

Spis treści

Spis treści.....	1
1.1.5 ANALIZY PARAMETRÓW PETROLOGICZNYCH I PETROFIZYCZNYCH DLA SKAŁ ZBIORNIKOWYCH I USZCZELNIAJĄCYCH	4
Rejon I - Bełchatów.....	4
Zakres analiz.....	4
Wyniki analiz petrologicznych.....	4
Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych	14
Zagadnienie kalibracji profilowań geofizycznych z wynikami badań petrofizycznych rdzeni wiertniczych	16
Rejon II - GZW.....	20
Zakres archiwalnych badań petrograficznych w otworach PIG	21
CHARAKTERYSTYKA PETROLOGICZNA.....	23
CHARAKTERYSTYKA PETROFIZYCZNA	37
Rejon III - Mazowsze.....	44
Zakres analiz.....	44
Wyniki analiz petrologicznych - profile karbońskie.....	44
Wyniki analiz petrologicznych - profile jurajskie.....	46
Profile bez podziału stratygraficznego	51
Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych	54
Rejon IV - brzeźna strefa Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego.....	57
Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)	61
Zakres analiz.....	61
Wyniki analiz petrologicznych- profile karbońskie.....	61
Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych	63
Rejon VI - Wielkopolska - Kujawy	65
Wyniki analiz petrologicznych.....	65

Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych	70
Rejon VII - NW Polska	74
Wyniki analiz petrograficznych	74
Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych	79
Rejon VIII - Łeba-Bałtyk oraz NE Polska	83
Wyniki analiz petrograficznych	83
Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych	85
Pobranie próbek skał zbiornikowych i uszczelniających z magazynów rdzeni (1.2.1)	88
Rejon I - Bełchatów	88
Rejon III - Mazowsze.....	91
Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)	93
Rejon VII - NW Polska (część I) oraz VI - Wielkopolska	96
Rejon VI - Kujawy, VII - NW Polska (część II) oraz VIII (Łeba-Bałtyk wraz z NE częścią Polski).....	99
Oznaczenia parametrów petrologicznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających (1.3.1 - rejony)	102
Rejon I - Bełchatów	102
Rejon III - Mazowsze.....	106
Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)	107
Rejon VII - NW Polska (część I) oraz VI - Wielkopolska	108
Rejon VI - Kujawy, VII - NW Polska (część II) oraz VIII (Łeba-Bałtyk wraz z NE częścią Polski) ..	109
Oznaczenia parametrów petrofizycznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających (1.3.2 - INiG).....	110
Podstawy fizyczne prowadzonych badań petrofizycznych	110
Rejon I - Bełchatów.....	117
Badania PVT mieszanin CO ₂ i solanek.....	121
Rejon III - Mazowsze (oraz II - GZW i IV - Zapadlisko/front Karpat)	126
Wykonanie badania wypierania solanki z modelu złoża „slim tube”	128
Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)	143
Wykonanie badań lepkości solanek nasyconych CO ₂ w warunkach złożowych.....	145

Rejon VII - NW Polska (część I) oraz VI - Wielkopolska.....	162
Rejon VII - NW Polska (część II), VI – Wielkopolska-Kujawy i VIII – Łeba Bałtyk wraz z NE częścią Polski	165
Badanie zjawiska wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych poprzez zatłaczany CO ₂ na fizycznym modelu złoża.....	167

1.1.5 ANALIZY PARAMETRÓW PETROLOGICZNYCH I PETROFIZYCZNYCH DLA SKAŁ ZBIORNIKOWYCH I USZCZELNIAJĄCYCH

Rejon I - Bełchatów

Zakres analiz

(Magdalena Sikorska-Jaworowska)

Prace obejmowały analizy parametrów petrologicznych próbek rdzeni (głównie próbek pobranych z magazynów rdzeni dla rejonu Bełchatowa i przygotowanych do analiz planimetrycznych a także w mniejszym stopniu próbek z rejonu Niecki Miechowskiej zgromadzonych w ramach innego tematu) na potrzeby określenia składu skał zbiornikowych i uszczelniających pod kątem ich przydatności do geologicznego składowania dwutlenku węgla, w tym zawartości węglanów i minerałów ilastych (PIG-PIB). Przeanalizowano także wyniki archiwalnych badań parametrów petrofizycznych.

Ponadto INiG wykonał analizy własności zbiornikowych wspomnianych próbek skał celem określenia ich porowatości i przepuszczalności, a także wykonał analizy PVT określające warunki fizyczne panujące w kolektorach rozpatrywanych dla geologicznego składowania CO₂.

Sporządzono też na podstawie ww. wyników zależności parametrów zbiornikowych dla formacji jury i triasu, potrzebnych dla kalibracji karotaży i szacowania przepuszczalności.

Wśród pobranych i wykorzystanych do analiz próbek rdzeni przeważają zdecydowanie piaskowce, niewielką grupę stanowią mułowce podobnie jak wapienie, a sporadycznie reprezentowane są iłowce, niekiedy margle. Najlepszymi skałami kolektorskimi są tu oczywiście piaskowce, lecz dopiero badania mikroskopowe i laboratoryjne (petrofizyczne) określają ich porowatość, rodzaj spoiwa i pozwalają zróżnicować ich potencjalną przydatność do sekwestracji CO₂. Natomiast najlepszymi skałami izolującymi są iłowce. Ponieważ wymagana miąższość warstw ekranujących jest mniejsza od miąższości kolektorów, piaskowce zdecydowanie dominują nad iłowcami. Ponadto ten typ skał nie wykazuje wyraźnego zróżnicowania w obrębie jednej formacji i nie wymaga zagęszczania opróbowania. Badania mikroskopowe pozwoliły wyróżnić wśród analizowanych próbek rdzeni następujące typy skał: piaskowce (arenity kwarcowe, sublityczne, subarkozowe, arkozowe; waki kwarcowe, sublityczne, lityczne, subarkozowe, arkozowe), mułowce, iłowce, margle, wapienie (mikryty, sparyty, intrasparity, intramikryty, oosparity), skały syderytowe. Szczegółowe analizy planimetryczne piaskowców wykazały dużą zmienność ilościowego składu mineralnego w poszczególnych profilach wiertniczych.

Wyniki analiz petrologicznych

(Aleksandra Kozłowska)

JEŻÓW IG 1 – 76 próbek z jury (3 próbki – jura środkowa, 73 próbki - jura dolna)

49 próbek reprezentują piaskowce od bardzo drobno- do średnioziarnistych, arenity kwarcowe, rzadziej subarkozowe oraz waki kwarcowe. Q_f waha się od 0,06 do 0,42 mm a Q_{max} od 0,14 do 1,20 mm. Zawartość

poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc – 56,7 – 79,4% (średnio około 70%), skalenie 0,0 - 6,7% (średnio około 2,0%), litoklasty 0,0 - 2,3% (głównie magmowe), łuszczyki 0 – 8,0% oraz ślady cyrkonu. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks (2,0 - 39,7%) najczęściej ilasto-żelazisty miejscami zawierające materię organiczną oraz cementy. Wśród cementów dominuje kwarc autigeniczny (0,3 – 14,6%) w formie obwódek na ziarnach oraz węglany (0,0 -12,7%), w obrębie których zidentyfikowano syderyt i ankeryt. Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (0,0 – 3,0%). Porowatość piaskowców waha się od 0,0 do 17,7%, przeciętnie wynosi 10,0%. 23 próbki reprezentują mułowce i mułowce piaszczyste. Mułowce często są żelaziste i charakteryzują się teksturą kierunkową podkreśloną ułożeniem materii organicznej, syderytu, łuszczyków i minerałów ilastych. Miejscami mułowce są zsyderytyzowane, a lokalnie obserwujemy sferolity syderytowe. 1 próbka reprezentuje iłowiec i 1 próbka – wapień mikrytowo-sparytowy.

ZAMOŚCIE 1 – 7 próbek (3 próbki – jura dolna, 4 próbki – trias)

Jura dolna - 3 próbki reprezentują piaskowce drobno- i średnioziarniste, arenity i waki kwarcowe. Q_f waha się od 0,08 do 0,38 mm a Q_{max} od 0,18 do 0,80 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc – 52,4 – 73,3%, skalenie 1,3 – 2,7%, litoklasty 1,0 - 2,3%, łuszczyki 0,7 – 15,3%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks (0,4 – 27,4%) najczęściej ilasto-żelaziste oraz cementy. Wśród cementów dominuje kwarc autigeniczny (0,3 – 8,0%) w formie obwódek na ziarnach oraz węglany (0,0 - 1,0%), w obrębie których zidentyfikowano syderyt i ankeryt. Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (0,0 – 0,3%). Porowatość piaskowców waha się od 0,3 do 17,7% (arenity >15,0%).

Trias – 3 próbki reprezentują piaskowce bardzo drobno- i drobnoziarniste, waki subarkozowe i sublityczne. Q_f waha się od 0,07 do 0,15 mm a Q_{max} od 0,20 do 0,35 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc 25,0 – 53,7%, skalenie 0,7 – 5,7%, litoklasty 3,3 – 4,7%, łuszczyki 2,3 – 18,7%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-żelazisty (23,7 – 49,9%) oraz cementy. Wśród cementów dominują węglany - kalcyt (2,0 -17,4%) ora lokalnie siarczany – anhydryt (0,0 – 0,3%). Porowatość piaskowców waha się od 0,0 do 0,3%.

1 próbka reprezentuje iłowiec mułowcowy, żelazisty

GOMUNICE 13 - 9 próbek (4 - jura środkowa, 5 – trias)

GOMUNICE 12 - 2 próbki – trias

GOMUNICE 9 - 5 próbek – trias

Jura środkowa - 2 próbki reprezentują piaskowce średnio- i gruboziarniste, arenity kwarcowe i subarkozowe. Q_f waha się od 0,25 do 0,34 mm a Q_{max} od 1,3 do 1,45 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc – 66,0 – 75,3%, skalenie 1,0 – 3,7%, litoklasty 0,0 - 0,3%, łuszczyki 0,0 – 0,7%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks (4,0 – 8,7%) najczęściej ilasto-żelazisty oraz cement kwarcowy (4,3 – 5,3%) w postaci obwódek na ziarnach. Porowatość piaskowców wynosi 15,3%. 2 próbki reprezentują mułowce piaszczyste, wapieniste.

Trias – 11 próbek reprezentuje piaskowce bardzo drobno- i drobnoziarniste lokalnie średnioziarniste, waki subarkozowe oraz miejscami sublityczne, lityczne i kwarcowe. Q_f waha się od 0,06 do 0,28 mm a Q_{max} od 0,20 do 0,60 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc 26,7 – 64,4%, skalenie 4,0 – 21,7%, litoklasty 2,7 – 26,3% (dominują okruchy skał wulkanicznych i granitoidów) łuszczyki 0,3 – 6,0%.

Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-żelazisty (9,5 – 45,0%) oraz cementy. Wśród cementów dominują węglany - kalcyt (0,0 – 30,7%) a ponadto obserwowano obwódki kwarcu autigenicznego (0,0 – 3,4) oraz minerały ilaste: kaolinit (0 -1,7%) i chloryt (0 -0,3%). Porowatość piaskowców waha się od 0,0 do 5,0% i najczęściej jest bliska zeru. 1 próbka reprezentuje mułowiec żelazisty i 1 próbka - iłowiec żelazisto-wapnisty.

WIERUSZÓW 2 - 5 próbek – trias ?

Trias – 5 próbek reprezentuje piaskowce bardzo drobno- i drobnoziarniste, waki subarkozowe i arkozowe. Q_f waha się od 0,08 do 0,15 mm a Q_{max} od 0,20 do 0,73 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc 29,0 – 57,7%, skalenie 11,0 – 21,7%, litoklasty 0,3 – 3,7%, łyszczyki 1,3 – 11,0% oraz ślady cyrkonu. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-żelazisty (12,7 – 46,3%) oraz cementy. Wśród cementów dominują węglany - kalcyt (0,0 – 15,3%) a ponadto obserwowano obwódki kwarcu autigenicznego (0,0 – 6,0) oraz siarczany – anhydryt (0,0 – 9,3%). Porowatość piaskowców waha się od 0,0 do 5,3, przeciętnie około 1,0%.

SOBIESEKI 3 - 9 próbek – trias?

Trias – 7 próbek reprezentuje piaskowce bardzo drobno- i drobnoziarniste, waki kwarcowe, subarkozowe i arkozowe oraz arenity subarkozowe. Q_f waha się od 0,06 do 0,14 mm a Q_{max} od 0,13 do 0,32 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego: kwarc 29,7 – 46,3%, skalenie 1,3 – 21,7%, litoklasty 0,7 – 10,0%, łyszczyki 1,3 – 29,0% oraz ślady cyrkonu. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-żelazisty (14,0 – 39,4%) oraz cementy. Wśród cementów dominują węglany - kalcyt (0,3 – 5,3%) a ponadto obserwowano obwódki kwarcu autigenicznego (0,0 – 5,7) oraz siarczany – anhydryt (0,0 – 0,7%) a z minerałów ilastych - chloryt (0 - 0,3%). Porowatość piaskowców waha się od 0,0 do 8,3%.

2 próbki reprezentują mułowiec i mułowiec żelazisty.

Wyniki analiz petrologicznych

(Małgorzata Połowska)

BEŁCHATÓW 4

Wyróżniono (dla górnego triasu): piaskowce, mułowce, wapienie i skały żelaziste. Piaskowce stanowią waki sublityczne drobno- i średnioziarniste. W obrębie materiału ziarnowego występuje kwarc oraz mniej liczne skalenie i okruchy skał (do 6,5%). Niekiedy spotykane są łyszczyki i minerały ciężkie. Spoiwem piaskowców jest matriks (1,3-31,4%) i cement (0-8,0%). Wśród cementów stwierdzono węglany i kwarc. Skały wykazują porowatość międzyziarnową od 4,5 do 13,1%. Wśród mułowców występują odmiany piaszczyste. W obrębie wapieni wyróżniono biopelmikryty i biosparyty. Skałę żelazistą reprezentuje piaszczysty oolit żelazisty.

DYMEK IG-1

Wśród analizowanych skał (górnego i dolnego triasu) stwierdzono piaskowce, mułowce, iłowce, wapienie, margle. Piaskowce stanowią drobno- i bardzo drobnoziarniste waki i nieliczne arenity. Reprezentują one

odmiany kwarcowe i subarkozowe. W składzie ziarnowym występują: kwarc, skalenie (do 8,9%), nieliczne okruchy skał oraz łuszczki i minerały ciężkie. W pojedynczej próbce notowano agregaty glaukonitu (6,9%). Spoiwem piaskowców jest głównie matriks, w ilości: 8,2-44,6%. Ponadto występują cementy: węglanowy (0-47,4%), kwarcowy (0-10,3%) i siarczanowy (0-7,1%) i sporadycznie kaolinit (0,6%). Piaskowce są w różnym stopniu porowate. W skałach porowatych udział por waha się od 0,6 do 12,8%. Przestrzenie porowe stanowią głównie makropory oraz niewielkim stopniu także mikropory. Wśród pozostałych skał wyróżniono mułowce, iłowce i margle niekiedy żelaziste i piaszczyste. W obrębie skał węglanowych stwierdzono intramikryty i sparyty oraz oosparyty, nierzadko zdolomityzowane.

NIECHMIRÓW IG-1

W analizowanym profilu (jury dolnej) rozpoznano piaskowce, mułowce oraz sporadycznie pyłowiec i skałę syderytową. Piaskowce wykazują bardzo różne uziarnienie. Reprezentują głównie arenity i w mniejszym stopniu waki, przeważnie kwarcowe, sporadycznie sublityczne. W materiale ziarnowym dominują ziarna kwarcu, nielicznie spotykane są skalenie oraz litoklasty, których zawartość sięga 3,5%. Udział łuszczków i minerałów ciężkich jest niewielki. Spoiwem jest matriks w ilości: 0,6-39,2% oraz cementy: węglanowy (0-32,1%), kwarcowy (0-5,8%) i kaolinitowy (0-0-1,9%). Piaskowce wykazują porowatość, rzędu 2,6- 31,7%. W przestrzeni porowej wyróżnia się makropory międzyziarnowe i mikropory międzykrystaliczne. Pozostałe skały wykazują niekiedy udział materiału piaszczystego.

ZAKRZYN IG-1

Wśród badanych skał (jury dolnej) stwierdzono piaskowce, iłowce i skały węglanowe. Piaskowce reprezentują drobno- i bardzo drobnoziarniste arenity i waki kwarcowe. Udział matriksu waha się od 0-45,1%. Zawartość cementów sięga 18,6%, na który składa się cement kwarcowy (0,6-5,8%), niekiedy minerały węglanowe (15,5%) i kaolinit (0-1,5%). Piaskowce są porowate; udział porów mieści się od 7,1 do 13,5%. Przestrzeń porową stanowią głównie makropory międzyziarnowe. Wśród pozostałych skał dominują wapienie typu madstonów i wakstonów organodetrytycznych, niekiedy wapienie są margliste.

Wyniki analiz petrologicznych

(Marta Kuberska)

KALISZ IG1

W otworze wiertniczym Kalisz IG1 opisano 50 próbek skał należących do jury środkowej, dolnej, triasu górnego i triasu dolnego (pstręgo piaskowca).

Piaskowce jury środkowej reprezentowane są przez arenit i wakę kwarcową (2 próbki). Zawartość materiału detrytycznego waha się od 68.4 do 78.6%, należą do niego ziarna kwarcu mono- i polikrystalicznego, ziarna skaleni litoklastów, łuszczki, minerały akcesoryczne i nieprzezroczyste. Wśród składników spoiw wyróżniono matriks (0.0 i 27.6 % obj.), będący mieszaniną mułku kwarcowego, alloogenicznych minerałów ilastych i często wodorotlenów żelaza oraz cementy ortochemiczne. Minerały węglanowe zauważono w jednej próbce w ilości 0.7 % obj. W arenicie kwarcowym odnotowano autigeniczne spoiwo ilaste, złożone z krystalitów kaolinitu wypełniających przestrzenie porowe i chlorytów, tworzących obwódki wokół ziaren lub

owalne formy w przestrzeniach porowych. Badania rentgenostrukturalne wykonane dla potrzeb projektu badawczego: Petrologia jurajskich skał syderytowych na Niżu Polskim (2 PO4D 008 27) wykazały, że zielony minerał ilasty, tworzący ooidy i spoiwo, zwyczajowo opisywany jako leptochloryt (szamozyt) nie wykazuje struktury chlorytu, lecz serpentynu, a więc jest to berthieryn. Zawartość autigenicznych minerałów ilastych wynosi 6.7 % obj. Porowatość piaskowców waha się od 3.3 do 14.7 %.

Skały jury dolnej reprezentowane są przez mułowce, zwykle piaszczyste. Ziarna frakcji grubszych często układają się laminarnie podkreślając kierunkową teksturę skały. Poza tym opisano dwie próbki piaskowców (arenit i waki subarkozowe) o zawartości detrytu od 62 do 77.4 % obj. Spoiwo typu matriks w wace dochodzi do 32.3 %. Autigeniczne minerały ilaste występują w ilości 0.3 – 1.7 % obj. Porowatość zliczana planimetrycznie w próbkach piaskowców osiąga 1.7 % w wace i aż 22 % w arenicie.

Trias górny reprezentowany jest przez iłowce z domieszką frakcji psamitowej, mułowce żelazisto-piaszczyste oraz piaskowce zaliczane do arenitów kwarcowych, podrzędnie sublitycznych i subarkozowych. Zawartość materiału detrytycznego waha się od 61.7 do 83.3 % obj. Spoiwo typu matriks wynosi od zera do 29.0 % obj., natomiast zawartość autogenicznych minerałów ilastych nie przekracza 2 % obj. Zwraca uwagę podwyższona zawartość minerałów węglanowych w spoiwie od zera do 30.0 % obj. i jest ona bardzo zróżnicowana. Wydaje się, że wzrasta w kierunku spągu. Porowatość piaskowców pomierzona planimetrycznie wynosi od zera do około 24 %.

Skały triasu dolnego reprezentują mułowce piaszczyste i głównie waki subarkozowe, sporadycznie arenity subarkozowe. Wyraźnie widać, że w kierunku spągu wzrasta zailenie, z uwagi na większy udział mułkowo-żelazisto-ilastego matriksu (9.0-38.9 % obj.). Piaskowce te wykazują także zwiększony w stosunku do opisywanych wcześniej udział minerałów węglanowych (1.7-15.3 % obj.). Nie zaobserwowano autigenicznych minerałów ilastych w spoiwie badanych piaskowców. Z uwagi na charakter wypełnienia przestrzeni porowych piaskowce te mają bardzo słabe właściwości zbiornikowe. Porowatość pomierzona planimetrycznie nie przekracza 3.0 %, a przeważnie są one nieporowate.

RADUCHÓW 2

Skały opisano na podstawie 7 próbek reprezentujących pstry piaskowiec. Są to arenity i waki subarkozowe, bardzo drobno- i drobnoziarniste. Zawartość detrytu waha się tu od 57.4 do 80.3 % obj. Powszechnie występuje spoiwo typu matriks a jego ilość wzrasta w kierunku spągu. Można, zatem stwierdzić, że jest to kierunek wzrostu zailenia w próbkach. Powszechnie obecne są minerały węglanowe, głównie kalcyt (2.3-14.0 % obj.). Pomimo dużej zawartości alogenicznych minerałów ilastych porowatość w piaskowcach zliczona planimetrycznie wynosi od 2.0 do 11.8 %. Zauważono pewną prawidłowość: porowatość może być wyższa w wakach, niż w arenitach pod warunkiem, że zawartość spoiwa węglanowego jest tam niższa w stosunku do arenitów. Nie zidentyfikowano autogenicznych minerałów ilastych w spoiwach badanych piaskowców. Podrzędnie opisano autogeniczne spoiwo kwarcowe i siarczanowe, głównie anhydrytowe.

RADOSZEWICE 2

Profil opisano na podstawie 9 próbek pstrego piaskowca. Są to drobnoziarniste arenity i waki subarkozowe oraz iłowiec żelazisto-piaszczysty i mułowiec piaszczysty. Piaskowce zawierają od 56.7 do 72.0 % obj. materiału detrytycznego. Zawartość spoiwa typu matriks waha się od 2.3 do 19.7 % obj. i nie ma związku z głębokością. Powszechnie występuje spoiwo, głównie kalcytowe (0.3-23.0 % obj.) a ilość jego wzrasta w

kierunku spągu. Zauważono także znaczny udział cementu kwarcowego (0.0-16.7 % obj.) i siarczanowego (0.7-18.7 % obj.). Przy tak silnej cementacji w płytkach cienkich nie obserwowano porowatości. Tylko w dwóch próbkach wyniosła ona 1.0 i 0.7 %.

JEŻÓW IG1

Skały triasu górnego z otworu Jeżów IG1 opisano na podstawie ośmiu próbek. Są to drono- i bardzo drobnoziarniste piaskowce o składzie arenitów i wak kwarcowych, subarkozowych i sublitycznych. W jednym przypadku opisano mułowiec ilasto-piaszczysty. Zawartość materiału ziarnowego waha się od 60.7 do 81.6 % obj. Piaskowce z części stropowej charakteryzują się podwyższoną węglanowością (1.7-13.0). W kierunku spągu zawartość ta maleje do 4.0 % obj. Opisane próbki mają wysoką zawartość materiału mułkowo-ilastego (5.0-34.3 % obj.) w spoiwie. W profilu nie zauważono żadnej prawidłowości w występowaniu matriksu. W badanych piaskowcach odnotowano także autigeniczne minerały ilaste, głównie kaolinit, wypełniający przestrzenie porowe oraz miejscami chloryt. Zawartość tych minerałów waha się od zera do 5.7 % obj. i nieznacznie wzrasta w kierunku spągu. Analizowane skały są nieporowate. W jednym przypadku porowatość osiąga wartość 11.3 %, przy niskiej zawartości spoiwa węglanowego (0.7 %) i matriksu (7.3 %).

KUŹNICA GRABOWSKA 1, 2

Próbki z otworów Kuźnica Grab. 1 i 2 reprezentują trias górny i pstry piaskowiec. Trias górny reprezentują dwie próbki piaskowca drobnoziarnistego, zaliczonego do wak subarkozowych oraz jedna próbka wapienia z przeławieniami skały anhydrytowej. Piaskowce wykazują bardzo dużą zawartość spoiwa typu matriks (do 33.1 % obj.), głównie żelazistego. Nie zauważono obecności węglanów w spoiwie. Natomiast występują autigeniczne minerały ilaste, przeważnie chloryty, podrzędnie kaolinit. Podobna charakterystyka odnosi się do piaskowców triasu dolnego (pstręgo piaskowca). Są one drobno- i bardzo drobnoziarniste. W dwóch przypadkach nieco grubiej uziarnione. Piaskowce należą do wak i arenitów subarkozowych, sporadycznie kwarcowych.. Zawartości żelazisto-ilasto-mułkowego matriksu jest znaczna i waha się od 3.1-32.6 % obj.). Ilość matriksu nie wykazuje prawidłowości w profilu. Zawartość cementu węglanowego waha się od zera do 17.4 % obj. i wydaje się, że nieco wzrasta w kierunku spągu. W piaskowcach z otworu Kuźnica Grab.1 zaobserwowano w nieznacznych ilościach obecność kaolinitu i chlorytu. Porowatość piaskowców waha się od zera do 13.3 %. Największa wartość związana jest z arenitem subarkozowym o niewielkiej zawartości spoiwa węglanowego (3.7 %) i matriksu (7.7 %).

GIDLE 2

Skały z otworu Gidle 2 opisano na podstawie 15 próbek należących do triasu górnego i dolnego. Osady triasu górnego reprezentowane są przez piaskowce zaliczane głównie do wak subarkozowych, w jednym przypadku sklasyfikowano piaskowiec jako arenit (na pograniczu z waką) subarkozowy. Poza tym występują wapień zwięzłe biospartowe, sparytowe, podrzędnie mikrytowe a także iłowiec mułowcowi. Piaskowce charakteryzuje znaczny udział spoiwa typu matriks (13.8 - 35.3 % obj.). Jest to substancja żelazisto-ilasto-mułkowa. Zawartość matriksu nieznacznie spada ku spągowi. Cement węglanowy występuje w niewielkich ilościach od zera do 5.9 % obj. Powszechnie występują blaszki kaolinitowe (0.0-4.3 % obj.), tworząc różnorodne skupienia wypełniające przestrzenie porowe. Zidentyfikowano także autigeniczne spoiwo chlorytowe (0.6-1.9 % obj.). Porowatość w piaskowcach wynosi od zera do 10.0 % i wartości jej są większe w próbkach z mniejszym udziałem matriksu i cementów

węglanowych. Udział autigenicznych minerałów ilastych ma mniejsze znaczenie, gdyż między ich krystalitami zachowuje się mikroporowatość międzykrystaliczna.

Piaskowce triasu dolnego zaliczono do drobnoziarnistych wak subarkozowych, nieporowatych z dużą zawartością matriksu (do około 30 %). Generalnie ich skład podobny jest do opisywanych powyżej. Jedynie nie zauważono cementów ilastych, a węglanowe występują szczątkowo (ok. 1.9 %).

WIĘCKI IG1

Skały z otworu Więcki IG1 opisano na podstawie 17 próbek należących do triasu dolnego, z których dwie przystropowe zaliczono wapieni sparytowych, miejscami ilasto-piaszczystych. Pozostałe próbki to arenity subarkozowe, waki subarkozowe i arenity sublityczne. Piaskowce generalnie należą do odmian drobnoziarnistych, ku spągowi wzrasta ich uziarnienie do odmian średnioziarnistych. Zawartość materiału detrytycznego wynosi od 50.0 do 73.6 % obj. Zawartość matriksu jest zróżnicowana od 1.3 do 31.0 % obj., w tym piaskowców sklasyfikowanych jako waki jest 3 (matriks powyżej 15 % obj.). Piaskowce charakteryzują się także zróżnicowaną zawartością cementu węglanowego (0.0-42.0 % obj.). Węglanowość próbek nie ma związku z usytuowaniem w profilu. Wśród autogenicznych minerałów ilastych wyróżniono kaolinit (0.0-4.0 % obj.) i wydaje się, że ilość jego wzrasta ku spągowi profilu. Opisywane piaskowce odróżniają się od pozostałych podwyższonymi wartościami porowatości (zliczanej planimetrycznie). Wynosi ona od 1.0 do 25.0 % obj. Piaskowce zawierające niewiele spoiwa typu matriks oraz niewiele cementu węglanowego mają większe wartości porowatości. Bardzo często jest to porowatość pierwotna lub wtórna międzyziarnowa, powstała na skutek rozpuszczania ziaren skaleni, a także międzykrystaliczna.

SZWEJKI 1

Brak w bazie podziału stratygraficznego. Skały w otworze Szwejki 1 opisano na podstawie 5 próbek. Są to drobnoziarniste arenity subarkozowe i kwarcowe. W jednym przypadku opisano mułowiec piaszczysty. Zawartość materiału detrytycznego w piaskowcach wynosi od 67.0 do 76.0 % obj. Charakterystyczny jest bardzo nieznaczny udział matriksu w spoiwie (max. do 3.0 % obj.). Również nieznaczna jest zawartość cementów węglanowych (max. 1.7 % obj.). Sporadycznie odnotowano kaolinit. Porowatość zliczana planimetrycznie w badanych próbkach jest bardzo wysoka (21.0-31.3 % obj.) i należy sądzić, że w większości jest to porowatość pierwotna.

Wyniki analiz petrologicznych

(Leszek Krzemiński)

OSTRÓW KALISKI 2

(4 próbki z interwału 1531,3 – 1535,7 m; dolny trias).

Występują tu piaskowce bardzo drobnoziarniste o składzie wak arkozowych i arenitów arkozowych, o najczęstszej wielkości ziaren kwarcu w przedziale 0,07 – 0,12 mm. Piaskowce reprezentują osad mineralogicznie i strukturalnie niedojrzały o słabej porowatości, w którym pory stanowią 1 – 2 % obj. Piaskowce zawierają miejscami soczewki mułowców i iłowców żelazistych oraz intraklasty ilasto-żelaziste.

Szkielet ziarnowy składa się głównie z kwarcu, plagioklazów, skalenia potasowego i jasnego łyszczyku, podrzędnej ilości detrytycznego chlorytu i śladowej ilości okruchów skał. W ilości akcesorycznej występuje turmalin, minerały nieprzezroczyste i tlenki tytanu. Przeważa spoiwo typu matriks w ilości 14,7 – 44,5 % obj. Podrzędny jest cement w ilości 7 – 9 % obj. W górnej partii opróbowanego interwału przeważa cement kwarcowy z podrzędnym cementem anhydrytowym, natomiast w dolnej partii występuje prawie wyłącznie cement węglanowy.

RADZIĄTKÓW 7

(4 próbki z głęb. 1334,2 oraz 2047,2 – 2051,8 m; odpowiednio jura środkowa i górny trias).

Na głęb. 1334,2 m występuje wapnisty piaskowiec bardzo drobnoziarnisty, pozbawiony widocznej porowatości, zawierający obfite spoiwo syderytowe i liczne węglanowe szczątki fauny. Szkielet ziarnowy składa się z kwarcu (najczęstsza wielkość ziaren 0,08 mm), nielicznych drobnych blaszek jasnego łyszczyku oraz fragmentów węglanowych. Ponadto pospolite są skupienia framboidalnego pirytu i fragmenty węgliste.

W interwale 2047,2 – 2051,8 m występują piaskowce średnioziarniste o najczęstszej wielkości ziaren kwarcu 0,30 – 0,35 mm i składzie wak lub arenitów litycznych oraz arenitów arkozowych, mineralogicznie niedojrzałe. Piaskowce te są umiarkowanie porowate z porami stanowiącymi 1,3 – 6,2 % obj. Na szkielet ziarnowy składa się kwarc, liczne plagioklasy i skałen potasowy, okruchy skał osadowych, wulkanicznych i metamorficznych, detrytyczny chloryt i niekiedy śladowe ilości jasnego łyszczyku. Mineralami akcesorycznymi są turmalin, granat, magnetyt, spinel chromowy i tlenki tytanu. W roli spoiwa przeważa detrytyczny matriks i chloryt w ilości 11,8 – 24,0 % obj. Podrzędny jest cement w ilości 0,0 – 4,7 % obj., głównie anhydrytowy, któremu towarzyszy niekiedy cement kwarcowy i węglanowy. Ten ostatni, w ilości 0,3 % obj., tylko w próbce z głęb. 2051,8 m.

ZAOSIE 2

(21 próbek z interwału 836,5 – 1685,2 m; dolna jura i górny trias).

W najwyższej części opróbowanego interwału występują piaskowce średnioziarniste (najczęstsza wielkość ziaren kwarcu 0,27 – 0,30 mm) o składzie arenitów kwarcowych, poniżej na głęb. 912,4 i 914,6 m łupki ilaste laminowane mułowcem, w przedziale 1005,2 – 1239,4 m piaskowce drobno- i bardzo drobnoziarniste (najczęstsza wielkość ziaren kwarcu 0,07 – 0,20 mm) o składzie arenitów i wak kwarcowych, a na głęb. 1332,6 – 1685,2 m mułowce, początkowo żelazisto-wapniste, a następnie wapniste, przechodzące ku dołowi w wapienie. Piaskowce średnioziarniste są silnie porowate (pory w ilości 19 – 26 % obj.), pozbawione cementu, zawierające tylko śladowe ilości spoiwa typu matriks. W szkielecie ziarnowym zdecydowanie dominuje kwarc, a skałenie, okruchy skał i łyszczyki są bardzo nieliczne. W ilości akcesorycznej obecny jest turmalin, cyrkon i hematyt. Spośród piaskowców drobno- i bardzo drobnoziarnistych arenity są umiarkowanie lub silnie porowate (pory 7 – 17 % obj.), natomiast waki pozbawione są porów. Skład szkieletu ziarnowego jest bardzo podobny jak w wyżej leżących piaskowcach średnioziarnistych, z bardzo podrzędną zawartością litoklastów, skałeni i łyszczyków oraz akcesorycznymi turmalinem, cyrkonem, tlenkami tytanu i minerałami nieprzezroczystymi. W arenitach położonych wyżej ilość cementu (2,3 – 11,5 % obj.) przeważa nad spoiwem typu matriks (0,0 – 11,9 % obj.), ku dołowi profilu wzrasta rola spoiwa detrytycznego. Cement reprezentowany jest przez kwarc oraz węglany, a proporcje

ilościowe między nimi są zmienne. W dwóch próbkach arenitów (1006,1 i 1238,1 m) cement węglanowy przeważa nad kwarcowym, w trzech pozostałych próbkach cement kwarcowy dominuje.

ZAOSIE 1

(2 próbki z interwału 1468,5 – 1582,5 m; górny trias)

Próbki reprezentowane przez mułowce

GOMUNICE 10

(9 próbek z interwału 601,0 – 2004,5 m; środkowa jura, trias).

W najwyższej części opróbowanego interwału występują mułowce i mułowce laminowane o maksymalnych rozmiarach ziaren kwarcu 0,12 i 0,15 mm. Poniżej zalegają piaskowce o zróżnicowanej strukturze, od bardzo drobnoziarnistej do średnioziarnistej (najczęstsza wielkość ziaren kwarcu 0,08 – 0,25 mm), i składzie wak kwarcowych, sublitycznych i subarkozowych lub arenitu subarkozowego. W składzie szkieletu ziarnowego obecne są tylko niewielkie ilości skaleni, okruchów skał i jasnego łuszczku. Piaskowce te pozbawione są porowatości, a w składzie spoiwa najczęściej bardzo wyraźnie przeważa ilasty matriks (do 74 % obj.) nad cementem węglanowym (od 2,3 do 23,0 % obj.). W dolnej części profilu piaszczystego w podrzędnej ilości obecny jest ponadto cement kwarcowy, do 9 % obj.

BUKÓW 2

(6 próbek z interwału 1115,5 – 1889,8 m; jura środkowa i dolna oraz górny trias).

W dolnej części profilu występują mułowce laminowane bardzo drobnoziarnistą waką kwarcową oraz mułowce wapniste. W wyższych partiach opróbowanego interwału obecne są drobnoziarniste arenity kwarcowe (1115,5 m) i średnioziarniste arenity subarkozowe (1435,6 m), umiarkowanie wysortowane. Te ostatnie w szkielecie ziarnowym zawierają niewielką ilość skaleni, okruchów skał i jasnego łuszczku. Piaskowce są skałami dość silnie porowatymi, w których pory stanowią odpowiednio 20,0 i 12,5 % obj. W roli spoiwa występuje niewielka ilość ilastego matriks i śladowe ilości cementu węglanowego i kwarcowego.

FLORENTYNA IG1

(18 próbek z interwału 1085,3 – 1764,6 m; jura środkowa i dolna oraz górny trias).

W najniższej partii profilu występują wapienie mikrytowe z anhydrytem, natomiast większą część opróbowanego odcinka budują arenity i waki kwarcowe, niewysortowane lub słabo wysortowane, mineralogicznie dojrzałe, rzadko przechodzące w arenity subarkozowe. W szkielecie ziarnowym bardzo niewielki udział mają skalenie, jasny łuszczek, chloryt detrytyczny i okruchy skał oraz minerały akcesoryczne: cyrkon, turmalin, minerały nieprzezroczyste i tlenki tytanu. Miejscami pospolite są węglanowe szczątki organiczne. Na głęb. 1085,3 – 1347,9 m są to piaskowce drobno- i bardzo drobnoziarniste, o najczęstszej średnicy ziaren kwarcu w przedziale 0,09 – 0,22 mm, podczas gdy głębiej przeważają kwarcowe arenity średnio- i gruboziarniste (najczęstsza średnica ziaren kwarcu do 0,75 mm) nad drobnoziarnistymi. Arenity są skałami umiarkowanie lub silnie porowatymi (4,1 – 25,0 % obj.), w wakach pory stanowią maksymalnie 5 %

obj., a w niektórych próbkach porowatość spada do zera. Udział ilastego lub ilasto-żelazistego matrix w wachach mieści się w zakresie 22,7 – 40,0 % obj., podczas gdy w arenitach jego ilość spada do 0,0 – 14,1 % obj. W wachach górnej części profilu spoiwu detrytycznemu towarzyszy obfity cement węglanowy w ilości do 31,9 % obj. Na głęb. 1423,7 – 1529,0 m cement arenitów stanowi 0,7 – 17 % obj. skały. W jego składzie przeważa kaolinit, a podrzędne znaczenie ma cement kwarcowy i węglanowy. W jednej próbce z głęb. 1423,7 m występuje obfity cement chlorytowy.

RZEKI IG1

(24 próbki z interwału 1180,3 – 1402,4 m; dolny trias).

Na różnych głębokościach opróbowanego interwału występują mułowce, często laminowane materiałem piaszczystym lub zawierające soczewki i intraklasty piaskowców drobno- i bardzo drobnoziarnistych. Dolną część profilu zajmują bogate w litoklasty, ale bardzo ubogie w skalenie, zlepierce pozbawione porowatości. Obok spoiwa detrytycznego zawierają one cement węglanowy w ilości ca. 10 % obj. Większą część profilu budują średnio- i drobnoziarniste, niewysortowane piaskowce o najczęstszej średnicy ziaren kwarcu w przedziale 0,10 – 0,38 mm. Przeważnie mają one skład arenitów subarkozowych, rzadziej sublitycznych, ale dość częste są również waki subarkozowe, niekiedy arkozowe lub lityczne. W szkielecie ziarnowym piaskowców występuje kwarc mono- i polikrystaliczny, skalenie, okruchy skał osadowych i wulkanicznych, jasny łuszczek i chloryt, a zespół minerałów akcesorycznych obejmuje cyrkon, turmalin, minerały nieprzezroczyste i tlenki tytanu. Ilasto-żelazisty matrix w arenitach stanowi 1,1 – 13,0 % obj., w wachach jego udział wzrasta do 18,3 – 46,7 % obj. Od stropu profilu do głębokości 1367,7 m udział cementu w składzie arenitów wynosi od 0,6 do 9,5 % obj. Jest to głównie spoiwo węglanowe, ale miejscami podrzędne znaczenie ma także cement kwarcowy, kaolinitowy, anhydrytowy i sporadycznie chlorytowy. Poniżej tej głębokości udział cementu w arenitach wzrasta do 30,5 % obj. i jest to wyłącznie cement węglanowy. Ilość cementu, wyłącznie węglanowego, w wachach jest niewielka od stropu profilu do głęb. 1367,7 m i wynosi 0,0 – 4 % obj. Poniżej tej głębokości udział cementu wzrasta do ponad 20 % obj., przeważając ilościowo nad spoiwem detrytycznym. Arenity są skałami umiarkowanie lub silnie porowatymi, w których pory stanowią 8,8 – 34,6 % obj. (średnio 18,2 %), natomiast waki są bardzo słabo lub słabo porowate (0,7 – 9,9 % obj.).

Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych (Teresa Adamczak)

Zestawiono i przeanalizowano dane petrofizyczne dla 28 otworów z rejonu Bełchatowa (**Tabela 1.1.5_1**). Dla tego celu wykorzystano informacje o parametrach petrofizycznych skał znajdujące się w sprawozdaniach wynikowych z poszczególnych otworów.

Z dokumentacji tych uzyskano informacje o litologii, gęstości, porowatości i przepuszczalności przebadanych próbek rdzenia wiertniczego z interesujących otworów omawianego obszaru.

