes was made for selected wells from the Western Carpathians. Laboratory data from the PITAKA database of the Polish Oil and Gas Company together with density logs and density values obtained from the *Estymacja* calculation as well as data for a few dozen samples from mercury porosimetry measurements were used. The agreement of results from different sources was observed. Data for different lithostratigraphic formations were set together for groups of wells from the same region. This enabled information to be mutually supplemented. Density characteristics of lithostratigraphic formations was used for gravity modeling. Porosity and density were employed to create generalized models of physical properties of selected lithostratigraphic formations from the Western Carpathians.

Key words: density, porosity, laboratory measurements, well logs, Western Carpathians



Mapa polskich Karpat zewnętrznych z lokalizacją analizowanego terenu (wg Żytko *et al.* 1989, uproszczona)

Map of the Polish Outer Carpatians with the locality of the analyzed area (after Żytko *et al.* 1989, simplified)

WSTĘP

Źródłem informacji o gęstości były wyniki badań laboratoryjnych na próbkach, wyniki pomiarów geofizyki otworowej oraz wyniki obliczeń prowadzonych w aplikacji *Estymacja* programu GeoWin (Bała & Cichy 2006, Bała & Witek 2007).

Wyniki badań laboratoryjnych pochodziły z bazy danych PITAKA PGNiG S.A. Obejmowały one porowatość [%], przepuszczalność [mD] i „ciężar właściwy” [g/cm³], podane w określonych przedziałach głębokościowych. W jednym interwale głębokościowym występowało czasem po kilka wartości analizowanych parametrów. Parametr określany mianem „ciężaru właściwego” jest gęstością, ale nie udało się sprecyzować, czy objętościową, czy mineralogiczną ze względu na brak opisu, w jaki sposób parametr ten był mierzony. W niektórych przypadkach podana wartość wydawała się za wysoka jako gęstość objętościowa przy określonym typie litologii i podanej porowatości.

Współczynnik przepuszczalności był podany jedynie sporadycznie, zatem, nie uwzględniono go w prowadzonej analizie. Dodatkowa informacja o gęstości objętościowej i mineralogicznej dla 31 próbek skał karbonu i dewonu z otworów Jachówka 2k, Roczyny 3 i Lachowice 7 pochodziła z badań porozymetrycznych wykonanych razem z badaniami MRJ (Jarzyna *et al.* 2007). Wyniki badań laboratoryjnych z bazy PITAKA oraz podział stratygraficzny udostępniło PGNiG S.A.

Próbki do badań laboratoryjnych nie były pobierane równomiernie w profilach otworów. Interwały opróbowane najczęściej obejmowały głębsze części otworów – utwory mioce-
nu autochtonicznego, karbonu, dewonu, zatem gęstość, GEST, i porowatość, PORO, odnosiły się tylko do tych wybranych odcinków. Wartości średnie zostały obliczone na podstawie różnej liczby danych. Jedynie w kilku przypadkach dysponowano kilkudziesięcioma próbkami w danej formacji litostratygraficznej, zwykle liczba próbek była mała. W kilku przypadkach podano wartość parametrów na podstawie pojedynczych oznaczeń.

Gęstości objętościowe z pomiaru, RHOB, oraz z obliczeń w programie *Estymacja*, RHEQ, obejmowały największe interwały i średnie wartości wyznaczone na ich podstawie są najbardziej wiarogodne.

Gęstość wyznaczona na próbkach skalnych została wykorzystana do oceny średniej wartości tego parametru w wydzielonych poziomach stratygraficznych. Podobnie postępowano z porowatością. Obliczano średnią geometryczną z wszystkich dostępnych wartości porowatości oraz średnią arytmetyczną, niewiele różniącą się od geometrycznej, dla gęstości. Obliczenie średniej geometrycznej w przypadku porowatości pozwalało zminimalizować wpływ wartości odstających, wyraźnie różniących się od większości danych w zbiorze. Założono, że wartości odstające, duże porowatości w przypadku analizowanych skał węglanowych, mogą nieść informację o szczelinach, dlatego nie ignorowano ich, ale minimalizowano ich wkład przy obliczaniu średniej. Podobnie opracowano gęstość objętościową z pomiaru oraz gęstość objętościową będącą wynikiem programu *Estymacja*.

Średnią gęstość w wydzielonych poziomach stratygraficznych wykorzystano dla tworzenia modelu w badaniach grawimetrycznych oraz do obliczenia impedancji akustycznej i współczynników odbicia w interpretacji sejsmicznej. Gęstości wyznaczone na próbkach, zarejestrowane podczas pomiaru oraz obliczone na podstawie przyjętego modelu litologiczno-porowatościowego w aplikacji *Estymacja*, wykorzystano do obliczenia krzywych zmian

gęstości z głębokością z wykorzystaniem sieci neuronowych. Gęstości oraz porowatość wyznaczone dla wydzielonych poziomów stratygraficznych połączono z danymi dotyczącymi oporności oraz prędkości i utworzono modelowe profile w wybranych otworach (Jarzyna & Bała 2008).

W tabelach zamieszczono wartości gęstości dla wyróżnionych poziomów stratygraficznych w otworach znajdujących się na lub w pobliżu profili wytypowanych do analiz grawimetrycznych i sejsmicznych oraz w pobliżu sondowań magnetotellurycznych wybranych do reinterpretacji. Przygotowane dane zostały uogólnione dla potrzeb modelowania grawimetrycznego i sejsmicznego. W grupach otworów występujących obok siebie przedstawiono wyniki we wspólnych tabelach.

GĘSTOŚĆ I POROWATOŚĆ W WYBRANYCH OTWORACH

Dane prezentowane w tabelach nie są jednorodne. Zgromadzono wszystkie wyniki w celu pełnego wykorzystania dostępnych danych oraz pokazania zróżnicowania wartości w zależności od źródła informacji. Opisy litologiczne występujące w tabelach są czasami bardzo ogólnikowe. Jednak uznano, że nawet skromna informacja o ośrodku skalnym uświadamia czytelnikowi, jaka może być przyczyna rozbieżności wartości analizowanych parametrów.

W tabeli 1 zamieszczono gęstości i porowatość skał występujących w profilu otworu Roczyny 3. Źródłem danych były wyniki obliczenia gęstości objętościowej w aplikacji *Estymacja*, RHEQ, profilowanie gamma–gamma, RHOB, wyniki z bazy PITAKA – odpowiednio GEST i PORO oraz wyniki badań porozymetrycznych – GEST OBJ i GEST MIN oraz porowatość FI. Ocena litologii pochodziła także z bazy PITAKA, natomiast autorem podziału stratygraficznego był Jarosław Zacharski (Zacharski 2006). Wyniki w otworze Roczyny 3 pochodzą ze wszystkich dostępnych źródeł.

W tabeli 2 znajdują się wyniki uzyskane dla otworu Wieprz 1. W tym przypadku dysponowano jedynie danymi z bazy PITAKA oraz wynikami uzyskanymi w aplikacji *Estymacja*.

W tabeli 3 zamieszczono wyniki w otworach Wysoka 1, 2 i 3. W otworze Wysoka 1 gęstość objętościowa została obliczona w aplikacji *Estymacja*, w otworze Wysoka 2 gęstość i porowatość w formacjach litostratygraficznych wyznaczono na podstawie wyników badań laboratoryjnych z bazy PITAKA oraz wyliczono w programie *Estymacja*. W otworze Wysoka 3 gęstość i porowatość wyznaczono na rdzeniach. Pomiary w otworach grupy Wysoka wykonano stosunkowo dawno i wśród wyników nie ma profilowania gamma–gamma. Trzy otwory grupy Wysoka leżą stosunkowo niedaleko, jednak nie zidentyfikowano w nich tych samych poziomów litostratygraficznych. Gęstości wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych różnią się niewiele. Niektóre różnice są skutkiem odmiennej litologii, np. w otworach Wysoka 2 i Wysoka 3 piętra karbonu są zbudowane z innych utworów i mają inne gęstości średnie. Zaznacza się także wpływ porowatości. Utwory miocenu, wykształcone podobnie, ale z przewagą innych typów litologicznych w trzech omawianych otworach mają nieco różne gęstości.

W tabeli 4 znajdują się wyniki dla otworu Chabówka 1. Gęstość i średnią porowatość dla wydzielonych poziomów stratygraficznych wyznaczono na podstawie wyników z bazy PITAKA oraz w wyniku obliczeń w aplikacji *Estymacja*.

Tabela (Table) 1
Gęstość i porowatość w otworze Roczyny 3
Density and porosity in Roczyny 3 well

Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	h [m]	Symbol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	RHOB [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	GEST OBJ [g/cm ³]	GEST MIN [g/cm ³]
15.0	1044.0	1029.0	M	iłowce, mulowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>		2.42				
1044.0	1069.5	25.5	C1	wapienie, piaskowce <i>limestones, sandstones</i>		2.64				
1069.5	1096.0	26.5	C1	wapienie, piaskowce <i>limestones, sandstones</i>		2.73				
1044.0	1096.0	52.0	C1	wapienie, piaskowce <i>limestones, sandstones</i>	2.64	2.69			2.53	2.66
1096.0	1580.0	484.0	D3+D2	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>		2.75	2.80	0.99	2.62	2.67
1580.0	1606.0	26.0	D1	piaskowce, zlepienie <i>sandstones, conglomerates</i>		2.31	2.69	1.90		
1606.0	1790.0	184.0	Cm	iłowce, mulowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	2.46	2.46	2.43			
1790.0	1804.0	14.0	Pr	granity <i>granites</i>	2.62	2.62				

Podział stratygraficzny wg J. Zacharskiego (2006), *Stratigraphy acc. J. Zacharski (2006)*: M – miocen, *Miocene*; C1 – karbon dln., *Lower Carboniferous*; D2+D3 – dewon śr. i gm., *Middle and Upper Devonian*; D1 – dewon dln., *Lower Devonian*; Cm – kamb, *Cambrian*, Pr – prekamb, *Precambrian*; Hstr – głębokość stropu, *Ht* – depth of the top, Hsp – głębokość spagu, *Hb* – depth of the bottom, h – miąższość, *thickness*

Tabela (Table) 2
 Gęstość i porowatość w otworze Wieprz 1
Density and porosity in Wieprz 1 well

Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	h [m]	Sym- bol Code	Stratygrafia <i>Strati- graphy</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	RHEQ [g/cm ³]
0.00	5.00	5.00	Q	Czwarto- rzęd <i>Quaternary</i>	gliny, piaski, żwiry <i>clays, sands, gravels</i>			2.45
5.00	57.00	52.00	wOk	formacja krośnieńska <i>Krosno Formation</i>	łupki, piaskowce, mułowce <i>shales, sandstones, mudstones</i>			2.41
57.00	98.00	41.00	wOm	formacja menilitowa <i>Menilite Formation</i>	łupki, piaskowce <i>shales, sandstone</i>			2.37
98.00	368.50	270.50	wEps_c	łupki pstre <i>Variegated shales</i>	łupki pstre <i>variegated shales</i>			2.44
368.50	1215.00	846.50	M	miocen <i>Miocene</i>	iłowce, mułowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	2.31	8.21	2.41
1215.00	1505.00	290.00	C2	karbon górny (Siles) <i>Upper Carboni- ferous (Silesian)</i>	piaskowce, iłowce, węgiel <i>sandstones, claystones, coal</i>	2.28	8.28	2.39

Średnie wartości gęstości obliczone na podstawie danych z bazy PITAKA, GEST, są wyższe niż obliczone programem *Estymacja*, RHEQ. Bardzo niskie porowatości w warstwach hieroglifowych, ropianieckich i w dolnej części utworów kredy górnej potwierdzają podwyższone gęstości.

Na figurze 1 przedstawiono wykres rozrzutu wartości gęstości wyznaczonych na podstawie badań laboratoryjnych, GEST, i gęstości objętościowej obliczonej programem *Estymacja*, RHEQ. Pojedyncze wyniki badań na próbkach dopasowano do wyników obliczeń. Rozrzut jest duży, ale różnice występują dopiero w setnych częściach, co dla celów zdefiniowanych w pracy nie stanowi przeszkody.

Tabela (Table) 3

Gęstość i porowatość w otworach Wysoka 1, Wysoka 2 i Wysoka 3
Density and porosity in Wysoka 1, Wysoka 2 and Wysoka 3 wells

Wysoka 2						Wysoka 3							Wysoka 1							
Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Sym- bol Code	Opis Lithology	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Sym- bol Code	Opis Lithology	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	RHEQ [g/cm ³]	Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Sym- bol Code	Opis Lithology	RHEQ [g/cm ³]
5	157	152	wK2s	iłowce, mulowce claystones, mudstones			5	290	285	wK2s	iłolupki shaly clays			2.67						
157	205	48	wK2g	łupki, piaskowce shales, sandstones			290	400	110	wK2g	łupki, piaskowce shales, sandstones			2.42						
205	628	423	wDK123	iłolupki, piaskowce shaly clays, sandstones			400	630	230	wDK123	łupki, piaskowce mulowce shales, sandstones, mudstones			2.42						
							630	740	110	JPS	iłolupki shaly clays			2.43	180	425	245	JPS	iłowce, piaskowce claystones, sandstones	2.4
628	1152	524	M	mulowce, piaskowce mudstones, sandstones	2.52	6.20	740	1573	833	M	piaskowce, zlepience sandstones, conglomo- merates	2.42	4.50	2.40	425	1150	725	M	iłowce, piaskowce claystones, sandstones	2.4
1152	1417	265	Cwi	iłowce, piaskowce claystones, mudstones	2.71	0.85	1573	1740	167	C2	łupki, mulowce shales, mudstones	2.52	4.95	2.36						

Tabela (Table) 3 cd.

Wysoka 2							Wysoka 3							Wysoka 1							
Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Sym- bol Code	Opis Lithology	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Sym- bol Code	Opis Lithology	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	RHEQ [g/cm ³]	Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Sym- bol Code	Opis Lithology	RHEQ [g/cm ³]	
							1740	1765	25	C1	iłowce, piaskowce claystones, sandstones	2.81	0.39	2.6							
1417	1650	233	D3	wapienie, dolomity limestones, dolomites	2.76	0.35	1765	1817	52	D3	wapienie, dolomity limestones, dolomites			2.62	1051	1330		D3	wapienie limestones	2.64	
							1817	2010	193	D2	wapienie, dolomity limestones, dolomites	2.82	1.63		1330	2008		D2	wapienie, dolomity limestones, dolomites	2.69	
							2010	2023	13	D1	piaskowce, łupki, mulowce sandstones, shales, mudstones				2008	2450		D1	piaskowce, iłowce sandstones, claystones	2.57	
							2023	2652	629	Cm	mulowce, piaskowce, iłowce mudstones, sandstones, claystones										
							2652	2755	103	Pr	iłowce claystones	2.55	3.95	2.63							

wK2s – formacja istebniańska, *Istebna Formation*; wK2g – formacja godulska, *Godula Formation*; wDK123 – formacja lgocka, *Lgota Formation*; JPS – jednostka podśląska, *Sub-Silesian Unit*; M – miocen, *Miocene*; Cwi – miocen, *Miocene*; Cwi – karbon, wizen, *Carboniferous, Visean*; C1 – karbon, silez, *Carboniferous, Silesian*; C2 – karbon, dinant, *Carboniferous, Dinantian*; D3+D2 – dewon górny i środkowy, *Upper and Middle Devonian*; D3 – dewon górny, *Upper Devonian*; D2 – dewon środkowy, *Middle Devonian*; D1 – dewon dolny, *Lower Devonian*; Cm – kamb, *Cambrian*; Pr – prekamb, *Precambrian*; Hstr, Ht – głębokość stropu, *depth of the top*; Hsp, Hb – głębokość spągu, *depth of the bottom*, h – miąższość, *thickness*