Dla potrzeb realizacji tematu badań, próbkom rdzenia przyporządkowano odpowiadającą im stratygrafię. Pozwoliło to na scharakteryzowanie interesujących z punktu widzenia realizacji niniejszego tematu badań poziomów stratygraficznych (T1, T2, T3, J1, J2) za pomocą wartości gęstości, porowatości i przepuszczalności ich utworów (**Tabela 1.1.5_2**). Wniosło to również użyteczną informację o litologii skał budujących te poziomy.

Tabela 1.1.5_1 Lista otworów z wykorzystanymi archiwalnymi wynikami badań petrofizycznych

L.p.	NAZWA CBDG	ID CBDG
1	BELCHATÓW-8	98522
2	BELCHATÓW-9	122721
3	BELCHATÓW-10	98418
4	BELCHATÓW-11	98527
5	BUKÓW-1	14372
6	IWANOWICE-1	18222
7	KLICZKÓW-1	96781
8	KLICZKÓW-3	96797
9	KLICZKÓW-6	96748
10	KLICZKÓW-7	23573
11	KLICZKÓW-8	98054
12	KUTNO-1	13285
13	KUŹNICA STROBIŃSKA-1	98250
14	KUŹNICA ZAGRZEBSKA-2	97990
15	KUŹNICA ZAGRZEBSKA-3	97984
16	MAŁE TYBLE-1	38606
17	NIECHMIRÓW-2	11266
18	RADZIĄTKÓW-2A	98531
19	SIERADZ-1	96802
20	SOBIESEKI-1	23567
21	SZWEJKI-1	15971
22	TUSZYN-2	96966
23	TUSZYN-9	97234
24	WIELUŃ-6	98224
25	ZAOSIE-1	14373
26	ZAOSIE-2	14386
27	ZAOSIE-3	14387
28	ZERECHOWA-1	13569

Tabela 1.1.5_2 Zestawienie archiwalnych wyników badań petrofizycznych (przykład)

Nazwa otworu:	Głębokość	Litologia	Gęstość	Porowatość	Przepuszczalność [%]		Stratygrafia
			[g/cm ³]	[%]	pionowa	pozioma	
BUKOW-1	2 074,00	mułowiec	2,63	1,52		0	T3
BUKOW-1	2 208,00	mułowiec	2,69	0,1		nw	T3
BUKOW-1	2 214,00	mułowiec	2,63	0,35		0,03	T3
BUKOW-1	2 339,00	piaskowiec + mułowiec	2,69	2,25		0,08	T3
BUKOW-1	2 442,00	wapień	2,76	1,89		0	T3
BUKOW-1	2 448,00	piaskowiec	2,75	0,49		0	T3
BUKOW-1	2 505,00	piaskowiec	2,43	9,08		0	T3
BUKOW-1	2 511,00	piaskowiec	2,5	7,06		0	T3
BUKOW-1	2 582,00	mułowiec	2,75	0,64		nw	T3
BUKOW-1	2 600,00	mułowiec	2,67	1,14		0	T3
BUKOW-1	2 883,00	mułowiec	2,63	1,85		nw	T3
BUKOW-1	2 886,00	piaskowiec	2,43	9,1		0,01	T3
BUKOW-1	2 887,00	piaskowiec	2,38	11,37		0,02	T3
BUKOW-1	2 941,50	mułowiec	2,67	0,79		0	T3
BUKOW-1	2 943,50	mułowiec	2,65	1,12		nw	T3
BUKOW-1	2 974,50	mułowiec + wapień	2,74	3,65		0	T2
BUKOW-1	2 975,50	dolomit	2,77	0,5		0	T2
BUKOW-1	2 977,50	wapień + mułowiec	2,84	0,71		0,02	T2
BUKOW-1	2 978,50	dolomit	2,89	0,85		0,95	T2
BUKOW-1	3 219,00	piaskowiec	2,55	3,61		0,27	T1
BUKOW-1	3 225,00	mułowiec	2,6	2,6		0,02	T1
BUKOW-1	3 456,00	mułowiec ilasty		0,76		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 458,00	mułowiec ilasty		2,26			T1
BUKOW-1	3 537,50	piaskowiec drobnoziarnisty		1,5		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 538,00	piaskowiec drobnoziarnisty		0,06		bliska 0	T1
BUKOW-1	3538,1	piaskowiec drobnoziarnisty		0,12		bliska 0	T1
BUKOW-1	3538,5	piaskowiec zailony		0,32		bliska 0	T1
BUKOW-1	3538,6	piaskowiec zailony		0,35		bliska 0	T1
BUKOW-1	3539,4	piaskowiec zailony		0,63		bliska 0	T1
BUKOW-1	3539,5	piaskowiec zailony		0,4		bliska 0	T1
BUKOW-1	3539,7	piaskowiec zailony		1,68		bliska 0	T1
BUKOW-1	3540,3	piaskowiec zailony		1,24		bliska 0	T1
BUKOW-1	3540,4	piaskowiec zailony		0,29		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 570,00	piaskowiec		1,9		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 571,00	mułowiec ilasty		0,58		brak	T1
BUKOW-1	3 571,50	wapień		0,78		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 572,00	wapień		0,26		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 643,00	piaskowiec		0,24		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 689,00	piaskowiec		2,3		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 689,50	piaskowiec		3,34		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 689,80	piaskowiec		1,94		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 690,00	piaskowiec		1,97		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 690,20	piaskowiec		0,57		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 690,30	piaskowiec		0,78		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 690,70	piaskowiec		2,73		bliska 0	T1
BUKOW-1	3 690,75	piaskowiec		0,16		bliska 0	T1
BUKOW-1	3750,7	piaskowiec		1,43		bliska 0	T1
BUKOW-1	3751	piaskowiec		9,77		bliska 0	T1
BUKOW-1	3751,5	piaskowiec		2,17		bliska 0	T1
BUKOW-1	3751,6	piaskowiec		2,43		bliska 0	T1
BUKOW-1	3751,7	piaskowiec drobnoziarnisty, zailony		4,8		bliska 0	T1
BUKOW-1	3752,4	piaskowiec drobnoziarnisty, zailony		3,75		bliska 0	T1
BUKOW-1	3752,5	piaskowiec drobnoziarnisty, zailony		3,43		bliska 0	T1
BUKOW-1	3752,7	piaskowiec drobnoziarnisty, zailony		3,98		bliska 0	T1

Zagadnienie kalibracji profilowań geofizycznych z wynikami badań petrofizycznych rdzeni wiertniczych (Jan Szewczyk, Teresa Adamczak)

Wśród wykonanych badań geofizycznych jedyną metodą porowatościową dostępną we wszystkich interpretowanych otworach wiertniczych było profilowanie neutronowe. Było to zazwyczaj profilowanie zrealizowane tzw. metodą neutron - gamma (PNG) w wariacie tzw. długich sond neutronowych (Szewczyk, 1978, 1998).

Wszystkie archiwalne profilowania neutronowe, niezależnie od typu stosowanej metody czy sondy pomiarowej, reprezentują pomiary analogowe wykonywane sondami jedno-detektorowymi pracującymi na tzw. długiej "opadającej" krzywej. Efektywna porowatość neutronowa Φ_n ośrodka skalnego "widziana" przez te sondy może być przedstawiona w ogólnej postaci:

$$\Phi_n = \Phi + \Phi_{sh} + \Phi_l + \Phi_a + \Phi_g \quad (1)$$

gdzie:

Φ - porowatość całkowita skały,

Φ_{sh} - porowatość neutronowa związana z wodą występującą w minerałach ilastych,

Φ_l - wpływ litologii (składu chemicznego),

Φ_a - porowatość neutronowa związana z absorbentami neutronów termicznych,

Φ_g - pozorna porowatość neutronowa związana z wychwytem radiacyjnym oraz transportem kwantów gamma (dla metody PNG) w ośrodku skalnym.

Najczęściej przyjmuje się, że porowatość neutronowa składnika ilastego skały (Φ_{sh}) jest obliczana na podstawie relacji :

$$\Phi_{sh} = m \times V_{sh} \quad (2)$$

gdzie:

m - jednostkowa (właściwa) porowatość neutronowa składnika ilastego skał,

V_{sh} - objętościowa miara zailenia w analizowanej skale.

Znaczne trudności interpretacyjne występują szczególnie w obszarze bardzo wysokich porowatości neutronowych (powyżej 45-50 % porowatości). Niektóre ze stosowanych typów sond neutronowych w metodzie PNG mogą wykazywać nawet inwersję wskazań - co może prowadzić do znacznych błędów interpretacyjnych (Szewczyk, 1978, 1998). W odniesieniu do wyników analizowanych profilowań neutronowych nie dysponowano informacjami na temat typów zastosowanych sond ani tym bardziej ich charakterystyk.

W pracach interpretacyjnych wykonywanych w ramach niniejszego opracowania stosowana była metoda kalibracji oparta na m.in. zarówno na wykorzystaniu danych laboratoryjnych, jak i ogólnej wiedzy na temat własności formacji mezozoicznych uzyskanej w trakcie wcześniej wykonywanych prac interpretacyjnych na obszarze Nizy Polskiego (przykład – Fig. 1.1.5_1).

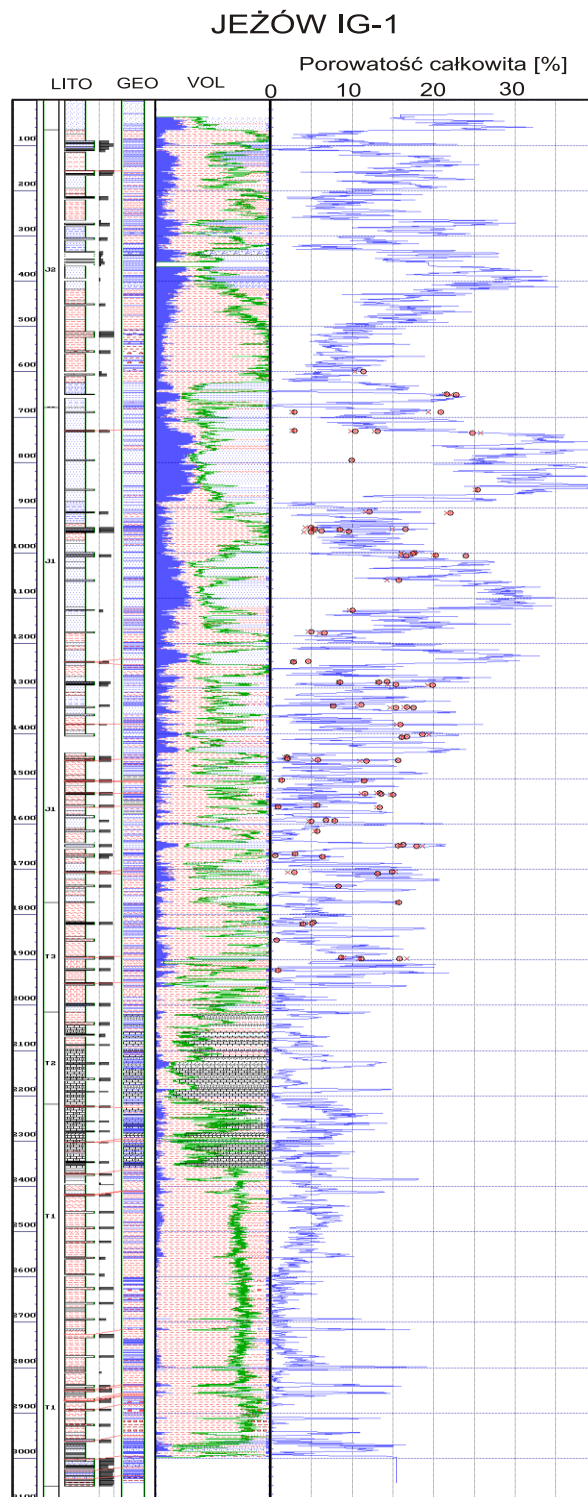


Fig. 1.1.5_1 Zestawienie głębokościowe wyników interpretacji porowatości całkowitej na podstawie danych geofizycznych i wyników analiz petrofizycznych w otworze Jeżów IG-1

Generalnie profilowania neutronowe w analizowanych przypadkach były wykonane sondami niestandardyzowanymi i niekalibrowanymi a ich wyniki opisywane w jednostkach względnych (imp/min). W odniesieniu do części profilowań neutronowych zrealizowanych przez Geofizykę Kraków, dostępne profilowania neutronowe posiadały przeprowadzoną w arbitralny, bliżej nieokreślony sposób kalibrację profilowań neutronowych (wyniki opisywane były w jednostkach porowatości neutronowej (vol. %)). Nie podano przy tym niestety założeń przyjętych w procesie kalibracji (co uczyniło tę transformację nieodwracalną dla niewtajemniczonych). Uniemożliwiło to również rozpoznawanie litologii w strefie bardzo niskich, jak i wysokich ich wartości (miało to istotne znaczenie przede wszystkim w utworach triasu przy odróżnianiu np. mułowców i piaskowców). Obserwowane sprzeczności między określonymi tak wielkościami porowatości neutronowej Φ_N a porowatościami laboratoryjnymi Φ_C (wskazują w wielu przypadkach na wątpliwy charakter wyników tego sposobu kalibracji profilowań neutronowych).

W przypadku, gdy wyniki profilowania neutronowego istniały w formie źródłowej (intensywność rejestrowanego wtórnego profilowania gamma) przy kalibracji stosowano procedurę opracowaną w systemie Geoflog (Szewczyk, 1998). W odniesieniu do wszystkich posiadanych danych cyfrowych wykonanych w otworach Górnictwa Naftowego - nie posiadano informacji na temat głębokości łączenia poszczególnych profilowań geofizycznych. Brak tej informacji mógł wprowadzać dodatkowy błąd do wyników interpretacji.

Efektywność procesu kalibracji danymi laboratoryjnymi zależała w dużym stopniu od liczby danych laboratoryjnych, a ta z kolei od istnienia rdzeni wiertniczych w analizowanych odcinkach głębokościowych. Dla w większości otworów Górnictwa Naftowego utwory jury dolnej i środkowej, jak i trias były rdzeniowane w stopniu bardzo niewielkim. W sposób zdecydowany ograniczyło to możliwość wykorzystania danych laboratoryjnych w procesie kalibracji *post factum*.

Kolejnym elementem było istnienie niekiedy znacznych (z reguły kilku metrowych) przesunięć głębokościowych między danymi geofizycznymi określanymi na podstawie pomiaru długości kabla pomiarowego i głębokościami wiertniczymi określanymi na podstawie długości przewodu wiertniczego. Na przykładzie otworu Jeżów IG-1 (Fig. 1.1.5_2) wielkość tych przesunięć zmienia się od około 1 - 1.5 m w górnej części profilu do ponad 10 m w części najgłębszej.

Na podstawie wyników analiz laboratoryjnych porowatości i przepuszczalności realizowanych przez INiG w zadaniu 1.3.2 (patrz następny podrozdział), które z uwagi na sposób wyboru próbek i ich reprezentatywność uznano za bardziej wiarygodne od materiałów archiwalnych, sporządzono zależności przepuszczalności skał zbiornikowych dolnej jury i dolnego triasu od porowatości całkowitej (Fig. 1.1.5_2 i Fig. 1.1.5_3). Zależności te wykorzystano następnie do szacowania przepuszczalności w wybranych otworach, na podstawie wartości porowatości całkowitej otrzymanej z interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej.

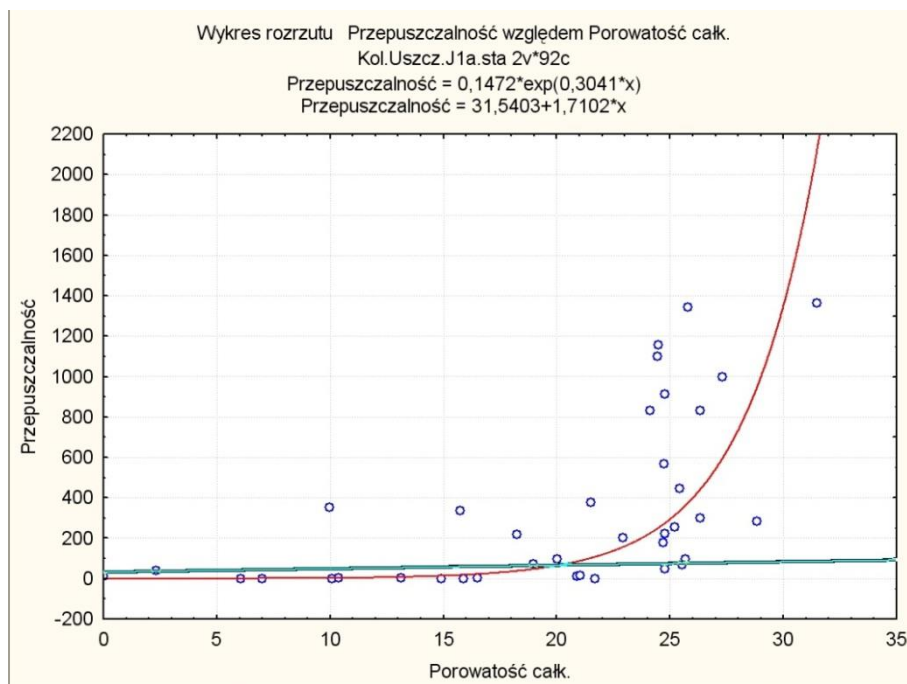


Fig. 1.1.5_2 Zależność przepuszczalności próbek skał zbiornikowych jury dolnej od porowatości całkowitej na podstawie wyników nowych badań laboratoryjnych próbek skał (patrz 1.3.2). Zależność wykładnicza (krzywa czerwona) określona dla zakresu porowatości całkowitej 15-35%; dla porowatości poniżej 15% zależność jest liniowa (krzywa zielona).

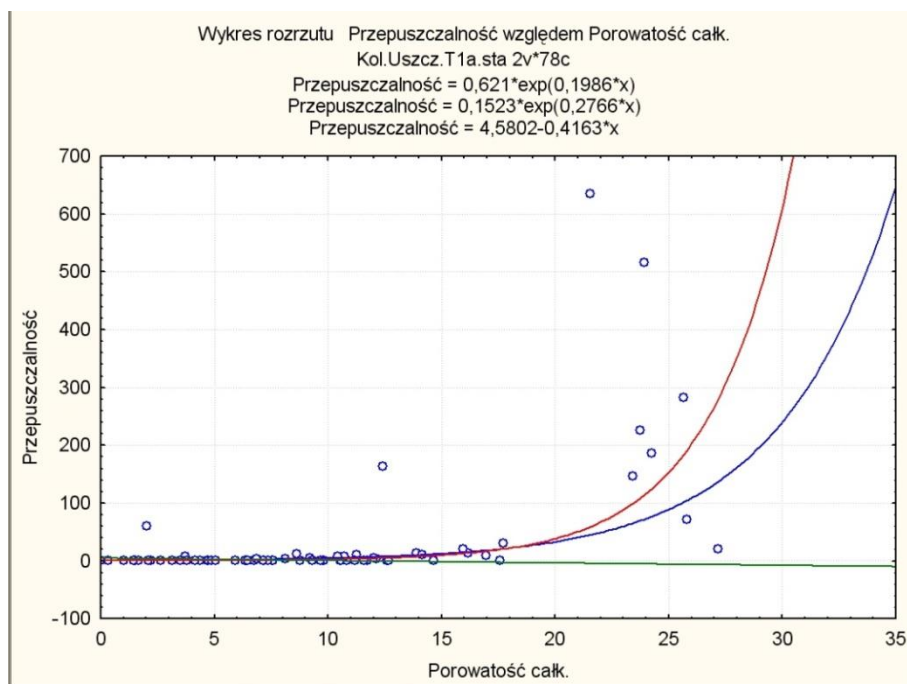


Fig. 1.1.5_3 Zależność przepuszczalności próbek skał zbiornikowych triasu dolnego od porowatości całkowitej na podstawie wyników nowych badań laboratoryjnych próbek skał (patrz 1.3.2). Zależność wykładnicza (krzywa czerwona) określona dla zakresu porowatości całkowitej 10-35%; dla porowatości poniżej 10% zależność jest liniowa (krzywa zielona), natomiast krzywa niebieska określa zależność dla całego zakresu porowatości całkowitej.

Rejon II - GZW

(Janusz Jureczka, Włodzimierz Krieger, Jan Kwarciański – PIG-PIB OG)

Pod kątem bezpiecznego składowania CO₂ na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w I segmencie były brane pod uwagę poziomy solankowe występujące w następujących utworach:

- ♣ miocen – warstwy dębowieckie
- ♣ karbon górny (węglonośny) – krakowska seria piaskowcowa
- ♣ karbon górny (węglonośny) – górnośląska seria piaskowcowa seria piaskowcowa
- ♣ karbon dolny – seria węglanowa
- ♣ dewon dolny / kambr – utwory terygeniczne.

Podstawowe znaczenie miały utwory miocenu i karbonu górnego, położone głównie w południowo-zachodniej, południowej i południowo-wschodniej części GZW. Z przeprowadzonej w innych punktach badawczych projektu analizy budowy geologicznej karbonu i utworów nadkładu w GZW wynika, że potencjał do składowania dwutlenku węgla na obszarze zagłębia i jego bezpośredniego otoczenia wykazują tylko utwory dwóch karbońskich jednostek litostratygraficznych – **górnoszląskiej serii piaskowcowej** i **krakowskiej serii piaskowcowej**, a w profilu utworów nadkładu – kompleks **warstw dębowieckich**.

Dla wykonanej analizy istotne znaczenie miały przede wszystkim dane z otworów PIG, zwłaszcza z szeregu otworów parametrycznych wykonanych w latach 1975-1987 o dość wszechstronnych (jak na owe czasy) badaniach, w tym m.in.:

- litologiczno-facjalnych
- biostratygraficznych (florystyczne, faunistyczne, sporowe, mikrofaunistyczne)
- petrograficzno-mineralogicznych
- jakościowych i ilościowych pokładów węgla (także petrografii węgla)
- diagenetycznych
- tektonicznych
- hydrogeologiczno-gazowych
- geotechnicznych
- geofizycznych.

Badania te dotyczyły głównie utworów karbonu, a w mniejszym zakresie także utworów nadkładu (m.in. miocenu). Do założonych w niniejszym Projekcie celów zostały wykorzystane wyniki badań z 18 takich otworów: Woszczyce IG-1, Wyry IG-1, Chełmek IG-1, Poręba Żegoty IG-1, Poręba Wielka IG-1, Krzyżowice

IG-1, Ruptawa IG-1, Studzionka IG-1, Drogomyśl IG-1, Łąka IG-1, Piasek IG-1, Chybie IG-1, Czechowice IG-1, Rudzica IG-1, Dębowiec IG-1, Bestwina IG-1, Bielowicko IG-1, Zamarski IG-1. Rdzenie z tych otworów, z wyjątkiem części profilu otworu Bielowicko IG-1, są zlikwidowane. Pozostały próby pomniejszone z utworów karbonu (próby takie były brane praktycznie z każdej warstwy litologicznej, niestety część z nich uległa zniszczeniu) oraz szlify petrograficzne. Próby na badania petrograficzne były pobierane z rdzenia na ogół co 3-4 m, średnio z 1 otworu – ok. 250-400 prób. Zakres wykonanych ówczśnie badań petrograficznych był bardzo szeroki. Szeroki był również zakres badań innych własności petrofizycznych skał wykonany w trakcie pozostałych badań, głównie hydrogeologicznych i geofizycznych. Szczegółowo zakresy wykonanych badań przedstawione są poniżej.

Zakres archiwalnych badań petrograficznych w otworach PIG

1. Badania mikroskopowe przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego (Amplival):

- analiza jakościowa i ilościowa na płytkach cienkich z wszystkich pobranych prób
- wyniki w postaci zestawień tabelarycznych i graficznych oddzielnie dla osadów drobnookruchowych i ilastych oraz dla osadów średniookruchowych.

2. Skład granulometryczny poszczególnych frakcji oraz skład mineralny materiału okruchowego i domieszek, udział spoiwa, a także (dla osadów średniookruchowych) badania cech strukturalnych i teksturalnych, obrobienia materiału klastycznego oraz wskaźników petrograficznych i mineralogicznych, analiza obtoczenia ziaren.

3. Analiza planimetryczna składu mineralnego przy użyciu stolika integracyjnego (typ „Eltinor” z ośmiokanałowym licznikiem):

- dla osadów średniookruchowych
- procentowy udział kwarcu, skaleni potasowych, plagioklazów, okruchów skał, łuszczyków (biotyt, muskowit), chlorytu, udział spoiwa ilastego i węglanowego, etc.

4. Analiza rentgenograficzna (aparat produkcji japońskiej typu „Geigerflex” firmy Rigaku):

- skład mineralny substancji ilastej w osadach drobnookruchowych
- spoiwo osadów średniookruchowych

5. Analiza spektrometryczna (aparat produkcji japońskiej typu „Geigerflex” firmy Rigaku):

- skład mineralny substancji ilastej w osadach drobnookruchowych
- spoiwo osadów średniookruchowych

6. Analiza deriwatograficzna (aparat produkcji węgierskiej, typ 1500, system F. Paulik, J. Paulik, L. Erdej)

- skład mineralny substancji ilastej w osadach drobnookruchowych

- spoiwo osadów średniookruchowych

7. Analiza minerałów ciężkich dla osadów średniookruchowych

Do określenia własności petrofizycznych istotne znaczenie mają także wyniki innych badań wykonane w otworach PIG, m.in.:

- ▲ stopnia diagenety, w tym pomiary gęstości objętościowej (próbki pobierane co 25-30 cm)
- ▲ parametrów geotechnicznych: prędkość fali podłużnej, wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie (próby pobierane co 5-10 m)
- ▲ parametrów hydrogeologicznych (na podstawie badań laboratoryjnych): m.in.: porowatość, przepuszczalność, odsączalność, współczynnik filtracji, także gęstość objętościowa
- ▲ oraz kompleksowe badania geofizyczne (otworowe), w tym także akustyczne, prędkości średnich i termiczne.

Oprócz wyników badań wykonanych w parametrycznych otworach PIG do opracowania zagadnień własności petrofizycznych i petrologicznych wykorzystane zostały również wyniki badań z innych otworów odwierconych w GZW zlokalizowanych w wyznaczonych rejonach badawczych lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Są to głównie wyniki z laboratoryjnych badań hydrogeologicznych wykonanych w otworach węglowych (w pojedynczych przypadkach także otworach naftowych). Łącznie wykorzystano wyniki badań z 43 takich otworów, w tym:

5 otworów dla rozpoznania warstw dębowieckich: Bzie-Dębina 8, 16, 31; Kaczyce 9; Kalembice 1;

32 otworów dla rozpoznania krakowskiej serii piaskowcowej: Ćwiklice 2, 9; Janina 83, 88, 90, 95, 96, 102; Kobiór 88, 92; Kobiór-Pszczyna 121; Międzyrzecze-Bieruń 6, 12, 14, 35, 44, 59, 63, 77, 79, 81, 93; Międzyrzecze 9; Oświęcim Polanka 4, 9, 10; Piast G2, Pszczyna 34, Silesia 9, 24; Studzienice 2, 6;

10 otworów dla rozpoznania górnośląskiej serii piaskowcowej: Bzie-Dębina 8, 16, 31; Ćwiklice 2; Międzyrzecze-Bieruń 10, Pszczyna 34, Pawłowice 1; Silesia 2, 9; Suszec 42.

W niniejszej części analizy petrologicznej i petrofizycznej szczegółowo prezentowane są głównie wyniki badań petrograficznych oraz niektórych własności petrofizycznych (gęstość objętościowa). Pozostałe własności petrofizyczne (porowatość, przepuszczalność) prezentowane są w skali ogólnej – zbiorczej dla wyznaczonych rejonów badawczych, a w skali szczegółowej własności te prezentowane są w innych zadaniach projektu – zwłaszcza w zadaniu 1.1.6 „Charakterystyka hydrogeologiczna formacji wodonośnych i geochemiczna płynów złożowych”.

CHARAKTERYSTYKA PETROLOGICZNA

Karbon górny

Prezentowana poniżej analiza petrograficzna wyznaczonych rejonów badawczych w utworach karbońskich oparta jest o wyniki badań wykonane w otworach parametrycznych PIG (**Tabela 1.1.5_3**). Szczegółowy zakres wykonanych badań oraz podstawowe informacje metodyczne zostały podane w przedstawionym wyżej zakresie badań petrograficznych w otworach PIG. Łącznie analizą dla utworów karbońskich objęto 17 otworów wiertniczych, w których dla omawianych badań pobrano 1304 prób z utworów krakowskiej serii piaskowcowej i górnośląskiej serii piaskowcowej (**Tabela 1.1.5_3**). W analizie ujęto również wyniki badań dla serii mułowcowej, oparte także o dokładne i gęste opróbowanie tych utworów rzędu kilkuset prób.

Tabela 1.1.5_3 Opróbowanie dla badań petrograficznych w otworach parametrycznych PIG

Seria litostratygraficzna	Otwory wiertnicze		Ilość prób		
	ilość	nazwa	średniookruchowe	drobnookruchowe	pozostałe
krakowska seria piaskowcowa	6	Poręba Żegoty IG-1	202	30	-
		Chełmek IG-1	127	22	1
		Poręba Wielka IG-1	66	3	1
		Woszczyce IG-1	23	23	-
		Piasek IG-1	10	2	-
		Wiry IG-1	130	7	-
		razem:	558	87	2
górnośląska seria piaskowcowa	15	Krzyżowice IG-1	-	-	-
		Studzionka IG-1	78	35	-
		Ruptawa IG-1	33	6	-
		Drogomyśl IG-1	33	17	-
		Piasek IG-1	46	22	1
		Łąka IG-1	30	18	-
		Rudzica IG-1	35	6	-
		Dębowiec IG-1	24	10	-
		Zamarski IG-1	33	22	-
		Bestwina IG-1	11	10	-
		Poręba Wielka IG-1	1	4	-
		Wiry IG-1	66	38	-
		Chybie IG-1	34	17	-

	Chelmek IG-1	6	-	-
	Czechowice IG-1	6	15	-
	razem:	436	220	1

Górnośląska seria piaskowcowa (GSP)

W obrębie występowania górnośląskiej serii piaskowcowej w oparciu o kryteria geologiczne wybrano trzy rejonu badawcze w południowej i centralnej części GZW:

„**Piasek-Studzienice**” w centralnej części GZW, w skrzydle wiszącym uskoku jawiszowickiego,

„**Pawłowice-Pszczyna-Ćwiklice**” w południowej części GZW, w skrzydle wiszącym uskoku ruptawskiego

„**Zebrzydowice-Drogomyśl-Chybie**” w południowej części GZW

W rejonach tych górnośląska seria piaskowcowa stanowi kompleks skał piaskowcowo-mułowcowo-iłowcowy, w którym dominują gruboławicowe piaskowce osiągające sumaryczne miąższości do 50-350 m (miąższość całej serii sięga 450 m, przeważnie wynosi w granicach 100-350 m). Strop serii zalega na ogół na głębokościach od 900-1000 m do 1500-1700 m, pod przykryciem serii mułowcowej o zróżnicowanej miąższości od kilkudziesięciu do 1000 metrów, nad którą występują nieprzepuszczalne ilaste osady miocenu. Ze względu na istotne znaczenie serii mułowcowej, jako kompleks skalnego izolującego utwory górnośląskiej serii piaskowcowej, poniżej przytoczono również skróconą charakterystykę tej serii.

Petrologicznie utwory górnośląskiej serii piaskowcowej zbadano w otworach: Studzionka IG-1, Drogomyśl IG-1, Piasek IG-1, Łąka IG-1, Rudzica IG-1, Dębowiec IG-1, Zamarski IG-1, Chybie IG-1. Czechowice IG-1, Wyry IG-1, znajdujących się na wyznaczonych obszarach badawczych oraz w otworach: Krzyżowice IG-1, Ruptawa IG-1, Bestwina IG-1, Poręba Wielka IG-1, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie obszarów badawczych,

Osady średniookruchowe górnośląskiej serii piaskowcowej reprezentowane są przez piaskowce grubo i średnioziarniste, rzadziej drobnoziarniste i bardzo gruboziarniste oraz żwirowcowe. Tekstura analizowanych piaskowców jest mikrokierunkowa lub bezładna. Tekstura mikrokierunkowa zaznaczona jest przeważnie przez ułożenie łuszczków, laminarną koncentrację skupień syderytu pelitycznego oraz detrytu węglatego, rzadziej przez laminarne nagromadzenie minerałów ciężkich. Stopień obtoczenia i wysortowania materiału okruchowego jest zmienny. Najczęściej występują ziarna subowalne, rzadziej owalne i angularne. W niektórych próbkach stwierdzono znaczny udział ziaren o charakterze pirogenicznym.

Według klasyfikacji F. J. Pettijohna i in. (1972) występują tu głównie waki arkozowe i lityczne, rzadziej arenity sublityczne i subarkozowe. Według klasyfikacji K. Łydky (1955) występują tu głównie szarogłazy niższego rzędu i piaskowce polimiktyczne. Materiał okruchowy reprezentowany jest głównie przez kwarc, rzadziej występują skalenie i okruchy skał oraz w niewielkich ilościach łuszczki.

Kwarc jest minerałem dominującym. Ilość jego waha się w granicach od 24,2-96,2% zawartości materiału okrusowego przy średniej 62,1%. Kwarc wykazuje znikanie światła proste lub faliste, rzadziej falisto-plamiste. Sporadycznie występują w nim wrostki cyrkonu, turmalinu i tyszczków.

Skalenie występują w zróżnicowanych ilościach i reprezentowane są przez skalenie potasowe, rzadziej plagioklasy. Skalenie potasowe to głównie ortoklaz i sporadycznie mikroklin o zbliżeniu kratkowym. Ziarna ortoklazu wykazują objawy wietrzenia. Ilość skaleni potasowych wynosi do 24,6% zawartości materiału okrusowego przy średniej 8,1%. Plagioklasy wykazują zbliżenia albitowe, a maksymalny kąt wygaszania światła wykazuje, że są kwaśnymi oligoklazami o zawartości 10-15% anortytu. Ilość plagioklazów waha się w granicach do 18,0% zawartości materiału okrusowego, przy średniej 2,2%. Ziarna plagioklazów również wykazują procesy wietrzenia.

Łyszczki występują w niewielkich ilościach i reprezentowane są przez muskowitz i biotyt. Muskowitz o charakterze dość dobrze wykształconych łusek występuje w ilościach do 21,6% zawartości materiału okrusowego, przy średniej 2,5%. Biotyt występuje jako minerał lekko zwietrzały (niekiedy świeży). Ilość biotytu waha się w do 38,1% zawartości materiału okrusowego, przy średniej 2,0%. Chloryt występuje sporadycznie w ilościach 0,0-3,8% zawartości materiału okrusowego, przy średniej 0,2% i wykazuje przeważnie charakter minerału pobiotytowego.

Okruchy skał występują w wyraźnie większych ilościach aniżeli w piaskowcach serii wyżej i niżej ległych. Reprezentowane są przez okrusy kwarcytów, rzadziej łupki kwarcytowe i okrusy skał magmowych. Wśród okrusów skał magmowych występują przeważnie okrusy tła skalnego skaleninowego kwaśnych skał wylewnych, znacznie rzadziej okrusy skał kryptoziarnistych oraz okrusy skał głębinowych. Ilość kwarcytów waha się w granicach od 0,0 do 53,4% zawartości materiału okrusowego przy średniej 15,6%, a ilość okrusów skał magmowych wynosi 0,0-12,2% zawartości materiału okrusowego przy średniej 2,3%.

Spoiwo piaskowców GSP jest zróżnicowane. Występuje tu spoiwo mieszane kaolinitowo-illitowe z domieszką chlorytu. W niektórych próbkach dominuje spoiwo illitowe przy niewielkim udziale substancji kaolinitowej i kwarcowej. Ilość spoiwa ilastego wynosi od 0,0 do 62,3% przy średniej 17,3%. W pojedynczych próbkach zaobserwowano udział spoiwa kwarcowego. Spoiwo węglanowe występuje w postaci domieszek i reprezentowane jest przez krystaliczny dolomit oraz pelityczny syderyt. Ilość spoiwa dolomitowego wynosi od 0,0 do 53,4% przy średniej 1,9%, a ilość spoiwa syderytowego wynosi od 0,0 do 65,0% przy średniej 1,4%.

Minerały ciężkie GSP to w większości minerały słabo odporne na wietrzenie, szczególnie tyszczki. Z minerałów tyszczkowych dominuje zwietrzały biotyt i muskowitz. Występują również: rutyl, turmalin i apatyt.

Osady drobnokrusowe górnośląskiej serii piaskowcowej występują w stosunkowo niewielkiej ilości i są reprezentowane przez mułowce i iłowce.

Mułowce występujące w GSP to przeważnie skały o strukturze mieszanej pelitowo-psamitowo-aleurytowej i teksturze mikrorównoległej. Udział frakcji pelitowej zamyka się przeważnie w przedziale 10-20% objętości masy skały, sporadycznie dochodzi do 30%. Domieszka frakcji drobnopsamitowej waha się od 12% do 30%. Ziarna są przeważnie angularne, subangularne, rzadziej subowalne. Ziarna o kształtach piroklastycznych występują sporadycznie.

W składzie mineralnym materiału okruchowego dominuje kwarc, którego ilość dochodzi do 90% objętości materiału okruchowego. Skalenie reprezentowane są zarówno przez skałki potasowe, jak i skałki sodowo-wapniowe. Skałki potasowe (ortoklaz) występuje średnio w ilości około 10%, natomiast skałki sodowo-wapniowe – średnio w ilości 0,4%. Łuszczyki występują tu w znacznej, ale zmiennej ilości do 50%. Reprezentowane są przez biotyt, muskowitz i chloryt. Biotyt występuje w postaci różnej wielkości łusek, zarówno świeżych jak i zwierzętych. Muskowitz tworzy różnej wielkości łuski bezbarwne. Dosty często obserwuje się procesy wietrzenia zachodzące w kierunku hydromuskowityzacji. Chloryt występuje prawie w każdej próbce w postaci drobnych łusek i jest on najprawdopodobniej produktem po wietrzeniu łusek biotytu. Okruchy skał reprezentowane są przeważnie przez kwarcyty i łupki mikowo-kwarcytowe. W masie spajającej o charakterze spoiwa kontaktowo-porowego obok minerałów ilastych występuje kwarc i skalenie tak potasowe jak i sodowo-wapniowe. Z minerałów ilastych dominuje kaolinit przy zwiększonym udziale illitu. Zmienne w swej ilości domieszki substancji węglanowej to wyłącznie syderyt o strukturze mikrytowej. Substancja węglista występuje w postaci okruchów oraz laminarnych skupień.

Iłowce charakteryzują się strukturą pelitową, teksturą – najczęściej kierunkową. Zbudowane są przeważnie z substancji drobnoziarnistej, często z domieszką drobnołuseczkowej substancji. Masa podstawowa iłowców zbudowana jest z substancji kaolinitowej przy stałej zawartości pelitu kwarcowego. Podrzędnie w skład minerałów ilastych wchodzi illit i chloryt. Często domieszką jest tu substancja węglanowa wykształcona w postaci pikrytu syderytu. W tej partii osadów występują również iłowce kryptokrystaliczne o teksturze beładnej.

Seria mułowcowa (SM)

Osady serii mułowcowej można traktować, jako warstwę uszczelniającą dla niżej zalegającej górnoląskiej serii piaskowcowej. Seria mułowcowa wykształcona jest monotonnie. Dominują w niej osady drobnoklastyczne, reprezentowane głównie przez mułowce, a tylko podrzędnie przez iłowce. Petrologicznie utwory serii mułowcowej zbadano w tych samych otworach, co wyżej wymienionych dla górnoląskiej serii piaskowcowej.

Osady średniookruchowe serii mułowcowej wykształcone są jako piaskowce drobnoziarniste z dość licznymi wkładkami piaskowców średnioziarnistych. Rzadziej występują piaskowce bardzo drobnoziarniste i gruboziarniste. Tekstura piaskowców jest zróżnicowana. Częściej pojawia się tekstura beładna, rzadziej mikrokierunkowa. Tekstura mikrokierunkowa zaznaczona jest głównie przez kierunkowe, często laminarne, nagromadzenie okruchów substancji węglistej oraz skupienia syderytu pelitycznego, rzadziej naprzemianległe przewarstwienia mułowcowo-piaskowcowe i sporadycznie przez frakcyjny rozdział materiału okruchowego. Wysortowanie i obtoczenie materiału okruchowego jest dość dobre. Przeważają ziarna subowalne i subangulane. Rzadziej występują piaskowce z dominacją ziaren o charakterze pirogenicznym.

Skład mineralny materiału ziarnistego w całym profilu serii mułowcowej jest zbliżony do siebie. Według klasyfikacji K. Łydki (1955) piaskowce budujące tę serię sytuują się przeważnie w polu piaskowców polimiktycznych, jak również w polu piaskowców kwarcowych. Według klasyfikacji F. J. Pettijohna i in. (1972) są to zarówno arenity jak i waki. Wśród arenitów dominują arenity sublityczne i lityczne, rzadziej subarkozowe i kwarcowe. Wśród wak występują waki arkozowe, lityczne i sporadycznie kwarcowe.