Tabela (Table) 4

Gęstość i porowatość w otworze Chabówka 1

Density and porosity in Chabówka 1 well

Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	h [m]	Symbol <i>Code</i>	Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	RHEQ [g/cm ³]
5	1600	1595	Pg	paleogen <i>Paleogene</i>	piaskowce i łupki <i>sandstones and shales</i>			2.45
1600	1940	340	K2	kreda górna <i>Upper Cretaceous</i>	piaskowce i łupki <i>sandstones and shales</i>			2.53
1940	2610	670	wOm_Ekh	formacja menilitowa +formacja krośnieńska <i>Menilite +Krosno Formation</i>	piaskowce i łupki <i>sandstones and shales</i>			2.58
2600	3540	940	wPhp	formacja hieroglifowa <i>Hieroglyphic Formation</i>	piaskowce i łupki <i>sandstones and shales</i>	2.64	0.91	2.61
3540	4524	984	wProp	formacja ropianiecka <i>Ropianka Formation</i>	piaskowce i łupki <i>sandstones and shales</i>	2.65	0.71	2.62
4524	spód otworu <i>bottom</i>		K2	kreda górna <i>Upper Cretaceous</i>	piaskowce i łupki <i>sandstones and shales</i>	2.66	0.69	2.62

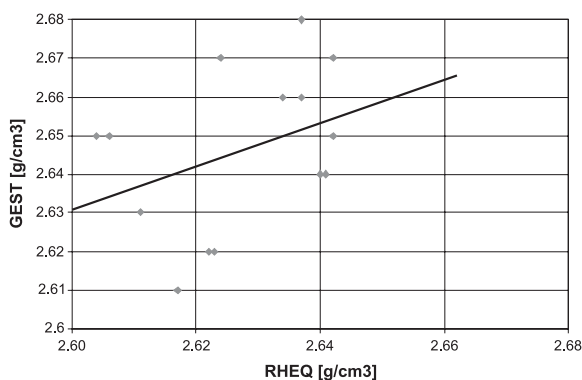

Fig. 1. Zestawienie wyników oznaczenia gęstości na próbkach, GEST, z wartościami obliczonymi w programie *Estymacja*, RHEQ, w otworze Chabówka 1

Fig. 1. Dispersion plot of density results from lab measurements, GEST, and *Estymacja* calculation, RHEQ, in Chabówka 1 well

W tabeli 5 znajduje się zestawienie wyników badań laboratoryjnych i gęstości objętościowej obliczonej w aplikacji *Estymacja* w otworze Zawoja 1. W bazie PITAKA dla otworu Zawoja 1 znajduje się 60 danych dla porowatości i gęstości, najwięcej próbek znajduje się w interwale występowania karpatu (30). Średnia geometryczna wartość porowatości oraz średnia arytmetyczna wartość gęstości obliczone w tym odcinku są reprezentatywne. W pozostałych interwałach odpowiadających jednostkom stratygraficznym liczebność próbek jest mała. Formacja lgocka w interwale 1965÷2014 m jest reprezentowana przez jedną próbkę, ale gęstość tej próbki jest taka sama, jak średnia gęstość próbek w interwale 2164÷2727 m, także odpowiadającym formacji lgockiej.

Tabela (Table) 5

Gęstość i porowatość w otworze Zawoja 1

Density and porosity in Zawoja 1 well

Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Opis litologiczny Lithology	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]
50	240	190	miocen <i>Miocene</i>	(nieokreślone) <i>undefined</i>	2.52		
240	1250	1010	jednostka magurska <i>Magura Unit</i>	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.58	2.57	3.09
1250	1343	93	formacja lgocka <i>Lgota Formation</i>	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.59		
1343	1525	182	łupki pstre <i>Variegated shales</i>	łupki pstre <i>variegated shales</i>	2.63		
1525	1965	440	formacja istebniańska <i>Istebna Formation</i>	iłółupki, piaskowce <i>shaly clays, sandstones</i>	2.60		
1965	2014	49	formacja lgocka <i>Lgota Formation</i>	iłowce, piaskowce <i>claystones, sandstones</i>	2.63	2.63	0.62
2014	2164	150	karpac (helwet) <i>Carpatian (Helvetian)</i>	iłowce, mułowce <i>claystones, mudstones</i>	2.62		
2164	2727	563	formacja lgocka <i>Lgota Formation</i>	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.61	2.63	1.02
2727	3217	490	formacja menilitowo-krośnieńska <i>Menilite-Krosno Formation</i>	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.59	2.63	1.55
3217	3867	650	kreda dolna – eocen <i>Lower Cretaceous – Eocene</i>	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.58		
3867	4825	958	karpac (helwet) <i>Carpatian (Helvetian)</i>	iłowce, mułowce, piaskowce; <i>claystones,</i> <i>mudstones, sandstones</i>	2.60	2.59	2.51
4825	4858	33	Trias <i>Triassic</i>	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.59		
4858	5023	165	karbon górny (Siles) <i>Upper Carboniferous (Silesian)</i>	piaskowce, iłowce, mułowce <i>sandstones,</i> <i>claystones, mudstones</i>	2.62	2.60	2,54

Tabela (Table) 6

Gęstość i porowatość w otworach Wiśniowa IG1, Wiśniowa 3, Wiśniowa 4 i Wiśniowa 6; *Density and porosity in Wiśniowa IG1, Wiśniowa 3, Wiśniowa 4 and Wiśniowa 6 wells*

Wiśniowa IG1						Wiśniowa 3						Wiśniowa 4						Wiśniowa 6					
Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]
75.0	85.0		łupki pstre <i>variegated shales</i>														10	640	wK2s		2.44		
85.0	267.5	K1				5	2275	FKN	łupki zielone czerwone <i>green and red schists</i>	2.43	3.74						640	729	wK2g		2.46		
267.5	315.0	E															729	1312	K1		2.43	2.62	0.61
315.0	430.0	E1															1312	1867	JPS		2.42	2.67	1.37
2268.0	2647.0	M1		2.63	3.16	2275	2323	M	iłowce, mułowce <i>claystone udstone</i>	2.52	1.06	50	2100	karpac <i>Carpatian</i>		2.43	1867	2052	M	piaskowce, iłowce, mułowce <i>sandstones, claystones, mudstones</i>	2.41	2.50	4.72
						2323	2332	M	zlepienie <i>conglomerates</i>			2100	2325	M		2.46							
																	2052	2080	Kt	łupki, wapienie <i>shales, limestones</i>	2.56	2.62	2.31
																	2080	2093	Kc	piaskowce, margle <i>sandstones, marls</i>	2.58	2.43	2.53
2647.0	2756.6	J3	dolomity, piaskowce <i>dolomites, sandstones</i>	2.53		2332	2460	J3	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>	2.62	2.13	2325	2460	J3		2.68	2093	2208	J3	wapienie <i>limestones</i>		2.71	0.91
2756.6	2758.8	J2	wapienie dolomit. <i>dolomitic limestones</i>	2.74	1.10	2460	2475	J2	piaskowce, mułowce <i>sandstones, mudstones</i>	2.39	15.9	2460	2490	J2	2.60								
												2490	2562	trias pstry piaskowiec <i>Triassic, Bunter Sandstone</i>	2.63								
2771.3	2891.0	Pz1	zlepienie, brekcje <i>conglomerates, breccia</i>			2505	2613	Cm	piaskowce, iłowce <i>sandstones, claystones</i>	2.45	4.97						2208	2318	Cm	mułowce, piaskowce <i>mudstones, sandstones</i>	2.60	2.73	1.50
																	2318	2454	Pr		2.58		

wK2s – formacja istebniańska, *Istebna Formation*; wK2g – formacja godulska, *Godula Formation*; K1 – kreda dolna, *Lower Cretaceous*; JPS – jednostka pośląska, *Sub-Silesian Unit*; FKN – flisz karpacki, *Carpatian flysch*; E1 – eocen nierozdzielony, *Eocene not divided*; E1 – eocen dolny, *Lower Eocene*; M – miocen, *Miocene*; Kt – kreda, turon, *Cretaceous, Turonian*; Kc – kreda, cenoman, *Cretaceous, Cenomanian*; J3 – jura górna, *Upper Jurassic*; J2 – jura środkowa, *Middle Jurassic*; T – trias pstry piaskowiec, *Triassic, Bunter Sandstone*; Cm – kambr, *Cambrian*; Pr – prekamb, *Precambrian*; Hstr, *Ht* – głębokość stropu, *depth of the top*; Hsp, *Hb* – głębokość spagu, *depth of the bottom*; h – miąższość, *thickness*