Podstawowym materiałem budującym piaskowce jest kwarc występujący w ilościach 46,3-94,0% zawartości materiału okruchowego przy średniej 78,5%. Skalenie występują w niewielkich ilościach i reprezentowane są głównie przez skalenie potasowe, rzadko plagioklasy. Ilość ich waha się w granicach 0,0-27,8% zawartości materiału okruchowego przy średniej 8,6%. Łuszczyki występują w niewielkich ilościach i reprezentowane są głównie przez muskowit (0,0-10,2%, średnio 1,3%), rzadziej biotyt (0,0-9,2%, średnio 0,4%). Podwyższone ilości łuszczyków występują w piaskowcach z większą zawartością materiału pirogenicznego. Chloryt występuje sporadycznie (średnio 0,03 %) wykazując cechy minerału pobiotyowego. Okruchy skał występują w zróżnicowanych ilościach uzależnionych przeważnie od wielkości ziaren materiału klastycznego. W piaskowcach drobnych i bardzo drobnoziarnistych ilość jest niewielka, natomiast wzrasta w piaskowcach gruboziarnistych, reprezentowane są przez kwarcyty drobnoziarniste (0,0-34,1%, średnio 7,1%), rzadziej przez okruchy kwaśnych skał magmowych (0,0-8,4%, średnio 1,9%) i łupków kwarcytowych (0,0-9,6%, średnio 1,3%).

Spoiwo piaskowców SM występuje najczęściej w typie masy porowej lub kontaktowo-porowej, a masą spajającą jest substancja niskodwójłomna, kryptoziarnista o składzie kaolinitowym przy dość znacznym udziale spoiwa kwarcowego, reagującymi z ziarnami. Niekiedy obserwuje się niewielki udział spoiwa drobnołuseczkowego o średniej dwójłomności i składzie illitowym. Substancja węglanowa występująca jako domieszka w spoiwie reprezentowana jest zarówno przez syderyt pelityczny jak i przez drobnoziarnisty dolomit.

Minerały ciężkie w SM reprezentowane są przez cyrkon, następnie rutil, turmalin i apatyt. Biotyt występuje w niewielkich ilościach, jak i minerał silnie zwięzły.

Osady drobnokruchowe analizowane z serii mułowcowej to przeważnie mułowce i w nieco mniejszej ilości iltowce.

Mułowce charakteryzują się strukturą aleurytową grubo- lub drobnoziarnistą, z domieszką materiału pelitowego oraz drobnopsamitowego. Nieco rzadziej analizowano mułowce, które charakteryzują się strukturą prawie wyłącznie aleurytową, drobno- lub gruboziarnistą, zawierającą tylko niewielkie domieszki materiału pelitowego. Odznaczają się przeważnie teksturą kierunkową, niekiedy nieciągłą, a znacznie rzadziej bezładną. Materiał ziarnisty zarówno frakcji aleurytowej jak i drobnopsamitowej jest wyraźnie kanciasty lub ostrokrawędzisty i dominują tu ziarna o kształtach angularnych, subangularnych, rzadziej subowalnych. Ziarna o kształtach piroklastycznych występują sporadycznie.

Głównym składnikiem materiału ziarnistego jest kwarc przy niewielkiej zawartości skalenia do 20%, minerałów łuszczykowych około 15%. W minimalnej ilości występują okruchy skał – około 6%. Ze skalenia zaobserwowano głównie ziarna ortoklazu i tylko w pojedynczych próbkach i w bardzo niewielkiej ilości plagioklasy. Skalenie najczęściej ulegają procesom wietrzenia idącym w kierunku kaolinityzacji. Z mik występuje przeważnie muskowit oraz biotyt i chloryt. Okruchy skał to nieliczne występujące kwarcyty drobnoziarniste oraz łupki kwarcowe lub mikowo-kwarcowe.

Masa spajająca materiał ziarnisty w typie spoiwa porowego lub porowo-kontaktowego jest to substancja wykształcona w postaci drobnoziarnistej o obniżonej dwójłomności, zawierająca często domieszkę substancji drobnołuseczkowej o podwyższonej dwójłomności. Prawie stałą domieszką jest substancja węglanowa wykształcona głównie w postaci pelitowego lub bardzo drobnoziarnistego syderytu. Dostatecznie często spotyka się wyraźne formy sferolityczne lub oolity syderytyczne. Analizowane mułowce

zanieczyszczone są w różnym stopniu substancją węglistą, która występuje w postaci okruchów lub laminarnych skupień.

Iłowce występujące w SM to skały o strukturze pelitowej, teksturze kierunkowej. Masa podstawowa zbudowana jest z agregatu silnie zrekrystalizowanego o jednorodnym wygaszaniu światła i obniżonej dwójłomności, barwy blado brunatnej. Głównym składnikiem mineralnym tych iłowców jest kaolinit, który dominuje nad illitem, chlorytem, skaleniami i kwarcem. Udział substancji węglistej jest niewielki i występuje w postaci bardzo drobnych okruchów lub brunatnego pigmentu.

Drugi typ analizowanych iłowców to skały o strukturze aleurytowo-pelitowej, teksturze równoległej. Udział materiału detrytycznego zamyka się w przedziale 20 – 40% objętości skały, co bardzo zbliża je do mułowców. Zdecydowanie przeważają ziarna kwarcu nad skaleniami, łuszczkami oraz okruchami skał krzemionkowych. Drobne domieszki węglanów występujących w tych iłowcach to syderyt wykształcony w postaci pikrytu.

Podstawową masę skalną iłowców stanowi kaolinit przy pewnej zawartości illitu i chlorytu, który został stwierdzony tylko metodą rentgenowską. W masie tej ponadto tkwią drobne okruchy lub laminki substancji węglistej oraz grudki tlenków żelaza a niekiedy także krystaliczny piryt.

Krakowska Seria Piaskowcowa (KSP)

W obrębie występowania krakowskiej serii piaskowcowej w oparciu o kryteria geologiczne wybrano trzy rejony badawcze w centralnej, południowej i wschodniej części GZW:

„**Zgoń-Kobiór**” w centralnej części GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku beńskiego,

„**Pszczyna-Ćwiklice**” w południowej części GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku jawiszowickiego,

„**Polanka-Zator-Spytkowice**” we wschodniej części GZW,

Krakowską serię piaskowcową w wyznaczonych rejonach badawczych tworzy kompleks piaskowcowo-mułowcowy, sięgający miąższości rzędu 200-800 m. Wodonośne są kompleksy gruboklastyczne, których udział w profilu litologicznym waha się od 75 do 90% ogólnej miąższości. Zbiorniki zalegają na głębokościach na ogół od 250-450 m (strop KSP) do 800-1100 m (maksymalnie ok. 1250 m) – spąg KSP i są przykryte ilastymi utworami neogenu o miąższościach wynoszących na ogół 200-400 m, maksymalnie do 650 m. Istotne znaczenie ma fakt, że w każdym z wyznaczonych obszarów, gdzie utwory krakowskiej serii piaskowcowej zalegają poniżej poziomu 800 m utwory te kontynuują się powyżej tego poziomu do głębokości w granicach na ogół 200-400 m i dopiero nad ich stropem zalega kompleks nieprzepuszczalnych utworów ilastych miocenu. Inaczej mówiąc w obrębie krakowskiej serii piaskowcowej powyżej głębokości 800 m nie można wyznaczyć żadnego nieprzepuszczalnego pakietu ilastego o miąższościach rzędu 50 m i większych. Występujące tu przeławicenia skał ilasto-mułowcowych (często z pokładami węgla) na ogół nie przekraczają 15-20 m grubości i są bardzo zmienne lateralnie.

Petrologicznie utwory krakowskiej serii piaskowcowej zbadano w otworach: Poręba Żegoty IG-1, Chełmek IG-1, Poręba Wielka IG-1, Piasek IG-1, Woszczyce IG-1 i Wiry IG-1.

Osady średniookruchowe to piaskowce głównie grubo- i średnioziarniste jak również piaskowce bardzo gruboziarniste. Mniejszy udział mają piaskowce drobnoziarniste i żwirowcowe. Tekstura piaskowców KSP jest najczęściej beładna, rzadko mikrokierunkowa zaznaczona przez łuski mik lub frakcyjny rozdział materiału klastycznego. Wysortowanie materiału ziarnistego jest słabe; dotyczy to głównie piaskowców bardzo gruboziarnistych lub żwirowców. Obtoczenie ziaren jest dość dobre; dominują tu ziarna subowalne, subangularne i owalne; w piaskowcach drobnoziarnistych większy udział mają ziarna subangularne i angularne. W niektórych próbkach stwierdzono obecność ziaren pirogeniczych.

Według klasyfikacji F. J. Pettijohna i in. (1972) piaskowce krakowskiej serii piaskowcowej to arenity sublityczne i subarkozowe, arenity lityczne oraz waki arkozowe i lityczne. Według klasyfikacji K. Łydki (1955) występują tu szarogłazy wyższego rzędu i rzadziej szarogłazy niższego rzędu.

Skład mineralny poszczególnych komponentów okruchowych jest następujący: kwarc jest minerałem podstawowym, skalenie i okruchy skał występują w zmiennych ilościach a udział łuszczków najczęściej jest niewielki. Kwarc występuje w ilościach 22,2-92,3% zawartości materiału okruchowego przy średniej 49,6%. Skalenie reprezentowane są prawie wyłącznie przez skalenie potasowe – głównie ortoklaz i sporadycznie mikroklin. Ilość skaleni występuje w granicach 0,0-39,6% zawartości materiału okruchowego przy średniej 17,5%. Plagioklasy występują w minimalnych ilościach do 5% zawartości materiału okruchowego przy średniej 0,03%. Łuszczki reprezentowane są przez biotyt i muskowitz. Biotyt wykazuje słaby stopień zwietrzenia. Ilość biotyту waha się w granicach 0,0-35,1% zawartości materiału okruchowego przy średniej 4,1%. Ilość biotyту jest zmienna i często uzależniona od wielkości materiału ziarnistego. Łuski biotyту spotyka się nawet w piaskowcach gruboziarnistych i żwirowcowych. Podwyższone ilości biotyту stwierdza się w piaskowcach o znamionach tufitowych. Muskowitz występuje w postaci łusek, a ilość jego waha się w granicach od 0,0-20% zawartości materiału okruchowego przy średniej 1,6%. Chloryt występuje w minimalnych ilościach i w nielicznych próbkach wykazując dość często cechy minerału pobiotytowego. Ilość chlorytu wynosi od 0 do 5% zawartości materiału okruchowego przy średniej 0,2%. Okruchy skał występują w ilościach znacznie większych niż w serii niżej ległej (SM) i reprezentowane są przez okruchy kwarcytów (0,0-61,4%, średnio 14,8%), rzadziej okruchy łupków – głównie kwarcytowych (0,0-25,0%, średnio 4,2%) oraz kwaśnych skał magmowych (0,0-10,3%, średnio 2,4%).

Spoiwo osadów średniookruchowych KSP występuje w niewielkich ilościach, niewiele przekraczających 15%. Skład mineralny substancji ilastej jest kaolinitowy i jak wykazały analizy rentgenostrukturalne o strukturze minerału dość dobrze uporządkowanego, przy domieszce minerałów mikowych i chlorytu. Domieszka węglanów w spoiwie piaskowców jest niewielka i reprezentowana głównie przez sparyt dolomitowy, rzadko przez mikryt syderytowy. Sparyt dolomitowy w nielicznych próbkach stanowi typ spoiwa bazalnego. Ilość spoiwa dolomitycznego w tej serii wynosi 0,0-38,1% przy średniej 2,2%, a zawartość spoiwa syderytycznego wynosi 0,0-10,6% przy średniej 0,2%.

Minerały ciężkie analizowane w osadach krakowskiej serii piaskowcowej to głównie biotyt i granat. Pozostałe minerały występują w mniejszych ilościach.

Osady drobnookruchowe krakowskiej serii piaskowcowej to głównie iłowce i mułowce.

Iłowce są to skały zarówno o strukturze wyłącznie pelitowej, jak i również o strukturze mieszanej, aleurytowo-pelitowej (iłowce mułowcowe lub pylaste). Charakteryzują się teksturą słabo mikrokierunkową

lub beładną. Teksturę mikrokierunkową zaznaczają przeważnie kierunkowo ułożone drobne łuski minerałów ilastych, rzadziej laminarne nagromadzenia substancji węglanowej i substancji węglistej.

Iłowce o strukturze pelitowej, jak również o strukturze aleurytowo- pelitowej, zbudowane są z substancji mikroziarnistej o obniżonej dwójtomności, z niewielkim udziałem substancji drobnołuseczkowej o podwyższonej dwójtomności. Głównym składnikiem mineralnym tych iłowców jest kaolinit, który przeważa nad illitem, chlorytem i kwarcem. Udział substancji węglanowej jest niewielki i występuje w postaci pikrytu syderytowego.

Udział materiału detrytycznego w iłowcach mułowcowych zamyka się w granicach od 10% do sporadycznie 45%. Są to prawie wyłącznie ziarna kwarcu oraz drobne łuski jasnej miki i okruchy skał. Substancja węglista występuje w postaci drobnych okruchów i lamin.

Mułowce analizowane z KSP charakteryzują się strukturą mieszaną pelitowo-psamitowo-aleurytową. Oznaczają się przeważnie teksturą kierunkową zaznaczoną przez kierunkowe ułożenie łusek mik oraz laminki substancji węglistej, jak również przez smużyste ułożenie domieszek substancji węglanowej. W materiale ziarnistym obserwujemy ziarna regularne, subangularne oraz subowalne; sporadycznie występują ziarna piroklastyczne.

W składzie mineralnym materiału okruchowego dominuje kwarc nad skaleniami, łuszczkami i okruchami skał. Kwarc występuje w ilości do 90% objętości masy ziarn, niekiedy tylko w ilości około 50%. Skalenie występując w ilości średnio 7,5% to głównie skalenie potasowe, na których widoczny jest słaby stopień wietrzenia, zachodzący w kierunku kaolinityzacji. Plagioklasy występują w niewielkiej ilości, średnio około 0,3%. Łuszczki reprezentowane są przez biotyt, muskowitz i chloryt. Biotyt występuje wyłącznie w postaci łusek prawie niezmiennych. Muskowitz tworzy drobne, lekko postrzępione łuski. Chloryt występuje w minimalnej ilości. Z okruchów skał analizowano okruchy drobnoziarnistych kwarcytów i łupków kwarcytowo-mikowych. Ilość ich wynosi około 1,7%

Masa spajająca o typie spoiwa porowego jest to substancja ilasta o niskiej i średniej dwójtomności. W składzie mineralnym substancji ilastej zdecydowanie przeważają kaolinit nad illitem. Substancja węglanowa reprezentowana jest tu przeważnie przez syderyt wykształcony w postaci pikrytu, sporadycznie sparytu. Substancja węglista występuje w postaci nieregularnych lamin, drobnych okruchów lub w postaci brunatnego pigmentu powodującego zabarwienie mułowców.

Miocen – warstwy dębowieckie

Warstwy dębowieckie tworzą równoleżnikowy pas o szerokości do 25 km, zalegający w spągowej części profilu miocenu, w południowej części GZW i jego południowym obrzeżeniu. Ich obszar występowania wynosi ok. 1750 km². Strop warstw dębowieckich zalega tu na głębokościach na ogół nie mniejszych niż 700-800 m, przeważnie w granicach 850-1100 m, z wyjątkiem części wschodniej i południowo-wschodniej, gdzie zalega na głębokościach znacznie większych, nawet do ok. 2400 m. W obrębie występowania utworów warstw dębowieckich w oparciu o kryteria geologiczne wybrano dwa rejony badawcze:

„Cieszyn-Skoczów-Czechowice” – w południowo-zachodniej części GZW i jego bezpośrednim obrzeżeniu

„Kęty-Andrychów” – w południowej części GZW i jego bezpośrednim obrzeżeniu

W rejonach tych warstwy dębowieckie tworzą utwory gruboklastyczne – piaskowce i zlepieńce o miąższościach zmiennych w przedziale od kilku-kilkunastu metrów do 250 m (na ogół w granicach 70-120 m), które wypełniają zagłębienia w stropie utworów paleozoicznych i zalegają na ogół na utworach karbońskich lub dewońskich (lub też – znacznie rzadziej – w głębokich rynnach erozyjnych zalegają na starszych utworach mioceńskich warstw zamarskich lub zebrzydowickich). Przykryte są nieprzepuszczalnymi osadami ilastymi miocenu formacji skawińskiej, bądź też, na ograniczonym obszarze, zalegają bezpośrednio pod nasunięciem fliszu karpackiego.

Informacje o własnościach utworów budujących warstwy dębowieckie, pochodzące z otworów wiertniczych, w zdecydowanej większości są bardzo ubogie i ograniczają się tylko do podania podstawowego typu litologicznego przewierconych skał (część otworów wiercona była bezrdzeniowo). Bogatszy zakres informacji pochodzi głównie z otworów PIG, w tym zwłaszcza z otworów parametrycznych odwierconych w omawianym regionie w latach 1978-1987. Z tej grupy otworów w wyznaczonych rejonach badawczych zlokalizowane są następujące otwory: Bestwina IG-1, Bielowicko IG-1, Chybie IG-1, Cieszyn IG-1, Czechowice IG-1, Dębowiec IG-1, Drogomyśl IG-1, Rudzica IG-1, Zamarski IG-1. W otworach tych profil warstw dębowieckich był rdzeniowany, a uzyskane rdzenie były poddane szczegółowym makroskopowym badaniom litologiczno-facjalnym wraz z określeniem podstawowego składu petrograficznego. Niestety z wyjątkiem otworu Zamarski IG-1, nie były wykonywane petrograficzne badania mikroskopowe. Badaniom makroskopowym poddane były również występujące nad warstwami dębowieckimi ilaste osady miocenu formacji skawińskiej. Co prawda w większości otworów profil tych utworów był rdzeniowany odcinkowo, ale ze względu na małą zmienność litologiczną skał budujących formację skawińską, ich opis można uznać za wystarczający. Poniżej przedstawiono charakterystykę litologiczną warstw dębowieckich z elementami petrograficznymi oraz podstawowe dane litologiczne formacji skawińskiej oparte o badania wykonane w wymienionych wyżej otworach.

Wyróżniającą cechą gruboklastycznych osadów dębowieckich jest wyraźna, normalna gradacja uziarnienia w profilu pionowym. W profilach otworów obserwuje się stopniową zmianę wielkości ziaren od najgrubszych w spągu warstw (głazowiska, zlepieńce gruboziarniste z blokami skał o wielkości do 30-40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce drobno- i średnioziarniste). W profilu wyższej – piaszczystej – części warstw dębowieckich przeważają jednak piaskowce średnio- i gruboziarniste, czasem różnoziarniste. Piaskowce te są słabo zwięzłe, wapniste, lityczno-arkozowe, często o przekątnej laminacji podkreślonej zmianą uziarnienia lub muskowitem. Z kolei w niższej – zlepieńcowej – części warstw dębowieckich przeważają zlepieńce drobno- i średnioziarniste, czasem różnoziarniste, na ogół słabo zwięzłe, o rozproszonym lub zwartym szkielecie ziarnowym, polimiktyczne.

Jedną z zasadniczych warstw dębowieckich cech są również lateralne zmiany uziarnienia. Grubsze frakcje dominują w części południowej omawianego obszaru. Ku północy zmniejsza się wielkość ziaren w całym kompleksie osadów. W północnej i północno-zachodniej części obszaru najgrubszymi frakcjami osadów dębowieckich są zlepieńce drobnoziarniste, a w profilu przeważają piaskowce różnoziarniste.

Wyniki badań petrograficznych wykonane na rdzeniach z otworów parametrycznych PIG wskazują, że wysortowanie materiału ziarnowego i stopień obtoczenia są bardzo zmienne; występują tu zarówno

ziarna/klasty słabo obtoczone lub nieobtoczone, ostrokrawędziste, pokruszone, jak i półobtoczone, lub dobrze obtoczone.

Skład petrograficzny materiału ziarnistego jest zróżnicowany litologicznie. W piaskowcach występują kwarc i łuszczyki (głównie muskowitz), skalenie i okruchy skał osadowych, rzadziej magmowych. Zawartość kwarcu i łuszczyków sięga 50-60%. Pozostała część to głównie okruchy skał o różnej wielkości rzędu kilku-kilkunastu milimetrów. Są to okruchy skał karbońskich budujących GZW (skały ilasto-mułowcowe, piaskowce, syderyty, nierzadko węgle kamienne), okruchy skał węglanowych, magmowych, krystalicznych i metamorficznych (kwarcyty, łupki mikowo-chlorytowe). Spoiwo w obrębie tych osadów jest typu kontaktowego lub porowego. Najczęściej ma ono charakter masy detrytycznej scementowanej grubokrystalicznym kalcytem. Analogiczne okruchy skał/klasty/otoczaki występują w zlepieńcach. Zlepieńce charakteryzują się bardzo zróżnicowaną zawartością spoiwa w granicach 10-80%, na ogół jest to spoiwo piaszczyste. Przykładowy skład petrograficzny warstw dębowieckich z otworu Zamarski IG-1 (głównie w odniesieniu do części piaszczystej) prezentuje **Tabela 1.1.5_4**.

Tabela 1.1.5_4 Wyniki badań petrograficznych warstw dębowieckich w otworze Zamarski IG-1

Głębokość w m	Skład minerałów podstawowych															gla u k o n i t	Stwierdzenie obecności niektórych minerałów ciężkich	ziarnistość w %										Obtroczenie ziarn	Cechy teksturalne	Udział spoiwa																			
	kwarc	arkozy	skalenie epotaso we	skalenie		miki		okruszy skał						cyrkon	rutyl			turmalin	apatyt	granat	alabaster	b.d.r. ziarn.	dr. ziarn.	śr. ziarn.	gr. ziarn.	b. gr. ziarn.	żwirówiec dr.				żwirówiec śr.	żwirówiec gr.	obtroczone																
				plagioklasy	biotyt	muškowit	chloryt	wa pień	mułowic itowic	piaskowic	kwarcyty	łupki miki	gnajsy																																				
1079,70	9	19	72	6	13	2	3	x	30	9	3	15	3	2	5	x		x	x			10	20	60	10																								
1083,70	30	10	60	4	6	4	6	x	25	2	2	15	5	1		x	x	x	x			40	30	20	10																								

1085,95	15	15	70	7	8	3	5	x	30	8	4	8	1	1		x	x			x			5	50	20	20	5						x	x	x	
1088,60	6	7	88	3	4	3	3	x	28	10	16	8	10	5	6	x	x		x	x			5	20	50	10	15									
1088,60	7	8	85	4	4	3	4	x	28	10	15	8	9	4	4	x				x			5	5	20	50	20									
1094,40	26	7	67	3	4	4	5	x	20	8	2	5	4	5	19	x	x			x	x				15	15	20	30	20							
1097,40	20	10	70		10	2	4	x	30	10		14	2			x	x		x	x					25	25	20	30								
1099,00	30	10	60	4	6	4	6	x	25	2	2	15	5	1		x					x	x			5	5	15	25	30	20						
1100,10	2	4	94	1	2		2	x	40	10	10	5	7	6	14	x					x					10	10	20	40	20						
1111,00	3	2	95		2		2		40	10	10	5	7	5	15					x	x					15	15	20	40	10						
1115,20	2	4	94	1	2		2		40	10	10	5	7	6	14	x				x	x					15	15	20	40	10						

Nadkład warstw dębowieckich – neogen (miocen)

W nadkładzie warstw dębowieckich występuje seria ilasto-mułowcowa, miejscami ze znacznym udziałem osadów piaszczystych, należąca do formacji skawińskiej neogenu. Miejscami (głównie w południowej części) w nadkładzie warstw dębowieckich występują utwory fliszu karpackiego o miąższościach do 1000 m (otwory: Cieszyn 10, Międzywieć H1, oraz położone poza rejonami badawczymi Potrójna IG-1, Łodygowice IG-1).

Morskie ilasto-mułowcowe i mułowcowo-margliste osady formacji skawińskiej kończą sedymentację molasy miocenińskiej. Na omawianym obszarze leżą one na osadach warstw dębowieckich lub bezpośrednio na paleozoiku. W wyniku sedymentacji osadów tej formacji następuje całkowite wypełnienie dolin i przykrycie paleogrzbiatów. Osady formacji skawińskiej mają bardzo duży zasięg lateralny i przykrywają ok. 70-80% całego obszaru badań. Ich miąższość jest silnie zróżnicowana od 0 m w rejonie Cieszyna i Ustronia do 1000 m w rejonie Jawiszowic i 1100 m w rejonie Zebrzydowic. Na formację skawińską w końcowej fazie procesów orogenicznych Karpat nasunięte zostały jednostki fliszu karpackiego. Pod nasunięciem karpackim miąższość formacji maleje ku południowi wraz ze wzrostem miąższości nasunięcia.

Na większości obszaru charakter sedymentacji formacji skawińskiej jest typowy tzn. ilasto-mułowcowy, z niewielkimi przewarstwieniami piaskowców. Skąły ilasto-mułowcowe są lekko margliste lub wapniste, słabo zwięzłe, jednorodne lub laminowane materiałem pylastym bądź piaszczystym. Pojedyncze cienie na ogół przewarstwienia piaszczyste tworzą piaskowce drobno- i średnioziarniste, zwięzłe. Wyraźny wzrost udziału osadów gruboklastycznych w profilu formacji skawińskiej obserwuje się w rejonie Bielska. Przykładem jest profil tych osadów w otworze Bestwina IG-1. Kompleksy piaskowców i zlepieńców poprzedzielane wkładkami mułowców osiągają tu miąższość do 120 m. Na obecnym etapie rozpoznania geologicznego nie można jednak prognozować, jaki jest zasięg lateralny tych osadów i jaka jest ich forma. Mogą to być formy soczewkowe piaszczysto-zlepieńcowe obocznie przechodzące w osady drobnoklastyczne. Poniżej przedstawiony jest przykładowy profil warstw dębowieckich i utworów nadkładu w otworze Chybie IG-1.

CHYBIE IG-1 (259,85 m n.p.m.)

Miocen 31,00-992,50 m

Formacja skawińska 31,00 – 909,00 m

↗ 31,0-180,7 iłowiec pylasty, zwięzły, w stropie do 87,0 m słabo zwięzły

przechodzący w ił, laminacja równoległa, podkreślona materiałem pylastym, laminy do 1,0 mm.

↗ 180,7-396,0 mułowiec z przejściami do iłowca pylastego laminowany materiałem

piaszczytym i piaskowcem drobnoziarnistym, zwięzły, laminy bardzo cienkie do 1,0 mm, pojedyncze do 1-4 cm.

↗ 396,0-591,0 mułowiec słabo piaszczysty laminowany miejscami piaskowcem

drobnoziarnistym, rzadziej materiałem piaszczytym, zwięzły.

↗ 591,0-592,8 piaskowiec o frakcjonalnym normalno-gradacyjnym uziarnieniu,

zwięzły, przewaga ziaren frakcji średniej (do 60%), ziarna słabo obtoczone, ostrokrawędziste.

▲ 592,8-909,0 mułowiec słabo piaszczysty laminowany rzadko piaskowcem

drobnoziarnistym i materiałem piaszczystym, zwięzły, na odcinku 750,00-876,60 z 6 cienkimi przerostami piaskowca drobnoziarnistego.

Formacja dębowiecka – ogniwo dębowieckie 909,00 – 992,50 m (83,50 m)

909,00-975,90 – część piaszczysta (66,90 m)

▲ 909,0-909,2 piaskowiec drobnoziarnisty, zwięzły, polimiktyczny – kwarc, skalenie, muskowitz, okruchy skał, nierównoziarnisty.

▲ 909,2-914,2 piaskowiec średnioziarnisty, laminowany, polimiktyczny – kwarc, skalenie, okruchy skał głównie osadowych (piaskowce, mułowce), słabo zwięzły

▲ 914,2-920,6 piaskowiec gruboziarnisty, nierównoziarnisty, polimiktyczny – piaskowce, mułowce, kwarc, skalenie, słabo zwięzły.

▲ 920,6-926,55 piaskowiec średnioziarnisty, od gruboziarnistego w spągu do drobnoziarnistego w stropie, polimiktyczny – kwarc, skalenie, muskowitz, okruchy skał.

▲ 926,55-931,55 piaskowiec gruboziarnisty, nierównoziarnisty, w spągu 1,0 m z domieszką ziaren większych do 8 cm, polimiktyczny – kwarc, skalenie, muskowitz, okruchy skał osadowych.

▲ 931,55-934,2 piaskowiec średnioziarnisty, z pojedynczymi (do 5 mm) większymi ziarnami, polimiktyczny – kwarc, skalenie, piaskowiec, mułowce.

▲ 934,2-944,5 piaskowiec zlepieńcowy, warstwowany, polimiktyczny (piaskowiec, mułowiec, skały węglanowe, kwarc, skalenie), nierównoziarnisty, maks. średnica ziaren 20 mm, średnio 5-4 mm.

▲ 944,5-951,9 piaskowiec gruboziarnisty, polimiktyczny (piaskowiec, mułowiec, skały węglanowe, kwarc, skalenie, muskowitz), nierównoziarnisty maks. średnica. ziaren 60 mm, średnio 3-4 mm.

▲ 951,9-953,5 piaskowiec bardzo gruboziarnisty, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mułowce, węglany), nierównoziarnisty maks. średnica. ziaren 10 mm, średnio 3-4 mm.

▲ 953,5-953,6 mułowiec gruboziarnisty z domieszką muskowitzu

▲ 953,6-965,05 piaskowiec bardzo gruboziarnisty, polimiktyczny (kwarc, skalenie,

piaskowiec, mułowce, węglany), nierównoziarnisty maks. średnica. ziaren 15 mm, średnio 3-4 mm.

▲ 965,05-968,7 piaskowiec zlepieńcowy, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mułowce), nierównoziarnisty maks. średnica. ziaren 20 mm, średnio 5 mm.

▲ 968,7-972,35 piaskowiec grubo- i bardzo gruboziarnisty, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mułowce, muskowitz), nierównoziarnisty maks. średnica. ziaren 15 mm, średnio 4 mm.

▲ 972,35-975,9 piaskowiec zlepieńcowy, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mułowce, muskowitz), nierównoziarnisty maks. średnica. ziaren 15 mm, średnio 4 mm.

975,90-992,50 – część zlepieńcowa (16,60 m)

▲ 975,9-976,1 zlepieniec o rozproszonym szkielecie ziarnowym, polimiktyczny (głównie mułowiec, piaskowiec), maks. 20 mm, śr. 4 mm.

▲ 976,1-977,2 piaskowiec zlepieńcowaty z dużą ilością spoiwa (75%), polimiktyczny (głównie mułowiec, piaskowiec, skały węglanowe, skalenie), maks. 18 mm, śr. 5 mm.

▲ 977,2-991,5 zlepieniec drobno-, średnio- i gruboziarnisty, polimiktyczny (mułowiec, piaskowiec, skały metamorficzne, magmowe i węglanowe), matriks od 40 do 80%, maks 180 mm, śr. 50 mm

▲ 991,5-992,5 brekcja rumoszowa, ostrokrawędziste fragmenty piaskowców, maks. 90 mm, śr. 50 mm.

CHARAKTERYSTYKA PETROFIZYCZNA

Własności petrofizyczne skał w wyznaczonych rejonach badawczych GZW oparto o wyniki badań wykonanych w parametrycznych otworach PIG (18 otworów) oraz innych wierceń, głównie węglowych, w pojedynczych przypadkach także otworach naftowych (łącznie 43 otwory). Wykaz tych otworów w rozbiciu na poszczególne badane formacje jest przedstawiony w części wstępnej. W niniejszej części analizy petrofizycznej szczegółowo są prezentowane wyniki oznaczeń gęstości objętościowej skał. Natomiast pozostałe własności petrofizyczne (porowatość, przepuszczalność) prezentowane są w skali ogólnej – zbiorczej dla wyznaczonych rejonów badawczych, a w skali szczegółowej własności te prezentowane są w innych zadaniach projektu – zwłaszcza w zadaniu 1.1.6 „Charakterystyka hydrogeologiczna formacji wodonośnych i geochemiczna płynów złożowych”.

Gęstość objętościowa skał karbońskich została scharakteryzowana w oparciu o wyniki badań diagenetycznych wykonanych w otworach parametrycznych PIG. Badania te cechują się bardzo dużą gęstością opróbowania. W wielu otworach częstotliwość opróbowania rdzenia wynosiła, średnio, co 25-30 cm. W **Tabeli 1.1.5_5** podane są przykładowe ilości prób z kilku otworów wiertniczych w odniesieniu do

badanych w niniejszym Projekcie serii litostratygraficznych karbonu oraz – dla porównania – miąższości tych serii.

Tabela 1.1.5_5 Przykładowe ilości oznaczeń gęstości objętościowej w otworach PIG

Lp.	Nazwa otworu	Ilość prób	Seria litostratygraficzna	Miąższość serii [m]
1	Drogomyśl IG-1	598	górnosląska seria piaskowcowa	182,05
		3158	seria mułowcowa	920,40
2	Czechowice IG-1	111	górnosląska seria piaskowcowa	77,05
		461	seria mułowcowa	359,0
3	Chybie IG-1	134	górnosląska seria piaskowcowa	150,35
		755	seria mułowcowa	540,30
3	Łąka IG-1	574	górnosląska seria piaskowcowa	126,50
		2154	seria mułowcowa	563,80
5	Woszczyce IG-1	198	krakowska seria piaskowcowa	170,70
6	Wyry IG-1	37	krakowska seria piaskowcowa	410,2-0
7	Poręba Żegoty IG-1	84	krakowska seria piaskowcowa	792,20

W utworach górnosląskiej serii piaskowcowej średnie gęstości poszczególnych typów litologicznych osadów przedstawiają się następująco (g/cm³):

♣	zlepieńce	2,457-2,627
♣	piaskowce różnoziarniste	2,419-2,651
♣	piaskowce gruboziarniste	2,415-2,645
♣	piaskowce średnioziarniste	2,426-2,658
♣	piaskowce drobnoziarniste	2,510-2,727
♣	mułowce piaszczyste	2,511-2,749
♣	mułowce	2,500-2,736
♣	iłowce pylaste	2,307-2,746
♣	iłowce	2,341-2,835.

Szczegółowo średnie gęstości skał w poszczególnych otworach w odniesieniu do głównych typów litologicznych w GSP przedstawia **Tabela 1.1.5_6**. W tabeli tej podano również średnią gęstość utworów karbońskich danej serii w profilach poszczególnych otworów wiertniczych.

Tabela 1.1.5_6 Średnie gęstości skał górnośląskiej serii piaskowcowej (g/cm³)

Nazwa otworu	Zlepieńce	Piaskowce różnoziarniste	Piaskowce gruboziarniste	Piaskowce średnioziarniste	Piaskowce drobnoziarniste	Mułowce piaszczyste	Mułowce	Iłowce pylaste	Iłowce	Średnia gęstość
Bestwina IG-1		2,423	2,415	2,426	2,534	2,605	2,603	2,307	2,341	2,457
Chybie IG-1	2,549	2,535	2,554	2,593	2,629	2,620	2,657	2,566	2,710	2,496
Czechowice IG-1		2,419	2,521		2,648	2,682	2,640	2,617	2,644	2,435
Dębowiec IG-1		2,569	2,548	2,606	2,671	2,703	2,652	2,601	2,808	2,574
Drogomyśl IG-1		2,637	2,596	2,643	2,721	2,717	2,725	2,746	2,656	2,544
Krzyżowice IG-1	2,627	2,651	2,645	2,631	2,727	2,749	2,736	2,657	2,560	2,566
Łąka IG-1	2,559	2,564	2,543	2,585	2,664	2,703	2,676	2,711	2,632	2,488
Piasek IG-1		2,570	2,576	2,599	2,686	2,683	2,694	2,674	2,632	2,522
Rudzica IG-1	2,457	2,492	2,498	2,543	2,600	2,626	2,619	2,648	2,625	2,470
Ruptawa IG-1	2,492	2,499	2,473	2,478	2,510	2,511	2,500	2,498	2,477	2,433
Studzionka IG-1	2,607	2,610	2,626	2,658	2,696	2,736	2,695	2,708	2,835	2,581
Wyry IG-1	2,540	2,525	2,526	2,567	2,672	2,690	2,663	2,629	2,527	2,489
Zamarski IG-1		2,570	2,587	2,609	2,664	2,678	2,692	2,658	2,724	2,501

W utworach serii mułowcowej średnie gęstości poszczególnych typów litologicznych osadów przedstawiają się następująco (g/cm³):

- piaskowce średnioziarniste 2,282-2,682
- piaskowce drobnoziarniste 2,483-2,650

- mułowce piaszczyste 2,567-2,708
- mułowce 2,571-2,733
- iłowce pylaste 2,531-2,708
- iłowce 2,430-2,681.

Szczegółowo średnie gęstości skał w poszczególnych otworach w odniesieniu do głównych typów litologicznych w GSP przedstawia **Tabela 1.1.5_7**. W tabeli tej podano również średnią gęstość utworów karbońskich danej serii w profilach poszczególnych otworów wiertniczych.

Tabela 1.1.5_7 Średnie gęstości skał serii mułowcowej (g/cm³)

Nazwa otworu	Piaskowce średnioziarniste	Piaskowce drobnoziarniste	Mułowce piaszczyte	Mułowce	Iłowce pylaste	Iłowce	Średnia gęstość
Chybie IG-1	2,464	2,581	2,640	2,641	2,616	2,499	2,468
Czechowice IG-1	2,397	2,483	2,632	2,636	2,649	2,577	2,464
Dębowiec IG-1	2,544	2,557	2,658	2,653	2,637	2,430	2,356
Drogomyśl IG-1	2,435	2,615	2,681	2,675	2,662	2,630	2,532
Krzyżowice IG-1	2,669	2,650	2,681	2,700	2,677	2,640	2,547
Łąka IG-1	2,449	2,517	2,670	2,671	2,664	2,595	2,478
Piasek IG-1	2,452	2,583	2,640	2,640	2,636	2,599	2,490
Poręba Wielka IG-1	2,282	2,487	2,567	2,571	2,531	2,431	2,384
Rudzica IG-1	2,682	2,564	2,615	2,641	2,646	2,601	2,474
Studzionka IG-1	2,508	2,625	2,708	2,733	2,708	2,681	2,529
Woszycze IG-1	2,470	2,585	2,656	2,665	2,626	2,475	2,508
Wyry IG-1	2,396	2,507	2,649	2,632	2,634	2,555	2,477

W utworach krakowskiej serii piaskowcowej średnie gęstości poszczególnych typów litologicznych osadów przedstawiają się następująco (g/cm³):

- ✓ zlepieńce 2,267-2,422
- ✓ piaskowce różnoziarniste 2,211-2,389
- ✓ piaskowce gruboziarniste 2,190-2,379
- ✓ piaskowce średnioziarniste 2,214-2,402
- ✓ piaskowce drobnoziarniste 2,307-2,524
- ✓ mułowce piaszczyte 2,432-2,565
- ✓ mułowce 2,432-2,552

- ✓ iłowce pylaste 2,317-2,570
- ✓ iłowce 2,176-2,350.

Szczegółowo średnie gęstości skał w poszczególnych otworach w odniesieniu do głównych typów litologicznych w KSP przedstawia **Tabela 1.1.5_8**.

Tabela 1.1.5_8 Średnie gęstości skał krakowskiej serii piaskowcowej (g/cm³)

Nazwa otworu	Zlepieńce	Piaskowce różnoziarniste	Piaskowce gruboziarniste	Piaskowce średnioziarniste	Piaskowce drobnoziarniste	Mułowce piaszczyste	Mułowce	Iłowce pylaste	Iłowce	Średnia gęstość
Chełmek IG-1	2,267	2,211	2,190	2,214	2,307	2,480	2,484	2,428	2,308	2,197
Poręba Wielka IG-1	2,315	2,281	2,348	2,332	2,383	2,515	2,541	2,570	2,350	2,301
Poręba Żegoty IG-1	2,314	2,271	2,278	2,316	2,368	2,432	2,432	2,366	2,335	2,262
Woszczyce IG-1	2,422	2,389	2,379	2,402	2,524	2,565	2,552	2,560	2,352	2,380
Wyry IG-1	2,400	2,386	2,318	2,316	2,379	0,000	2,465	2,317	2,176	2,315

W powyższych zestawieniach nie uwzględniono iłowców węglistych (gęstości na ogół w granicach 1,80-2,10 g/cm³), łupków węglowych (gęstości na ogół w granicach 1,50-1,80 g/cm³) i węgla (gęstości na ogół w granicach 1,30-1,50 g/cm³), a także kilku innych sporadycznie występujących rodzajów skał (m. in. tufitów, syderytów). Generalnie w profilach otworów wiertniczych obserwuje się wzrost średniej gęstości objętościowej wraz z głębokością zalegania serii litostratygraficznych, w zależności oczywiście od typu litologicznego osadu, co jest odzwierciedleniem wzrostu diagenety skał karbońskich. Najmniejsze średnie gęstości wykazuje krakowska seria piaskowcowa, największe górnośląska seria piaskowcowa.

W utworach warstw dębowieckich gęstość objętościowa została scharakteryzowana w oparciu o oznaczenia tego parametru wykonane trakcie badań hydrogeologicznych badań laboratoryjnych. Ilość oznaczeń nie jest zbyt wysoka (**Tabela 1.1.5_9**). W **Tabeli 1.1.5_9**, oprócz średniej gęstości skał w warstwach dębowieckich, podane zostały także wyniki oznaczeń tego parametru dla warstw skawińskich (nadkład warstw dębowieckich) oraz warstw zamarskich (w podłożu warstw dębowieckich na ograniczonym obszarze).