Tabela (Table) 7

Gęstość i porowatość w otworach Andrychów 1, 2 i 3; *Density and porosity in Andrychów 1, 2 and 3 wells*

Andrychów 2						Andrychów 1						Andrychów 3						
Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Symbol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]
4	57	wDK123	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>			15.0	55.0	Mwy	mułowce, piaskowce <i>mudstones, sandstones</i>			26.0	318.0	Mwy	łupki, piaskowce, mułowce <i>shales, sandstones, mudstones</i>	2.33	2.33	8.52
57	220	wDK4	wapienie, łupki <i>limestones, shales</i>			55.0	215.0	JPS	łupki <i>shales</i>									
220	414	JPS	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>			215.0	375.0	Mwy	mułowce, piaskowce, łupki <i>mudstones, shales, sandstones</i>	2.42	11.37							
414	545	Mwy	mułowce, piaskowce, łupki <i>mudstones, shales, sandstones</i>									318.0	448.0	JPS	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.35		
												448.0	525.0	Mwy	mułowce, piaskowce, łupki <i>mudstones, sandstones, shales</i>	2.39	2.44	6.72
545	1395	JPS	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.46	7.97	375.0	1050.0	JPS	iłowce, mułowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	2.34	10.34	525.0	975.0	JPS	piaskowce <i>sandstones</i>	2.44	2.40	11.51
1395	1472	K1	wapienie <i>limestones</i>	2.70	2.19													
1472	1595	M	łupki, piaskowce, mułowce, zlepieńce <i>shales, sandstones, udstones conglomerates</i>	2.66	3.42							975.0	1201.0	M	łupki, piaskowce, mułowce <i>shales, sandstones, mudstones</i>	2.43	2.45	7.05
												1201.0	1287.0	M	zlepieńce <i>conglomerates</i>	2.45	2.62	6.07
1595	1620	C1	wapienie, łupki <i>limestones, shales</i>									1287.0	1512.0	Cn	piaskowce, łupki, mułowce <i>sandstones, shales, mudstones</i>	2.45	2.43	5.96
												1512.0	1643.0	Cwi	piaskowce, łupki, mułowce <i>sandstones, shales, mudstones</i>	2.63	2.57	4.82
1620	1847	Dfa	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>	2.69	2.10							1643.0	1743.0	Dfa	wapienie <i>limestones</i>	2.62	2.72	2.06
1847	2077	Dfr	wapienie <i>limestones</i>	2.81	1.27							1743.0	1994.0	Dfr	wapienie <i>limestones</i>	2.65	2.74	0.53
2077	2090	Dgt	wapienie <i>limestones</i>									1994.0	2020.0	Dgt	wapienie <i>limestones</i>	2.68	2.69	1.08
2090	2263	De	wapienie <i>limestones</i>	2.78	2.34							2020.0	2213.0	De	dolomity <i>dolomites</i>	2.76	2.82	1.20
2263	2297	D1	piaskowce <i>sandstones</i>	2.61	3.97							2213.0	2258.0	D1	piaskowce <i>sandstones</i>	2.56	2.63	3.39
2297	2464	Cm	kwarcyty <i>quartzites</i>	2.42	9.93							2258.0	2387.5	Cm	piaskowce <i>sandstones</i>	2.56	2.55	5.12
												2387.5	2453.1	Pr		2.62		

wDK123 – formacja wierzowska, *Verovice Formation*; wDK4 – formacja lgocka, *Lgota Formation*; JPS – jednostka poślaska, *Sub-Silesian Unit*; Mwy – miocen wyruszony, *dislocated Miocene*; K1 – kreda dolna, *Lower Cretaceous*; M – miocen, *Miocene*; C1 – karbon, *Carboniferous*; Cn – karbon, namur, *Carboniferous, Namurian*; Cwi – karbon, wizen, *Carboniferous, Visean*; Dfa – dewon, famen, *Devonian, Famennian*; Dfr – dewon, fran, *Devonian, Frasnian*; Dgt – dewon, żywet, *Devonian, Givetian*; De – dewon, eifel, *Devonian, Eifelian*; D1 – dewon dolny, *Lower Devonian*; Cm – kambr, *Cambrian*; Pr – prekamb, *Precambrian*; Hstr, Ht – głębokość stropu, *depth of the top*; Hsp, Hb – głębokość spągu, *depth of the bottom*; h – miąższość, *thickness*

Tabela (Table) 9

Gęstość i porowatość w otworach Lachowice 3a i 7; *Density and porosity in Lachowice 3a and Lachowice 7 wells*

Lachowice 1						Lachowice 3						Lachowice 3a						Lachowice 7								
Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Symbol <i>Code</i>	Opis litolog. <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Symbol <i>Code</i>	Opis litolog. <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Symbol <i>Code</i>	Opis litolog. <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Symbol <i>Code</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	RHOB [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]
5	880	E	łupki, piaskowce, ułowce <i>shales, sandstones, mudstones</i>	2.58	2.17	5	670	wOmo	łupki, diaskopia <i>shales, sandstones</i>			5	503	wOmo	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.29			27	2188	FKN		2.44			
880	2867	Ol	łupki, piaskowce, mułowce <i>shales, sandstones, mudstones</i>	2.61	1.25	670	920	wEps_c	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.42	8.22	503	837	wEps_c	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.28			2188	2442	FKN		2.47			
2867	3245	Ol	łupki, piaskowce, mułowce <i>shales, sandstones, mudstones</i>			920	1040	wK2i	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>			837	1031	wK2i	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.30										
						1040	1878	wDK123	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.65	2.56	1031	1703	wDK123	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.40										
						1878	2948	wOk	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.64	1.99	1703	2910	wOk	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.48										
						2948	3661	M	łupki, piaskowce, mułowce <i>sandstones, shales, mudstones</i>	2.62	0.92	2910	3840	M	łupki, piaskowce, mułowce <i>sandstones, shales, mudstones</i>	2.57	2.55	3.53	2442	2740	M		2.58	2.55	2.69	1.94
3245	3952	Mh	łupki, piaskowce, mułowce <i>sandstones, shales, mudstones</i>	2.57	1.57																					
3952	4122	D2+D3	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>	2.68	1.76							3840	3890	D2+D3	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>	2.73	2.70	0.95	2740	2800	D3+D2(6)	wapienie <i>limestones</i>	2.69	2.58	2.76	1.12
																			2800	2918	D3+D2(5)	wapienie <i>limestones</i>	2.70	2.69	2.82	1.17
																			2918	2982	D3+D2(4)	dolomity, iłowce <i>dolomites, claystones</i>	2.76	2.76	2.88	1.40
																			2982	2985	D3+D2(3)	iłowce, dolomity <i>claystones, dolomites</i>	2.65	2.66	2.85	2.01
																			2985	3036	D3+D2(2)	dolomity, iłowce <i>claystones, dolomites</i>	2.75	2.81	2.74	0.79
4122	4136	D1	piaskowce <i>sandstones</i>									3890	3907	D1	piaskowce <i>sandstones</i>	2.73			3036	3060	D1(1)	piaskowce <i>sandstones</i>	2.48			
4136	4525	Cm	piaskowce, iłowce <i>sandstones, mudstones</i>	2.64	0.68							3907	3930	Cm	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.62			3060	3098	Cm		2.44	2.44	2.29	13.76