Tabela 1.1.5_9 Średnie gęstości skał utworów miocenu (g/cm³)

L.p.	Jednostka stratygraficzna	Litologia	Gęstość objętościowa	Ilość prób	Ilość otworów
1	warstwy dębowieckie	piaskowce	2,50	34	8
		zlepieńce	2,48	62	13

2	warstwy skawińskie	iłowce	2,50	1	1
		mułowce	2,57	5	4
		piaskowce	2,50	2	2
3	warstwy zamarskie	piaskowce	2,48	5	1
		zlepieńce	2,63	3	1

Porowatość efektywna w utworach górnośląskiej serii piaskowcowej i krakowskiej serii piaskowcowej oraz w utworach warstw dębowieckich została oznaczona na podstawie laboratoryjnych badań próbek z rdzeni otworów wiertniczych. Próby do badań pochodziły z utworów gruboklastycznych – głównie piaskowców, a znacznie rzadziej (z wyjątkiem warstw dębowieckich) – zlepieńców. W pojedynczych przypadkach badano również utwory drobnoklastyczne – mułowce i iłowce.

Dla utworów górnośląskiej serii piaskowcowej w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpośrednim sąsiedztwie wykonano 1012 oznaczeń. Współczynnik porowatości efektywnej waha się w zakresie 0,001-34,02%, średnio wynosi 6,30%. Jego maksymalna wartość jest wysoka, trzeba jednak zauważyć, że wartość większą lub równą 10% stwierdzono tylko w 158 oznaczeniach, a wartość większą lub równą 20% – w 8 oznaczeniach.

Dla utworów krakowskiej serii piaskowcowej w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpośrednim sąsiedztwie wykonano 1103 oznaczenia. Współczynnik porowatości efektywnej waha się w zakresie 0,34-36,71%, średnio wynosi 15,98%. W odróżnieniu od GSP porowatość utworów KSP jest znacznie wyższa. Wartość większą lub równą 10% stwierdzono aż 951 oznaczeniach, a wartość większą lub równą 20% w 180 oznaczeniach.

Dla utworów warstw dębowieckich w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpośrednim sąsiedztwie wykonano 90 oznaczeń. Współczynnik porowatości efektywnej waha się w zakresie 0,12-28,40%, średnio wynosi 10,30%. Wartość większą lub równą 10% stwierdzono w 42 oznaczeniach, a wartość większą lub równą 20% w 8 oznaczeniach.

Przepuszczalność w utworach górnośląskiej serii piaskowcowej, krakowskiej serii piaskowcowej i w utworach warstw dębowieckich została oznaczona – analogicznie jak w przypadku porowatości – na podstawie laboratoryjnych badań próbek z rdzeni otworów wiertniczych. Próby do badań pochodziły z utworów gruboklastycznych – głównie piaskowców, a znacznie rzadziej (z wyjątkiem warstw dębowieckich) – zlepieńców. W pojedynczych przypadkach badano również utwory drobnoklastyczne – mułowce i iłowce.

Dla utworów górnośląskiej serii piaskowcowej w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpośrednim sąsiedztwie wykonano 960 oznaczeń. Współczynnik przepuszczalności waha się w zakresie 0,001-1000 mD, średnio wynosi 4,02 mD. Maksymalna wartość współczynnika jest bardzo wysoka, trzeba jednak zauważyć, że wartość większą niż 100 mD stwierdzono tylko w 7 oznaczeniach, a wartość większą od 200 mD – w 4 oznaczeniach.

Dla utworów krakowskiej serii piaskowcowej w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpośrednim sąsiedztwie wykonano 1063 oznaczenia. Współczynnik przepuszczalności waha się w zakresie 0,001-1000 mD, średnio wynosi 51,65 mD. Wartość większą niż 100 mD stwierdzono w 159 oznaczeniach, wyższą niż 200 mD w 67 oznaczeniach, a wyższą niż 300 mD – w 26 oznaczeniach.

Dla utworów warstw dębowieckich w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpośrednim sąsiedztwie wykonano 70 oznaczeń. Współczynnik przepuszczalności waha się w zakresie 0,003-415 mD, średnio wynosi 39,30 mD. Wartość większą niż 100 mD stwierdzono w 8 oznaczeniach, wyższą niż 200 mD w 7 oznaczeniach, a wyższą niż 300 mD – w 4 oznaczeniach.

Rejon III - Mazowsze

Zakres analiz

(Magdalena Sikorska-Jaworowska)

Na obszarze Mazowsza (Rejon III) wytypowane zostały do opróbowania profile karbońskie i dolno- i środkowojurajskie (dwie próbki pochodzą z osadów triasowych). Wśród pobranych próbek rdzeni przeważają zdecydowanie piaskowce, niewielką grupę stanowią mułowce, a sporadycznie reprezentowane są iłowce i skały węglanowe. Które z wytypowanych makroskopowo i pobranych próbek skalnych są dobrymi kolektorami lub skałami uszczelniającymi pokażą dopiero badania mikroskopowe i laboratoryjne (petrofizyczne). Określą one ich porowatość, rodzaj spoiwa i pozwolą zróżnicować ich potencjalną przydatność do sekwestracji CO₂. Ponieważ wymagana miąższość warstw ekranujących jest znacznie mniejsza od miąższości kolektorów, piaskowce zdecydowanie dominują nad iłowcami. Ponadto ten typ skał nie wykazuje wyraźnego zróżnicowania w obrębie jednej formacji i nie wymaga zagęszczania opróbowania.

Niekiedy systematyczne pobranie próbek było niemożliwe z uwagi na niepełne rdzeniowanie w otworach oraz bardzo zły stan zachowania starych rdzeni wiertniczych.

Pobrano do badań 244 próbki rdzeni wiertniczych.

Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono na mikroskopach polaryzacyjnych, a analizy planimetryczne przy pomocy urządzeń zliczających punkty pomiarowe (minimum 300 w każdej płytce cienkiej).

Badania petrograficzne pozwoliły wyróżnić wśród analizowanych próbek rdzeni następujące typy skał: piaskowce (arenity kwarcowe, sublityczne, arkozowe, subarkozowe; waki kwarcowe, sublityczne, subarkozowe), mułowce, iłowce (żelaziste, glaukonitowe, węgliste), margle, skały syderytowe. W analizie planimetrycznej uwzględniono także ilość pustych porów, która określa wielkość porowatości mikroskopowej skał.

Dodatkowo badano uziarnienie skał podając średnicę najczęstszego (Q_f) i największego (Q_{max}) ziarna kwarcu w płytce cienkiej.

Szczegółowe analizy planimetryczne piaskowców wykazały dużą zmienność ilościowego składu mineralnego w poszczególnych profilach wiertniczych.

Wyniki analiz petrologicznych - profile karbońskie

(Aleksandra Kozłowska)

GARWOLIN 1 – 7 próbek z interwału 1867,5 – 2284,6 m.

4 próbki reprezentują piaskowce drobnoziarniste zaliczone do arenitów subarkozowych. Średnia wielkość najczęstszego ziarna kwarcu (Q_f) waha się od 0,15 do 0,25 mm, a maksymalnego (Q_{max}) od 0,30 do 0,57 mm. Zawartość w skale poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 48,0 – 58,4 % obj. skały, skalenie 8,7 – 11,0%, okruchy skał 4,3 – 5,7% i łuszczyki 1,0 – 2,3 %. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (3,0 – 8,3%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (2,3 – 10,7%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto

obserwowano węglany (3,3 - 15,0%), wśród których zidentyfikowano ankeryt i syderyt. Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (3,0 – 6,3%). Porowatość piaskowców waha się od 4,3 do 9,3% obj. skały.

1 próbka reprezentuje mułowiec piaszczysty a 2 próbki iłowce: iłowiec i iłowiec mułowcowy.

IZDEBNO IG 1 – 2 próbki z interwału 1957,2– 2106,5 m.

1 próbka reprezentuje piaskowiec drobnoziarnisty - arenit subarkozowy. Q_f wynosi 0,25 mm, a Q_{max} 0,62 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 66,5 % obj. skały, skalenie 5,6%, okruchy skał 0,9% i cyrkon 0,3%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (11,0%) oraz cementy. Wśród cementów występuje kwarc autigeniczny (1,5%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany – syderyt (3,6%). Porowatość piaskowców wynosi 10,6% obj. skały.

1 próbka reprezentuje mułowiec piaszczysty.

MACIEJOWICE IG 1 – 7 próbek z interwału 1877,5 – 2057,5 m.

6 próbek reprezentuje piaskowce: bardzo drobnoziarnistą węgę subarkozową oraz drobno- i średnioziarniste arenity kwarcowe i subarkozowe. Q_f waha się od 0,07 do 0,32 mm, a Q_{max} od 0,15 do 0,97 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 17,3 – 73,7% obj. skały, skalenie 1,0 – 4,9%, okruchy skał 0,3 – 2,2% i łyszczyki 0,0 – 31,6 %. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (0,3 – 48,7%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (0,0 – 5,9%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany – syderyt (0,0 – 25,7%). Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (0,0 – 3,9%). Porowatość piaskowców waha się od 0,3 do 13,8% obj. skały. Przeciętna porowatość arenitów wynosi 9,2%.

1 próbka reprezentuje mułowiec.

MAGNUSZEW IG 1 – 8 próbek z interwału 2164,2 – 2479,7 m.

8 próbek reprezentuje piaskowce: od drobno- do gruboziarnistych arenity kwarcowe, w tym 1 próbka - węgę sublityczną. Q_f waha się od 0,17 do 0,55 mm, a Q_{max} od 0,33 do 1,05 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 60,0 – 72,6% obj. skały, skalenie 0,0 – 3,5%, okruchy skał 0,8 – 5,7%, łyszczyki 0,0 – 3,8% oraz cyrkon 0,0 – 0,3%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (2,4 – 16,0%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (1,8 – 5,9%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany (0,0 – 11,3%), wśród których zidentyfikowano syderyt i ankeryt. Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (0,3 – 2,4%). Porowatość piaskowców waha się od 5,4 do 18,2% obj. skały, przeciętnie 9,6%.

REBKÓW 1 – 7 próbek z interwału 2106,5 – 2442,8 m.

4 próbki reprezentują piaskowce drobno- i średnioziarniste, arenity subarkozowe. Q_f waha się od 0,16 do 0,45 mm, a Q_{max} od 0,32 do 0,88 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 57,9 – 67,5 % obj. skały, skalenie 4,3 – 10,6%, okruchy skał 0,7 – 3,2%, łyszczyki 0,0 – 5,9% oraz akcesoryczne minerały nieprzezroczyste 0,0 – 0,6%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (2,3 – 14,4%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (0,9 – 3,2%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany (0,6 -

3,7%), wśród których zidentyfikowano syderyt i ankeryt. Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (0,9 – 5,4%). Porowatość piaskowców waha się od 6,1 do 13,6% obj. skały.

2 próbki reprezentują mułowce: mułowiec i mułowiec piaszczysty a 1 próbka iłowiec.

WARKA IG 1 – 5 próbek z interwału 2427,5– 2460,0m.

5 próbek reprezentuje piaskowce: średnio- i gruboziarniste arenity głównie kwarcowe oraz rzadziej sublityczne. Qf waha się od 0,28 do 0,60 mm, a Qmax od 1,40 do 2,00 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 57,6 – 72,3% obj. skały, skalenie 0,3 – 1,8%, okruchy skał 0,3 – 4,7% i łuszczyki 0,0 – 0,9%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (1,0 – 4,6%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (3,0 – 14,3%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany - ankeryt (0,0 – 24,0) oraz piryt (1,2 – 3,4%). Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (0,0 – 2,1%) oraz lokalnie illit – 0,6%. Porowatość piaskowców waha się od 7,1 do 10,7% obj. skały, przeciętnie 8,3%.

WILGA IG 1 – 8 próbek z interwału 2308,4– 2488,0m.

6 próbek reprezentuje piaskowce drobno- i średnioziarniste, arenity subarkozowe, a 1 wakę subarkozową. Qf waha się od 0,20 do 0,35 mm, a Qmax od 0,44 do 1,80 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 58,5 – 66,4% obj. skały, skalenie 3,5 – 6,8%, okruchy skał 1,0 – 3,5% i łuszczyki 1,1 – 2,4%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (4,2 – 17,0%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (1,8 – 4,5%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany (0,5 – 7,3%), wśród których zidentyfikowano syderyt i ankeryt. Minerale ilaste reprezentowane są przez kaolinit (1,7 – 6,1%). Porowatość piaskowców waha się od 4,8 do 14,8% obj. skały, przeciętnie 10,2%.

2 próbki reprezentują mułowce: mułowiec i mułowiec piaszczysty.

ŻABIENIEC 1 – 3 próbki z interwału 2131,5– 2431,7m.

3 próbki reprezentują iłowce miejscami żelaziste lub mułowcowe.

Wyniki analiz petrologicznych - profile jurajskie (Marta Kuberska)

BODZANÓW GN-3

W otworze wiertniczym Bodzanów GN-3 opisano 10 próbek skał należących do jury środkowej i dolnej.

Piaskowce jury środkowej reprezentowane są przez drobno- i średnioziarniste arenity i wakę kwarcową oraz mułowiec piaszczysty (6 próbek). Zawartość materiału detrytycznego waha się od 53.7 do 85.6%, należą do niego ziarna kwarcu mono- i polikrystalicznego, ziarna skalenia, podrzędnie litoklastów, łuszczyków, minerałów akcesorycznych i nieprzezroczystych. Wśród składników spoiw wyróżniono matriks (0.0 – 43.6 % obj., przeważnie kilka procent), będący mieszaniną młku kwarcowego, allogenicznych minerałów ilastych oraz cementy ortochemiczne. Minerale węglanowe zauważono w dwóch próbkach w ilości przekraczającej 29% obj. W jednym przypadku odnotowano autigeniczny chloryt.

Porowatość piaskowców waha się od zera do 18.7 %.

Skały jury dolnej (4 próbki) reprezentowane są przez drobnoziarniste arenity kwarcowe. Zawartość materiału detrytycznego wynosi od 77.0 do 81.3% obj. Najliczniej występuje kwarc, podrzędnie skalenie (głównie potasowe), sporadycznie okruchy skał. Poza tym występują łyszczyki – głównie muskowit. W spoiwie wyróżniono ilasto-mułkowy matriks, kwarc autigeniczny, występujący w formie obwódek na ziarnach kwarcu detrytycznego oraz minerały węglanowe.

Porowatość piaskowców określana planimetrycznie waha się od 13 do 18.3%

BODZANÓW IG1

Skały opisano na podstawie 4 próbek reprezentujących jurę środkową (1 próbka) i jurę dolną (3 próbki).

Jurę środkową reprezentuje drobnoziarnisty piaskowiec o składzie arenitu kwarcowego. Zawartość detrytu wynosi 69.2% obj. W spoiwie wyróżniono ilasto-mułkowy matriks, autigeniczny kwarc, występujący w formie obwódki oraz minerały węglanowe. Porowatość piaskowca wynosi 12.8%

Jurę dolną reprezentują piaskowce o bardzo zróżnicowanym uziarnieniu od drobno- do gruboziarnistych o składzie arenitu kwarcowego. Zawartość detrytus waha się od 65.9 do 71.8% obj. W spoiwie dominuje kwarc autigeniczny w formie obwódek na ziarnach kwarcu detrytycznego, tworząc miejscami spoiwo porowe. W przestrzeniach międzyziarnowych zauważono kaolinit, którego ilość nie przekracza 2% obj.

Porowatość piaskowców pomierzona planimetrycznie wynosi około 12%.

BODZANÓW 1

Profil opisano na podstawie 5 próbek: 2 należące do jury środkowej i 3 do jury dolnej.

Jurę środkową reprezentuje arenit subarkozowy, drobnoziarnisty, o zawartości detrytu 63.3% obj. i porowatości 25% obj. oraz mułowiec piaszczysty.

Jurę dolną reprezentują dwie próbki gruboziarnistego arenitu kwarcowego i drobnoziarnisty arenit subarkozowy. Odmiany subarkozowe wskazują na wzbogacenie piaskowców w skalenie, w tym przypadku głównie w odmiany potasowe. Piaskowce charakteryzują się porowatością w granicach około 13-18%, określaną jako porowatość pierwotną.

GOSTYNIN IG-1A

Opisano 28 próbek – 7 z jury środkowej i 21 z jury dolnej.

W jurze środkowej opisano 3 próbki należące do arenitów kwarcowych. Dwie z nich wykazują bardzo wysoki udział minerałów węglanowych w spoiwie, co wpływa na ograniczenie ich porowatości (0.0 i 5.7%), jedna natomiast wykazuje porowatość około 15%, przy znacznym udziale autigenicznego kwarcu (7.7% obj.), chroniącego porowatość pierwotną. W próbce tej zauważono także kaolinit i wiążącą się z nim porowatość międzykrystaliczną. Poza tym wyróżniono tu mułowce wapniste, miejscami syderytowe.

Jura dolna reprezentowana jest głównie przez arenity kwarcowe, sporadycznie subarkozowe lub sublityczne. Są to piaskowce przeważnie drobno-, rzadziej średnioziarniste, o zawartości detrytu od 53.0 do 77.7% obj. Głównym składnikiem spoiwa jest kwarc autigeniczny, tworzący obwódki na ziarnach oraz

wypełnienia porów. Poza tym odnotowano minerały węglanowe oraz kaolinit. W dwóch przypadkach występuje znaczny udział spoiwa typu matriks, co pozwala zaliczyć piaskowce do wak, jednocześnie porowatość ich spada do 0-2% obj. W pozostałych przypadkach porowatość waha się w granicach 7.6-16.5% obj.

W jurze dolnej występują także mułowce piaszczyste, nieporowate, przewarstwiające opisywane piaskowce.

GOSTYNIN IG3, IG4

Próbki z otworów Gostynin IG3 i IG4 pochodzą z jury środkowej i dolnej.

Jurę środkową reprezentuje 5 próbek piaskowców drobnoziarnistych zaliczonych do wak i arenitów kwarcowych. Zawartość detrytu wynosi od 66.5 do 79.4% obj. Głównym składnikiem spoiwa piaskowców jest kwarc autigeniczny. Porowatość opisywanych arenitów wynosi od 19.1 do 21.3% obj., a w wace jest nieco mniejsza – 11.5%. Poza tym opisano 4 próbki, które zaliczono do mułowców i iłowców, miejscami piaszczystych. W jednym przypadku występuje skała syderytowa.

Jurę dolną opisano na podstawie 6 próbek skał. Zaliczono je do arenitów kwarcowych, subarkozowych (w jednym przypadku) oraz skał iłowcowo-mułowcowych (2 próbki). Arenity kwarcowe są identyczne z opisywanymi w jurze środkowej. Charakteryzują się podobnie wysoką porowatością 15.4-25.0% przy znacznym udziale spoiwa kwarcowego.

GOSTYNIN 7, 8

W otworze Gostynin 7 występują skały jury środkowej reprezentowane przez arenity i wakę kwarcową oraz mułowiec i iłowiec wapnisty. Piaskowce charakteryzują się niskimi porowatościami z uwagi na wysoką zawartość minerałów węglanowych w spoiwie i wysoki udział spoiwa typu matriks.

W jurze dolnej natomiast opisano arenity kwarcowe o bardzo wysokiej porowatości (ok. 25%), określonej głównie jako porowatość pierwotna.

W otworze Gostynin 8 opisano 3 próbki piaskowców (JCL+BT3), które odpowiadają składem arenitowi i wace kwarcowej oraz wace subarkozowej. Jedynie arenit kwarcowy wykazał porowatość w granicach 19%, przy stosunkowo niskiej zawartości spoiwa

KARNKOWO IG1

Opisano 3 próbki: dwie zaliczone do jury dolnej i jedną do triasu górnego.

Jurę dolną reprezentują drobnoziarniste arenity kwarcowe. Zawartość detrytu wynosi 68 i 74.5% obj. Wśród składników spoiwa dominuje kwarc autigeniczny w formie obwódek na ziarnach kwarcu detrytycznego. Porowatość piaskowców wynosi 13.8 i 19.4%.

Trias reprezentowany jest przez jedną próbkę drobnoziarnistego piaskowca, zaliczoną do waki kwarcowej. Jest to piaskowiec o wysokiej zawartości spoiwa typu matriks – 29.3% i porowatości nie przekraczającej 9.0%.

KUTNO 1

Skały w otworze Kutno 1 opisano na podstawie 5 próbek z jury środkowej i dolnej.

W jurze środkowej opisano mułowiec oraz arenit kwarcowy o wysokiej zawartości detrytu (90.3%) oraz zerowej porowatości.

W jurze dolnej opisano arenit kwarcowy i subarkozowy. Piaskowce te są nieporowate, zwięzłe, o znacznym udziale spoiwa kwarcowego i wysokiej zawartości detrytu (90.0 i 76.3%). Poza tym opisano dwie próbki zaliczone do mułowców.

POTYCZ 1

Próbki z otworu Potycz1 reprezentują jurę dolną. Są to: drobnoziarnista waka subarkozowa, iłowiec piaszczysty i margiel.

Piaskowiec pomimo znacznego udziału matriksu (15.7%) charakteryzuje się wysoką porowatością (14.8%).

POLIK IG1

W profilu opisano 7 próbek należących do jury dolnej i jedną do triasu.

Jura dolna reprezentowana jest przez piaskowce o urozmaiconym uziarnieniu, o składzie arenitów kwarcowych, w jednym przypadku waki kwarcowej. Zawartość detrytu w piaskowcach wynosi od 70.4 do 79.5% obj. Charakteryzują się one wysoką porowatością (19.9-21.5%). Porowatość w wace spada do około 13% z uwagi na wysoką zawartość matriksu (15.7%).

Poza tym opisano iłowiec oraz wapień piaszczysty, którego porowatość nie przekracza 2% obj.

Trias reprezentuje próbka iłowca piaszczystego o porowatości około 6.0% obj.

RÓŻYCE 1

W profilu opisano 6 próbek zaliczonych do jury środkowej (3 próbki) i dolnej (3 próbki).

Jurę środkową reprezentują średnioziarniste arenity kwarcowe o zawartości materiału detrytycznego około 81% obj. (głównie kwarcu). Spoiwo piaskowców stanowi matriks ilasty oraz drobne ilości autigenicznego kaolinitu. Porowatość, przeważnie pierwotna, wynosi 12.1 i 9.7%. Trzecia próbka - to bardzo drobnoziarnisty piaskowiec, zaliczony do waki kwarcowej (zawartość matriksu – 47.0% obj.), nieporowaty.

Jurę dolną opisano na podstawie trzech próbek zaliczonych do piaskowców średnioziarnistych o składzie arenitu kwarcowego. Zawartość detrytus mieści się w przedziale 75.4-85.7% obj. Charakteryzują się niewielkim udziałem spoiwa (matriks, kwarc autigeniczny, podrzędnie węglany). Porowatość wynosi 9.9-16.1%.

RÓŻYCE 2

W profilu opisano 10 próbek zaliczonych do jury środkowej (5 próbek) i dolnej (5 próbek).

Jurę środkową reprezentują margle z przewarstwieniami iłowca żelazistego oraz mułowiec o składzie waki kwarcowej. Wyróżniono także drobnoziarnistą wakę kwarcową o stosunkowo wysokiej porowatości (13.7%) oraz średnioziarnisty arenit kwarcowy o porowatości 13.8%.

Jurę dolną opisano na podstawie pięciu próbek zaliczonych do piaskowców drobno- i średnioziarnistych o składzie arenitu kwarcowego. Zawartość materiału detrytycznego waha się od 69.6 do 76.8% obj., porowatość od 10.0 do 18.1%. Zauważa się pewną prawidłowość – porowatość jest większa w próbkach, gdzie jest większy udział autigenicznego spoiwa kwarcowego (głównie w formie obwódkowej).

WOJSZYCE IG3, IG4

Profile w otworach Wojszyce IG3 i IG4 opisano na podstawie 29 próbek z jury środkowej (14 próbek) i z jury dolnej (15 próbek). W otworze Wojszyce IG3 opróbowano tylko jurę dolną.

Jura środkowa reprezentowana jest przez drobno- i średnioziarniste piaskowce i mułowce wapniste i żelaziste (2 próbki). Piaskowce zaliczono do arenitów kwarcowych. Zawartość materiału detrytycznego waha się od 75.2 do 89.7% obj. Oprócz spoiwa typu matriks, które występuje powszechnie, zauważono drobne ilości autigenicznego kaolinitu oraz kwarc w formie obwódek na ziarnach detrytycznego kwarcu. Porowatość w tych piaskowcach waha się w przedziale 5.0 do 20.8%.

Jurę dolną reprezentują drobno- i średnioziarniste piaskowce, w dwóch przypadkach opisano mułowce laminowane, z przewarstwieniami iłowców. Piaskowce należą do arenitów kwarcowych. Zawartość detrytu wynosi od 61.4 do 90.2% obj. Głównym składnikiem spoiwa jest kwarc autogeniczny. Poza tym zauważono drobne ilości kaolinitu oraz spoiwa węglanowego. Powszechnie występuje ilasty matriks (miejscami ilasto-żelazisty). Porowatość piaskowców waha się w granicach 0.0 – 16.3%.

ŻYCHLIN IG3

Profil w otworze Żychlin IG3 opisano na podstawie 14 próbek z jury środkowej (3 próbki) i jury dolnej (11 próbek).

Jura środkowa reprezentowana jest przez iłowce żelaziste i mułowcowe. Jedna próbka, to piaskowiec średnioziarnisty, zaliczony do arenitu kwarcowego. Spoiwo piaskowca stanowi matriks ilasty i kwarc autogeniczny w formie obwódkowej. Porowatość piaskowca wynosi 17.4%.

Jura dolna – to drobno- i średnioziarniste piaskowce o składzie arenitu kwarcowego. Zawartość detrytu waha się od 68.7 do 78.0% obj. W spoiwie piaskowców, oprócz powszechnie występującego matriksu jest obecny kwarc autogeniczny. Porowatość arenitów wynosi od 12.1 do 22.9% i jest większa w próbkach o nieco większej zawartości spoiwa kwarcowego.

ŻYCHLIN 4

Profil w otworze Żychlin 4 opisano na podstawie 10 próbek z jury środkowej (3 próbki) i jury dolnej (7 próbek).

Jurę środkową reprezentuje mułowiec piaszczysty, waka kwarcowa, nieporowata i arenit kwarcowy o porowatości 7.4%.

Jura dolna - to piaskowce drobno- i średnioziarniste o składzie arenitu i waki kwarcowej. W jednym przypadku wyróżniono arenit subarkozowy. Opisano także dwie próbki mułowca piaszczystego. Zawartość

materiału detrytycznego w piaskowcach waha się od 48.7 do 77.9% obj. Spoiwo piaskowców stanowi ilasty matriks, niewielkie ilości węglanów oraz kwarc autigeniczny. Porowatość wynosi od 9.0 do 22.0%. Waka jest nieporowata z uwagi na dużą zawartość matriksu (41.3%).

ŻYRÓW 1

Opisano 7 próbek należących do jury dolnej. Wyróżniono iłowce piaszczyste i mułowce żelaziste oraz piaskowce bardzo drobnoziarniste reprezentowane przez arenity subarkozowe, arkozowe i wakę kwarcową. Zawartość detrytu w piaskowcach wynosi od 49.4 do 74.6%. W odmianach arkozowych zauważono oprócz pierwotnej, porowatość wtórną powstałą na skutek rozpuszczania skaleni. Porowatość w piaskowcach waha się od 7.5% w wace do około 12-15% w arenitach.

Profile bez podziału stratygraficznego

BIELSK 2

Profil z otworu Bielsk 2 opisano na podstawie 8 próbek. Wyróżniono mułowce węgliste i iłowce glaukonitowe oraz drobno- i średnioziarniste piaskowce zaliczone do wak i arenitów kwarcowych. Zawartość materiału detrytycznego w piaskowcach wynosi od 59.3 do 78.1% obj. Oprócz powszechnie występującego matriksu odnotowano spoiwo kwarcowe. Porowatość w piaskowcach wynosi od 7.1 do 20.9% i jest mniejsza w wakach.

KORABIEWICE PIG1

Profil opisano na podstawie 10 próbek. Wyróżniono mułowce i iłowce, miejscami żelaziste oraz drobno- i średnioziarniste piaskowce zaliczone do kwarcowych i subarkozowych. Zawartość materiału detrytycznego w piaskowcach wynosi od 63.4 do 78.9% obj. Powszechne jest występowanie spoiwa typu matriks oraz autigenicznego spoiwa kwarcowego w formie obwódek na ziarnach detrytycznych. Sporadycznie występuje kaolinit. Porowatość piaskowców waha się od 14.1 do 20.8%. W jednym przypadku odnotowano mułowce o porowatości 6.6%.

RADUCZ IG1

Opisano 9 próbek piaskowców bardzo drobnoziarnistych zaliczonych do arenitów i waki (1 próbka) kwarcowych. Zawartość detrytu wynosi od 56.7 do 70.0% obj. Spoiwo piaskowców składa się z matriksu, węglanów i kwarcu autigenicznego. Z uwagi na silną cementację porowatość piaskowców jest niewielka i wynosi od zera do 10%. W jednej próbce dochodzi do 22%.

RDUTÓW 2

Opisano 20 próbek wśród których wyróżniono mułowce i iłowce piaszczyste, iłowce żelazisto-wapniste oraz drobno- i średnioziarniste piaskowce, zaliczone do arenitów kwarcowych w jednym przypadku do waki subarkozowej. Zawartość materiału detrytycznego w piaskowcach wynosi od 54.3 do 78.3% obj. W spoiwie oprócz matriksu wyróżniono kwarc autigeniczny i miejscami węglany oraz kaolinit. Porowatość w piaskowcach waha się od zera do 31%.

SIEDLEC 1

Opisano 10 próbek, wśród których wyróżniono mułowce piaszczyste i piaszczysto-syderytowe oraz drobno- i średnioziarniste piaskowce zaliczone do arenitów i wak kwarcowych. Zawartość detrytu w piaskowcach wynosi od 68.4 do 79.3% obj. Porowatość natomiast waha się od 2.3 do 15.3% i jest zdecydowanie mniejsza w wakach. W spoiwie wyróżniono matriks, kwarc autigeniczny, minerały węglanowe (syderyt) i kaolinit.

(Leszek Krzemiński)

Mszczonów IG1

(11 próbek z interwału 2380,3–2654,3 m)

W opróbowanym interwale przeważają drobno-, średnio- i gruboziarniste zlepieńcowate piaskowce o składzie arenitu kwarcowego i najczęstszej średnicy ziaren kwarcu w przedziale 0,14 – 0,70 mm. Arenity reprezentują osad bardzo dojrzały mineralogicznie, doskonale lub dobrze wysortowany, o umiarkowanej do silnej porowatości, w którym pory stanowią 5–22 % obj. W szkielecie ziarnowym zdecydowanie dominuje kwarc (ponad 70 % obj.), podrzędne skalenie są bardzo nieliczne (do 2,4 % obj.), a okruchy skał i jasny łyszczak spotykane są sporadycznie. W ilości akcesorycznej obecny jest turmalin, cyrkon, tlenki tytanu, minerały nieprzezroczyste i incydentalnie spinel chromowy. Skąpe spoiwo ilaste bądź ilasto-żelaziste typu matriks występuje w ilości 2,4 – 6,5 % obj. Jeszcze mniejszy jest udział cementu węglanowego (0,0 – 2,4 % obj.) i kwarcowego (0,0 – 1,6 % obj.).

Na głęb. 2414,7 m występuje bardzo drobnoziarnista waka arkozowa, również dobrze wysortowana, ale zupełnie pozbawiona porowatości. Bardzo obfite spoiwo reprezentowane jest przez silnie żelaziste matriks w ilości 58,5 % obj., a szkielet ziarnowy jest nieco bogatszy w skalenie i łyszczki w porównaniu z arenitami.

Występujące na głęb. 2489,8 i 2495,7 m piaszczyste mułowce, niekiedy lekko margliste, nieregularnie laminowane ilowcem lub piaskowcem bardzo drobnoziarnistym (o składzie arenitu lub waki kwarcowej), nie wykazują żadnej porowatości.

W dolnej partii zbadanego interwału obecne są pyłowce kwarcowe o składzie analogicznym do kwarcowych piaskowców. Przy nieznacznej zawartości żelazistego matriks są one wyraźnie porowate (głęb. 2649,8 m), natomiast obecność cienkich lamin mułowcowych wiąże się z całkowitym zanikiem porowatości (głęb. 2654,3 m).

Łowicz IG1

(10 próbek z interwału 1767,8 – 2239,4 m)

W opróbowanym interwale przeważają piaskowce drobno- i średnioziarniste, lokalnie przechodzące w gruboziarniste o składzie arenitu kwarcowego i najczęstszej średnicy ziaren kwarcu w przedziale 0,16 – 0,45 mm. Są to skały mineralogicznie bardzo dojrzałe, dobrze lub doskonale wysortowane, z rzadka cienkolaminowane bardzo drobnoziarnistym piaskowcem o składzie waki kwarcowej. Arenity reprezentują osad silnie porowaty, w którym pory stanowią 14,5 – 24,3 % obj. Niezbyt obfite detrytyczne spoiwo ilaste występuje w ilości od 0,0 do 7,2 % obj. W dolnej partii zbadanego interwału towarzyszy mu bardzo skąpy cement kwarcowy, a niekiedy także węglanowy, w ilości nie przekraczającej 0,6 % obj. W składzie szkieletu ziarnowego kwarc (73–80 % obj.) zdecydowanie przeważa nad nielicznym skaleniem (0,3 – 2,4 % obj.), a

okruchy lityczne i jasny łuszczak obecne są w ilościach śladowych, podobnie jak akcesoryczne turmalin, cyrkon, minerały nieprzezroczyste i tlenki tytanu.

Na głębokości 1767,8 i 1924,0 m występuje ciemny, żelazisty mułowiec piaszczysty, niekiedy słabo wapnisty, zawierający cienkie laminy lub soczewki bardzo drobnoziarnistego piaskowca. Słabo marglisty wapień mikrytowy pozbawiony porowatości występuje na głęb. 1967,1 m, a na głęb. 2239,4 m – słabo piaszczysty iłowiec.

Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych (Teresa Adamczak)

Dla realizacji zadania **1.1.5** zestawiono i przeanalizowano dane petrofizyczne dla 70-ciu otworów z rejonu Mazowsza (spis wykorzystanych dokumentacji - **Tabela 1.1.5_10**). Dla tego celu wykorzystano informacje o parametrach petrofizycznych skał znajdujące się w sprawozdaniach wynikowych z poszczególnych otworów.

Z dokumentacji tych uzyskano informacje o litologii, gęstości, porowatości i przepuszczalności przebadanych próbek rdzenia wiertniczego z interesujących otworów omawianego obszaru.

Dla potrzeb realizacji tematu badań, próbkom rdzenia przyporządkowano odpowiadającą im stratygrafię. Pozwoliło to na scharakteryzowanie interesujących z punktu widzenia realizacji niniejszego tematu badań poziomów stratygraficznych (C, T, J, K) za pomocą wartości gęstości, porowatości i przepuszczalności ich utworów (przykład - **Tabela 1.1.5_11**). Wniosło to również użyteczną informację o litologii skał budujących te poziomy.

Tabela 1.1.5_10Lista wykorzystanych dokumentacji otworowych

L.p.	NAZWA_CBDG	ID_CBDG
1.	Bielsk-1	93006
2.	Bielsk 2	13213
3.	Biezuń-2	14163
4.	Bodzanów GN-1	14179
5.	Bodzanów GN-2	14213
6.	Bodzanów GN-3	14214
7.	Bodzanów IG 1	14181
8.	Czachówek 1	3437
9.	Dębe Wielkie-1	5261
10.	Dębe-1	41598
11.	Dębe-2	72413
12.	Dębe-5	72267
13.	Dębe-6	41418
14.	Dębe-7	41426
15.	Garwolin-1	5464
16.	Gostynin-5	13207
17.	Gostynin-6	13274
18.	Gostynin-7	13215
19.	Gostynin IG-1A	93790
20.	Gostynin IG-3	93795
21.	Gostynin IG-4	93806
22.	Goździk-1	43060
23.	Gradzanowo-2	92784
24.	Kamionki-1	13210
25.	Kamionki IG-3	13143
26.	Karnkowo-IG1	10774

27.	Kobylniki-1	28198
28.	Kompina-2	14252
29.	Korabiewice PIG-1	15992
30.	Krośniewice IG-1	92397
31.	Lipno-2	90105
32.	Lipno-4	90116
33.	Magnuszew IG-1	43001
34.	Mszczonów IG 1	42675
35.	Mszczonów IG 2	15989
36.	Nadarzyn IG 1	3290
37.	Okuniew IG-1	72282
38.	Płońsk-7	15760
39.	Płońsk-9	15772
40.	Płońsk-10	15771
41.	Poddębice PIG-2	11170
42.	Polik IG 1	13092
43.	Potycz-1	3438
44.	Pułtusk-3	2977
45.	Raducz IG-1	42703
46.	Radzymin-1	72277
47.	Rdutów-2	11164
48.	Rębków-1	5458
49.	Różyce IG-2	94527
50.	Siedlec-1	11169
51.	Sierpc 2	13134
52.	Skepe-1	92746
53.	Skierniewice GT-1	122720
54.	Sochaczew 1	14250
55.	Sochaczew-2	15914
56.	Sochaczew-3	15948
57.	Szwejki IG-3	15998
58.	Wartkowice-1	92445
59.	Wartkowice-2	11147
60.	Wartkowice-3	94797
61.	Wielgie IG 2	10773
62.	Wojszyce IG-1A	13224
63.	Wojszyce IG-3	11116
64.	Wojszyce IG 4	13284
65.	Wyszogród 1	14248
66.	żabieniec-1	5465
67.	żychlin GN 4	13322
68.	żychlin IG-3	93807
69.	żyrów 1	42972

Tabela 1.1.5_11 Zestawienie archiwalnych wyników badań petrofizycznych (przykład)

1.	Nazwa otworu	Głębokość	Litologia	Gęstość [g/cm ³]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]		Stratygrafia	UWAGI
						pionowa	pozioma		
	Bielsk-1	252,00	margiel		39	0,446		K3	
	Bielsk-1	408,00	margiel		37,94	2,746		K3	
	Bielsk-1	507,00	margiel		-1	-1		K3	
	Bielsk-1	605,00	margiel		-1	-1		K3	
	Bielsk-1	704,80	margiel		32,91	0,58		K3	
	Bielsk-1	803,50	margiel		29,5	0,214		K3	
	Bielsk-1	877,20	margiel		29,64	0,188		K3	
	Bielsk-1	1 020,00	wapień marglisty		18,38	0,297		K3	
	Bielsk-1	1 131,60	wapień marglisty		15,08	0,147		K3	
	Bielsk-1	1 133,60	wapień marglisty		19,55	0,229		K3	
	Bielsk-1	1 161,10	piaskowiec drobnziarnisty		-1	-1		K3	
	Bielsk-1	1 165,60	piaskowiec drobnziarnisty		-1	-1		K1	
	Bielsk-1	1 211,90	piaskowiec drobnziarnisty		-1	-1		K1	
	Bielsk-1	1 241,60	mułowiec silnie piaszczysty		-1	-1		K1	
	Bielsk-1	1 286,40	mułowiec z wkt.piaszcz.		19,05	0,255		K1	
	Bielsk-1	1 317,40	mułowiec piaszczysty		-1	-1		K1	
	Bielsk-1	1 347,60	margiel mułowcowy		-1	-1		K1	
	Bielsk-1	1 348,60	mułowiec marglisty		-1	-1		K1	
	Bielsk-1	1 414,60	margiel dolomityczny		-1	-1		J3	
	Bielsk-1	1 416,60	margiel dolomityczny		-1	-1		J3	
	Bielsk-1	1 441,20	anhydryt		3,6	0,2		J3	
	Bielsk-1	1 442,20	wapień		13,47	0,947		J3	
	Bielsk-1	1 444,20	wapień		11,51	0,147		J3	
	Bielsk-1	1 446,20	wapień		8,56	0,12		J3	
	Bielsk-1	1 493,50	mułowiec marglisty		13,32	0,589		J3	
	Bielsk-1	1 548,60	mułowiec marglisty		-1	-1		J3	
	Bielsk-1	1 549,60	mułowiec marglisty		-1	-1		J3	
	Bielsk-1	1 604,50	mułowiec marglisty		8,57	0,32		J3	
	Bielsk-1	1 605,50	mułowiec marglisty		9,13	0,192		J3	
	Bielsk-1	1 640,70	wapień oolitowy		24,86	71,985		J3	
	Bielsk-1	1 643,70	wapień detrytyczny		22,39	7,713		J3	
	Bielsk-1	1 644,70	wapień oolitowy		25,04	8,098		J3	
	Bielsk-1	1 695,40	wapień oolitowy		24,01	88,37		J3	
	Bielsk-1	1 697,40	wapień oolitowy		15,45	176,74		J3	
	Bielsk-1	1 751,30	wapień detrytyczny		14,91	4,82		J3	
	Bielsk-1	1 753,30	wapień detrytyczny		21,63	5,356		J3	
	Bielsk-1	1 804,10	wapień detrytyczny		28,77	9,64		J3	
	Bielsk-1	2 419,90	mułowiec		6,46	80,617		J2	
	Bielsk-1	2 461,10	mułowiec		8,31	1,182		J2	
	Bielsk-1	2 462,45	mułowiec		6,64	85,359		J2	
	Bielsk-1	2 514,10	piaskowiec		16,71	161,234		J2	
	Bielsk-1	2 527,78	piaskowiec		19,08	138,201		J2	
	Bielsk-1	2 529,05	piaskowiec		22,24	175,892		J1	
	Bielsk-1	2 622,90	piaskowiec		19,03	216,146		J1	
	Bielsk-1	2 650,30	piaskowiec		14,66	79,519		J1	
	Bielsk-1	2 685,00	piaskowiec		21,49	199,52		J1	
	Bielsk-1	2 687,10	piaskowiec		21,39	199,52		J1	
	Bielsk-1	2 725,80	ilowiec		15,55	75,651		J1	
	Bielsk-1	2 764,60	piaskowiec		19,81	182,893		J1	
	Bielsk-1	2 650,40	piaskowiec		15,59	80,523		J1	
	Bielsk-1	2 683,70	piaskowiec		21,09	192,256		J1	
	Bielsk-1	2 725,60	piaskowiec		17,69	147,626		J1	
	Bielsk-1	2 766,20	piaskowiec		19,1	193,256		J1	
	Bielsk-1	2 926,85	piaskowiec		15,42	161,422		J1	
	Bielsk-1	2 928,18	piaskowiec		16,06	190,247		J1	
	Bielsk-1	2 928,40	piaskowiec		-1	-1		J1	
	Bielsk-1	2 958,35	piaskowiec		15,44	209,848		J1	
	Bielsk-1	2 959,35	piaskowiec		17,06	161,422		J1	
	Bielsk-1	2 960,20	piaskowiec		16,72	207,542		J1	
	Bielsk-1	2 960,50	piaskowiec		15,42	176,097		J1	
	Bielsk-1	2 961,10	piaskowiec		16,74	161,422		J1	

Rejon IV - brzeźna strefa Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego

Na obszarze IVA (perspektywiczna, zachodnia część obszaru badań) jako poziom do bezpiecznego składowania CO₂ przyjęto dewońsko-karboński kompleks węglanowy, w ramach którego wydzielono dwa potencjalne obszary: zbiornik Niepołomice i zbiornik Grobla.

Dewońsko-karboński kompleks węglanowy obejmuje sekwencje skalne, które osadzały się od eiflu po wizen i jest wykształcony w postaci wapieni oraz dolomitów, z wkładkami margli, iłowców, silikoklastyków. Utwory te reprezentują facje platformowe i facje basenowe (facje basenów śródplatformowych), których sedimentacja odbywała się w płytkim zbiorniku epikontynentalnym. Kompleks ten został szczegółowo opisany w rozdziale **1.1.3**.

Rozdzielono go na nieformalne jednostki litostratygraficzne – serie, oznaczone literami, od A do E.

Seria A zawiera dolomity krystaliczne (dolosparyty średnio- i grubokrystaliczne) i dolomity margliste (dolomikryty), z wkładkami wapieni dolomitycznych, brekcji dolomitycznych, mułowców, margli, iłowców. Ilość występujących w niej przeławień marglistych maleje od dołu ku górze. Jej miąższość, w otworach które osiągnęły klastyczne podłoże, waha się w szerokich granicach, od 160 metrów w Mniszowie 16 do przeszło 400 metrów w Wyciąży 1 i Rajsku 3. Seria ta, w znacznej części, ma charakter wtórny. Jej obecne wykształcenie jest efektem dolomityzacji i rekrystalizacji osadów węglanowych. Dolosparyty, stanowiące obecnie jej zasadniczą część, zawierają relikty pierwotnych struktur i ziaren (intraklasty, peloidy, ooidy, bioklasty) oraz pozostałości substancji mikrytowej pomiędzy kryształami dolomitu i w ich obrębie. W kilku otworach rozpoznano nieliczne amfipory. W najniższym odcinku serii A, w Rajsku 3, Strzelcach Wielkich 1 i Grobli 28, obserwuje się niewielkie zapiaszczenie. W Grobli 28, w środkowej części serii, występuje grubo (około 60 m) pakiet szarych, twardych, „sprasowanych” iłowców zsylikowanych.

Seria B to pierwsza zwarta, gruba seria wapienna w dewonie. Jest reprezentowana przez wapienie pelitowe i ziarniste, niekiedy o strukturze gruzłowej, falistej lub laminowanej, z wkładkami dolosparytów i margli. W serii tej przewarstwienia margliste są bardziej drobnorytmiczne niż w serii A. Wapienie serii B są wykształcone w postaci: biomikrytów (glonowe, kalcisferowe, otwornicowe, stromatoporoidowe, koralowcowo-glonowe, glonowo-otwornicowe, kalcisferowo-otwornicowe, ramienicowe, małżoraczkowe), mikrytów fenestralnych i zbioturbowanych, pelbiosparytów kalcisferowo-otwornicowych i glonowo-otwornicowych, pelsparytów, intramikrytów, intrapelsparytów, intrapelbiosparytów. Mikrofacje te często przeplatają się w profilach. W rejonie Mniszowa 16, Grobli 28 i Strzelc Wielkich 1, wapienie omawianej serii, wyróżniają się ciemną barwą, strukturą gruzłową, falistą i/lub laminowaną.

Serie C budują wapienie pelitowe i ziarniste, często o strukturze gruzłowej lub laminowanej, dolosparyty (niekiedy kawerniste), margle, mułowce. Jest ona niejednorodna w całej swojej rozciągłości. Obserwujemy w jej obrębie szereg naprzemianległych warstw o różnych parametrach fizycznych. W przyspągowej części serii C występują warstwy charakteryzujące się wysoką zawartością materii ilastej i obecne są ławice piaskowcowe, o miąższości do kilku metrów. W Wyciąży 1 i Niepołomicach 11 seria C jest ścięta erozyjnie od góry. W części zachowanej występują wapienie pelitowe, często dolomityczne, dolomity krystaliczne, kawerniste, wkładki iłowców i margli. Wapienie reprezentowane są przez: biomikryty, biomikryty glonowe, pelbiomikryty otwornicowo-kalcisferowe, pelmikryty-sparyty. W Tropiszowie 1 i Niepołomicach 3 seria C jest wykształcona w facjach basenowych. Są to wapienie pelitowe, margle, iłowce, o strukturze gruzłowej i laminowanej oraz dolomity krystaliczne (neodolosparyty), niekiedy kawerniste. Wśród wapieni wyróżniono

mikryty biomikryty glonowe. W Tropiszowie seria C, nieprzewiercona, przechodzi prawdopodobnie w sposób ciągły w utwory serii młodszej. W Niepołomicach 3 seria C jest ścięta od góry. W Puszczy 1 serię C, zerodowaną od góry, budują wapienie margliste pelitowe i ziarniste. W Mniszowie 16, Grobla 28, Dziewinie 2, Strzelcach Wielkich 1, Rajska 3, część lub całość serii C, stanowią facje basenowe. Są to wapienie (pelitowe, ziarniste) i margle, o strukturze gruzłowej i laminowanej, z wkładkami iłwców, mułowców, dolomitów. Wśród wapieni wyróżniono: mikryty, pelmikryty, -sparyty, intrapelsparyty, biomikryty (glonowe, spikulowe, kalcisferowo-otwornicowo-glonowe), biosparyty (liliowcowe), pelbiosparyty kalcisferowo-otwornicowo-glonowe). W Mniszowie 16 seria C jest reprezentowana tylko przez swoją niższą część i utwory te są zapiaszczone. W strefie Strzelce Wielkie–Rajska 3, w wyższej części serii C facje basenowe zostały zastąpione przez płytkowodne facje detrytyczne (intrabiomikryty-sparyty-rudyty liliowcowe, ntraosparyty, biosparyty liliowcowi, zlepieńce wapienne). W intrasparudytach z Rajska 3 widoczne są struktury wciskowe i szwy stylolitowe wypełnione substancją żelazistą. Niektóre ziarna mają obwódki żelaziste i/lub mikrodrażenia (dendroidy) wypełnione także materią żelazistą. Głównym składnikiem wapieni są intraklasty (biomikryty, biomikryty kamenidowe, pelbiobiosparyty, mikryty), obecne są także: ziarna zmikrytyzowane, fragmenty struktur sinicowych i ławic mikrobialnych, okruchy skał marglisto-żelazistych oraz bioklasty (głównie liliowce). W rejonie Tarnawy 1 i Rajbrotu 1 seria C jest wykształcona w postaci wapieni pelitowych, mikrytów laminowanych i zbioturbowanych, biomikrytów (małżoraczkowe, liliowcowo-otwornicowe, małżoraczkowokalcisferowe, glonowe), rzadziej wapieni ziarnistych (pelsparyty, intrasparyty). Spotyka się tu też wkładki dolosparytów i skał krzemionkowo-węglanowych.

Seria D jest bardziej jednorodna litofacjalnie od serii C i budują ją wapienie pelitowe i ziarniste z podrzędną ilością wkładek marglistych. Znaczny udział w profilu serii mają również silikoklastyki. Wapienie, reprezentowane przez facje platformy otwartej i ograniczonej, są wykształcone w postaci: biomikrytów, biomikrytów spikulowo-glonowych i spikulowo-kalcisferowo-otwornicowych piaszczystych, mikrytów ze spikulami, pelsparytów, pelbiosparytów, intrabiosparytów, intrapelbiosparytów.

Serie E reprezentują wapienie wykształcone są w postaci: intrabiomikrytów i biomikrytów (kalcisferowo-ramienionogowe, kalcisferowo-otwornicowe, ramienionogowoliliowcowe, otwornicowe, glonowo-otwornicowe, glonowe, glonowo-kalcisferowe, kalcisferowe, spikulowe) w różnym stopniu przekryształizowanych.

W ramach **analizy własności petrofizycznych** wykorzystano archiwalne wyniki analiz wykonanych przez Instytut Nafty i Gazu oraz wyniki ze starszych otworów wiertniczych Przemysłu Naftowego.

Analizy własności petrofizycznych wykonane przez Instytut Nafty i Gazu zestawiono w tabelach, wprowadzonych do bazy (przykład - **Tabela 1.1.5_12**). Obejmują one 244 próbki z następujących 27 otworów wiertniczych:

Będzienica 2

Dziewin 2

Głogoczków IG-1

Grobla 1

Grobla 28

Jachówka 2K
Kielanówka 12
Kęty 9
Lachowice 2
Lachowice 3
Lachowice 3A
Łętowice 20
Łowczów 2
Niepołomice 3
Niepołomice 11
Nosówka 8
Nosówka 12
Puszcza 4
Rajbrot 1
Rajbrot 2
Rajsko 3
Strzelce Wielkie 1
Szczurowa 11
Tropiszów 1
Wyciąże 1
Wyciąże 4
Wyciąże 6

Dla próbek tychoznaczono następujące parametry: gęstość materiałową, gęstość szkieletową, gęstość porozymetryczną, porowatość całkowitą, porowatość porozymetryczną, porowatość kapilarną, wielkość średniej kapilary, powierzchnię właściwą i wartość histerezy. Gęstość materiałowa waha się w przedziale 2,53 – 3,03 g/cm³, gęstość szkieletowa 2,56- 3,03 g/cm³, a gęstość pozymetryczna 2,26 – 3,18 g/cm³. Porowatość całkowita nie przekracza we wszystkich przypadkach 5%, podobnie jak porowatość kapilarna. Tylko porowatość porozymetryczna w jednym przypadku osiąga wartość 26%. Przykładowe wyniki analiz gęstości i porowatości z dokumentacji wierceń przemysłu naftowego przedstawiono poniżej.

Tabela 1.1.5_12 Zestawienie wyników archiwalnych wyników badań petrofizycznych INiG (przykład)

otwór wiertniczy	Głęb. [m]	Gęstość materiał. [g/cm ³]	Porowat. całkowita [%]	Gęstość szkielet. [g/cm ³]	Gęstość z porozym. [g/cm ³]	Porowat. z porozym [%]	Średnia kapilarna [um]	Porowat.	Powierzch. właściw. [m ² /g]	Pory >1 um [%]	Średnica progowa [um]	Histereza [%]
								kapilarna [%]				
N o s ó w k a 8	3644.00	2.70	0.49				C		0			
	3654.00	2.70	0.76				0		0			
	3657.00	2.58	2.94				0		0			
	3662.00	2.69	0.11				0		0			
	3663.00	2.64	0.32				0		0			
	3672.00	2.66	1.14				0.14		0.13	40		
	3673.00	2.68	0.37				0		0			
	3692.00	2.67	0.48				8.68		0			
	3693.00	2.67	0.75				2.97		0	92		
	3703.00	2.67	0.67				0.07		0.15	74		
	3723.00	2.68	0.03				0.38		0			
	3743.00	2.64	2.19				1.65		0.02	77		
	3762.00	2.68	0.37				0		0	95		
	3763.00	2.69	0.30				0		0			
	3764.00	2.68	0.51				8.99		0			
	3792.00	2.67	1.34				0.04		0.51	46		
	3799.00	2.70	0.46				0		0			

W przypadku analizowanych otworów porowatość całkowita jest raczej niska, rzadko sięgająca 10%. Takie wartości generalnie nie kwalifikują tych utworów jako poziomy zbiornikowe. Stoi to jednak w sprzeczności z wynikami przypliwów uzyskanych w rejonie Nosówek (złoże ropy), Jachówki i Lachowic, gdzie z utworów o nawet gorszych parametrach uzyskano istotne przyplwy mediów (patrz **Tabela 1.1.5_12**). W kolektorach o charakterze szczelinowatym, mikroszczelinowatym, a często kawernistym, wartości tych parametrów określone laboratoryjnie często w istotny sposób odbiegają od rzeczywistych. Sytuacja taka prawdopodobnie jest wynikiem specyfiki prób do badań laboratoryjnych. Pobrane zostają najbardziej zwarte części rdzenia, które nieuległy destrukcji. Oznaczone tak porowatości przepuszczalności są bardzo niskie i nie odpowiadają rzeczywistym parametrom poziomu. Rzeczywiste wartości tych parametrów uzyskać można w wyniku hydrogeologicznego opróbowania poziomu (próbne pompowania, zatłaczanie), lub interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej.

Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)

Zakres analiz

(Magdalena Sikorska-Jaworowska)

Na obszarze Lubelszczyzny wraz z częścią Podlasia (Rejon V) wytypowane zostały do opróbowania profile karbońskie.

Niekiedy systematyczne pobranie próbek było niemożliwe z uwagi na niepełne rdzeniowanie w otworach oraz bardzo zły stan zachowania starych rdzeni wiertniczych.

Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono na mikroskopach polaryzacyjnych, a analizy planimetryczne przy pomocy urządzeń zliczających punkty pomiarowe (minimum 300 w każdej płytce cienkiej).

Wyniki analiz petrologicznych- profile karbońskie

(Aleksandra Kozłowska)

Opis 442 próbek karbońskich z 43 otworów wiertniczych z rejonu Lubelszczyzny

Obszar Lubelszczyzny podzielono na dwa rejony: centralny i południowo-wschodni.

CENTRALNA LUBELSZCZYŻNA

Centralna Lubelszczyzna obejmuje 32 otwory wiertnicze (321 próbek skał) usytuowane w strefie Lublin - Puławy. Są to: Abramów 6 i 7, Busówno IG 1, Bychawa IG 1 i IG 2, Ciecierzyn 1 i 5, Glinnik 2, Gródek 1, Dęblin 7, Kock IG 2, , Lubartów IG 3, Lublin IG 1 i IG 2, Łęczna IG 9, IG 13, IG 25 i IG 26, Nasutów 1 i 5, Piaski IG 2, Siedliska IG 1, Stanin 1, Stężyca 1 i 2, Świdnik IG 1 i 14, 16 i 22, Tarkawica 1 i 3 oraz Wilczanka 1.

Próbki piaskowców reprezentują arenity i waki. Wśród arenitów wyróżniono odmiany subarkozowe i kwarcowe, rzadziej sublityczne drobno- i średnioziarniste miejscami nierównoziarniste oraz zlepieńcowate. Waki reprezentują głównie odmiany subarkozowe rzadziej sublityczne i kwarcowe bardzo drobnoziarniste i drobnoziarniste. Q_f waha się od 0,08 do 0,95 mm, a Q_{max} od 0,16 do 5,10 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 32,5 – 80,2 % obj. skały, skalenie (głównie skalenie potasowe) 0 – 17,7%, okruchy skał 0 – 12,2% i łuszczyki 0 – 29,3 % (w arenach do 12,3%). Z minerałów akcesorycznych występuje głównie cyrkon, rzadziej rutyl, tytanit, granat w ilości 0 – 1,4%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (w arenach do 15%, a w wakach >15%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (0 – 14,7%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany (0 – 32,3%) tworzące cement porowy, wśród których dominuje syderyt i ankeryt, rzadziej kalcyt. Lokalnie, w wace, obserwowano syderyt wykształcony w formie sferolitów. Autigeniczne minerały ilaste reprezentowane są głównie przez kaolinit (0 – 10,7%) oraz rzadziej przez illit (0 -2,6%), które zarastają przestrzeń porową piaskowców. Miejscami występują chloryty (0 -5,7%) w formie obwódek na ziarnach lub wypełnienia porów. Lokalnie stwierdzono występowanie cementu anhydrytowego w ilości 1,3% (otwór Wilczanka IG 1). Porowatość piaskowców waha się od 0 do 19,3% obj. skały. Najwyższą porowatość odnotowano w próbce z otworu wiertniczego Siedliska IG 1. Porowatością około 15% charakteryzują się piaskowce z otworów: Kock IG 2, Łęczna IG 13, Piaski IG 2, Stanin 1, Stężyca 1 i Tarkawica 1. Piaskowce o porowatości około 10% są powszechne w otworach: Abramów 7, Busówno IG 1, Bychawa IG 1, Dęblin 7, Glinnik 2, Gródek 1, Lubartów IG 3, Lublin IG 1, Łęczna IG 9 i IG 25, Stężyca 2 i

Świdnik IG 1. Piaskowce o niższej porowatości około 5% występują w otworach: Ciecierzyn 1 i 5, Lublin IG 2, Łęczna IG 9 i IG 25, Nasutów 1 i 5, Świdnik 14 i Wilczanka IG 1.

Mułowce reprezentowane są przez mułowce, mułowce piaszczyste i mułowce syderytowe. Często charakteryzują się teksturą kierunkową podkreśloną liniowym ułożeniem materii organicznej, łuszczaków i minerałów ilastych, syderytu i miejscami pirytu. Lokalnie obserwowano w różnym stopniu rozwiniętą syderytację mułowców. Niekiedy syderyt wykształcony jest w formie sferolitów. Skład mineralny mułowców jest analogiczny do składu piaskowców. Miejscami występują odmiany mułowca wapnistego, niekiedy z fragmentami bioklastów. Iłowce reprezentowane są przez iłowce, iłowce mułowcowe i iłowce syderytowe. Głównymi minerałami ilastymi mułowców i iłowców są kaolinit i illit, rzadziej minerały mieszanopakietowe illit-smektyt oraz chloryty. Lokalnie obserwowano syderytację illitu przez syderyt wykształcony w postaci sferolitów. W otworze wiertniczym Kock IG 2 występuje wapień mikrosparytowy z pojedynczymi bioklastami.

POŁUDNIOWO-WSCHODNIA LUBELSZCZYŻNA

Południowo-wschodnia Lubelszczyzna obejmuje 11 otworów wiertniczych (121 próbki skał) usytuowanych w strefie Zamość – Chełm. Są to: Grabowiec IG 4, Komarów 9, Krasnystaw IG 6, Kumów IG 2 i IG 3, Ruskie Piaski IG 2, Telatyn IG 1, Terebin IG 4, Tyszowce IG 1 i IG 2 oraz Ulhówek IG 1.

Próbki piaskowców reprezentują arenity subarkozowe i sublityczne, rzadziej kwarcowe, sporadycznie lityczne drobno- i średnioziarniste oraz waki subarkozowe i sublityczne rzadziej lityczne bardzo drobnoziarniste i drobnoziarniste, lokalnie średnioziarniste. Qf waha się od 0,06 do 0,52 mm, a Qmax od 0,15 do 1,78 mm. Zawartość poszczególnych składników szkieletu ziarnowego przedstawia się następująco: kwarc 19,7 – 74,6 % obj. skały, skalenie (skalenie potasowe i plagioklasy) 0,8 – 17,7%, okruchy skał 0 – 18,7% i łuszczaki 0 – 23,7 % (w arenitach do 8,7%). Z minerałów akcesorycznych występuje głównie cyrkon, rzadziej tytanit w ilości 0 - 2,4%. Głównymi składnikami spoiwa są: matriks ilasto-kwarcowy (w arenitach do 15%, a w wakach >15%) oraz cementy. Wśród cementów powszechnie występuje kwarc autigeniczny (0,9 – 12,3%) w formie obwódek na ziarnach kwarcu. Ponadto obserwowano węglany (0 – 32,0%), wśród których kalcyt przeważa nad ankerytem i syderytem. Minerały węglanowe występują w postaci cementów wypełniających pory piaskowców. Minerały ilaste reprezentowane są głównie przez kaolinit (0 – 8,3%) rzadziej przez illit (0 – 1,0%), które krystalizują w przestrzeni porowej skały. Miejscami występują chloryty (0 -11,0%) w formie obwódek na ziarnach lub wypełnienia porów. Porowatość piaskowców waha się od 0 do 13,4% obj. skały. Najwyższa porowatość odnotowano w próbkach z otworu wiertniczego Grabowiec IG 4. Piaskowce o porowatości około 6% obj. skały są powszechne w otworach: Terebin IG 4 oraz Tyszowce IG 1 i IG2. Piaskowce z większości otworów wiertniczych charakteryzują się porowatością poniżej 5% obj. skały.

Mułowce reprezentowane są przez mułowce, mułowce piaszczyste i mułowce syderytowe. Często charakteryzują się teksturą kierunkową podkreśloną liniowym ułożeniem materii organicznej, łuszczaków i minerałów ilastych oraz syderytu, rzadziej pirytu. Miejscami syderyt wykształcony jest w formie sferolitów. Skład mineralny mułowców jest analogiczny do składu piaskowców. Iłowce reprezentowane są przez iłowce i iłowce mułowcowe. Głównymi minerałami ilastymi mułowców i iłowców są kaolinit i illit, rzadziej minerały mieszanopakietowe illit-smektyt oraz chloryty. W otworze wiertniczym Krasnystaw IG 6 występuje wapień sparytowy.

Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych (Teresa Adamczak, Michał Wojtowicz)

Dla realizacji zadania dla następujących 32 otworów z rejonu Lubelszczyzny zinwentaryzowano i przeanalizowano archiwalne dane petrofizyczne: Abramów 2, 3, 5, 8, 9; Białopole IG-1; Busówno IG-1; Horodło 1; Jarczów IG-2; Kaplonosy IG-1; Kock IG-1; Krowie Bagno IG-1; Lublin IG-1; Łopiennik IG-1; Niedzwica IG-1; Opole Lubelskie IG-1; Parczew IG-1; Pasmug-1; Radzyń IG-1; Roskosz-1; Ruszów IG1-1; Siedliska IG-1; Strzelce IG-1; Strzelce IG-2; Święcica 1; Tarkawica 1; Tarnawatka IG-1; Terebin IG-1; Terebin IG-4; Tomaszów Lubelski IG-1; Wierzbica 1; Wilczanka 1.

Dla tego celu wykorzystano informacje o parametrach petrofizycznych skał znajdujące się w dokumentacjach wynikowych z poszczególnych otworów.

Z dokumentacji tych uzyskano informacje o litologii, gęstości, porowatości i przepuszczalności przebadanych próbek rdzenia wiertniczego z interesujących otworów omawianego obszaru, dla których dane te były dostępne.

Dla potrzeb realizacji tematu badań, próbkom rdzenia przyporządkowano odpowiadającą im stratygrafię. Pozwoliło to na scharakteryzowanie istotnych z punktu widzenia realizacji niniejszego tematu badań poziomów stratygraficznych (J, J3, J2, J1, C, C3, C1, D, D3, D2, D1, S, S3, S1, O, O3, O2, O1, Cm, Cm2, Cm1, Pt) za pomocą wartości gęstości, porowatości i przepuszczalności ich utworów (przykład - **Tabela 1.1.5_13**). Wniosło to również użyteczną informację o litologii skał budujących te poziomy.

Tabela 1.1.5_13 Zestawienie archiwalnych wyników badań petrofizycznych (przykład)

Nazwa otworu	Głębokość [m]	Litologia	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Porowatość całkowita [%]	Przepuszczalność pozioma [mD]	Stratygrafia
Święcica 1	1389,395	łupek ilasty+piaskowiec	2,5	5,11	(<)0,1	C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec	2,54	3,32		C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec+iłowiec	2,44	7,22	0,1	C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec+iłowiec	2,4	7,94	0,1	C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec+iłowiec	2,41	7,99		C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec	2,38	9,9	0,1	C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec+iłowiec	2,41	8	0,1	C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec	2,39	9,84	0,1	C1
Święcica 1	1389,395	piaskowiec	2,37	9,3	0,1	C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec	2,37	10,29	0,1	C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec+iłowiec	2,35	10,04		C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec+iłowiec	2,37	10,8	0,1	C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec+iłowiec	2,36	10,73	0,1	C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec+iłowiec	2,39	9,31	0,1	C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec+iłowiec	2,37	9,99	0,1	C1
Święcica 1	1395,404	piaskowiec+iłowiec	2,35	10,99	0,3	C1

Na podstawie wyników analiz laboratoryjnych porowatości i przepuszczalności realizowanych przez INiG w zadaniu 1.3.2, oraz wyników badań archiwalnych sporządzono zależność przepuszczalności skał zbiornikowych górnego karbonu od porowatości efektywnej (Fig. 1.1.5_4). Zależność tą wykorzystano następnie do szacowania przepuszczalności w wybranych otworach, na podstawie wartości porowatości efektywnej otrzymanej z interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej.

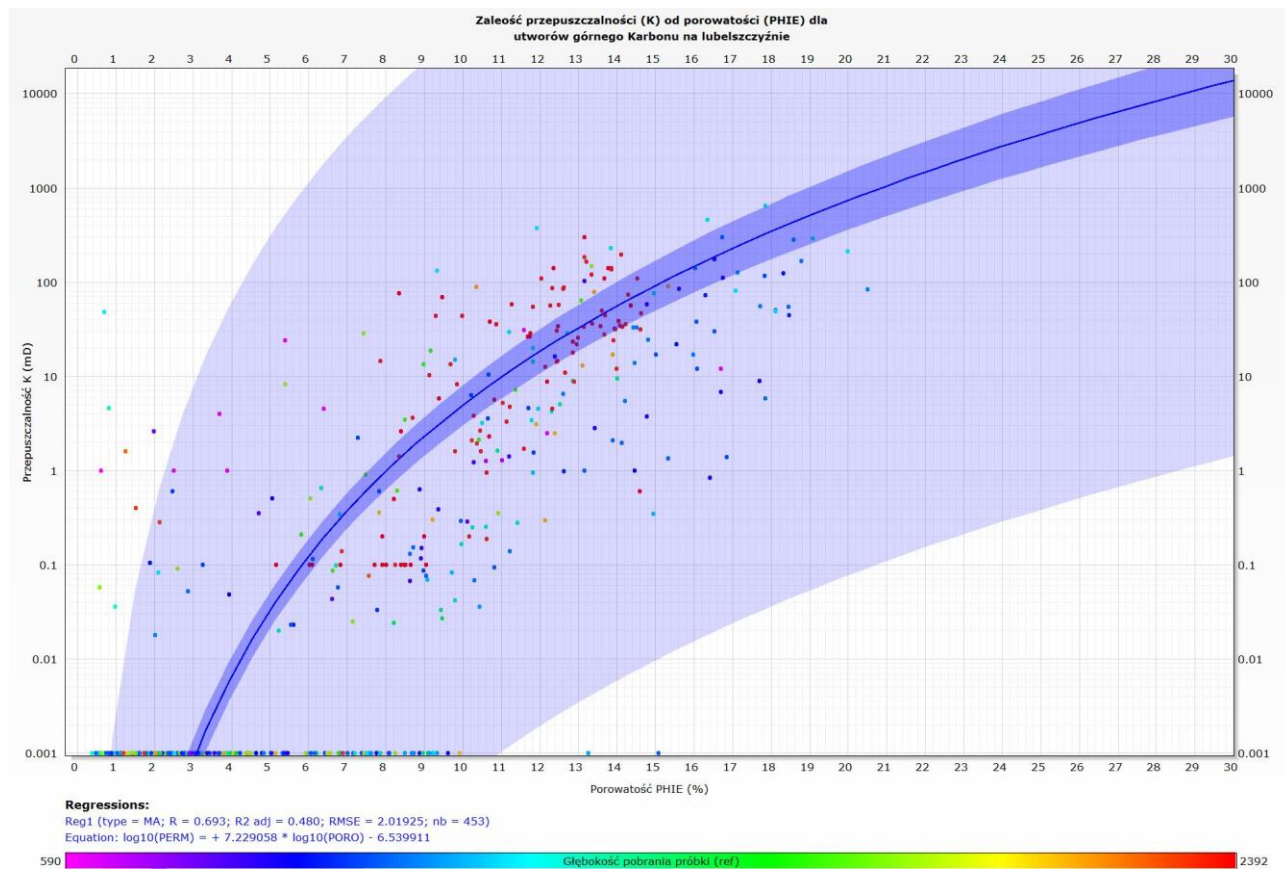


Fig. 1.1.5_4 Zależność przepuszczalności od porowatości efektywnej dla utworów karbonu górnego na Lubelszczyźnie na podstawie wyników nowych i archiwalnych badań laboratoryjnych (M. Wojtowicz)

Rejon VI - Wielkopolska - Kujawy

Wyniki analiz petrologicznych (Marta Kuberska)

W rejonie wytypowane zostały do opróbowania profile od karbonu do kredy.

Niekiedy systematyczne pobranie próbek było niemożliwe z uwagi na niepełne rdzeniowanie w otworach oraz bardzo zły stan zachowania starych rdzeni wiertniczych.

Pobrano do badań próbki rdzeni z 45 otworów.

Brda - 3

Brda - 5

Brda - 7

Bronków – M-27

Brześć Kujawski IG-1

Brzezie - 1

Byczyna - 1

Bydgoszcz IG-1

Charzykowy IG-1

Chośnice - 5

Ciechocinek IG-1

Ciechocinek IG-3

Cieptów K-4

Cykowo IG-1

Czarne - 2

Czarne - 5

Człuchów IG-1

Człuchów IG-2

Debrzno IG-1

Drozdowice FX-1

Golub Dobrzyń - 1

Gostynin IG-1
Gronowo - 1
Kobylnica - 1
Koło IG-3
Koło IG-4
Kurowo - 1
Kurowo - 2
Młyny - 1
Niekłonicze - 1
Pagórki IG-1
Podbrzezie Dolne K-6
Ponętów - 2
Przybyłów - 1
Radnica - 1
Rzecenica - 1
Słocina IG-1
Stypułków K-17
Szubin IG-1
Tuchola IG-1
Witkowo - 1
Wrociszów K-3
Wudzyn - 1

Badania petrograficzne na obszarze Kujaw objęty skały od karbonu do kredy.

Karbon został opisany w otworze wiertniczym Kurowo 1 w dwóch próbkach. Są to piaskowce drobno- i średnioziarnisty o składzie arenitu kwarcowego. Głównym składnikiem jest kwarc mono- i polikrystaliczny (70,3-74,0 % obj.), podrzędnie występują skalenie (1,0-1,3 % obj.) oraz litoklasty (0,0-0,7 % obj.). Zauważono także łuszczyki. Piaskowce scementowane są spoiwem kwarcowym (1,7-11,0 % obj.), występującym w postaci obwódek na ziarnach detrytycznych kwarcu oraz jako wypełnienia przestrzeni

porowych. Poza tym występuje spoiwo węglanowe (0,7-4,0 % obj.), siarczanowe (0,3-0,7 % obj.) i kaolinitowe (0,0-0,7 % obj.). Matriks ilasto-żelazisty występuje w niewielkich ilościach (2,3-5,7 % obj.). W piaskowcach odnotowano porowatość pierwotną i wtórną, powstałą na skutek procesów rozpuszczania i przeobrażania ziaren. Porowatość ta, zliczona planimetrycznie wynosi 12,6-12,7 % obj.

Czerwony spągowiec został opisany w otworach wiertniczych: Stypułów K-17, Radnica 1, Słocina IG1, Ciepeliów K-4, Podbrzezie Dolne K-6, Wrociszów K-3, Drozdowice FX-1, Bronków M-27 w 28 próbkach. Wyróżniono zlepieńce i piaskowce.

Zlepieńce są to najczęściej skały szarobrunatne, brunatne, przeważnie drobnoziarniste. Obtoczenie okruchów żwiru jest zróżnicowane – oprócz ziaren ostrokrawędzistych lub słabo obtoczonych o zarysach izometrycznych widoczne są ziarna dobrze obtoczone o zarysach elipsoidalnych, niekiedy silnie wydłużonych. Wśród ziaren żwiru dostrzeżono głównie okruchy skał wulkanicznych i osadowych, okruchy skał metamorficznych i plutonicznych obserwowano rzadziej. Masa wypełniająca opisywanych zlepieńców złożona jest z ostrokrawędzistych lub półobtoczonych ziaren kwarcu, skaleni potasowych i mikroperytów, kwaśnych plagioklazów, a także z fragmentów wymienionych wyżej skał o wielkości ziaren frakcji psamitowej. Spoiwo zlepieńców jest węglanowe, przeważnie kalcytowe, miejscami ilasto-żelaziste. Porowatość w zlepieńcach jest bliska zeru, maksymalnie dochodzi do 2,0 % obj.

Opisywane piaskowce, występujące w analizowanych osadach czerwonego spągowca, to najczęściej skały czerwobrunatne, szarobrunatne, niekiedy jasnoszare. Często zauważa się plamiste zabarwienie jasnoszaro-brunatne. Odznaczają się strukturą psamitową, rzadko psamitowo-pelitową, drobno- lub średnioziarnistą, teksturą przeważnie bezładną. Z uwagi na zawartość matriksu wyróżniono tu arenity i waki, a wśród nich wyróżniono piaskowce sublityczne, subarkozowe i lityczne. Kwarc (40,0-64,4 % obj.) jest głównym składnikiem materiału detrytycznego. Są to najczęściej ziarna półobtroczone, miejscami ostrokrawędziste lub obtoczone. Skalenie (4,3-16,0 % obj.) występują w postaci ziaren ostrokrawędzistych. Zaobserwowano tu ziarna skaleni potasowych i kwaśnych plagioklazów. Niektóre z nich częściowo uległy argilityzacji lub kalcytyzacji. Okruchy skalne (2,3-24,7 % obj.) są najczęściej reprezentowane przez fragmenty skał wulkanicznych o podobnym składzie, jak te opisywane w zlepieńcach, miejscami obserwowano fragmenty piaskowców drobnoziarnistych, mułowców i iłowców. Łyszczki występują w postaci drobnych blaszek bezbarwnego muskowitu i brunatnego biotyту. Wśród minerałów akcesorycznych odnotowano ziarna ilmenitu, cyrkonu, turmalinu. W spoiwie opisywanych piaskowców dostrzeżono minerały węglanowe (0,0-30,3 % obj.), kwarc autogeniczny (0,0-8,3 % obj.), anhydryt (0,0-7,7 % obj.), minerały ilaste: illit (0,0-5,3 % obj.), chloryt (0,0-1,3 % obj.), kaolinit (0,0-5,3 % obj.). Poza tym notuje się tlenki i wodorotlenki żelaza, tworzące drobne skupienia, a także wchodzące w skład obwoidek ilasto-żelazistych na ziarnach detrytycznych oraz rozproszony ilasto-żelazisty matriks. Porowatość w piaskowcach waha się od 0,0 do 17,0 % obj.

Cechsztyń opisano na podstawie jednej próbki z otworu Kurowo 1. Jest to piaskowiec średnioziarnisty o składzie arenitu kwarcowego. W skład jego wchodzi kwarc mono- i polikrystaliczny (82,0 % obj.). Piaskowiec scementowany jest spoiwem kwarcowym (2,7 % obj.) i węglanowym (1,0 % obj.), poza tym występuje spoiwo typu matriks (3,0 % obj.). Porowatość w próbce określono na 11,3 % obj.

Trias opisano na podstawie 34 próbek z otworów wiertniczych: Kurowo 2, Tuchola IG1, Debrzno IG1, Bydgoszcz IG1, Biały Bór 3, Czarne 2, 5, Wysoka 8, Chojnice 5, Dźwirzyno 3, Człuchów IG1, IG2, Brzezie 1, Rzeczenica 1, Niekłonicze 1, Szubin IG1. Wyróżniono piaskowce o składzie arenitów i wak kwarcowych,

subarkozowych, sublitycznych i litycznych, mułowce ilasto-żelaziste, żelazisto-piaszczyste, iłowce piaszczyste oraz wapienie i skały margliste.

Piaskowce zbudowane są głównie z ziaren kwarcu mono- i polikrystalicznego (13,6-75,6 % obj.), skaleni (1,3-22,0 % obj.), litoklastów (0,0-29,3 % obj.). Poza tym odnotowano łyszczyki (0,0-16,0 % obj.), minerały nieprzezroczyste i akcesoryczne oraz sporadycznie glaukonit. Wzbogacenie w łyszczyki występuje głównie w piaskowcach najniższego triasu. Piaskowce scementowane są przeważnie spoiwem węglanowym, miejscami występuje kwarc autogeniczny, kaolinit, chloryty lub illit. W odmianach wak głównym składnikiem spoiwa (ponad 15,0 % obj.) jest matriks ilasto-żelazisty. Porowatość piaskowców policzona w płytkach cienkich wynosi od 0,0 do 23,8 % obj.

Pozostałe skały (mułowce ilasto-żelaziste, żelazisto-piaszczyste, iłowce piaszczyste oraz wapienie i skały margliste) stanowią poziomy izolujące. W niektórych przebadanych próbkach, szczególnie mułowców porowatość dochodzi do 5,0 % obj.

Jurę opisano na podstawie 134 próbek z następujących otworów wiertniczych: Brda 3, 5, 7, Brześć Kujawski IG1, Wudzyń 1, Kobylnica 1, Brzezina 1, Charzykowy IG1, Chojnice 5, Cyków IG1, Ponętów 2, Byczyna 1, Gostynin IG1, Golub Dobrzyń 1, Gronowo 1, Ciechocinek IG1, IG3, Kurowo 1, 2, Tuchola IG1, Myślibórz GN1, Biały Bór 3, Pławno 1, Stargard Szczeciński 1, Gozd 4, Człuchów IG1, IG2, Rzeczenica 1. Wśród opisywanych skał wyróżniono piaskowce, mułowce i iłowce oraz wapienie piaszczyste i oolitowe.

Piaskowce są to najczęściej arenity, bardzo rzadko waki, przeważnie kwarcowe, sporadycznie subarkozowe lub sublityczne. Cechą charakterystyczną piaskowców jest ich dość monotony skład mineralny. Głównym składnikiem mineralnym szkieletu ziarnowego piaskowców jest kwarc, który przeciętnie stanowi około 70% obj. skały. Skalenie reprezentowane przez skalenie potasowe oraz kwaśne plagioklasy występują w niewielkiej ilości, przeciętnie około 1% obj. skały. Błazki łyszczyków, głównie muskowitu i chlorytu są powszechnie obserwowane w piaskowcach. W arenitach zawartość ich przeważnie nie przekracza 1% obj. skały. Z minerałów ciężkich dostrzeżono cyrkon i rutil. W badanych piaskowcach stwierdzono również obecność litoklastów najczęściej w ilości około kilku procent. Spoiwo w piaskowcach ma charakter porowy. Przestrzenie między ziarnami detrytycznymi są wypełnione matriksem i/lub cementem. Spoiwo w wielu badanych arenitach występuje skąpo, czego efektem jest ich wysoka porowatość sięgająca lokalnie 36,6 % obj. Matriks najczęściej tworzy mieszanina detrytycznych minerałów ilastych, pyłu kwarcowego, wodorotlenków żelaza i substancji węglistej. Cement natomiast reprezentowany jest przez minerały diagenetyczne, wśród których wyróżniono: kwarc, minerały ilaste, węglany oraz lokalnie hematyt i piryt. W piaskowcach jury największe znaczenie odgrywa cement kwarcowy. Tworzy on obwódki syntaksjalne na ziarnach kwarcu zarastając przestrzenie porowe częściowo, a miejscami całkowicie. Autigeniczne minerały ilaste reprezentowane są głównie przez kaolinit. Cementy węglanowe reprezentowane są głównie przez syderyt (minerał szeregu izomorficznego syderyt-magnezyt) i ankeryt oraz sporadycznie kalcyt.

Skład mineralny mułowców jest analogiczny do składu piaskowców. Materiał detrytyczny jest najczęściej nieobtoczony. Masa podstawowa złożona jest z minerałów ilastych, pyłu kwarcowego oraz miejscami rozproszonych wodorotlenków żelaza i substancji węglistej. Analiza rentgenowska jednej z próbek z otworu Pławno 1 wykazała obecność kwarcu, kalcytu, pirytu, skaleni, ślady gipsu a z minerałów ilastych illitu, illitu/smektytu (75% illitu), kaolinitu i chlorytów.

İłowce są skałami pelitowymi lub pelitowo-aleurytowymi, złożonymi głównie z ilastej masy podstawowej bogatej w illit, miejscami illit-smektyt (75% illitu), kaolinit i chloryt. Zawierają one także pył kwarcowy,

drobną sieczkę roślinną, wodorotlenki żelaza, substancje węglistą i piryt, a niekiedy syderyt w postaci drobnokrystalicznej lub promienistych sferolitów. W iłowcach często obserwujemy blaszki muskowitu, biotyту i chlorytu.

Mułowce, iłowce i wapienie charakteryzują się niskimi porowatościami.

Osady kredy opisano na podstawie 31 próbek z następujących otworów wiertniczych: Koło IG3, IG4, Młyny 1, Pagórki IG1, Przybyłów 1, Gostynin IG1, Ponętów 2, Wudzyń 1.