E – eocen, *Eocene*; Ol – oligocen, *Oligocene*; wOmo – formacja magurska oligoceńska, *Magura Oligocene Formation*; wEps_c – formacja pstrego eocenu, *mottled Eocene Formation*; wK2i – formacja inoceramowa, *Inoceraman Formation*; wDK123 – formacja lgocka, *Lgota Formation*; wOk – formacja krośnieńska, *Krosno formation*; FKN – flisz karpacki, *Carpatian flysch*; M – miocen, *Miocene*; Mh – helwet-karpat, *Helvetian-Carpatian*; D3, D2 i D1 – dewon górny, środkowy i dolny; *Upper, Middle and Lower Devonian*; D1(1), D3+D2(2), ..., D3+D2(5) – podział stratygraficzny wg J. Zacharskiego (2006), *stratigraphy acc. Zacharski J. (2006)*; Cm – kambr, *Cambrian*; Hstr, Ht – głębokość stropu, *depth of the top*; Hsp, Hb – głębokość spagu, *depth of the bottom*; h – miąższość, *thickness*

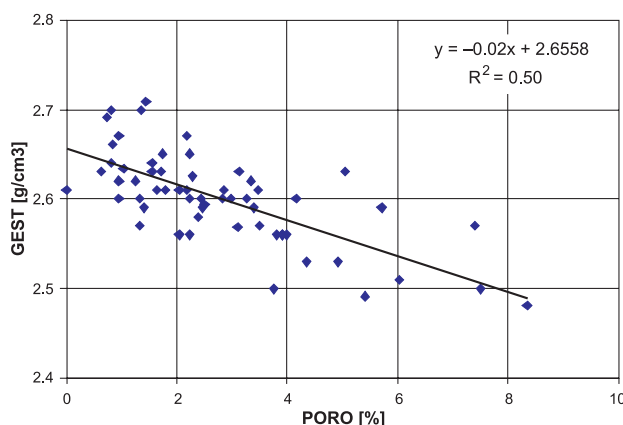


Fig. 2. Zależność gęstości od porowatości w otworze Zawoja 1

Fig. 2. Density vs. porosity dependence in Zawoja 1 well

Na figurze 2 przedstawiono zależność gęstości, GEST i porowatości, PORO, uzyskanych z badań laboratoryjnych. Rozrzut punktów jest wynikiem zróżnicowania litologicznego skał w interwale 408÷5015 m oraz błędów metod wyznaczenia gęstości i porowatości. Porowatość skał, głównie reprezentowanych przez łupki i piaskowce zmienia się w przedziale od 0.62 do 8.33%, gęstość natomiast od 2.48 do 2.75 g/cm³. Średnie wartości GEST są zbliżone do wartości RHEQ w większości przypadków.

W tabeli 6 znajdują się wyniki wyznaczenia gęstości w grupie otworów Wiśniowa. W otworach Wiśniowa IG1 i Wiśniowa 3 dysponowano jedynie wynikami oznaczeń laboratoryjnych z bazy danych PITAKA, GEST i PORO. W otworze Wiśniowa 4 obliczono jedynie wartość gęstości objętościowej w aplikacji *Estymacja*, RHEQ. Dla skał z profilu otworu Wiśniowa 6 dostępne były wyniki z bazy PITAKA oraz wyniki obliczeń gęstości objętościowej programem *Estymacja*. W tabeli 6 występuje wiele nieoznaczonych wartości, dlatego, że dysponowano niejednorodnymi danymi oraz dlatego, że w czterech otworach nie wyznaczono wszystkich tych samych poziomów stratygraficznych. Analiza poszczególnych wyników wskazuje na zgodność danych. Na figurze 3 zestawiono wyniki oznaczeń laboratoryjnych gęstości i porowatości w otworach grupy Wiśniowa. Najbardziej reprezentatywne i najlepiej skorelowane ($R^2=0.78$) są dane dla piaskowcowo-iłowcowo-mułowcowych utworów miocenu w otworze Wiśniowa IG1. Dobrze wkomponowują się także mułowce i piaskowce kambru z otworu Wiśniowa 6. Wyniki dla węglanowych utworów jury są najbardziej rozproszone.

W tabeli 7 zgromadzono wyniki wyznaczenia gęstości i porowatości w grupie otworów Andrychów. Na figurze 4 przedstawiono zależność gęstości, GEST, i porowatości, PORO, obliczonych jako średnie dla formacji litostratygraficznych w otworze Andrychów 3. Obie grupy wyników badań laboratoryjnych dobrze korelują ze sobą. Widać jedną wartość odstającą (11.51% i 2.4 g/cm³), odpowiadającą piaskowcom jednostki podśląskiej, JPS. Dla JPS dysponowano kompletem 2 wyników. Wartości porowatości i przepuszczalności wynosiły odpowiednio: 10.74% i 0.3 mD oraz 12.28% i 15.2 mD przy tej samej gęstości 2.4 g/cm³. Na figurze 5 zilustrowano zależność średnich gęstości GEST i gęstości objętościowych RHEQ obliczonych w programie *Estymacja* dla formacji litostratygraficznych. Widać dużą zgodność wyników.

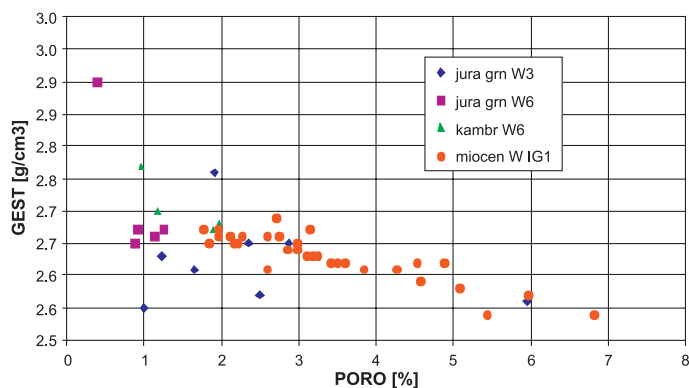


Fig. 3. Wykres rozrzutu gęstości i porowatości z badań laboratoryjnych w otworach grupy Wiśniowa

Fig. 3. Dispersion plot of density and porosity from lab measurements in the Wiśniowa wells

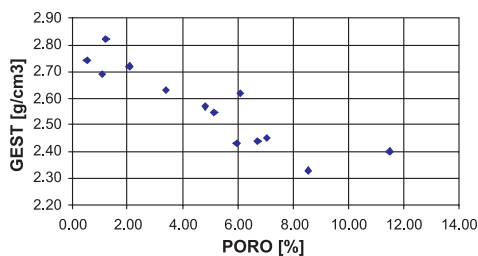


Fig. 4. Średnie gęstości i porowatości dla formacji litostratigraficznych wyznaczone na próbkach w otworze Andrychów 3

Fig. 4. Means of density and porosity for lithostratigraphic formations from lab measurements for Andrychów 3 well

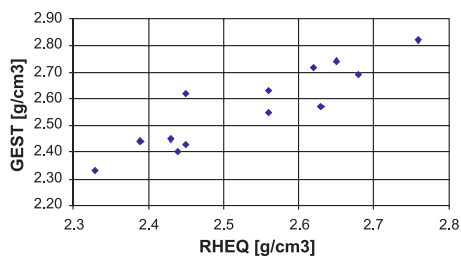


Fig. 5. Średnie gęstości dla formacji litostratigraficznych wyznaczone na próbkach oraz obliczone w programie *Estymacja* w otworze Andrychów 3

Fig. 5. Means of density for lithostratigraphic formations from lab measurements and from *Estymacja* program in Andrychów 3 well

Tabela (Table) 8

Gęstość i porowatość w otworze Jachówka 2k (głębokość wg wiercenia)

Density and porosity in Jachówka 2k well (drilling depth)

Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	h [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	GEST OBJ [g/cm ³]	GEST MIN [g/cm ³]	FI [%]
3	1490	1487	wEc	formacja ciężkowicka <i>Ciezkowice Formation</i>	piaskowce <i>sandstones</i>	2.49	2.57	3.44			
1490	1506	16	wEps	łupki pstre <i>Variegated shales</i>	łupki pstre <i>variegated shales</i>	2.46					

Tabela (Table) 8 cd.

Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	h [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Opis litologiczny <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	GEST OBJ [g/cm ³]	GEST MIN [g/cm ³]	FI [%]
1506	1890	384	wK2i	formacja inoceramowa <i>Inoceramian Formation</i>	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.50	2.57	4.82			
1890	2240	350	JSL	jednostka ślaska <i>Silesian Unit</i>	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>	2.43					
2240	2535	295	M	Miocen <i>Miocene</i>	piaskowce, łupki, zlepienie <i>sandstones, shales, conglomerates</i>	2.56	2.61	1.21			
2535	3310	775	Mhol	karpac z olistolitami fliszowymi <i>Carpatian with flysch olistolites</i>	zlepienie, piaskowce <i>conglomerates, sandstones</i>	2.61	2.66	1.82			
3310	3548	238	C2	karbon górny (Silez) <i>Upper Carboniferous (Silesian)</i>	piaskowce, iłowce, węgiel <i>sandstones, claystones, coal</i>	2.51	2.49	0.22	2.75	2.79	1.32
									2.49	2.54	1.58
3548	3642	94	Cwi	karbon, wizen <i>Carboniferous, Visean</i>	wapienie, margle <i>limestones, marls</i>	2.70					
3642	3726	84	Dfa	dewon, famen <i>Devonian, Famennian</i>	wapienie <i>limestones</i>		2.72	0.22			
3726	3862	136	Dfr	dewon, fran <i>Devonian, Frasnian</i>	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>	2.69			2.58	2.59	0.40
3862	4167	305	D2	dewon środkowy <i>Middle Devonian</i>	wapienie, dolomity <i>limestones, dolomites</i>	2.76					
4167	4182	15	D1	dewon dolny <i>Lower Devonian</i>	piaskowce, zlepienie <i>sandstones, conglomerates</i>						
4182	4281	99	Cm	kambr <i>Cambrian</i>	piaskowce łupki, zlepienie <i>sandstones, shales, conglomerates</i>	2.53					

W tabeli 8 znajdują się wyniki oznaczenia gęstości i porowatości w otworze Jachówka 2k. Obejmują one dane bazy PITAKA, wyniki obliczenia gęstości objętościowej w aplikacji *Estymacja* oraz wyniki badań porozymetrem rtęciowym. Wprawdzie w bazie danych PITAKA znajdują się także wyniki dla otworu Jachówka 1, ale nie zostały one włączone do niniejszego pracowania ze względu na duży rozrzut wyników. W tabeli 8 przedstawiono szczegółowe wydzielenie warstw występujących w interwale 3÷2240 m. Dla nich podano średnie wartości gęstości i porowatości. Niewielkie różnice zacierają się, gdy podamy gęstości średnie według podziału stratygraficznego określającego jedynie utwory płaszczowiny magurskiej w interwale 3÷188 m oraz utwory płaszczowiny śląskiej i podśląskiej w interwale 188÷2240 m.

W tabeli 9 przedstawiono wyniki dla otworów Lachowice 1, 3, 3a i 7. Wyniki z bazy danych PITAKA obejmują wszystkie otwory, dodatkowo w otworach L3a i 7 obliczono gęstość objętościową programem *Estymacja*. W otworze L7 był także wykonany pomiar gęstości porozymetrem rtęciowym. Interwały, w których występują dane w poszczególnych otworach są rozłączne, zatem, można porównać ze sobą tylko niektóre wyniki.

Na figurze 6 przedstawiono wykres zależności gęstości i porowatości z badań laboratoryjnych w otworach Lachowice. Najwięcej danych mieści się w przedziale gęstości od 2.5 do 2.9 g/cm³ i porowatości od bliskich zera do ok. 5. Cztery wyniki wychodzą poza ten przedział. Wysoką porowatością charakteryzują się dwie próbki kambryjskie z otworu Lachowice 7 oraz formacja krośnieńska i utwory pstrego eocenu w otworze L3. Wysoka porowatość i stosunkowo niska gęstość piaskowcowo-iłowcowych utworów kambru w Lachowicach 7 nie koreluje z niską porowatością i stosunkowo wysoką gęstością podobnych litologicznie utworów kambru w Lachowicach 1 (baza danych PITAKA) i wysoką gęstością obliczoną programem *Estymacja* w otworze Lachowice 3a.

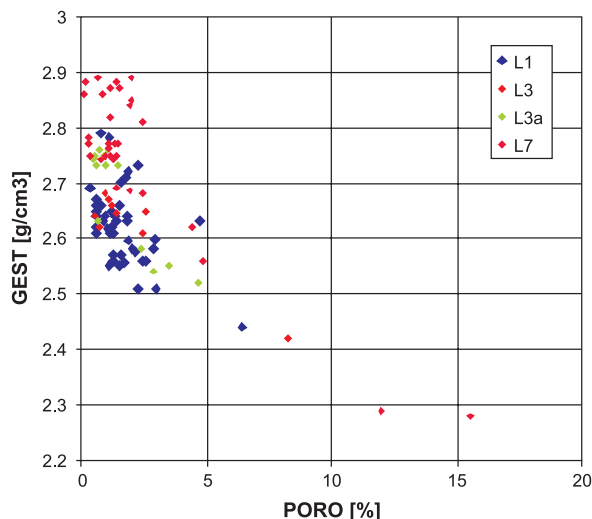


Fig. 6. Wykres rozrzutu dla gęstości, GEST, i porowatości, PORO, w otworach Lachowice 1, 3, 3a i 7

Fig. 6. Dispersion plot of density, GEST, and porosity, PORO, in Lachowice 1, 3, 3a and 7 wells

W tabeli 10 wpisano średnie wartości gęstości i porowatości wyznaczone na próbkach skał w otworach Dobczyce 5 i 6 w interwale występowania fliszowych formacji istebniańskiej i godulskiej, piaskowców i łupków kredy górnej oraz mułowców i piaskowców miocenu. W otworze Dobczyce 6 występują też dane dla wapieni jury górnej. W tym otworze obliczono także gęstość objętościową wykorzystując program *Estymacja*.