Wyróżniono tu piaskowce, iłowce i skały syderytowe. Piaskowce reprezentowane są głównie przez arenity kwarcowe. Są to skały grubo-, średnio- i drobnoziarniste. Wykazują strukturę psamitową, teksturę bezładną. Materiał detrytyczny reprezentują ziarna przeważnie półobtoczone. Upakowanie materiału detrytycznego wyraża się obecnością kontaktów prostych, miejscami wkłęsło-wypukłych.

Podstawowym składnikiem szkieletu ziarnowego jest kwarc. Wyróżniono tu ziarna kwarcu mono- i polikrystalicznego. Zauważono także śladowe ilości skalenia o składzie skalenia potasowego. Spoiwo piaskowca tworzy drobnokrystaliczny cement węglanowy, reprezentowany przez kalcyt występujący głównie w postaci osobników anhedralnych. Drugim ważnym składnikiem spoiwa jest kwarc autigeniczny. Występuje on w postaci obwódek na ziarnach kwarcu detrytycznego lub w postaci izolowanych kryształów w przestrzeni porowej piaskowca. Sporadycznie obserwowano spoiwo typu matriks złożone z substancji ilastej.

Opisywane piaskowce charakteryzują się dość dobrą porowatością. Porowatość określona planimetrycznie wynosi od 4,4 do 31,2 % obj. skały.

Íłowce wykazują strukturę pelitową lub aleurytowo-pelitową, miejscami teksturę kierunkową. Są to skały zwarte, najprawdopodobniej o bardzo niskiej porowatości.

Dodatkowo do analizy skał czerwonego spągowca dołączono opisy archiwalnych płytek cienkich skał z 64 otworów wiertniczych. Skały te reprezentują osady grupy Warty i grupy Odry. Są to zlepieńce i piaskowce, miejscami mułowce lub iłowce. Poza tym przeanalizowano opisy płytek cienkich skał z 12 otworów wiertniczych, dotyczących mezozoiku. Opisy te wykonała i przekazała dla potrzeb niniejszego tematu Prof. dr hab. Anna Maliszewska.

**Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych
(Teresa Adamczak, Michał Wojtowicz)**

Dla realizacji zadania dla następujących 94 otworów wiertniczych rejonu Wielkopolska-Kujawy zarchiwizowano dostępne dane petrofizyczne: Aleksandrówka 2, Antonin 4, Antonin 6, Babimost 1, Babimost 3, Barnówko 5, Bączyna 1, Barnówko 1, Bogdaj 3, Bogdaj 6, Bogdaj 7, Bogdaj-Uciechów 45, Borzęcin 1, Bronów 2, Brzozów 1, Brzózka 2, Czeklin 4, Dachów 1, Dąbrowa 1, Dychów 1, Garki 4, Garki 5, Góra 1, Góra 3, Góra 11, Gubin 1, Henrykowice 2, Henrykowice 3, Henrykowice 5, Kaniów 1, Kargowa 2, Kowalowo 1, Kowalowo 2, Kowalowo 3, Lelechów 6, Lelików 1, Lelików 3, Lelików 6, Lelików 7, Ługowo 2, Mikulice 1, Niwiska 1, Odolanów 3, Ośno IG-2, Radnica 1, Radoszyn 2, Sośnie 1, Surmin 1, Stare Kramsko 1, Strużka 1, Sulmierzyce 1, Szklarka 2, Szklarka 5, Środa IG-3, Świeca 1, Świeca 6, Tarchały 4, Uciechów 6, Uciechów 4, Wężyska 2, Wichów 1, Wierzowice 15, Wiewierz 2, Wiewierz 5, Wiewierz 8, Wilcze 7, Wróbliniec 2, Załęcze 7, Załęcze 5, Załęcze 6, Załęcze 11, Żarków 3, Żuchłów 1, Żuchłów 2, Żuchłów 3, Żuchłów 4, Żuchłów 5, Żuchłów 6, Żuchłów 7, Żuchłów 9, Żuchłów 10, Żuchłów 12, Żuchłów 13, Żuchłów 14, Żuchłów 15, Żuchłów 16, Żuchłów 17, Żuchłów 18, Żuchłów 19, Żuchłów 20, Żuchłów 25, Żuchłów 26, Żuchłów 27, Żuchłów 32. W tym celu wykorzystano dane o parametrach petrofizycznych skał znajdujące się w dokumentacjach wynikowych z poszczególnych otworów.

Z dokumentacji tych oraz z innych dostępnych opracowań uzyskano informacje o litologii, gęstości, porowatości i przepuszczalności przebadanych próbek rdzenia wiertniczego z interesujących otworów omawianego obszaru, dla których dane te były dostępne.

Dla potrzeb realizacji tematu badań, próbkom rdzenia przyporządkowano odpowiadającą im stratygrafię. Pozwoliło to na scharakteryzowanie istotnych z punktu widzenia realizacji niniejszego tematu badań poziomów stratygraficznych (J, T, P, C) za pomocą wartości gęstości, porowatości i przepuszczalności ich utworów (przykład - **Tabela 1.1.5_14**). Wniosło to również użyteczną informację o litologii skał budujących te poziomy.

Tabela 1.1.5_14 Zestawienie archiwalnych wyników badań petrofizycznych

(przykład dla otworu Ośno IG2)

Głębokość [m]	Litologia	Gęstość właściwa [g/cm ³]	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Porowatość efektywna [%]	Porowatość całkowita [%]	Przepuszczalność pozioma [mD]	Stratygrafia
1 077,00	iłowiec	2,74	2,23	15,3	18,61		T3
1 119,00	piaskowiec	2,65	1,88	28,1	29,05		T3
1 122,80	piaskowiec	2,53	2	19,9	20,99	0,4	T3
1 123,60	iłotupki	2,63	1,86	27,1	29,28	215	T3
1 123,70	margiel	2,57	2,11	12,5	14,01		T3
1 145,00	margiel	2,79		15,9			T3
1 200,00	iłotupki margliste	2,78	2,19	18,8	21,22		T3
1 230,50	iłowiec	2,59		13,2			T3
1 262,00	iłowiec	2,71					T3
1 270,00	iłowiec			16,1			T3
1 290,30	wapień	2,72	2,3	9,5	13,97		T3

1 298,00	wapień	2,66	2,23		16,16		T2
1 343,00	wapień	2,66	2,35	4,4	11,65	0,1	T2
1 382,50	wapień	2,62	2,42	6,1	7,63	0,22	T2
1 443,40	wapień	2,72	2,55	1,1	6,26	0,5	T2
1 489,70	wapień	2,73	2,69	1,1	1,46	0,25	T2
1 500,60	wapień	2,67	2,58	0,8	3,37	1,7	T2
1 502,30	wapień	2,68	2,57	1,9	4,1		T2
1 606,80	wapień marglisty	2,69	2,57	0,8	4,42	1,1	T1
1 607,70	margiel	2,77	2,52	1,6	9,02	1,6	T1
1 610,30	iłowiec marglisty	2,75	2,48	2,7	9,81		T1
1 650,30	iłowiec dolomityczny	2,79	2,72	0,8	2,5	0,4	T1
1 651,30	dolomit wapnisty	2,81	2,65	4,6	5,69	0,22	T1
1 680,00	iłowiec	2,87	2,77	2,2	3,45	3,7	T1
1 688,80	anhydryt	2,92	2,87	0,6	1,71	0,1	T1
1 722,50	iłowiec	2,75	2,37	12,3	13,8	1,51	T1
1 753,50	wapień marglisty	2,75	2,63	2,5	4,8	0,1	T1
1 791,50	wapień oolitowy	2,72	2,66	2,1	2,2	0,1	T1
1 793,10	wapień marglisty	2,72	2,65	2,2	2,93	0,1	T1
1 842,60	mułowiec	2,81	2,46	6,9	12,5	1,45	T1
1 844,50	mułowiec piaskowiec	2,79	2,48	10,8	11,9		T1
1 893,80	mułowiec	2,65	2,56	2,7	3,3	0,1	T1
1 922,00	mułowiec	2,7	2,54	3,5	5,9	0,1	T1
2 135,00	piaskowiec	2,74	2,64	1,4	3,64	0,1	T1
3 190,10	anhydryt	2,94	2,91	0,55	1,02	0,79	P
3 202,10	anhydryt	2,93	2,92	0,35	0,35	0,87	P
3 204,70	wapień	2,71	2,7	0,3	0,37	0,34	P
3 205,50	wapień	2,72	2,71	0,25	1,1	0,54	P
3 206,50	wapień marglisty	2,7	2,52	0,5	7,4	0,44	P
3 208,10	wapień marglisty	2,74	2,71	0,2	1,44	0,39	P
3 212,00	piaskowiec	2,54	2,52	0,8	1,9	1,15	P - C
3 212,80	zlepieniec	2,56	2,51	3,2	3,3	0,41	P - C
3 214,00	piaskowiec	2,57	2,52	3	3,5	0,22	P - C
3 216,20	piaskowiec	2,58	2,62	1		0,1	P - C
3 217,00	piaskowiec	2,53	2,5	1,4	2,37	0,9	P - C
3 218,70	brekcja wulkaniczna	2,58	2,55	4,6	2,71	5,3	P - C
3 220,70	piaskowiec	2,54	2,41	8,1	9,06	6,2	P - C
3 223,20	brekcja wulkaniczna	2,56	2,42	6,6	7,42	3	P - C
3 224,00	brekcja wulkaniczna	2,57	2,52	4,6	5,52	0,42	P - C
3 226,70	brekcja wulkaniczna	2,61	2,59	1,5	1,91	0,28	P - C
3 230,20	brekcja wulkaniczna	2,6	2,58	3,6	3,69	0,15	P - C
3 231,00	brekcja wulkaniczna	2,58	2,51	3,2	4,65	0,1	P - C
3 233,50	piaskowiec	2,54	2,41	3,4	6,29	0,1	P - C
3 235,00	brekcja wulkaniczna	2,58	2,44	3,4	7,75	0,14	P - C
3 239,00	brekcja wulkaniczna	2,57	2,48	5,2	5,44	0,12	P - C
3 246,00	piaskowiec	2,54	2,48	2,8	3,54	0,17	P - C

3 248,00	piaskowiec	2,53	2,49	2,5	2,76	0,13	P - C
3 250,00	brekcja wulkaniczna	2,59	2,45	2,2	7,33	0,22	P - C
3 282,50	wylewne	2,58	2,5	4,9	5,42	0,32	P - C
3 284,50	wylewne	2,59	2,44	9,8	10,81	0,37	P - C
3 290,50	wylewne	2,58	2,4	6,9	6,59	0,18	P - C
3 292,50	wylewne	2,6	2,45	5,7	10	0,21	P - C
3 294,50	wylewne	2,59	2,47	5,4	7,7		P - C
3 325,90	wylewne	2,78	2,62	1	6,83	0,1	P - C
3 331,80	wylewne	2,66	2,45	4,2	10,9	0,1	P - C
3 436,20	wylewne	2,59	2,4	6,9	7,33		P - C
3 438,00	wylewne	2,63	2,5	3,7	4,94		P - C
3 543,10	wylewne	2,71	2,53	5,1	6,64	0,1	P - C
3 548,20	wylewne	2,69	2,55	5	5,2	0,1	P - C
3 657,90	wylewne	2,67	2,6	4	2,99	0,2	P - C
3 814,50	wylewne	2,6	2,55	2,2	1,9	0,95	P - C
3 930,00	wylewne	2,65	2,57	2,3	3,02	0,5	P - C
4 099,80	wylewne	2,71	2,63	4,1	2,95	0,3	P - C
4 178,50	wylewne	2,68	2,57	6,1	5,15	1,3	P - C
4 185,20	wylewne	2,64	2,53	6,2	7	1	P - C
4 188,80	wylewne	2,7	2,63	3,8	2,6	1,5	P - C
4 261,80	wylewne	2,71	2,63	1,1	3	2,4	P - C
4 267,60	wylewne	2,7	2,62	1,1	3	3	P - C
4 275,20	wylewne	2,7	2,62	1,8	3	0,5	P - C
4 345,00	wylewne	2,71	2,63	1,8	2,9	0,25	P - C
4 356,10	wylewne	2,65	2,63	0,5	0,8	0,3	P - C
4 402,90	wylewne	2,69	2,64	0,7	1,8	8,7	P - C
4 412,10	wylewne	2,71	2,63	1,7	2,9	4,4	P - C
4 491,80	wylewne	2,7	2,64	1,4	1,9	1,9	P - C
4 504,20	wylewne	2,71	2,65	1,6	2,1	2,4	P - C
4 512,30	wulkanogeniczne	2,71	2,64	1,7	2,5	1,9	P - C
4 519,10	wulkanogeniczne	2,69	2,63	2,1	2,5	2,1	P - C
4 584,90	wylewne	2,7	2,6	1,2	3,8	1,2	P - C
4 593,40	wylewne	2,69	2,62	1,5	2,4	0,5	P - C
4 678,50	wylewne	2,69	2,64	1,7	1,8	1	P - C
4 686,50	wylewne	2,7	2,68	2	1,3	0,7	P - C
4 835,50	wulkanogeniczne	3,02	2,7	2,4	10,6	0,5	P - C
4 850,00	wulkanogeniczne	2,98	2,68	1,7	10,1	1	P - C
4 851,00	wylewne	2,87	2,66	0,7	7,3	0,7	P - C
4 855,00	iłowiec	2,79	2,73	0,9	2,15	0,9	P - C
4 857,00	iłowiec	2,87	2,73	0,4	1,39	0,4	P - C
4 860,00	wulkanogeniczne	2,86	2,84	0,3	0,7	0,3	P - C
4 872,70	wulkanogeniczne	2,75	2,64	1,1	4	1,1	P - C
4 884,70	wylewne	2,7	2,67	0,7	1,1	0,7	P - C
4 898,30	wylewne	2,73	2,64	0,3	3,2	0,3	P - C
4 903,30	wylewne	2,69	2,63	0,6	2,2	0,8	P - C

4 916,50	wylewne	2,71	2,6	0,6	4,1	0,6	P - C
4 921,50	wylewne	2,74	2,62	0,7	4,7	0,7	P - C
4 930,00	wylewne	2,78	2,64	0,3	4	0,3	P - C
4 936,00	wylewne	2,73	2,61	0,4	4,4	0,4	P - C
4 942,00	wylewne	2,7	2,6	0,8	3,7	0,8	P - C
4 960,00	wylewne	2,71	2,63	0,6	3	0,6	P - C

Na podstawie archiwalnych wyników analiz laboratoryjnych porowatości i przepuszczalności dla obszaru jednej ze struktur w południowej części obszaru Vi sporządzono zależność przepuszczalności skał zbiornikowych czerwonego spągowca od porowatości efektywnej (Fig. 1.1.5_5). Zależność tą wykorzystano następnie do szacowania przepuszczalności w wybranych otworach, na podstawie wartości porowatości efektywnej otrzymanej z interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej.

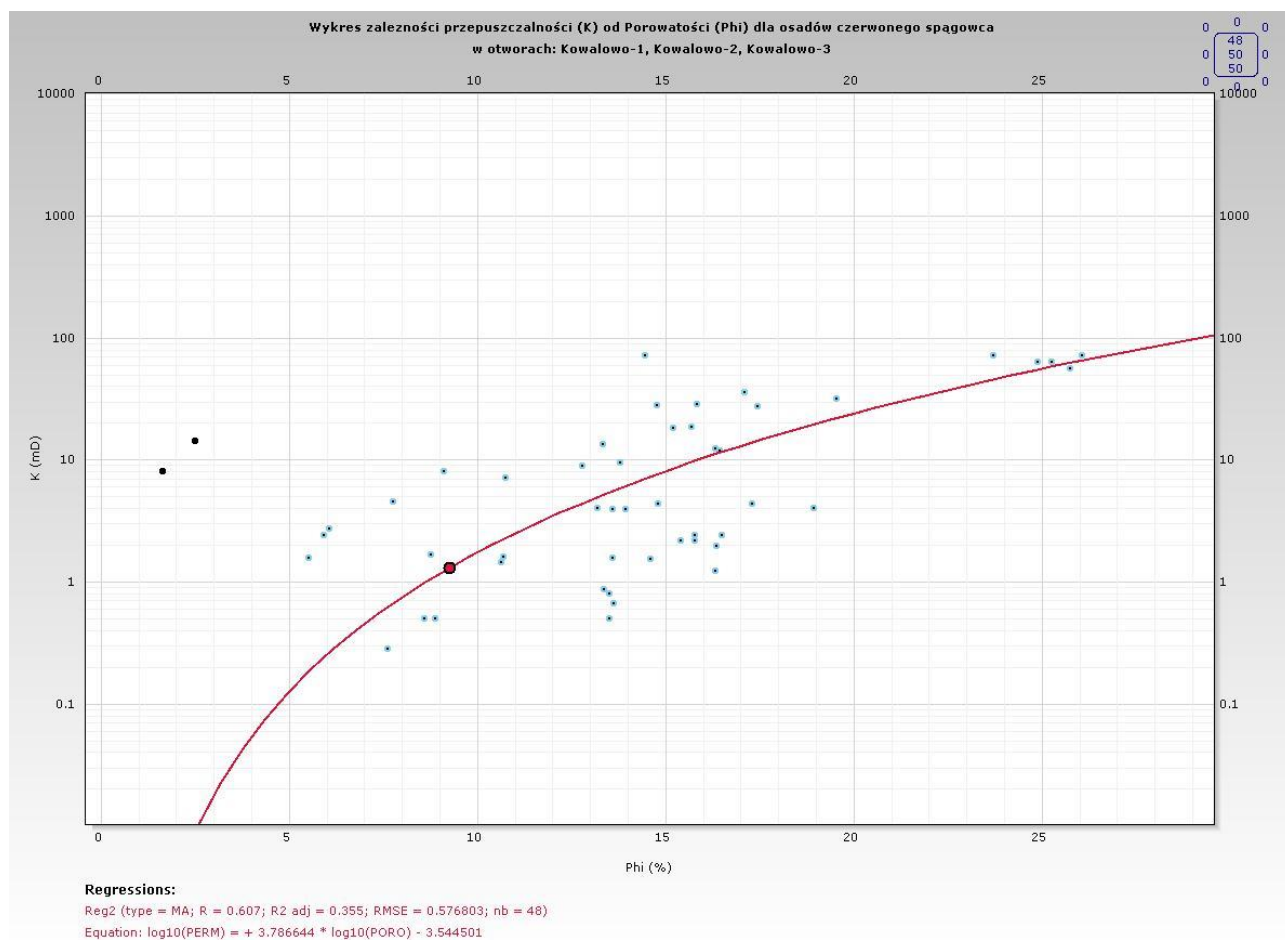


Fig. 1.1.5_5 Zależność przepuszczalności od porowatości efektywnej dla utworów karbonu górnego na Lubelszczyźnie na podstawie wyników nowych i archiwalnych badań laboratoryjnych (M. Wojtowicz)

Rejon VII - NW Polska

Wyniki analiz petrograficznych (Magdalena Sikorska-Jaworowska)

W Polsce NW (Rejon VII) do opróbowania wytypowano przede wszystkim profile jurajskie, a w dalszej kolejności triasowe, kredowe i karbońskie. Wśród pobranych próbek rdzeni przeważają zdecydowanie piaskowce, niewielką grupę stanowią mułowce podobnie jak wapienie, a sporadycznie reprezentowane są iłowce, niekiedy margle.

W niektórych profilach systematyczne pobranie próbek było niemożliwe z uwagi na bardzo zły stan zachowania starych rdzeni wiertniczych.

Ogółem pobrano 234 próbek rdzeni wiertniczych z 62 otworów:

Białogard - 5

Biały Bór - 3

Biały Bór - 5

Biały Bór - 7

Chabowo - 1

Chabowo - 2

Chociwel - 2

Chociwel - 3

Chabowo - 3

Czaplinek IG-1

Czaplinek IG-2

Człopa - 1

Człopa - 2

Dunowo - 1

Dźwirzyno - 3

Gościno IG-1

Gozd - 2

Gozd - 4

Grzybnica IG-1
Jamno IG-1
Jamno IG-3
Janowiec - 3
Kamień Pomorski - 2
Karsina - 1
Kłanino - 1
Kłanino - 2
Kłanino - 3
Kołobrzeg IG-1
Laska - 1
Mąkowary - 1
Mężyk - 1
Myślibórz GN-1
Oświno IG-1
Petrykozy - 1
Piła IG-1
Pławno - 1
Połczyn IG-1
Radęcin - 1
Reclaw IG-1
Rokita IG-1
Rosnowo - 1
Sarbinowo - 1
Stargard Szczeciński - 1
Szczecin IG-1
Szczecinek IG-1

Tychowo - 2

Tychowo PIG-2

Ustronie IG-1

Wapnica 2k

Warnowo - 1

Warnowo - 5

Wągrowiec IG-1

Wierzchowo - 8

Wierzchowo - 9

Wierzchowo - 10

Wierzchowo - 12

Wolin IG-1

Wysoka Kamieńska - 8

Każda płytka cienka była nasączona zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów).

Obserwacje wykonano na mikroskopach polaryzacyjnych, a analizy planimetryczne przy pomocy urządzeń zliczających punkty pomiarowe (minimum 300 w każdej płytce cienkiej).

Planimetrowano piaskowce, niekiedy mułowce, natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane, nazwy np. wapień ilasto-piaszczysty czy oosparyt. Wyniki analizy planimetrycznej zawarte w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.

Dodatkowo zbadano uziarnienie skał okruchowych podając średnicę najczęstszego (Qf) i największego (Qmax) ziarna kwarcu w płytce cienkiej.

Wyniki dla każdego otworu wiertniczego zestawiono w oddzielnej tabeli (wprowadzone do bazy - patrz **1.1.10**).

SKAŁY JURAJSKIE

Badania mikroskopowe pozwoliły wyróżnić wśród analizowanych próbek rdzeni różne typy skał. Wśród piaskowców przeważają arenity kwarcowe, częste są też arenity subarkozowe, natomiast rzadziej reprezentowane są arenity arkozowe; sublityczne oraz waki kwarcowe, sublityczne, lityczne, subarkozowe, arkozowe. W zbadanych próbkach niewielki udział mają mułowce, iłowce, margle oraz wapienie.

Pomiary wielkości ziaren kwarcu wskazują, że większość piaskowców jest drobno- i bardzo drobnoziarnista, a tylko niewielka część zalicza się do piaskowców średnioziarnistych. Wysortowanie materiału detrytycznego jest bardzo zróżnicowane.

Szczegółowe analizy planimetryczne piaskowców wykazały dużą zmienność ilościowego składu mineralnego. Rola kwarcu, głównego składnika szkieletu ziarnowego, jest dominująca. Jego udział stanowi zwykle powyżej 50% obj. skały, a w kilku przypadkach dochodzi do ok. 80% obj. Skalenie pojawiają się często, lecz w bardzo zmiennych ilościach. Maksymalne zawartości tych minerałów przekraczają 10% (Myślibórz GN 1 – 14,6 % obj., Chabowo 1 – 10,6 % obj.) lecz najczęściej ilość skaleni w próbkach jest rzędu kilku procent. Okruchy skał występują rzadziej i w mniejszych nagromadzeniach niż skalenie. Najczęściej ich zawartość w skale jest rzędu 1 - 2 % i tylko w pojedynczych próbkach przekracza 5 % obj. (Biały Bór 3 – 6,3 % obj.; Myślibórz GN 1 – 5,2 % obj.).

Spoiwo typu matriks występuje w zmiennych ilościach, a w próbkach bardzo porowatych nie ma go w ogóle. Cementy reprezentowane są głównie przez węglany, ale notowano niekiedy obecność chlorytów, siarczanów, kaolinitu, illitu oraz kwarcu autogenicznego (w przypadku kwarcu często cement jest obecny lecz nie da się go ilościowo oznaczyć, kiedy tworzy regeneracyjne obwódki).

Metodą planimetryczną określono zawartość pustych porów w skałach. Obliczona porowatość „mikroskopowa” w skałach jurajskich jest bardzo wysoka, co potwierdza słuszność typowania tej formacji na główny kolektor dla składowania CO₂. Najczęściej porowatość wynosi kilkanaście procent, ale w wielu próbkach przekracza 20 % obj. skały, a w kilku sięga powyżej 30 % (Chabowo 2 – 32,6 %; Chabowo 1 – 31,0, 30,6, 30,3 %). Należy podkreślić, że wartości porowatości w skałach jurajskich w danym otworze wiertniczym ulegają niekiedy znacznym wahaniom np. w profilu Człopa 2 przy bardzo wysokich wartościach porowatości powyżej 20 % jedna próbka ma porowatość 2,0 %, a w profilu Chabowo – 2 w interwale głębokości 720 – 800 m porowatość wynosi poniżej 2 %, a w interwale 1100 – 1200 m osiąga wartości rzędu 26 – 32 %.

SKAŁY TRIASOWE

Wśród pobranych próbek skał triasowych zdecydowanie dominują piaskowce i tylko pojedyncze próbki to skały mułowcowo-iłowcowe.

Na podstawie badań mikroskopowych większość badanych piaskowców (ok. 2/3) sklasyfikowano jako arenity, wśród których najczęściej obecne są odmiany subarkozowa i sublityczna, natomiast znacznie rzadziej pojawiają się odmiany arenitów kwarcowych, arkozowych czy litycznych. Waki stanowią mniej liczną reprezentację wśród piaskowców (ok. 1/3) i przeważa wyraźnie odmiana subarkozowa.

Wielkość najczęstszego ziarna kwarcu w poszczególnych płytkach cienkich wskazuje na niewielką przewagę piaskowców drobnoziarnistych nad bardzo drobnoziarnistymi. Wysortowanie materiału okrucowego, mierzone stosunkiem maksymalnego ziarna kwarcu do najczęstszego, jest bardzo zróżnicowane.

Szczegółowe analizy planimetryczne piaskowców wykazały dużą zmienność ilościowego składu mineralnego. Rola kwarcu, głównego składnika szkieletu ziarnowego, jest dominująca. Jego udział stanowi zwykle powyżej 50% obj. skały, a w kilku przypadkach dochodzi do ok. 73% obj. (Wysoka Kamieńska 8; Chociwel 3). Skalenie pojawiają się niemal we wszystkich próbkach, lecz w bardzo zmiennych ilościach. Maksymalne zawartości tych minerałów przekraczają 15% (Chociwel 3 – 25,2 %; Chabowo 2 – 19,0 %; Połczyn IG 1 – 18,6 % obj.) lecz najczęściej ilość skaleni w próbkach jest poniżej 10 %. Okruchy skał występują rzadziej i w mniejszych nagromadzeniach niż skalenie. Najczęściej ich zawartość w skale jest rzędu 1 - 2 % ale w odmianach arenitów i wak litycznych przekracza 10 % obj. (Chociwel 3 – 26,8 %.; Chabowo 2 – 21,0 %; Połczyn IG 1 – 19,1 % obj.).

Spoivo typu matriks występuje w zmiennych ilościach, najczęściej kilkunastu procent (max. 47 % obj. – Czaplinek IG 1), a w próbkach bardzo porowatych nie ma go w ogóle. Cementy reprezentowane są głównie przez węglany, ale notowano niekiedy obecność siarczanów (Warnowo 1 – 5,3 % obj.), kaolinitu, illitu oraz kwarcu autogenicznego (w przypadku kwarcu często cement jest obecny lecz nie da się go ilościowo oznaczyć, kiedy tworzy regeneracyjne obwódki). Zawartość węglanów jest bardzo zróżnicowana i w jednym otworze zmienia się od zera do ok. 40 % (Jamno IG 1). Wysoki udział cementu węglanowego odnotowano ponadto w otworze Karsina 1 – 34,6 %; Wierzchowo 9 – 31,7 %; Wolin IG 1 – 30,3 % obj.

Metodą planimetryczną określono zawartość pustych porów w skałach. Obliczona porowatość „mikroskopowa” w skałach triasowych jest wysoka, co pozwala na typowanie tej formacji, jako kolektora dla składowania CO₂. Często porowatość wynosi kilkanaście procent, ale w wielu próbkach przekracza 20 % obj. skały (Dunowo 1 – 30,3 %; Szczecinek IG 1 28,6 %; Jamno IG 1 – 24,3 %; Jamno IG 3 – 23,7 % obj.) Należy podkreślić, że wartości porowatości w skałach triasowych w danym otworze wiertniczym ulegają niekiedy znacznym wahaniom np. w profilu Jamno IG 1 porowatość zmienia się od zera poprzez wartości rzędu kilku procent do 24,3 % obj.

SKAŁY KARBOŃSKIE

Próbki skał karbońskich zostały pobrane z 5 otworów wiertniczych: Kłanino 1, Kłanino 2, Kłanino 3, Karsina 1 i Gozd 2. Skały te reprezentowane są przez piaskowce, mułowce, wapienie i anhydryty.

Piaskowce to głównie arenity kwarcowe od bardzo drobnoziarnistych do średnioziarnistych. Ich skład mineralny jest bardzo ubogi, ale zwraca uwagę niekiedy duża zawartość cementu węglanowego i siarczanowego. W takich przypadkach można mówić o skarbonatyzowanych arenitach kwarcowych. Obecne są także arenity arkozowe oraz waki i arenity subarkozowe – odmiany piaskowców charakteryzujące się znaczną zawartością skaleni (11,7 – 29,0 % obj.), ale także dużym udziałem okruchów skalnych (8,0 – 26,7 % obj.). Znaczna część składników w tych skałach ma pochodzenie wulkanoklastyczne: okruchy skalne, szkliwo, ziarna kwarcu. W piaskowcach karbońskich obok wymienionych wcześniej cementów węglanowego i siarczanowego obserwowano cement kaolinitowy i kwarcowy.

Wśród wapieni wyróżnić można kilka odmian: wapienie ooidowe, margliste i „czyste” wapienie bez składników ziarnowych. Odnotowano obecność anhydrytytu – skały złożonej w całości z anhydrytu (Kłanino 3, Karsina 1).

Porowatość piaskowców karbońskich waha się od zera w przypadku arenitów wulkanoklastycznych do 19,0 % obj. w arenitach kwarcowych zawierających niewielką ilość spoiva typu matriks (Karsina 1).

Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych (Teresa Adamczak)

Dla realizacji zadania **1.1.5** dla następujących 115 otworów wiertniczych rejonu NW Polski zarchiwizowano dostępne dane petrofizyczne: Babimost 1, Babimost 3, Białogard 2, Białogard 4, Białogard 7, Białogard 8, Białogard 9, Białogard 10, Biały Bór 3, Bielica 1, Bielica 2, Biesiekierz 1, Biesiekierz 2, Brda 2, Bydgoszcz IG-1, Chabowo 1, Chabowo 2, Chabowo 3, Chociwel IG-1, Ciechnowo 1, Ciechnowo 2, Ciechnowo 4, Ciechnowo 5, Czarne 1, Czarne 2, Czarne 3, Czarne 4, Człuchów IG-1, Dargobądz 1, Dargobądz 2, Daszewo 8, Daszewo 12, Daszewo 15, Daszewo 17, Daszewo 18a, Daszewo R-3P, Debrzno 2, Dunowo 1, Golczewo 1, Gorzysław 2, Gorzysław 5, Gorzysław 6, Gorzysław 7, Gorzysław 9, Gorzysław 10, Gorzysław 12, Gorzysław 15, Gozd 1, Gozd 2, Gozd 4, Gryfice 1, Gryfice 2, Grzybowo 1, Jarkowo 2, Jarkowo 3, Jarszewo 1, Kamień Pomorski 7, Kamień Pomorski 21, Kamień Pomorski 22, Kamień Pomorski Z1, Kamień Pomorski Z2, Kamień Pomorski Z4, Karsina 1, Kłanino 1, Kłanino 2, Kurowo 1, Lipka 1, Międzyzdroje 3, Międzyzdroje 4, Międzyzdroje 5, Myślibórz GN-1, Niekłonice 1, Okonek 1, Petrykozy 1, Petrykozy 4, Petrykozy 6, Pławno 1, Połczyn IG-1, Przytór 1, Przytór 2, Przytór 3, Radęcin 1, Rosnowo 1, Rymań 1, Rzeczenica 1, Rzeczenica 2, Sadlno 1, Sarbinowo 1, Stargard 1, Strzelce Krajeński IG-1, Ślepcze 1, Świerzno 4, , Trzebusz 1, Trzebusz 3, Ustronie IG-1, Wapnica 3, Wągrowiec IG-1, Wierzchowo 3, Wierzchowo 4, Wierzchowo 6, Wierzchowo 8, Wierzchowo 9, Wierzchowo 10, Wierzchowo 11, Wierzchowo 12, Wierzchowo 13, Wierzchowo 14, Wilcze IG-1, Wolin IG-1, Wyrzysk IG-1, Wysoka Kamieńska 2, Zabartowo 1, Zabartowo 2, Złotów 2.

W tym celu wykorzystano dane o parametrach petrofizycznych skał znajdujące się w dokumentacjach wynikowych z poszczególnych otworów.

Z dokumentacji tych oraz z innych dostępnych opracowań uzyskano informacje o litologii, gęstości, porowatości i przepuszczalności przebadanych próbek rdzenia wiertniczego z interesujących otworów omawianego obszaru, dla których dane te były dostępne.

Dla potrzeb realizacji tematu badań, próbkom rdzenia przyporządkowano odpowiadającą im stratyografię. Pozwoliło to na scharakteryzowanie istotnych z punktu widzenia realizacji niniejszego tematu badań poziomów stratygraficznych (J, T, P) za pomocą wartości gęstości, porowatości i przepuszczalności ich utworów (przykład - **Tabela 1.1.5_15**). Wniosło to również użyteczną informację o litologii skał budujących te poziomy.

Tabela 1.1.5_15 Zestawienie archiwalnych wyników badań petrofizycznych

(przykład dla otworu Wyrzysk IG-1¹)

Głębokość [m]	Litologia	Gęstość właściwa [g/cm ³]	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Porowatość efektywna [%]	Porowatość całkowita [%]	Przepuszczalność pionowa [mD]	Przepuszczalność pozioma [mD]	Stratygrafia
552,00	iłowiec	2,73	2,44	2,41	10,5			T3

¹ Np. Dla piaskowców dolnego triasu (litologia 'piaskowiec') otrzymujemy średnią porowatość efektywną około 6%, a przepuszczalność poziomą 11 mD, pionową 20 mD; nowe analizy INiG dały dla sąsiedniego otworu Bydgoszcz IG-1 porowatość z porozymetru 15,7% i przepuszczalność 52 mD, tzn. maksymalne wartości z przedziału zmienności tych parametrów w otworze Wyrzysk IG-1.

556,00	iłowiec	2,65	2,43	2,68	8,6			T3
860,40	iłowiec	2,56	2,38	6,38	7,03			T1
861,20	piaskowiec	2,58	2,15	11,58	16,82	2,05	75	T1
863,30	margiel ilasty	2,65	2,58	2,53	2,64			T1
982,70	piaskowiec	2,66	2,3	7,45	13,53	80	6,8	T1
985,00	piaskowiec	2,63	2,3	6,04	12,55	75,5	3	T1
987,00	piaskowiec	2,61	1,97	15,9	24,52	3,3	<0,1	T1
988,50	mułowiec	2,67	1,94	16,57	27,34	100	13,25	T1
1 120,20	iłowiec	2,76	2,51	8,5	9,06			T1
1 121,50	iłowiec	2,75	2,39	12,9	13,09			T1
1 123,00	iłowiec	2,74	2,5	8,61	8,76			T1
1 215,50	piaskowiec	2,69	2,48	7,79	7,81	2,2	<0,1	T1
1 216,50	mułowiec marglisty	2,76	2,6	5,58	5,78		<0,1	T1
1 217,00	piaskowiec wapnisty	2,7	2,58	4,18	4,44	1,8	<0,1	T1
1 218,00	piaskowiec	2,79	2,64	3,34	5,38	60	40,05	T1
1 317,50	mułowiec marglisty	2,66	2,6	1,64	2,25		<0,1	T1
1 318,50	mułowiec	2,77	2,7	1,78	2,53	1,4	<0,1	T1
1 319,50	mułowiec marglisty	2,68	2,56	3,98	4,48		<0,1	T1
1 321,00	mułowiec	2,64	2,52	4,09	4,55			T1
1 322,00	mułowiec	2,78	2,62	4,81	5,77	0,9	<0,1	T1
1 322,90	piaskowiec	2,63	2,56	2,42	2,66	0,52	0,7	T1
1 431,50	mułowiec marglisty	2,67	2,6	2,1	2,62	0,69	<0,1	T1
1 433,00	mułowiec	2,65	2,59	2,14	2,23	<0,1	<0,1	T1
1 434,00	piaskowiec	2,72	2,52	3,36	7,35	<0,1	<0,1	T1
1 435,50	mułowiec	2,66	2,6	1,95	2,26	0,1	0,1	T1
1 437,00	mułowiec	2,68	2,6	1,96	2,98	0,95	0,1	T1
1 438,50	piaskowiec	2,7	2,52	3,18	6,67	0,1	0,1	T1
1 546,20	mułowiec marglisty	2,77	2,62	3,64	5,41	0,67		T1
1 547,80	mułowiec marglisty	2,78	2,64	3,24	5,04	0,3	0,7	T1
1 548,90	mułowiec marglisty	2,75	2,62	3,72	4,73			T1
1 550,10	mułowiec marglisty	2,76	2,61	4,46	5,43		0,45	T1
1 551,50	mułowiec marglisty	2,77	2,62	4,43	5,42			T1
1 553,00	mułowiec marglisty	2,74	2,61	2,89	4,74	0,35	0,33	T1
1 553,60	mułowiec marglisty	2,78	2,62	3,67	5,04	0,25	0,32	T1
1 554,80	mułowiec marglisty	2,7	2,58	2,56	4,44	0,23	0,4	T1
1 659,20	mułowiec marglisty	2,69	2,59	2,33	3,71	0,5	0,51	T1

1 660,30	mułowiec marglisty	2,73	2,6	1,56	4,76	0,34	0,38	T1
1 661,90	mułowiec marglisty	2,72	2,61	1,35	4,04	0,45	0,41	T1
1 662,90	mułowiec marglisty	2,71	2,6	1,16	4,06	0,46	0,39	T1
1 663,90	mułowiec marglisty	2,74	2,6	1,68	5,11	0,48	0,51	T1
1 665,60	mułowiec marglisty	2,7	2,59	1,53	4,07	0,46	0,39	T1
1 666,90	mułowiec marglisty	2,73	2,6	1,8	4,76	0,45	0,38	T1
1 668,00	mułowiec marglisty	2,7	2,59	2,2	4,07	0,41	0,47	T1
1 768,00	mułowiec marglisty	2,7	2,6	1,36	3,7	0,41	0,45	T1
1 770,00	mułowiec marglisty	2,78	2,62	1,2	5,76	0,46	0,41	T1
1 771,00	mułowiec marglisty	2,74	2,61	1,48	4,7	0,6	1,1	T1
1 772,50	mułowiec marglisty	2,78	2,58	4,33	7,2	0,68	0,67	T1
1 774,00	iłowiec marglisty	2,76	2,59	2,05	6,16	0,38		T1
1 776,00	mułowiec marglisty	2,72	2,56	2,68	5,88	0,51	0,5	T1
1 878,50	piaskowiec wapnisty	2,64	2,54	1,05	3,79	0,39	0,69	T1
1 879,00	piaskowiec wapnisty	2,78	2,73	0,49	1,8	0,3	0,33	T1
1 880,80	piaskowiec wapnisty	2,78	2,72	1,33	2,16	0,25	0,33	T1
1 881,60	piaskowiec wapnisty	2,77	2,71	0,75	1,67	0,34	0,32	T1
1 882,30	piaskowiec wapnisty	2,75	2,63	1,1	1,43			T1
1 883,40	piaskowiec wapnisty	2,76	2,68	1,17	1,25			T1
1 884,90	mułowiec marglisty	2,77	2,7	1,58	2,53	0,39		T1
1 885,70	mułowiec marglisty	2,76	2,66	2,17	3,62	0,32	0,35	T1
1 886,60	mułowiec marglisty	2,74	2,67	1	2,55	0,33	0,32	T1
1 991,70	iłowiec marglisty	2,65	2,6	1,33	1,51		<0,1	T1
1 995,90	mułowiec marglisty	2,71	2,6	3,95	4,06	<0,1	<0,1	T1
1 997,30	iłowiec marglisty	2,6	2,6	0,87	1,13		<0,1	T1
2 096,80	mułowiec marglisty	2,74	2,62	4,3	4,38		<0,1	T1
2 098,20	mułowiec marglisty	2,79	2,6	2,86	4,66			T1
2 101,80	mułowiec marglisty	2,72	2,6	2,82	4,41	<0,1	<0,1	T1

2 200,00	mułowiec marglisty	2,69	2,65	0,79	1,49		<0,1	T1
2 204,00	mułowiec marglisty	2,69	2,66	0,84	1,12		<0,1	T1
2 208,00	mułowiec marglisty	2,68	2,65	0,91	1,12		<0,1	T1
2 212,00	mułowiec marglisty	2,68	2,66	0,66	0,75		<0,1	T1
2 216,00	mułowiec marglisty	2,7	2,67	0,39	1,11		<0,1	T1
2 218,90	mułowiec marglisty	2,69	2,65	0,74	1,49		<0,1	T1
2 222,00	mułowiec marglisty	2,68	2,65	0,65	1,12		<0,1	T1
2 224,50	mułowiec marglisty	2,66	2,64	0,52	0,75		<0,1	T1
2 227,00	mułowiec marglisty	2,69	2,66	0,68	1,12		<0,1	T1
3 609,70	anhydryt	2,91	2,89	0,61	0,69	<0,1	<0,1	P3
3 612,60	wapniak marglisty	2,9	2,89	0,27	0,35	<0,1	<0,1	P3
3 614,10	wapień marglisty	2,67	2,64	0,83	1,12	<0,1	<0,1	P3
3 614,50	wapień marglisty	2,68	2,66	0,65	0,75		<0,1	P3
3 615,40	wapień marglisty	2,67	2,64	1,08	1,14	0,1	0,1	P3
3 617,10	wapień marglisty	2,66	2,63	0,8	1,13	0,1		P3
3 617,80	anhydryt	2,92	2,9	0,3	0,68	<0,1	<0,1	P3
3 619,70	wapień marglisty	2,67	2,66	0,22	0,37	<0,1		P3
3 621,40	wapień marglisty	2,66	2,64	0,49	0,75	<0,1		P3
3 623,00	wapień marglisty	2,66	2,64	0,39	0,75	<0,1		P3
3 625,20	wapień marglisty	2,67	2,64	0,84	1,12	<0,1		P3
3 627,00	wapień marglisty	2,67	2,65	0,6	0,75			P3
3 627,80	wapień marglisty	2,65	2,64	0,4	0,75	<0,1	<0,1	P3
3 630,30	wapień marglisty	2,68	2,66	0,38	0,75	<0,1	<0,1	P3

Rejon VIII - Łeba-Bałtyk oraz NE Polska

Wyniki analiz petrograficznych (Magdalena Sikorska-Jaworowska)

W obrębie syneklizy perybałtyckiej, na jej obszarze morskim i lądowym, wytypowano do badań 15 otworów wiertniczych. Pobrano 75 próbek rdzeni wiertniczych. W tym rejonie osady piaskowcowe kambru środkowego są dobrymi kolektorami dla węglowodorów. W utworów tych na Bałtyku występują złożowe nagromadzenia węglowodorów, które są eksploatowane. Kambry górny o niewielkiej miąższości reprezentowany jest przez iłowce i wapienie.