Tabela (Table) 10

Gęstość i porowatość w otworach Dobczyce 5 i 6

Density and porosity in Dobczyce 5 and Dobczyce 6 wells

Dobczyce 5						Dobczyce 6						
Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litolog. <i>Lithology</i>	GEST [g/cm ³]	PORO [%]	Hstr <i>Ht</i> [m]	Hsp <i>Hb</i> [m]	Sym- bol <i>Code</i>	Opis litolog. <i>Lithology</i>	RHEQ [g/cm ³]	GEST [g/cm ³]	PORO [%]
10	976	wK2s	mułowce, piaskowce, łupki <i>mudstones, sandstones, shales</i>	2.55	10.12	15	1290	wK2s	piaskowce, łupki, mułowce <i>sandstones, shales, mudstones</i>	2.43	2.39	4.16
976	1090	wK2g	łupki, piaskowce <i>shales, sandstones</i>			1290	1407	wK2g	piaskowce, mułowce <i>sandstones, mudstones</i>	2.52	2.56	0.86
1090	1597	K1	piaskowce, łupki <i>sandstones, shales</i>	2.52	1.34							
1597	1912	M	mułowce, piaskowce <i>mudstones, sandstones</i>	2.53	3.14	1407	1949	Mb3	piaskowce, mułowce <i>sandstones, mudstones</i>	2.61	2.52	2.64
						1949	1984	J3	wapienie <i>limestones</i>	2.68	2.70	0.15

wK2s – formacja istebniańska, *Istebna Formation*; wK2g – formacja godulska, *Godula Formation*; K1 – kreda dolna, *Lower Cretaceous*; M – miocen, *Miocene*; Mb3 – baden górny, *Upper Badenian*; J3 – jura górna (Malm), *Upper Jurassic (Malm)*

Wyniki badań laboratoryjnych dobrze korelują ze sobą. Na figurze 7 przedstawiono wykres rozrzutu dla gęstości i porowatości oznaczonych w badaniach laboratoryjnych w obu otworach. W tabeli 11 znajdują się równania regresji i współczynniki determinacji dla danych z obu otworów osobno oraz dla wspólnej grupy D5 + D6. Podobne współczynniki R2 oraz podobne współczynniki w równaniach regresji potwierdzają spójność danych. Analiza wyników w tabeli 11 wskazuje, że wyniki odnoszą się do skał tych samych formacji straty-

graficznych o podobnym wykształceniu litologicznym, występujących na zbliżonych głębokościach. Najwyższe porowatości i stosunkowo niskie gęstości zarejestrowano dla formacji istebniańskiej w otworze Dobczyce 5. W otworze Dobczyce 6 gęstość w piaskowcach tej formacji jest jeszcze niższa (zarówno dla danych z bazy PITAKA jak i dla wyników obliczeń w programie Estymacja), ale porowatość już nie jest tak wysoka, jak w otworze D5. Znaczną porowatość w porównaniu do wapieni jury przedstawiają także piaskowcowo-mułowcowe utwory miocenu w otworze D6.

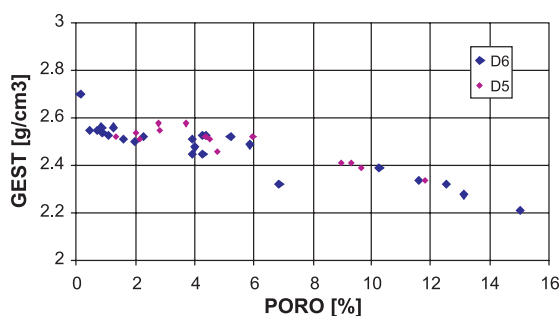


Fig. 7. Wykres rozrzutu dla gęstości i porowatości wyznaczonych w badaniach laboratoryjnych w otworach Dobczyce 5 i 6

Fig. 7. Dispersion plot of density and porosity from lab measurements in Dobczyce 5 and 6 wells

Tabela (Table) 11

Równania regresji dla zależności $GEST = f(PORO)$ w otworach Dobczyce 5 i 6

Regression equations $GEST = f(PORO)$ in Dobczyce 5 and Dobczyce 6 wells

Otwór Well	Równanie Equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient
Dobczyce 5	$y = -0.0201x + 2.5947$	0.81
Dobczyce 6	$y = -0.0226x + 2.5820$	0.83
Dobczyce 5 i 6	$y = -0.0218x + 2.5877$	0.81

W tabeli 12 znajdują się wyniki badań laboratoryjnych z bazy PITAKA w kilku poziomach litostratygraficznych w otworze Trzebunia 2. Najwyższe porowatości występują w utworach triasu (1 próbka) oraz doggeru (9 próbek). Stosunkowo wysoką porowatość pokazują utwory miocenu sfałdowanego (27 próbek), wykształcone w postaci piaskowców, mułowców i łupków oraz łupki piaszczyste karbonu (1 próbka).

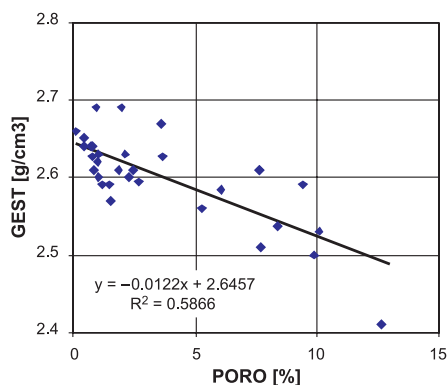
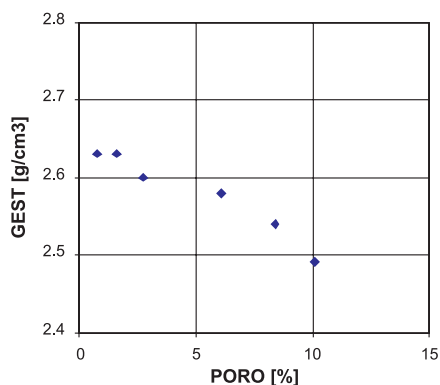
Na figurach 8a i b przedstawiono wykresy rozrzutu dla gęstości i porowatości w otworze Trzebunia 2 dla wszystkich danych (Fig. 8a) oraz dla wydzielonych kompleksów litostratygraficznych (Fig. 8b). Dane są skorelowane ze sobą w obu przypadkach. Obliczenie średnich geometrycznych dla porowatości zminimalizowało wpływ wartości odstających, występujących w stosunkowo dużej ilości w utworach miocenu autochtonicznego.

Tabela (Table) 12

Gęstość i porowatość w otworze Trzebnia 2

Density and porosity in Trzebnia 2 well

Hstr Ht [m]	Hsp Hb [m]	h [m]	Symbol Code	Stratygrafia Stratigraphy	Opis litologiczny Lithology	GEST [g/cm ³]	PORO [%]
2791.0	2945.0	154.0	Msf	miocen sfałdowany <i>Folded Miocene</i>	mułowce, piaskowce, łupki <i>mudstones, sandstones, shales</i>	2.60	2.69
2945.0	3355.0	410.0	Mb1	miocen autocht. <i>Autocht. Miocene</i>	łupki, anhydryty <i>shales, anhydrites</i>	2.63	0.75
3355.0	3580.0	225.0	J3	jura malm <i>Jurassic Malm</i>	wapienie, iłowce <i>limestones, claystones</i>	2.63	1.57
3580.0	3585.0	5.0	J2	jura dogger <i>Jurassic Dogger</i>	wapienie, piaskowce <i>limestones, sandstones</i>	2.54	8.38
3585.0	3675.0	90.0	T	trias <i>Triassic</i>	iłowce, mułowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	2.49	10.08
3675.0	3840.0	165.0	C	karbon <i>Carboniferous</i>	łupki piaszczyste <i>sandy shales</i>	2.58	2.23
3840.0	3936.0	96.0	D2	dewon <i>Devonian</i>	dolomity <i>Dolomites</i>		

**Fig. 8a.** Wykres rozrzutu dla gęstości i porowatości w otworze Trzebnia 2 dla wszystkich danych**Fig. 8a.** Dispersion plot for density and porosity in Trzebnia 2 well for the full data set**Fig. 8b.** Wykres rozrzutu dla średnich gęstości i porowatości w otworze Trzebnia 2 dla wydzielonych formacji litostratigraficznych**Fig. 8b.** Dispersion plot for means of density and porosity in Trzebnia 2 well for lithostratigraphic formations

PODSUMOWANIE

Analizę gęstości i porowatości wykonano w celu przedstawienia zmienności tych parametrów w formacjach przewierconych otworami na obszarze Karpat Zachodnich. Dysponowano wynikami różnorodnych badań w otworach, czyli jedynie danymi punktowymi. Skomplikowana budowa geologiczna Karpat Zachodnich nie pozwoliła na interpolację wyników, a prowadzenie korelacji warstw wydzielonych w pojedynczych otworach było bardzo trudne. Przeanalizowano i zebrano w tabelach średnie wartości gęstości z różnych źródeł oraz porowatość wyznaczoną z badań laboratoryjnych. Najwyższe wartości gęstości (GEST) zwykle pochodziły z badań laboratoryjnych z bazy PITAKA. Te dane były dobrze skorelowane z porowatością (PORO) oraz pozostawały w zgodzie z wynikami innych metod. Gęstości z pomiaru, RHOB, i będące wynikiem obliczeń w programie *Estymacja*, RHEQ, uzupełniały braki w wynikach badań laboratoryjnych.