Wśród pobranych próbek rdzeni przeważają piaskowce, mniej liczną grupę stanowią iłowce i wapienie. W niektórych profilach systematyczne pobranie próbek było niemożliwe z uwagi na bardzo zły stan zachowania starych rdzeni wiertniczych.

Ogółem pobrano 75 próbek rdzeni wiertniczych z 15 otworów:

Bartoszyce IG-1

Barciany 1

Dębowiec Warmiński 1

Głądy 1

B3-1

B6-1

B6-2

B8-1

Gładysze 2

Klewno 1

Lesieniec 1

Liski 1

Łankiejmy 1

Pieszkowo 1

Rodnowo 1

Każda płytka cienka była nasączona zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej

szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów).

Obserwacje wykonano na mikroskopach polaryzacyjnych, a analizy planimetryczne przy pomocy urządzeń zliczających punkty pomiarowe (minimum 300 w każdej płytce cienkiej).

Planimetrowano piaskowce natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane nazwy. Wyniki analizy planimetrycznej zawarte w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.

Dodatkowo zbadano uziarnienie skał okruchowych podając średnicę najczęstszego (Qf) i największego (Qmax) ziarna kwarcu w płytce cienkiej.

Wyniki dla każdego otworu wiertniczego zestawiono w oddzielnej tabeli (wprowadzonej do bazy - **1.1.10**).

OPIS MIKROSKOPOWY (KAMBR)

Na podstawie badań mikroskopowych wszystkie próbki piaskowców zaliczono do jednej grupy: arenitów kwarcowych najczęściej drobnoziarnistych, rzadko bardzo drobno- lub średnioziarnistych. Są to skały o bardzo wysokim stopniu dojrzałości mineralogicznej i teksturalnej. Zawierają minimalne ilości matriksu ilastego, materiał ziarnowy jest doskonale obtoczony i dobrze wysortowany. Szkielet ziarnowy jest zdominowany przez kwarc, skaleni brak lub występują w niewielkiej ilości, rzędu 1 – 2% obj. W śladowych ilościach obecne są łuszczyki, minerały akcesoryczne, glaukonit. Część piaskowców niemal w całości zbudowana jest z kwarcu: jeśli nie liczyć pustych porów, to ziarna kwarcu i regeneracyjny cement kwarcowy stanowią powyżej 95 % obj. skały. W kilku przypadkach dzięki dość wyraźnym obwódkom regeneracyjnym na ziarnach kwarcu, udało się określić udział cementu kwarcowego, którego maksymalna zawartość dochodzi do 32,1 i 26,4 % obj. skały (otwór wiertniczy B 6 – 2/85). Niestety najczęściej nie ma możliwości ilościowego określenia zawartości cementu kwarcowego. Cement węglanowy występuje często, lecz w bardzo zmiennych ilościach. Reprezentowany jest przez ankeryt (czarny w CL - brak luminescencji) i sporadycznie przez syderyt w postaci rozproszonych ziaren. Ankeryt czasem stanowi podstawowe spoiwo skały (Barciany 1 – 25,0 %; Bartoszyce IG 1 – 22,7 % obj.), często tworzy gniazdowe skupienia poikilitowe, a niekiedy tylko drobne wypełnienia porów. W części próbek odnotowano obecność cementu kaolinitowego. W piaskowcach z obszaru bałtyckiego obserwowano obecność bituminów w porach skalnych. W profilu B3 1/81 w interwale głębokości 1409,8 – 1411,8 m piaskowce są nasycone węglowodorami, których udział wynosi 1,6 – 27,3 % obj. skały (w tabelach zawartość bituminów została wliczona do objętości porów).

Wśród skał ilastych występują czyste iłowce bogate w materię organiczną, niekiedy żelaziste lub z mikrolaminkami węglanowymi. Odnotowano też iłowce pylaste zawierające znaczną ilość detrytusu kwarcowego.

Wapienie reprezentowane są głównie przez mikrytowe i mikrosparytowe wapienie organodetrytyczne, niekiedy z dużą ilością pigmentu żelazistego. Odnotowano też wapienie mikrytowe, które niekiedy zawierają soczewki lub żyłki grubokrystalicznego kalcytu. W niektórych wapieniach obecna jest materia organiczna, piryty czy bardzo drobne romboedry dolomitu.

Analizy archiwalnych wyników badań petrofizycznych (Teresa Adamczak)

Dla realizacji zadania 1.1.5 dla następujących 31 otworów wiertniczych rejonu Łeba-Bałtyk oraz NE Polski zarchiwizowano dostępne dane petrofizyczne: B16-1/85, B2-1/81, B3-1/81, B4-1/81, B6-1/82, B6-2/85, B7-1/91, B8-1/83, Dębki 4, Bytów IG-1, Chłapowo IG-1, Dobrze Miasto 1, Gałajny 1, Gdański IG-1, Hel IG-1, Klewno 1, Koszalin IG-1, Kościerzyna IG-1, Lesieniec 1, Liski 1, Olsztyn IG-2, Pieszkowo 1, Słupsk IG-1, Władysławowo 4, Wyręba 2, Zaręby 1, Zaręby 2, Zaręby 3, Zawada 1, Żarnowiec IG-1, Żarnowiec IG-1a.

W tym celu wykorzystano dane o parametrach petrofizycznych skał znajdujące się w dokumentacjach wynikowych z poszczególnych otworów.

Z dokumentacji tych oraz z innych dostępnych opracowań uzyskano informacje o litologii, gęstości, porowatości i przepuszczalności przebadanych próbek rdzenia wiertniczego z interesujących otworów omawianego obszaru, dla których dane te były dostępne.

Dla potrzeb realizacji tematu badań, próbkom rdzenia przyporządkowano odpowiadającą im stratygrafię. Pozwoliło to na scharakteryzowanie istotnych z punktu widzenia realizacji niniejszego tematu badań poziomów stratygraficznych (K, J, T, P, S, O, Cm) za pomocą wartości gęstości, porowatości i przepuszczalności ich utworów (przykład - **Tabela 1.1.5_16**). Wniosło to również użyteczną informację o litologii skał budujących te poziomy.

Tabela 1.1.5_16 Zestawienie archiwalnych wyników badań petrofizycznych

(przykład dla otworu Słupsk IG-1)

Głębokość [m]	Litologia	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Porowatość efektywna [%]	Porowatość całkowita [%]	Przepuszczalność pozioma [mD]	Stratygrafia
1 151,10	iłowiec	2,38	12,24			S3
1 200,50	iłowiec	2,56	4,88		<0,1	S3
1 321,50	iłowiec	2,63	2,41		<0,1	S3
1 425,00	iłowiec	2,55	3,96		<0,1	S3
1 538,20	iłowiec	2,6	1,26		<0,1	S3
1 677,30	iłowiec	2,57	2,94		<0,1	S3
2 091,70	mułowiec	2,73	0,71		<0,1	S3
2 291,70	mułowiec	2,69	0,46		<0,1	S3
2 499,50	mułowiec	2,72	0,42		<0,1	S3
2 593,40	iłowiec	2,78	0,35		<0,1	S3
2 727,90	mułowiec	2,67	0,47		<0,1	S3
2 864,00	iłowiec	2,69	0,25		<0,1	S3
2 968,20	mułowiec	2,72	0,42		<0,1	S3
3 084,50	iłowiec	2,74	0,22		<0,1	S3
3 196,20	mułowiec	2,72	0,43		<0,1	S3
3 287,70	iłowiec	2,68	0,47	1,11	<0,1	S3
3 401,00	mułowiec	2,67	0,26	1,11	<0,1	S1
3 480,30	mułowiec	2,6	2,36	2,72	0,66	S1

3 482,20	iłowiec	2,73	0,69	0,72	<0,1	S1
3 541,50	mułowiec	2,72	3,25		0,42	S1
3 608,20	mułowiec	2,71	0,57	1,11	<0,1	S1
3 613,80	iłowiec	2,74	0,23	0,73	<0,1	S1
3 685,20	iłowiec	2,76	0,31	0,36	<0,1	S1
3 758,10	iłowiec	2,76	0,73	0,74	<0,1	S1
3 793,20	iłowiec	2,78	0,28	0,72	<0,1	S1
3 833,40	iłowiec	2,76	0,16		<0,1	S1
3 884,00	iłowiec	2,74	0,38	0,77	<0,1	S1
3 893,50	iłowiec	2,77	0,46		<0,1	S1
3 906,20	mułowiec	2,69	0,27	0,37	<0,1	S1
3 971,20	iłowiec	2,72	0,55	0,72	<0,1	S1
3 974,30	mułowiec	2,71	0,3	0,38	<0,1	S1
4 025,00	iłowiec	2,77	0,91	1,02	<0,1	S1
4 037,50	iłowiec	2,74	0,62	0,73	<0,1	S1
4 050,10	mułowiec	2,75	0,7	1,12	<0,1	S1
4 056,50	iłowiec	2,77	0,81		<0,1	S1
4 062,70	mułowiec	2,71	0,69	1,1	<0,1	S1
4 070,50	iłowiec	2,78	0,5	0,72	<0,1	S1
4 087,00	mułowiec	2,77	0,49	1,08	<0,1	S1
4 157,10	iłowiec	2,77	0,35	0,72	<0,1	S1
4 162,20	mułowiec	2,74	0,55	0,73	<0,1	S1
4 193,10	iłowiec	2,78	0,28	0,72	<0,1	S1
4 209,10	iłowiec	2,75	0,73	0,73	<0,1	S1
4 224,50	mułowiec	2,75	0,36	0,37	<0,1	S1
4 230,90	iłowiec	2,77	0,53		<0,1	S1
4 241,70	iłowiec	2,75	0,36	0,36	<0,1	S1
4 245,60	mułowiec	2,74	0,75		<0,1	S1
4 260,50	iłowiec	2,77	0,51		<0,1	S1
4 273,40	iłowiec	2,76	0,3	3,6	<0,1	S1
4 278,70	mułowiec	2,73	0,45	0,72	<0,1	S1
4 285,70	iłowiec	2,77	0,54		<0,1	S1
4 307,10	iłowiec	2,75	0,37		<0,1	S1
4 324,00	iłowiec	2,78	0,41		<0,1	S1
4 332,30	iłowiec	2,73	0,49	7,2	<0,1	S1
4 345,10	iłowiec	2,79	0,61		<0,1	S1
4 365,40	iłowiec	2,77	0,46		<0,1	S1
4 399,30	iłowiec	2,77	0,32	0,36	<0,1	S1
4 407,20	iłowiec	2,78	0,34	0,36	<0,1	S1
4 451,00	iłowiec	2,76	0,7		<0,1	S1
4 465,00	iłowiec	2,76	0,35		<0,1	S1
4 469,30	iłowiec	2,77	0,31		<0,1	S1
4 492,60	piaskowiec	2,66	1,09		<0,1	O3
4 497,70	iłowiec	2,74	0,6		<0,1	O2
4 511,10	iłowiec	2,66	0,25		<0,1	O2

4 517,20	iłowiec	2,69	0,21		<0,1	Cm
4 525,10	iłowiec	2,7	0,22		<0,1	Cm
4 531,80	piaskowiec	2,72	11,44		0,23	Cm
4 532,70	piaskowiec	2,72	0,26		0,82	Cm
4 538,10	iłowiec	2,73	0,57		<0,1	Cm
4 544,60	piaskowiec	2,69	5,74		0,61	Cm
4 548,30	iłowiec	2,71	0,94		<0,1	Cm
4 554,60	iłowiec	2,77	1,74		<0,1	Cm
4 565,50	iłowiec	2,72	0,48		<0,1	Cm
4 579,40	iłowiec	2,73	0,4		<0,1	Cm
4 595,00	iłowiec	2,73	0,29		<0,1	Cm
4 611,30	iłowiec	2,68	0,36		<0,1	Cm
4 612,00	zlepianiec	2,7	0,62		<0,1	Cm
4 612,90	piaskowiec kwarcytowy	2,65	0,84		<0,1	Cm
4 617,20	piaskowiec	2,72	0,59		<0,1	Cm
4 624,90	iłowiec	2,77	0,42		<0,1	Cm
4 632,20	piaskowiec	2,71	0,6		<0,1	Cm
4 640,50	iłowiec	2,76	0,5		<0,1	Cm
4 646,10	piaskowiec	2,64	0,75		0,5	Cm
4 653,10	iłowiec	2,81	0,41		<0,1	Cm
4 666,20	piaskowiec	2,79	1,07		<0,1	Cm
4 671,80	iłowiec	2,78	0,24		<0,1	Cm
4 677,00	piaskowiec	2,76	0,42		<0,1	Cm
4 688,20	iłowiec	2,76	0,6		<0,1	Cm
4 706,00	piaskowiec	2,77	1,16		0,96	Cm
4 714,40	piaskowiec	2,79	3,58		0,7	Cm
4 717,80	piaskowiec	2,77	0,19		0,45	Cm
4 723,20	piaskowiec kwarcytowy	2,63	0,81		0,35	Cm
4 731,30	piaskowiec kwarcytowy	2,66	0,91		0,32	Cm
4 734,80	piaskowiec	2,75	1,2		0,42	Cm
4 739,00	piaskowiec kwarcytowy	2,6	1,39		0,28	Cm
4 741,00	piaskowiec kwarcytowy	2,76	0,64		0,17	Cm
4 748,80	piaskowiec kwarcytowy	2,79	0,49		<0,1	Cm
4 754,60	piaskowiec kwarcytowy	2,61	1,7		0,1	Cm
4 756,20	piaskowiec kwarcytowy	2,63	1,95		0,14	Cm
4 759,10	piaskowiec kwarcytowy	2,63	0,92		0,7	Cm
4 763,50	piaskowiec kwarcytowy	2,65	1,78		0,24	Cm
4 771,30	piaskowiec kwarcytowy	2,78	0,13		<0,1	Cm
4 777,30	piaskowiec kwarcowy	2,67	0,06		<0,1	Cm
4 792,50	piaskowiec kwarcowy	2,62	0,36		<0,1	Cm
4 795,00	mułowiec	2,69	0,23		<0,1	Cm
4 798,40	piaskowiec kwarcytowy	2,63	0,68		<0,1	Cm
4 802,10	piaskowiec kwarcytowy	2,63	0,98		<0,1	Cm
4 809,40	piaskowiec kwarcytowy	2,66	0,53		<0,1	Cm

Pobranie próbek skał zbiornikowych i uszczelniających z magazynów rdzeni (1.2.1)

Rejon I - Bełchatów Zasady pobierania prób

(Magdalena Sikorska-Jaworowska)

Prace w magazynach rdzeni prowadzone były jednocześnie przez sedimentologów i petrografów, aby opróbować interwały wskazane bezpośrednio przez sedimentologa. Pobrano próbki z 28 otworów wiertniczych z rejonu Bełchatowa (patrz zestawienie poniżej i **Tabela 1.2.1_1**). Próbki zostały wytypowane i zabezpieczone do późniejszego przewiezienia oraz przekazania szlifierzom.

Wyznaczone interwały do opróbowania, określone przez sedimentologa jako kolektory lub jako warstwy uszczelniające, mieściły się w granicach 800 – 2000 m głębokości. Próbki z zachowanego w skrzynkach rdzenia (pewne odcinki rdzenia uległy zniszczeniu) wybierano, mniej więcej, co 1 metr, aby otrzymać reprezentatywny zbiór próbek. Zestawiono interwały, z których pochodzą, dokładną głębokość oraz makroskopowo określono rodzaj skały. Jednocześnie zwracano uwagę na litologię, jej zmienność i w przypadku wyraźnych zmian pobierano dodatkowe próbki. W obrębie litologicznie tych samych odcinków rdzeni zwracano uwagę na zmienność zabarwienia, uziarnienia, zwięzłości i odpowiednio typowano próbki do badań petrologicznych. Niekiedy systematyczne pobranie próbek było niemożliwe z uwagi na bardzo zły stan zachowania starych rdzeni wiertniczych.

Ilość wszystkich wytypowanych próbek wynosi 466.

Przebieg prac terenowych

(Magdalena Sikorska-Jaworowska)

Wytypowano próbki petrograficzne z następujących magazynów rdzeni i otworów wiertniczych:

Magazyn Rdzeni Wiertniczych w Chmielniku:

Buków 2

Gidle 2

Gomunice 9, 10, 12, 13

Kuźnica Grabowska 1, 2

Ostrów Kaliski 2

Radoszewice 2

Raduchów 2

Radziątków 7

Sobiesęki 3

Szwejki 1

Wieruszów 2

Zaosie 1,2

Zamoście 1

Magazyn Rdzeni Wiertniczych w Halinowie:

Kalisz IG1

Zakrzew IG1

Magazyn Rdzeni Wiertniczych w Leszczach:

Bełchatów 4

Jeżów IG1

Niechmirów IG1

Ożegów IG1

Rzeki IG1

Więcki IG1

Dymek IG1

Florentyna IG2

Przygotowanie prób do analiz petrologicznych

(Magdalena Sikorska-Jaworowska)

Z pobranych próbek rdzeni, po wycięciu z nich „walców” na badania petrofizyczne, płytki cienkie wykonali szlifierze z Przedsiębiorstwa Usług Laboratoryjnych i Geologicznych „PETROGEO” z Wołomina. Każda próbka była nasączana zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić później analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów), przewidzianych w II Segmencie.

Sukcesywnie wykonywane szlify przekazywane były do badań mikroskopowych przez zespół petrologów. Obserwacje wykonano na mikroskopach polaryzacyjnych, a analizy planimetryczne przy pomocy urządzeń zliczających punkty pomiarowe (minimum 300 w każdej płytce cienkiej).

Tabela 1.2.1_1 Próbk rdzeni pobrane z otworów w rejonie Bełchatowa.

Tabela 1				
OTWOR	INTERWAŁ GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PROBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PROB
Bełchatów 4	1193,3-1199,2	1193,5	wapień	1
	1254,0-1259,0	1254,0	wapień	1
	1264,7-1270,3	1265,0	wapień	1
	1294,3-1295,8	1295,8	wapień	1
	1313,5-1319,2	1314,0	wapień	1
	1328,6-1331,9	1329,0	mulowiec	1
	1358,5-1364,4	1358,5	mulowiec	1
	1370,9-1377,0	1371,3	piaskowiec/mulowiec	1
	1402,2-1408,8	1402,4	piaskowiec	1
	1416,8-1423,6	1417,0	piaskowiec	1
	1431,0-1437,9	1431,2	mulowiec	1
RAZEM ILOŚĆ PROBEK				12
Buków 2	1115,0-1120,0	1115,5	piaskowiec	1
	1435,0-1440,0	1435,6	piaskowiec	1
		1436,0	piaskowiec	1
	1590,0-1596,0	1590,8	piaskowiec	1
RAZEM ILOŚĆ PROBEK				4
Dymek IG1	839,9-842,0	840,7	łowiec	1
	895,0-901,0	896,5	mulowiec	1
		896,1	piaskowiec	1
	951,6-954,4	952,1	wapień	1
	1010,5-1014,5	1011,0	mulowiec	1
	1074,9-1080,0	1075,0	mulowiec	1
	1210,0-1214,0	1210,1	piaskowiec	1
	1649,2-1652,2	1649,7	piaskowiec	1
		1650,8	mulowiec	1
		1651,7	łowiec	1
		1652,7	piaskowiec/łowiec	1
		1653,9	piaskowiec	1
		1654,0	piaskowiec	1
	1691,8-1698,3	1693,1	marginel	1
		1695,6	mulowiec	1
		1697,6	wapień	1
	1725,6-1731,6	1727,2	mulowiec	1
		1730,0	mulowiec	1
	1780,1-1786,3	1780,4	piaskowiec	1
		1781,7	piaskowiec	1
		1782,4	piaskowiec	1
		1783,6	piaskowiec	1
		1784,0	piaskowiec	1
		1785,9	mulowiec	1
	1811,0-1817,0	1811,9	wapień	1
		1813,8	wapień	1
		1814,5	wapień	1
	1815,4	wapień	1	
1852,0-1858,0	1852,1	wapień	1	
2009,9-2015,2	1853,0	wapień	1	
	2010,2	piaskowiec	1	
	2012,5	piaskowiec	1	
	2013,3	piaskowiec	1	
	2014,6	piaskowiec	1	
2094,0-2100,0	2094,8	piaskowiec	1	
	2095,6	piaskowiec	1	
	2096,6	piaskowiec	1	
	2097,4	piaskowiec	1	
	2098,6	mulowiec	1	
2185,0-2191,0	2185,0	mulowiec	1	
	2186,7	łowiec	1	
	2188,8	wapień	1	
	2198,0	mulowiec	1	
	2199,5	wapień	1	
	2189,9	wapień	1	
2218,5-2224,1	2218,6	piaskowiec	1	
	2210,2	piaskowiec	1	
	2221,0	piaskowiec	1	
	2222,1	piaskowiec	1	
2245,0-2254,6	2245,2	wapień	1	
	2248,3	wapień	1	
	2250,2	wapień	1	
	2251,2	wapień	1	
	2254,8	wapień	1	
RAZEM ILOŚĆ PROBEK				54
Florentyna IG2	1084,0-1090,0	1085,0	piaskowiec	1
	1120,0-1126,0	1120,9	piaskowiec	1
		1123,1	piaskowiec	1
	1185,0-1191,0	1185,5	piaskowiec	1
	1250,0-1256,0	1251,1	mulowiec	1
	1345,0-1351,0	1345,3	piaskowiec	1
		1346,6	piaskowiec	1
		1347,9	piaskowiec	1
	1420,0-1426,0	1420,2	piaskowiec	1
		1421,9	piaskowiec	1
		1423,7	piaskowiec	1
1525,0-1528,0	1525,7	piaskowiec	1	
	1527,1	piaskowiec	1	
	1527,4	piaskowiec	1	
	1527,9	piaskowiec	1	
	1529,0	piaskowiec	1	
1761,0-1767,0	1761,3	wapień	1	
	1764,6	wapień	1	
RAZEM ILOŚĆ PROBEK				18
Gidle 2	1402,0-1408,0	1406,1	wapień	1
	1610,0-1616,0	1610,4	łowiec	1
	1610,0-1619,0	1610,7	piaskowiec	1
		1615,7	piaskowiec	1
	1619,0-1625,0	1617,6	piaskowiec	1
	1652,0-1661,0	1620,0	piaskowiec	1
	1690,0-1699,0	1654,9	wapień	1
		1690,5	piaskowiec	1
2050,0-2058,0	1691,1	piaskowiec	1	
	1692,7	wapień	1	
	1696,7	wapień	1	
2095,0-2101,0	2051,3	wapień	1	
	2052,7	wapień	1	
	2097,5	piaskowiec	1	
	2099,4	piaskowiec	1	
RAZEM ILOŚĆ PROBEK				15
Gomunice 9	1307,0-1312,0	1307,8	piaskowiec	1
		1309,0	piaskowiec	1
	1889,0-1891,0	1889,8	piaskowiec	1
	2231,0-2236,0	2232,6	piaskowiec	1
	2234,6	piaskowiec	1	
RAZEM ILOŚĆ PROBEK				5
Gomunice 10	801,0-807,0	801,0	piaskowiec	1
		603,8	piaskowiec	1
		606,8	piaskowiec	1
	1031,0-1034,0	1032,6	piaskowiec	1
		1033,9	piaskowiec	1
	2002,0-2005,0	2002,5	piaskowiec	1
	2003,5	piaskowiec	1	
	2003,7	piaskowiec	1	

Rejon III - Mazowsze

Tabela 1.2.1_2 Próbkki rdzeni pobrane z otworów w rejonie Mazowsza.

OTWÓR	INTERWAL GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PRÓBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PRÓB	
Bielsk 2	1322,0-1327,0	1326,3	ilowiec	1	
	2120,0-2123,0	2120,5	piaskowiec	1	
	2190,0-2198,0	2191,3	piaskowiec	1	
		2192,6	piaskowiec	1	
	2262,0-2267,0	2264,0	mułowiec	1	
	2415,0-2420,0	2418,7	piaskowiec	1	
	2500,0-2504,0	2500,7	mułowiec	1	
		2503,2	piaskowiec	1	
RAZEM ILOŚĆ PRÓBEK				8	
OTWÓR	INTERWAL GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PRÓBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PRÓB	
Bodzanów GN1	1974,0-1981,0	1979,9	piaskowiec	1	
	1981,0-1988,0	1985,8	mułowiec	1	
	2280,0-2284,0	2283,5	piaskowiec	1	
	2323,0-2328,0	2323,2	piaskowiec	1	
	2375,0-2382,0	2379,7	piaskowiec	1	
RAZEM ILOŚĆ PRÓBEK				5	
OTWÓR	INTERWAL GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PRÓBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PRÓB	
Bodzanów GN3	1955,0-1964,0	1961,0	piaskowiec	1	
	2009,0-2013,0	2009,6	mułowiec	1	
	2063,0-2066,0	2063,5	piaskowiec	1	
		2965,6	mułowiec	1	
	2109,0-2112,0	2110,5	piaskowiec	1	
	2152,0-2156,0	2152,3	piaskowiec	1	
	2299,0-2301,0	2299,3	piaskowiec	1	
	2303,0-2306,0	2303,4	piaskowiec	1	
	2382,0-2387,0	2383,7	piaskowiec	1	
	2452,0-2458,0	2453,1	ilowiec	1	
	2516,0-2520,0	2516,7	piaskowiec	1	
	RAZEM ILOŚĆ PRÓBEK				11
	OTWÓR	INTERWAL GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PRÓBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PRÓB
Bodzanów IG1	2468,0-2474,0	2469,2	piaskowiec	1	
	2632,0-2638,0	2634,5	piaskowiec	1	
	2794,0-2798,0	2795,5	piaskowiec	1	
	2888,0-2891,0	2888,8	piaskowiec	1	
RAZEM ILOŚĆ PRÓBEK				4	
OTWÓR	INTERWAL GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PRÓBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PRÓB	
Gostynin IG1A	1849,0-1855,4	1849,4	mułowiec	1	
	1865,3-1871,3	1870,1	piaskowiec	1	
	1884,2-1891,2	1888,1	piaskowiec	1	
	1926,5-1933,0	1930,7	mułowiec	1	
	1957,7-1964,2	1960,1	mułowiec	1	
	2001,1-2007,5	2006,8	piaskowiec	1	
	2051,5-2058,0	2053,7	mułowiec	1	
	2089,2-2095,6	2093,5	piaskowiec	1	
	2144,3-2150,7	2146,9	piaskowiec	1	
	2157,7-2164,7	2158,3	piaskowiec	1	
	2164,7-2171,5	2168,5	piaskowiec	1	
	2185,5-2193,0	2188,7	piaskowiec	1	
	2200,0-2206,4	2203,7	mułowiec	1	
	2219,5-2226,5	2220,7	mułowiec	1	
	2261,8-2268,8	2265,0	piaskowiec	1	
	2268,8-2275,8	2274,4	piaskowiec	1	
	2291,8-2298,8	2294,3	piaskowiec	1	
	2298,8-2305,8	2304,3	piaskowiec	1	
	2362,3-2369,4	2365,8	piaskowiec	1	
	2439,0-2446,0	2441,7	piaskowiec	1	
	2475,6-2482,6	2481,2	mułowiec	1	
	2511,7-2518,7	2514,8	piaskowiec	1	
	2547,8-2554,8	2550,8	piaskowiec	1	
	2595,2-2602,2	2598,0	piaskowiec	1	
	2631,5-2638,5	2633,8	piaskowiec	1	
	2667,0-2674,0	2669,5	piaskowiec	1	
	2703,1-2710,2	2708,7	piaskowiec	1	
	2743,0-2749,5	2745,7	piaskowiec	1	
	RAZEM ILOŚĆ PRÓBEK				28
	OTWÓR	INTERWAL GŁĘBOKOŚCI	GŁĘBOKOŚĆ PRÓBY	NAZWA SKAŁY	ILOŚĆ PRÓB
Gostynin IG3	1914,0-1921,0	1914,8	mułowiec	1	
	2027,0-2034,0	2029,3	syderyt	1	
	2100,0-2113,0	2101,1	piaskowiec	1	

Prace w magazynach rdzeni prowadzone były jednocześnie przez sedimentologów i petrografów. Wyznaczone interwały do opróbowania, określone przez sedimentologów jako kolektory lub jako warstwy uszczelniające, mieściły się w granicach 800 – 2000 m głębokości (**Tabela 1.2.1_2**).

Na początku sporządzono rejestr wytypowanych próbek rdzeni wiertniczych. Zestawiono interwały, z których pochodzą, dokładną głębokość oraz makroskopowo określono rodzaj skały.

W pierwszym etapie prac próbki zostały wytypowane (z 26 otworów wiertniczych) i zabezpieczone, a następnie przekazano je szlifierzom w celu wykonania płytek cienkich.

Z pobranych próbek rdzeni, po wycięciu z nich „walców” na badania petrofizyczne, płytki cienkie wykonali szlifierze z Przedsiębiorstwa Usług Laboratoryjnych i Geologicznych „PETROGEO” z Wołomina. Każda próbka była nasączana zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić później analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów).

Sukcesywnie wykonywane szlify przekazywane były do badań mikroskopowych przez zespół petrologów.

Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)

Prace w magazynach rdzeni prowadzone były jednocześnie przez sedimentologów i petrografów. Wyznaczone interwały do opróbowania, określone przez sedimentologów jako kolektory lub jako warstwy uszczelniające, mieściły się w granicach 800 – 2000 m głębokości.

Na początku sporządzono rejestr wytypowanych próbek rdzeni wiertniczych. Zestawiono interwały, z których pochodzą, dokładną głębokość oraz makroskopowo określono rodzaj skały.

W pierwszym etapie prac próbki zostały wytypowane (z 43 otworów wiertniczych) i zabezpieczone, a następnie przekazano je szlifierzom w celu wykonania płytek cienkich.

Z pobranych próbek rdzeni, po wycięciu z nich „walców” na badania petrofizyczne, płytki cienkie wykonali szlifierze z Przedsiębiorstwa Usług Laboratoryjnych i Geologicznych „PETROGEO” z Wołomina. Każda próbka była nasączana zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić później analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów).

Sukcesywnie wykonywane szlify przekazywane były do badań mikroskopowych przez zespół petrologów.

Wytypowano próbki petrograficzne, pobrane w rdzeniowniach w Chmielniku, Hołownie i Iwicznej, z następujących otworów wiertniczych:

Abramów-6

Abramów-7

Busówno IG-1

Bychawa IG-1

Bychawa IG-2

Ciecierzyn-1

Ciecierzyn-5

Dęblin-7

Glinnik-2

Grabowiec IG-4

Gródek-1

Kock IG-2

Komarów-9

Krasnystaw IG-6
Kumów-2
Kumów-3
Lubartów IG-3
Lublin IG-1
Lublin IG-2
Łęczna-9
Łęczna-13
Łęczna-25
Łęczna-26
Nasutów-1
Nasutów-5
Piaski IG-1
Ruskie Piaski IG-2
Siedliska IG-1
Stanin-1
Stężycza-1
Stężycza-2
Świdnik-14
Świdnik-16
Świdnik-22
Świdnik IG-1
Tarkawica-1
Tarkawica-3
Telatyn IG-1
Terebin IG-4
Tyszowce IG-1

Tyszowce IG-2

Ulhówek IG-1

Wilczanka-1

Rejon VII - NW Polska (część I) oraz VI - Wielkopolska

Prace w magazynach rdzeni prowadzone były jednocześnie przez sedimentologów i petrografów. Wyznaczone interwały do opróbowania, określone przez sedimentologów jako kolektory lub jako warstwy uszczelniające, mieściły się w granicach 800 – 2000 m głębokości.

Na początku sporządzono rejestr wytypowanych próbek rdzeni wiertniczych. Zestawiono interwały, z których pochodzą, dokładną głębokość oraz makroskopowo określono rodzaj skały.

W pierwszym etapie prac próbki zostały wytypowane (z 63 otworów wiertniczych) i zabezpieczone, a następnie przekazano je szlifierzom w celu wykonania płytek cienkich.

Z pobranych próbek rdzeni, po wycięciu z nich „walców” na badania petrofizyczne, płytki cienkie wykonali szlifierze z Przedsiębiorstwa Usług Laboratoryjnych i Geologicznych „PETROGEO” z Wołomina. Każda próbka była nasączana zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić później analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów).

Sukcesywnie wykonywane szlify przekazywane były do badań mikroskopowych przez zespół petrologów.

Wytypowano próbki petrograficzne, pobrane w rdzeniowniach w Chmielniku, Michałowie i Zielonej Górze, z następujących otworów wiertniczych:

Białogard - 5

Biały Bór - 3

Biały Bór - 5

Biały Bór - 7

Brda - 3

Brda - 5

Brda - 7

Bronków – M-27

Byczyna - 1

Chociwel - 2

Chociwel - 3

Chośnice - 5

Cieptów K-4

Czarne - 2
Czarne - 5
Człopa - 1
Człopa - 2
Drozdowice FX-1
Dunowo - 1
Dźwirzyno - 3
Golub Dobrzyń - 1
Gozd - 4
Gronowo - 1
Janowiec - 3
Kamień Pomorski - 2
Karsina - 1
Kłanino - 2
Kobylnica - 1
Kurowo - 1
Kurowo - 2
Laska - 1
Mąkowary - 1
Mężyk - 1
Młyny - 1
Myślibórz GN-1
Niekłonice - 1
Petrykozy - 1
Pławno - 1
Podbrzezie Dolne K-6
Ponętów - 2

Przybyłów - 1
Radęcin - 1
Radnica - 1
Rosnowo - 1
Rzecenica - 1
Sarbinowo - 1
Słocina IG-1
Stargard Szczeciński - 1
Stypułów K-17
Tychowo – 2
Wapnica 2k
Warnowo - 1
Warnowo - 5
Wierzchowo - 8
Wierzchowo - 9
Wierzchowo - 10
Wierzchowo - 12
Witkowo - 1
Wrociszów K-3
Wudzyn - 1
Wysoka Kamieńska - 8

Rejon VI - Kujawy,VII - NW Polska (część II) oraz VIII (Łeba-Bałtyk wraz z NE częścią Polski)

Prace w magazynach rdzeni prowadzone były jednocześnie przez sedimentologów i petrografów. Wyznaczone interwały do opróbowania, określone przez sedimentologów jako kolektory lub jako warstwy uszczelniające, mieściły się w granicach 800 – 2000 m głębokości.

Na początku sporządzono rejestr wytypowanych próbek rdzeni wiertniczych. Zestawiono interwały, z których pochodzą, dokładną głębokość oraz makroskopowo określono rodzaj skały.

W pierwszym etapie prac próbki zostały wytypowane (z 59 otworów wiertniczych) i zabezpieczone, a następnie przekazano je szlifierzom w celu wykonania płytek cienkich.

Z pobranych próbek rdzeni, po wycięciu z nich „walców” na badania petrofizyczne, płytki cienkie wykonali szlifierze z Przedsiębiorstwa Usług Laboratoryjnych i Geologicznych „PETROGEO” z Wołomina. Każda próbka była nasączana zabarwioną na niebiesko żywicą, aby ułatwić później analizę planimetryczną, a w szczególności oznaczanie porowatości metodą mikroskopową. Płytki są odkryte (bez szkiełka nakrywkowego) i mają wypolerowaną powierzchnię, dzięki czemu nadają się do ewentualnych, bardziej szczegółowych badań (analiza katodoluminescencyjna, mikrosondowa analiza składu chemicznego – EDS, analiza barwnikowa węglanów).

Sukcesywnie wykonywane szlify przekazywane były do badań mikroskopowych przez zespół petrologów.

Wytypowano próbki petrograficzne, pobrane w rdzeniowniach w Szurpiłach, Leszczach, Chmielniku i Gdańsku (Petrobaltic), z następujących otworów wiertniczych:

B3-1

B6-1

B6-2

B8-1

Barciany 1

Bartoszyce IG-1

Brzezie - 1

Brześć Kujawski IG-1

Bydgoszcz IG-1

Chabowo - 1

Chabowo – 2

Chabowo - 3

Charzykowy IG-1

Ciechocinek IG-1
Ciechocinek IG-3
Cykowo IG-1
Czaplinek IG-1
Czaplinek IG-2
Człuchów IG-1
Człuchów IG-2
Debrzno IG-1
Dębowiec Warmiński 1
Głądy 1
Gładysze 2
Gostynin IG-1
Gościno IG-1
Gozd - 2
Grzybница IG-1
Jamno IG-1
Jamno IG-3
Karsina - 1
Klewno 1
Kłanino - 1
Kłanino - 2
Kłanino - 3
Koło IG-3
Koło IG-4
Kołobrzeg IG-1
Kurowo - 1
Kurowo - 2

Lesieniec 1
Liski 1
Łankiejmy 1
Oświno IG-1
Pagórki IG-1
Piła IG-1
Pieszkowo 1
Połczyn IG-1
Reclaw IG-1
Rodnowo 1
Rokita IG-1
Szczecin IG-1
Szczecinek IG-1
Szubin IG-1
Tuchola IG-1
Tychowo PIG-2
Ustronie IG-1
Wągrowiec IG-1
Wolin IG-1

Oznaczenia parametrów petrologicznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających (1.3.1 - rejony)

Rejon I - Bełchatów (Magdalena Sikorska-Jaworowska)

W związku z wcześniejszymi opracowaniami i prowadzonymi aktualnie badaniami osadów mezozoicznych niecki łódzko-miechowskiej petrografowie z PIG dysponowali płytkami cienkimi z (30) otworów wiertniczych, które dawały możliwość pilotażowych badań mikroskopowych w interesującym nas rejonie. Na ich podstawie można było wcześniej przygotować schemat przyszłych analiz petrograficznych. Wykonano analizy planimetryczne składu mineralnego piaskowców jury dolnej i triasu dolnego, jako ewentualnych kolektorów, jak również wykonano dokumentację fotograficzną wykształcenia przestrzeni porowej w płytkach cienkich z piaskowców.

Po przeanalizowaniu pilotażowych wyników skonstruowano ostateczną tabelę parametrów petrograficznych dla potrzeb „sekwestracji” (Tabela 1.3.1_1).

Tabela 1.3.1_1 Wzór tabeli planimetrycznej wykorzystany do analiz płytek cienkich z pobranych próbek rdzeni.

WYNIKI ANALIZY PLANIMETRYCZNEJ WYBRANYCH PRÓBEK SKAŁ

Tabela

OTWOR													
GLĘB. w m													
NAZWA SKAŁY													
WIEK													
KWARC (Qm+Qp+czerty)													
SKALENIE													
OKRUCHY SKAŁ													
ŁYSZCZYKI													
MIN.AKC. I NP.													
GLAUKONIT													
MATRIKS ILASTY/ZEL.													
CEMENT	suma												
	węglanowy												
	kwarcowy												
	siarczanowy												
	ililitowy												
	kaolinitowy												

Zaplanowano, że wszystkie płytki cienkie będą wykonane w sposób profesjonalny stosowany w geologii naftowej. Zostały one nasączone niebiesko zabarwioną żywicą, tak aby wszelkie pory były nią wypełnione (Fig. 1.2.1_1). Pozwala to na mikroskopowe badania porowatości – określenie jej ilościowego udziału oraz charakteru porów. Planimetrowano wszystkie piaskowce oraz jeśli to było możliwe mułowce. Zliczano po 300 ziaren w jednej płytce cienkiej, tak aby obliczony skład mineralny danej skały był statystycznie poprawny i reprezentatywny.