Wiarogodność wyników, oceniana na podstawie liczby danych wykorzystanych do obliczenia średnich wartości dla formacji litostratygraficznej jest bardzo zróżnicowana. W większości przypadków liczba próbek była mała. Często w grupach otworów występowały dane w różnych formacjach litostratygraficznych. Zostały one zamieszczone we wspólnych tabelach dla wzajemnego uzupełniania informacji.

Średnie gęstości wyznaczone dla formacji litostratygraficznych zostały wykorzystane do modelowania grawimetrycznego (Grabowska *et al.* 2007) oraz do obliczenia impedancji akustycznej i współczynników odbicia w interpretacji sejsmicznej (Pietsch *et al.* 2007). Gęstość, razem z opornością, prędkością fal sprężystych oraz porowatością i innymi parametrami wyznaczanymi na podstawie pomiarów geofizyki otworowej została wykorzystana do utworzenia uogólnionych modeli parametrycznych w wybranych otworach (Jarzyna & Bała 2007). Zamieszczone wykresy rozrzutu i linie korelacyjne w niektórych przypadkach mają na celu pokazanie, że można wymiennie wykorzystać dane z różnych źródeł.

Z przedstawionej analizy widać, że utwory fliszowe oraz karbońskie mają wyższe porowatości, przy zmieniających się gęstościach objętościowych. Węglanowe utwory dewonu mają generalnie wyższe gęstości. Porowatości tych utworów zwykle są niskie. Utwory jury i kredy dolnej także charakteryzują się stosunkowo dużymi wartościami porowatości. Dobre skorelowanie gęstości i porowatości może być podstawą wnioskowania o jednym parametrze na podstawie drugiego.

Praca została wykonana w czasie realizacji projektu badawczego nr 4 T12 B 025 28 Ministerstwa Nauki i Informatyzacji pt. „Nowe aspekty interpretacji wyników pomiarów geofizycznych dla weryfikacji możliwości poszukiwania węglowodorów w Karpatach Zachodnich”.

LITERATURA

- Bała M. & Cichy A., 2006. *Metody obliczania prędkości fal P i S na podstawie modeli teoretycznych i danych geofizyki otworowej – program ESTYMACJA*. Arbor, Kraków, 1–90.
- Bała M. & Witek K., 2007 – Model prędkościowy fal P i S oraz gęstości objętościowych dla wybranych otworów w rejonie Karpat Zachodnich. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 59–80.

- Jarzyna J., Puskarczyk E., Wójcik A. & Semyrka R., 2007. Pomiary MRJ oraz badania porozy-
metryczne na wybranych próbkach skał z Karpat Zachodnich. *Kwartalnik AGH Geolo-
gia*, 33, 4/1, 211–236.
- Jarzyna J. & Bała M., 2008. Uogólnione modele parametrów fizycznych skał w wybranych
otworach Karpat Zachodnich. *Kwartalnik AGH Geologia*, 34, w druku,
- Grabowska T., Bojdyś G., Lemberger M. & Medoń Z., 2007. Geofizyczno-geologiczna inter-
preacja anomalii grawimetrycznych i magnetycznych w polskich Karpatach Zachod-
nich. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 103–126.
- Pietsch K., Golonka J. & Marzec P., 2007. Stosunek podłoża do fliszu Karpat zewnętrznych
pomiędzy Babią Górą a Wadowicami w świetle refleksyjnych badań sejsmicznych.
Kwartalnik AGH Geologia, 33, 4/1, 197–210.
- Zacharski J., Nowak J. & Skucińska M., 2006. *Prace interpretacyjne w wybranych otworach
w rejonie Karpat Zachodnich*. Zlec. WGGiOŚ/zgf/158/2006, Archiwum Zakładu Geo-
fizyki WGGiOŚ AGH.
- Žytko K., Zajac R., Gucik S., Ryłko W., Oszczytko N., Garlicka I., Nemčok J., Eliáš M.,
Menčík E. & Stráňík Z., 1989. Map of the tectonic elements of the Western Outer Car-
pathians and their foreland. In: *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and
their Foreland* (eds. Poprawa D. & Nemčok J.). Państwowy Instytut Geologiczny, War-
szawa / GUDES Bratislava / Uge Praha.

Summary

Density and porosity analysis was made to show variability of those parameters in geological profiles in several boreholes in the Polish West Carpathians. Laboratory measurement results of porosity, PORO and density, GEST, from the PITAKA POGC data base, *Estymacja* interpretation results, RHEQ, and bulk density log values, RHOB, were used. Results of mercury porosimetry measurements from 31 samples of the Carboniferous and Devonian rocks from Lachowice 7 well, Roczyny 3 well and Jachówka 2k well were also included. All data in the analysis came from wells, so, they represented information focused on vertical depth axis in different sites and, due to great tectonic changeability of rock formation in the study area, it can not be extrapolated. Geometric means for porosity and arithmetic means for density were calculated. Porosity, PORO, and density, GEST, from the PITAKA data base were well correlated. Density, GEST, was the highest among compared values of RHOB, RHEQ and porosi-
metry results. Credibility of mean values of discussed parameters was based on a number of data included. In several cases of lithostratigraphic formations only single values were avail-
able. Means of density were used for gravity modeling and for reflection coefficient calcula-
tions for seismic interpretation. Density and porosity and resistivity together with other pa-
rameters obtained from logs were applied to prepare generalized models of rock parameters in
several sites for magnetotelluric interpretation. Correlation functions with high correlation
coefficients and dispersion plots presented in a few cases illustrate possibility of mutual exchange
of parameters. Correlation of GEST and RHEQ in Chabówka 1 well is presented in figure 1.
Great dispersion is observed but scales at both axis showed that variability of parameters is not
very big. Laboratory results of porosity vs. density in Zawoja 1 well are shown in figure 2.

Dispersion plot of density, GEST, and porosity, PORO, in the group of Wiśniowa wells for various lithostratigraphic formations is included in figure 3. Means of density and porosity for lithostratigraphic formations determined from lab measurements from Andrychów 3 well are in figure 4. Very good correlation is observed for means of density determined from lab measurements on plugs and from *Estymacja* program for lithostratigraphic formations in Andrychów 3 well (Fig. 5). Density, GEST, and porosity, PORO, in Lachowice wells (1, 3, 3a and 7) are presented in figure 6. Dispersion plot of density and porosity from lab measurements in Dobczyce 5 and 6 wells is shown in figure 7. Three correlation equations: separately for boreholes D5 and D6 and for the whole data set, respectively, are included (Tab. 11). Dispersion plot for density and porosity in Trzebunia 2 well for the full data set and for the means determined for the lithostratigraphic formations are presented in figure 8. Density and porosity data from boreholes: Roczyny 3, Wieprz 1, Wysoka 1, 2, 3, Chabówka 1, Zawoja 1, group of Wiśniowa wells, Andrychów 3, Jachówka 2k, Lachowice 1, 3, 3a and 7, Dobczyce 5 and 6 are presented in tables 1–10, and data from Trzebunia 2 well in table 12, respectively.