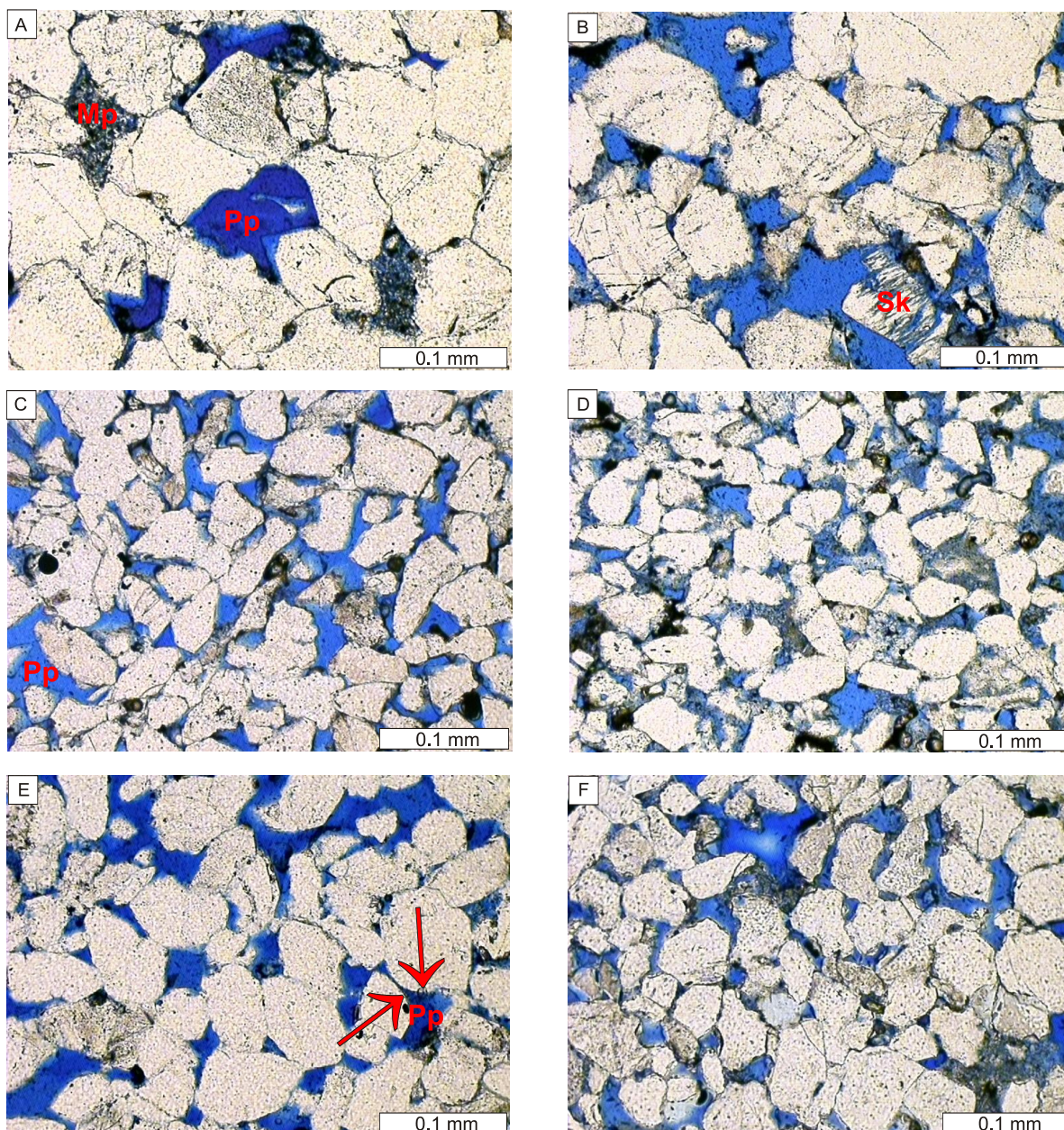
Ponieważ w projekcie „sekwestracyjnym” kluczowe znaczenie ma porowatość, a tym samym rodzaj spoiwa w skałach, zdecydowano planimetrować oddzielnie różne jego rodzaje. Zatem wyróżniono spoiwo typu

matriks (ilasto/żelaziste) oraz w postaci cementu: węglanowego, kwarcowego, siarczanowego, illitowego, kaolinitowego i chlorytowego.

W obrębie szkieletu ziarnowego skał wyróżniono następujące składniki: kwarc (mono- i polikrystaliczny razem z czertami), ogólnie grupę skaleni, okruchy skał, łyszczki i minerały akcesoryczne łącznie z minerałami nieprzezroczystymi.

Tak dokładnie określony skład mineralny kolektorów pozwoli w przyszłości na świadome monitorowanie podatności poszczególnych skał na oddziaływanie zatłoczonego dwutlenku węgla. Fundamentalne znaczenie będzie miała zawartość węglanów i forma ich występowania w poszczególnych skałach.

Analizy planimetryczne wykonał zespół petrologów przyjmując jednolitą formę tabel składu mineralnego i posługując się jednakową nomenklaturą petrograficzną. Wyniki w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.



Zdjęcia wykonane w mikroskopie polaryzacyjnym, bez analizatora. Próbki impregnowane niebieską żywicą. Podaną wartość porowatości uzyskano metodą komputerowej analizy obrazu, w nawiasie porowatość efektywna

A) Piaskowiec średnioziarnisty o porowatości 7,0% (6,8%). Widoczna porowatość pierwotna (Pp) zachowana pomiędzy obwódkami kwarcu autigenicznego i mikroporowatość (Mp) między krystalitami kaolinitu. **B)** Piaskowiec średnioziarnisty o porowatości 18,7% (19,7%). Widoczna porowatość wtórna w rozpuszczanym ziarnie skalenia (Sk). **C)** Piaskowiec drobnoziarnisty o porowatości 13,2% (26,9%). Widoczna porowatość pierwotna (Pp) zachowana pomiędzy cienkimi obwódkami kwarcu autigenicznego. **D)** Piaskowiec drobnoziarnisty o porowatości 13,3% (26,7%). **E)** Piaskowiec średnioziarnisty o porowatości 14,7%. Widoczna porowatość pierwotna (Pp) zachowana pomiędzy obwódkami kwarcu autigenicznego (strzałki). **F)** Piaskowiec drobnoziarnisty o porowatości 13,2%.

Fig. 1.3.1_1 Przykład analiz mikroskopowych próbek skał na płytkach cienkich

Tabela 1.3.1_2 Przykład tabeli planimetrycznej dla otworu z rejonu Bełchatowa.

WYNIKI ANALIZY PLANIMETRYCZNEJ WYBRANYCH PRÓBEK SKAŁ

OTWOR	ZAOSIE 2											
	836.5	838.1	840.9	912.4	914.6	1005.2	1006.1	1235.2	1235.5	1237.7	1238.1	1239.4
GLEB. w m	ar k	ar k	ar k	il/mc	il/mc	ar k	ar k	wa k	wa k	ar k	ar k / mc	ar k
NAZWA SKAŁY	ar k	ar k	ar k	il/mc	il/mc	ar k	ar k	wa k	wa k	ar k	ar k / mc	ar k
WTEK												
KWARC(Qm+Qp+czerty)	69,6	68,9	75,3			76,6	74,7	30,0	48,7	67,4		69,9
SKALENIE	1,7	2,5	3,2			1,1	2,7	1,0	0,3	0,3		0,3
OKRUCHY SKAŁ	2,2	2,1	1,6			0,5	2,1	1,0	1,0	2,1		3,5
ŁYSZCZYKI	0,0	0,5	0,3			0,0	1,2	0,0	0,0	0,0		0,0
MIN.AKC. I NP.	0,7	0,5	0,0			0,8	0,0	0,0	0,0	0,3		0,3
GLAUKONIT	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
MATRIKS ILASTY/ZEL.	0,2	0,0	0,8			0,0	2,1	68,0	37,3	10,9		11,9
CEMENT	0,0	0,0	0,0			3,5	10,2	0,0	12,7	11,5		2,3
	suma											
	węglanowy	0,0	0,0	0,0		0,5	8,4	0,0	11,3	1,5		0,3
	kwarcowy	0,0	0,0	0,0		3,0	1,8	0,0	1,3	10,0		2,0
	siarczanowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
	ililitowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
	kaolinitowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
	chlorytowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
PORY	25,6	25,6	19,0			17,4	6,9	0,0	0,0	7,6		11,9
SUMA	100,0	100,0	100,0			100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0
Qf w mm	0,30	0,30	0,27			0,20	0,14	0,07	0,15	0,15	0,10	0,15
Qf max w mm	0,65	0,60	0,70	0,33	0,20	0,45	0,22	0,32	0,36	0,36	0,48	0,40

Planimetrowano piaskowce, natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane, nazwy np. wapień ilasto-piaszczysty czy oosparyt.

Analizy petrologiczne na próbkach rdzeni z rejonu Bełchatowa wykonano w dla pobranych z magazynów rdzeni (zadanie 1.2.1) 466 prób z 28 otworów.

Wyniki dla każdego z 28 otworów wiertniczych zestawiono w oddzielnej tabeli (przykład – Tabela 1.3.1_2).

Rejon III - Mazowsze

Analizy planimetryczne (dla 303 prób z 38 otworów) wykonał zespół petrologów przyjmując jednolitą formę tabel składu mineralnego i posługując się jednakową nomenklaturą petrograficzną identyczną z zastosowaną w opracowaniu Segmentu I – Bełchatów. Wyniki w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.

Planimetrowano piaskowce, natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane, nazwy np. łożwiec glaukonitowy.

Wyniki dla każdego otworu wiertniczego zestawiono w oddzielnej tabeli (przykład - **Tabela 1.3.1_3**).

Tabela 1.3.1_3 Przykład tabeli planimetrycznej dla otworu z rejonu Mazowsza

OTWÓR	BODZANÓW GN-3											
	1961,0	2009,6	2063,5	2065,6	2110,5	2152,3	2299,3	2303,4	2383,7	2453,1	2516,7	
GEF.B. w m												
NAZWA SKAŁY	wa k	ar k	ar k	pc/mc	ar k	ar k	ar k	ar k	ar k	syderyt	ar k	
WIEK												
KWARC (Qm+Qp+czerły)	50,7	50,7	75,7		69,3	83,0	78,0	77,3	73,3		75,4	
SKALENIE	3,7	1,0	3,6		1,0	2,3	2,1	1,0	2,3		1,7	
OKRUCHY SKAŁ.	0,0	0,7	0,3		0,0	0,3	0,0	0,0	0,7		1,3	
ŁYSZCZYKI	2,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	3,0	0,7		0,3	
MIN. AKC. INP.	0,0	1,3	0,0		0,0	0,0	0,7	0,0	0,0		0,0	
GLAUKONIT	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	
MATRIKS ILASTY/ZEL.	43,6	2,0	1,7		0,0	6,7	42,0	0,0	4,0		3,0	
CEMENT	suma	0,0	33,3	0,0		29,7	0,0	1,0	5,7		0,0	
	węglanowy	0,0	33,3	0,0		29,0	0,0	1,0	0,0		0,0	
	kwarcowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	5,7		0,0	
	siarczanowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	
	ilikowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	
	kaolinitowy	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	
	chlorytowy	0,0	0,0	0,0		0,7	0,0	0,0	0,0		0,0	
PORY	0,0	11,0	18,7		0,0	7,7	14,0	13,0	18,0		18,3	
SUMA	100,0	100,0	100,0		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0	
Qf w mm	0,12	0,14	0,20		0,32	0,20	0,20	0,08	0,18		0,25	
Qf max w mm	0,32	0,60	0,62		1,68	0,68	0,60	0,40	0,50		0,98	

Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)

Analizy planimetryczne (dla prób z 43 otworów – 342 próby - dla prób z tych samych otworów przeprowadzono też analizy petrofizyczne w **1.3.2**) wykonał zespół petrologów przyjmując jednolitą formę tabel składu mineralnego i posługując się jednakową nomenklaturą petrograficzną identyczną z zastosowaną w opracowaniu Segmentu I – Bełchatów. Wyniki w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.

Planimetrowano piaskowce, natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane, nazwy np. iłowiec glaukonitowy.

Wyniki dla każdego otworu wiertniczego zestawiono w oddzielnej tabeli (analogicznej jak dla poprzednich rejonów).

Rejon VII - NW Polska (część I) oraz VI - Wielkopolska

Analizy planimetryczne (dla prób z 63 otworów – 220 prób) wykonał zespół petrologów przyjmując jednolitą formę tabel składu mineralnego i posługując się jednakową nomenklaturą petrograficzną identyczną z zastosowaną w opracowaniu Segmentu I – Bełchatów. Wyniki w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.

Planimetrowano piaskowce, natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane, nazwy np. iłowiec glaukonitowy.

Wyniki dla każdego otworu wiertniczego zestawiono w oddzielnej tabeli (analogicznej jak np. dla rejonów I i III).

Rejon VI - Kujawy, VII - NW Polska (część II) oraz VIII (Łeba-Bałtyk wraz z NE częścią Polski)

Analizy planimetryczne (dla prób z 59 otworów – 359 prób) wykonał zespół petrologów przyjmując jednolitą formę tabel składu mineralnego i posługując się jednakową nomenklaturą petrograficzną identyczną z zastosowaną w opracowaniu Segmentu I – Bełchatów. Wyniki w tabelach oraz w tekście wyrażone są w % objętościowych.

Planimetrowano piaskowce, natomiast pozostałym skałom nadawano jedynie, w miarę możliwości rozbudowane, nazwy np. iłowiec glaukonitowy.

Wyniki dla każdego otworu wiertniczego zestawiono w oddzielnej tabeli (analogicznej jak np. dla rejonów I i III).

Oznaczenia parametrów petrofizycznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających (1.3.2 - INiG)

Podstawy fizyczne prowadzonych badań petrofizycznych

Współczynnik porowatości (porowatość) jest podstawowym wskaźnikiem pojemności i zdolności filtracyjnych warstwy porowatej. Definiujemy go, jako stosunek objętości porów w danym ciele (próbce) do objętości całkowitej tego ciała (próbki). Współczynnik porowatości wyrażamy w procentach. Ze względu na rodzaj porów ujętych w obliczeniach otrzymujemy szczegółowe definicje współczynników porowatości:

Współczynnik porowatości całkowitej (porowatość całkowita) - wyraża stosunek objętości wszystkich porów (otwartych i zamkniętych) do objętości całkowitej badanej próbki skalnej. Współczynnik porowatości efektywnej – porowatość efektywna, porowatość otwarta wyraża stosunek objętości porów otwartych (komunikujących się) do objętości całkowitej badanej próbki skalnej. Współczynnik porowatości dynamicznej – porowatość dynamiczna, wyraża stosunek objętości porów, z których możemy odzyskać płyny złożowe do objętości całkowitej badanej próbki. Współczynnik porowatości dynamicznej w porównaniu ze współczynnikiem porowatości efektywnej jest pomniejszony o objętość wody związanej zawartej w próbce, która występuje jako jedno lub dwudrobinowa warstwa wody, trzymana siłami przylegania na powierzchni ścianek porów oraz wody nieredukowalnej trzymanej siłami kapilarnymi w mikroporach.

Współczynnik porowatości całkowitej i efektywnej możemy badać stosując standardowe metody pomiaru, natomiast do prawidłowego scharakteryzowania współczynnika porowatości dynamicznej potrzebne są dodatkowo badania morfologii przestrzeni porowej. *Współczynnik porowatości całkowitej* badamy metodą piknometryczną. Pomiar polega na porównaniu gęstości objętościowej z gęstością materiału skalnego i wyliczeniu na tej podstawie objętości wszystkich porów. Metoda ta powoduje niszczenie próbek skalnych i co za tym idzie, uniemożliwia wykonywanie na nich dalszych badań. *Współczynnik porowatości efektywnej* badamy nasycając próbkę cieczą zwilżającą. Znając gęstość cieczy użytej do badania wyliczamy objętość porów otwartych. Jest to metoda nieniszcząca, umożliwia, więc zarówno powtórzenie pomiaru jak też i wykonanie na tej samej próbce pozostałych analiz petrofizycznych.

Każdy z przytoczonych współczynników porowatości jest makroparametrem charakteryzującym liczbowo pojemność skały, nie określa natomiast struktury jej przestrzeni porowej.

Badania przestrzeni porowej. Sposób pomiaru współczynników zarówno porowatości jak i przepuszczalności nie uwzględnia morfologii przestrzeni porowej. Parametryzację przestrzeni porowej uzyskuje się pomiarami krzywych ciśnień kapilarnych. W badaniach tych wykorzystuje się zależność wielkości ciśnienia kapilarnego od wielkości promienia kapilary, jej kształtu oraz rozkładu sieci wzajemnych połączeń między sobą porów o różnych promieniach. Odtworzenie rzeczywistego kształtu przestrzeni porowej jest z oczywistych względów niemożliwe. Jest również niekonieczne, ponieważ z satysfakcjonującą dokładnością możemy sparametryzować badaną przestrzeń i wprowadzić makroskopowe poprawki umożliwiające prawidłowe wykorzystanie otrzymanych wyników.

Sposób parametryzacji badanej przestrzeni porowej oraz wyliczane z krzywych ciśnień kapilarnych wielkości makroskopowe zależą od przyjętej metody badań, ta zaś jest funkcją posiadanej aparatury, długości koniecznych serii pomiarowych i wymagań czasowych. Krzywe ciśnień kapilarnych prezentowane w niniejszym opracowaniu zostały otrzymane metodą porozymetryczną, czyli metodą wstrzykiwania rtęci do badanych próbek.

Badania porozymetryczne, niezależnie od technicznych rozwiązań, bazują na walcowym modelu przestrzeni porowej, w którym przestrzeń porowa jest symulowana, jako pęk walcowatych kapilar przewodzących płyny złożowe, przy czym porowatość efektywna realnej przestrzeni i przestrzeni parametryzowanej jest taka sama. Rozkład ekwiwalentnych średnic porów i ich procentowy udział w badanej przestrzeni porowej otrzymywany jest z równania Washburn'a [1]:

$$d = \frac{\tau \cos(\varphi)}{4 \times P} \quad [1]$$

gdzie: d - średnica porów, P - przyłożone ciśnienie, φ kąt kontaktu skała - płyn złożowy, τ napięcie powierzchniowe.

Procentowy rozkład porów o danej średnicy w przestrzeni porowej określany jest dzięki zliczaniu cząstkowych objętości rtęci wstrzykiwanej do próbki. Pomiar polega na wstrzykiwaniu rtęci do badanej próbki pod zadaniem ciśnieniem oraz mierzeniu ciśnienia i objętości rtęci, która wmigrowała do próbki przy tym ciśnieniu. Otrzymuje się krzywą kumulacyjną zależności: przyłożone ciśnienie - objętość rtęci. Znając masę próbki oraz wyznaczając w trakcie pomiaru porozymetrycznego jej objętość zewnętrzną oraz objętość szkieletu skalnego i przeliczając otrzymane wyniki wzorem Washburn'a, otrzymuje się rozkład średnic porów w danej próbce oraz objętości cząstkowe, a także porowatość próbki, jej gęstość szkieletową i pozorną.

Z objętości cząstkowych można obliczyć powierzchnię właściwą skały, według zależności [2]:

$$\sum A = \frac{\sum \Delta V}{\tau \cos(\varphi)} \quad [2]$$

gdzie: A - powierzchnia właściwa, ΔV - cząstkowe objętości odpowiadające ciśnieniu P

W zależności od typu użytego do pomiarów aparatu otrzymujemy albo pojedynczą kumulacyjną krzywą ciśnień kapilarnych (aparaty starszej generacji), albo dwie krzywe kumulacyjne wykreślone dla rosnących i dla malejących ciśnień kapilarnych. Kształt krzywej wykreślonej dla malejących ciśnień jest podstawowym źródłem informacji o wielkości odstępstwa realnej przestrzeni porowej od modelu walcowego.

Woda nieredukowalna. Jeśli wielkości pomiaru współczynników porowatości i przepuszczalności przyjmujemy z badań petrofizycznych, musimy w obliczeniach przyjąć, że pewien procent przestrzeni porowej badanej próbki będzie zajęty przez wodę złożową i o ten właśnie procent należy obniżyć obliczone wartości współczynnika porowatości.

Woda nieredukowalna to:

-woda związana, a więc woda pokrywająca jedno lub dwudrobinową warstwę ścianki porów i związana z nimi siłami przylegania,

-woda okupująca mikropory o tak małych promieniach, że jest w warunkach złożowych nieruchoma.

Woda związana ma zdefiniowane znaczenie dla procesów transportu. Grubość tworzonej przez nią warstwy na ściankach skały wynosi ok. 10 Å. W skałach iltowcowych, gdzie wielkość powierzchni właściwej osiąga 8 m²/cm³, woda związana zajmuje objętość do 0.6% objętości skały, co przy niskich współczynnikach porowatości iltowców jest wartością znaczącą. Woda związana zamyka całkowicie pory o promieniach mniejszych od 0.002 μm. W piaskowcowych facjach zbiornikowych zawartość wody związanej nie odgrywa znaczącej roli, ponieważ wielkość powierzchni właściwej nie przekracza tu 2 m²/cm³, w związku z czym objętość wody związanej lokuje się w nich poniżej 0.2% objętości skały. Zasadniczą masą składającą się na wodę nieredukowalną jest woda zawarta w submikroporach, które wiążą ją siłami kapilarnymi tak mocno, że jest praktycznie nieruchoma. Pomiar porozymetryczne pozwalają oszacować jej ilość z proporcji ilości przestrzeni submikroporowej do całej przestrzeni porowej próbki, zaś krzywe ciśnienia kapilarnych określane są wyłącznie dla przestrzeni porowej wolnej od tej wody. Wodę wypełniającą mikropory można usunąć z próbki w warunkach laboratoryjnych wygrzewając ją w temperaturze 105^o C w suszarce próżniowej. Jeśli współczynnik porowatości wysuszonej próbki wyznaczamy nasycając ją cieczą zwilżającą lub helem, określamy wtedy pełną wartość współczynnika porowatości otwartej. Pomiar porozymetryczny polega natomiast na wstrzykiwaniu do wysuszonej próbki cieczy niezwilżającej. Ciecze te zachowują się odwrotnie w warunkach kapilarnych, ciecz niezwilżająca nie wejdzie do porów zajmowanych normalnie przez wodę nieredukowalną. Stąd różnica wielkości porowatości wyznaczonej metodą nasycania próbki cieczą zwilżającą czy gazem i porowatości zliczonej z pomiarów porozymetrycznych będzie miarą ilości wody nieredukowalnej.

W praktyce złożowej, za przestrzeń porową zajęta przez wodę nieredukowalną przyjmujemy również jej ułamek tworzony przez pory o promieniach mniejszych od 0.1μm

Wymiar fraktalny. Idea fraktalnego wymiaru porowatości intergranularnej opiera się na modelu, tzw. gąbki Mengera. Generalizując model gąbki Mengera, dla mediów porowatych otrzymamy ogólne formuły dla konstrukcji zbudowanej z kostek podstawowych o gęstości ρ₀ i wymiarze podstawowym kostki r₀. Wyliczając gęstości objętościowe dla kolejnych generacji gąbki Mengera o współczynniku redukcji s=1/3 i wykorzystując definicję wymiaru samopodobieństwa (zależność a = 1/(s^D) i dzieląc otrzymane wyniki stronami otrzymujemy zależność potęgową [3]

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^{3-D} \quad [3]$$

D - wymiar fraktalny, r – wymiar kostki

Równocześnie dla realnej przestrzeni porowej wykonujemy analizy porozymetryczne. Polegają one na wstrzykiwaniu cieczy niezwilżającej (rtęci) do przestrzeni porowej. Ciśnienie, które musimy przyłożyć do rtęci, aby napęlić pory o określonych promieniach jest odwrotnie proporcjonalne do tych promieni. Rezultatem pomiaru jest zebranie krzywej zależności: objętość rtęci, która została wstrzyknięta do porów od przyłożonego ciśnienia kapilarnego [4]

$$V = f(P) = f(1/r) \quad [4]$$

gdzie: V – objętość rtęci wstrzykniętej do próbki, P – ciśnienie kapilarne.

Wstrzykując rtęć do gąbki Mengera o objętości V1 otrzymujemy zależność [5]:

$$V \approx P^{(3-D)} \quad [5]$$

gdzie: V - objętość przestrzeni porowej, P - ciśnienie kapilarne, D - wymiar fraktalny. Jest to zależność otrzymywana z pomiarów porozymetrycznych. Logarytmując ją otrzymujemy [6]:

$$\log(V) = (3-D) \log(P) \quad [6]$$

Jeśli przestrzeń porowa ma strukturę fraktalną otrzymuje się linię prostą o współczynniku kierunkowym równym (3-D). Innymi słowy, fraktalna struktura będzie się manifestować prostoliniowym przebiegiem krzywej typu log-log.

Stwierdzono, że dla większości przebadanych skał fraktalna struktura jest widoczna dla ciśnień kapilarnych znacznie wyższych od ciśnienia odpowiadającego średnicy progowej. Jest to wynikiem zasady pomiaru porozymetru rtęciowego. Realna przestrzeń porowa składa się bowiem z dużych porów połączonych siecią łączących je kanałów. Krzywa kumulacyjna pokazuje dla jakich średnic kanałów łączących rtęć wlewa się do przestrzeni porowej, nie dając jednak informacji jaki procent (nasyconej przy danym ciśnieniu kapilarnym) przestrzeni porowej stanowią pory, a jaki kanały łączące. Jest to niezwykle istotne dla właściwości filtracyjnych badanych skał, czy jest to sieć nielicznych kanałów łączących duże objętości przestrzeni porowej, czy też sieć ta jest dobrze rozwinięta.

Informację o tym daje analiza fraktalnego wymiaru krzywych kumulacyjnych. Jeśli dla ciśnień kapilarnych, znacznie wyższych od ciśnienia odpowiadającego średnicy progowej znajdujemy prostoliniowy odcinek krzywej typu log-log, wskazujący na istnienie fraktalnej struktury w tym zakresie ciśnień, oznacza to, że ta struktura fraktalna odpowiada sieci kanałów łączących. Daje to możliwość oszacowania, jaki procent przestrzeni porowej bierze udział w transporcie płynów złożowych (jaki procent zajmują kanały łączące).

Pomiar gęstości

Pomiary gęstości wykonuje się przy pomocy piknometru helowego. Urządzenie to wykorzystuje doskonałe właściwości helu w penetrowaniu nawet najmniejszych submikroporów. Dzięki temu, podczas pomiaru uzyskuje się dokładną wartość gęstości szkieletowej. Procedura wygląda następująco: badaną próbkę waży się, a następnie umieszcza w kalibrowanej komorze, do której wstrzykuje się określoną ilość helu. Z równania gazowego oblicza się objętość szkieletu badanej próbki, a stąd jej gęstość szkieletową. Aparat jest skomputeryzowany, oblicza żądane wielkości automatycznie. Te same próbki umieszczane są następnie w porozymetrze. W czasie pomiarów porozymetrycznych uzyskuje się gęstość pozorną (objętościową) badanej próbki. Mając wyliczone objętości szkieletu skalnego próbki i jej objętość zewnętrzną można wyliczyć współczynnik porowatości otwartej ze wzoru [7]

$$por = \frac{V_{dj} - V_{sk}}{V_{dj}} \times 100\% \quad [7]$$

gdzie: V_{obj} - objętość zewnętrzna (cm^3), V_{szk} - objętość szkieletu skalnego (cm^3), por - współczynnik porowatości otwartej (%)

Badania porozymetryczne

Przestrzeń porowa skały to mikrokapilarny ośrodek złożony z wielkiej ilości nieregularnych w kształcie i ułożeniu kapilar, który może być wypełniony płynami złożowymi.

W geologii naftowej scharakteryzowanie i opisanie fizycznych właściwości przestrzeni porowej polega na możliwie poprawnym określeniu możliwości transportu i magazynowania płynów złożowych przez ośrodek filtracji.

Właściwości te można ocenić określając makroskopowe wielkości współczynnika porowatości i przepuszczalności ośrodka filtracji, ale można też próbować przybliżyć kształt i charakter przestrzeni porowej tego ośrodka takim modelem fizycznym, którego parametry określą rzeczywiste właściwości filtracji i magazynowania.

Badanie i parametryzację przestrzeni porowej uzyskuje się pomiarami krzywych ciśnień kapilarnych. W badaniach tych wykorzystuje się zależność wielkości ciśnienia kapilarnego od wielkości promienia, jego kształtu i sieci połączeń między sobą porów o różnych promieniach. Oczywiście, odtworzenie rzeczywistego kształtu przestrzeni porowej jest z oczywistych względów niemożliwe. Jest również niekonieczne, ponieważ z satysfakcjonującą dokładnością możemy sparametryzować badaną przestrzeń i wprowadzić makroskopowe poprawki umożliwiające prawidłowe wykorzystanie otrzymanych wyników. Zastosowany w badaniach ciśnień kapilarnych porozymetr rtęciowy AutoPore IV umożliwia otrzymanie dwóch krzywych kumulacyjnych sporządzanych dla rosnących (krzywa nasiąkania) i malejących ciśnień (krzywa osuszania).

Kształt krzywej wykreślonej dla malejących ciśnień jest podstawowym źródłem informacji o wielkości odstępstwa realnej przestrzeni porowej od modelu walcowego. Analiza wyników badań porozymetrycznych polega na wyliczeniu i zinterpretowaniu szeregu wielkości liczonych z krzywych ciśnień kapilarnych oraz na analizie kształtu krzywych ciśnień kapilarnych.

Z pomiarów porozymetrycznych wyliczamy następujące wielkości:

Porowatość zliczoną z porozymetru. Od porowatości otwartej różni się tym, że zliczamy objętość cieczy niezwiązanej, która wmgrowała do próbki. Objętość ta nie obejmuje tych wszystkich submikroporów, których średnica jest zbyt mała dla wnikięcia rtęci. Wielkość porowatości zliczanej z porozymetru jest, więc niższa od wielkości porowatości otwartej, a ich różnica jest miarą ilości wody nieredukowalnej w próbce. Wielkość ta będzie, więc porowatością dynamiczną. Błędem zaburzającym pomiar jest występowanie tzw. efektu brzegowego, będącego skutkiem istnienia nierówności na ściankach badanej próbki, a dającego w rezultacie pozorny wzrost porowatości zliczanej z porozymetru w granicach 0.1 - 0.5% porowatości. Efekt ten będzie istotny dla próbek o niskiej porowatości.

Wielkość średniej kapilary. Jest to standardowa wielkość służąca do oceny jakości skały zbiornikowej. Wielkość średniej kapilary jest liczona, jako średnia ważona, z wagą ilości porów, a nie procentu przestrzeni porowej.

Powierzchnia właściwa. Jest to sumaryczna powierzchnia porów przypadająca na jednostkę objętości (masy) badanej skały i jest miarą wielkości oporu stawianego przez ośrodek porowaty przepływającemu płynowi.

Analiza kształtu krzywych kumulacyjnych. Typowa krzywa kumulacyjna wygląda następująco: na osi y zamieszcza się procentowy (objętościowo) udział porów o danej średnicy w przestrzeni porowej badanej próbki (równoważny objętości wstrzykniętej do próbki rtęci), na osi x (typu logarytmicznego) odkłada się średnice odpowiadających im porów, względnie odpowiadające im ciśnienie kapilarne.

W kształcie każdej krzywej ciśnień kapilarnych możemy wyróżnić pewne charakterystyczne punkty. I tak: punkt, w którym rtęć zaczyna migrować do próbki określamy jako ciśnienie wejścia, a odpowiadającą mu średnicę porów jako średnicę wejścia. Punkt ten określa największy rozmiar porów, jaki występuje w próbce. Od tego punktu nasycenie próbki rtęcią rośnie powoli, w miarę jak rtęć wchodzi do makroporów. Ponieważ w wielu wypadkach wartość nasycenia oscyluje w tym przedziale wokół wartości 10%, szereg badaczy wyróżniło ten punkt krzywej i określiło go jako ciśnienie lub średnicę przesunięcia.

Następny wyróżniony punkt ma bardzo ważne znaczenie fizyczne. W kryteriach matematycznych jest to punkt przegięcia krzywej kumulacyjnej, który z fizycznego punktu widzenia reprezentuje tę wartość ciśnienia (lub średnicy), po przekroczeniu której, nasycenie rtęcią zaczyna bardzo szybko rosnać przy niewielkich zmianach ciśnienia. Punkt ten nazywany jest w literaturze ciśnieniem progowym lub średnicą progową. Przy tym ciśnieniu rozpoczyna się przepływ płynu przez próbkę, innymi słowy, średnica porów odpowiadająca temu ciśnieniu „zapewnia komunikację” w skale. Im wyższa jest wartość średnicy progowej lub im niższa jest wartość ciśnienia progowego tym lepsze są właściwości filtracyjne badanej skały. Po gwałtownym wzroście nasycenia, krzywa kumulacyjna zmierza asymptotycznie, wraz ze zmniejszaniem się średnic porów, do wartości nasycenia maksymalnego.

Odstępstwa od tego typu krzywych występują w przypadkach niskiej porowatości i dużej niejednorodności skały. W pierwszym przypadku duży wpływ na nieregularności krzywej kumulacyjnej ma efekt brzegowy, w drugim trudno ocenić wartość ciśnienia progowego.

Dla krzywych uzyskiwanych przy malejących ciśnieniach istnieją trzy typowe przebiegi. Ogólnie można powiedzieć, że krzywe tego typu są wskaźnikami wielkości odstępstwa realnej przestrzeni porowej od przyjętego modelu walcowego. Im bliżej obie krzywe (zebrane przy rosnących i przy malejących ciśnieniach) leżą względem siebie tym bardziej przestrzeń porowa badanej próbki przypomina model walcowy, czyli tym lepsze są jej właściwości filtracyjne. Położenie krzywej powracającej wysoko powyżej krzywej sporządzonej przy wzrastających ciśnieniach świadczy o dużej ilości pułapek kapilarnych w badanej warstwie porowatej. Realna przestrzeń porowa ma postać stosunkowo dużych porów połączonych cienkimi kanalikami i właśnie one określają zdolność transportu płynów. Przypadek, w którym krzywa powracająca lokuje się znacznie poniżej krzywej pierwotnej jest również niekorzystny. Świadczy o występowaniu w badanej przestrzeni porowej dużej ilości porów o lejkowatym kształcie, będących również pułapkami dla cieczy zwilżających. Numeryczną parametryzacją stopnia oddalenia krzywych od siebie jest wartość efektu histerezy, mierzona jako różnica w nasyceniu rtęcią próbki dla danego ciśnienia dla obu krzywych.

Mając zdefiniowane i oznaczone parametry otrzymane z badania ciśnień kapilarnych możemy określić właściwości fizyczne przestrzeni porowej badanej warstwy, prowadząc badania korelacyjne tych wielkości z porowatością i przepuszczalnością. Z wielkości mających znaczenie fizyczne dobrymi parametrami są: powierzchnia właściwa, wielkość efektu histerezy, średnica progowa i średnica przeciętnej kapilary.

Średnica wejścia i średnica przesunięcia są „gorszymi” parametrami z powodu dużej wrażliwości na efekt brzegowy.

Badania współczynnika przepuszczalności

Oznaczanie współczynnika przepuszczalności efektywnej wykonuje się przy użyciu gazu. Jako gazu roboczego używa się azotu. Pomiar polega na doprowadzeniu do ustalonego, laminarnego przepływu gazu przez badaną próbkę i wyliczeniu współczynnika przepuszczalności przy pomocy równania Darcy' ego. Techniczne wykonanie pomiaru zależy od przyjętej geometrii pomiaru i rodzaju użytej próbki. Pomiar współczynnika przepuszczalności wykonane zostały dla tzw. geometrii liniowej, tj. gaz płynie przez próbkę o stałym przekroju i długości. Do tego typu badań stosuje się wycięte walce o średnicy 1 cala i długości 3 - 4 cm. W czasie pomiaru gaz płynie wzdłuż walca, którego pobocznica jest uszczelniona. W trakcie analizy mierzy się objętość gazu migrującą przez próbkę w jednostce czasu oraz ciśnienie gazu na wejściu i wyjściu.

Współczynnik przepuszczalności liczy się ze wzoru [8]

$$k = \frac{C \mu A P_e}{T L Z} \quad [8]$$

gdzie: k - współczynnik przepuszczalności (mD), μ - lepkość gazu (cPu), C - stała zależna od rodzaju użytych jednostek, T - temperatura, Z - współczynnik odchylenia, L - długość walca (cm), A - przekrój poprzeczny walca (cm), P - ciśnienie (at).

Pomiar dla każdej próbki powtarzany jest dla co najmniej 3 różnych ciśnień. Proporcjonalność otrzymanych wyników świadczy o laminarności przepływu. Jeśli otrzymana w trakcie pomiaru prosta $k = f(1/p)$ wykazuje niezaniechwalne nachylenie, wyliczamy poprawkę na efekt Klinkenberga ze wzoru [9]

$$K_k = K m \frac{1}{P} \quad [9]$$

gdzie: K_k - ekstrapolowana wartość współczynnika przepuszczalności dla nieskończonego ciśnienia równa przepuszczalności pomierzonej dla nieściśliwej, niereagującej ze skałą cieczy, K - współczynnik przepuszczalności zmierzony dla średniego ciśnienia przepływu P, m - nachylenie krzywej

Rejon I - Bełchatów

(Piotr Such, Małgorzata Włodarczyk, Barbara Darłak, Grzegorz Leśniak, Krzysztof Sowizdzał, Marta Kys)

Analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności

Tabela 1.3.2_1 Zestawienie otworów, w których wykonano analizy petrofizyczne na próbkach

Otwór	Ilość przebadanych próbek
Bełchatów-4	12
Buków-2	5
Dymek IG-1	54
Florentyna IG-2	18
Gidle-2	15
Gomunice-9	5
Gomunice-10	9
Gomunice-13	9
Jeżów IG-1	83
Kalisz IG-1	50
Kuźnica Grabowska-1	18
Niechmirów IG-1	33
Ostrów Kaliski-2	4
Ożegów IG-1	32
Przeclaw IG-1	2
Radoszewice-2	9
Raduchów	7
Radziątków-7	4
Reclaw IG-1	17
Rzeki IG-1	24
Sobiesęki-3	9
Szwejki-1	5
Środa IG-1	1
Wieruszów-2	5
Więcki IG-1	17
Wolin IG-1	4
Zakrzyn IG-1	7
Zamoście-1	7
Zaosie-1	2
Zaosie-2	21

Wykonano analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności dla gazu dla 488 próbek z 30 otworów (Tabela 1.3.2_1). Wyniki opracowano w formie tabelarycznej - dostępne w bazie.

Wyniki badań porozymetrycznych

Wyniki badań porozymetrycznych opracowano w zbiorczym zestawieniu tabelarycznym (**Tabela 1.3.2_2**) na podstawie indywidualnych metryk próbek.

Opis tabeli zbiorczej (Tabela 1.3.2_2)

W kolejnych rubrykach tabeli zamieszczono:

- numer próbki (kolumna 1) – numer przyjęcia próbki do badań
- głębokość [m] (kolumna 2) - głębokość wiertnicza poboru próby
- gęstość materiałowa [g/cm^3] (kolumna 3) - gęstość materiałowa wyliczona z pomiaru piknometrem helowym
- porowatość całkowita [%] (kolumna 4) - współczynnik całkowitej porowatości otwartej, wyliczony z pomiaru piknometrem helowym
- gęstość szkieletowa [g/cm^3] (kolumna 5)- gęstość materiałowa wyliczona z porozymetru
- gęstość z porozymetru [g/cm^3](kolumna 6) - gęstość objętościowa badanej próbki
- porowatość z porozymetru [%] (kolumna 7) - współczynnik porowatości efektywnej, wyliczony z porozymetru
- średnia kapilarna [μm] (kolumna 8) - wielkość przeciętnej kapilary
- powierzchnia właściwa [m^2/g] (kolumna 9) - wielkość powierzchni właściwej przestrzeni porowej
- pory $> \mu m$ (kolumna 10) - procent przestrzeni porowej zbudowanej z porów o średnicach większych od 1 μm
- średnica progowa [μm] (kolumna 11) - wielkość średnicy progowej
- histereza [%] (kolumna 12) - wielkość efektu histerezy liczona w procentach przestrzeni porowej

Tabela 1.3.2_2 Wyniki badań porozymetrycznych próbek skał z rejonu Bełchatowa (przykład).

Wyniki badań porozymetrycznych

Odwiert	Nr próbki	Głęb. [m]	Gęstość materiał. [g/cm ³]	Porowat. całkowita [%]	Gęstość szkielet. [g/cm ³]	Gęstość z porozym. [g/cm ³]	Porowat. z porozym. [%]	Srednia kapilarna [um]	Powierzch. właściw. [m ² /g]	Pory >1 um [%]	Srednica progowa [um]	Histereza [%]
Bełchatów -4	7461	1193,5	2,69	5,43	2,68	2,54	5,38	0,06	1,33	5	0,4	79
Bełchatów -4	7462	1254	3,07	10	2,7	2,5	7,3	0,06	1,87	3	0,2	76
Bełchatów -4	7463	1265	2,71	7,27	2,67	2,49	6,99	0,07	1,61	5	0,3	71
Bełchatów -4	7464	1295,8	2,71	7,74	2,7	2,49	7,66	0,08	1,51	6	0,03	69
Bełchatów -4	7465	1314	2,73	8,95	2,68	2,45	8,52	0,06	2,17	3	0,8	67
Bełchatów -4	7466	1329	2,69	6,49	2,64	2,47	6,18	0,04	2,86	8	0,1	59
Bełchatów -4	7467	1358,5	2,69	9,57	2,63	2,39	9,03	0,04	4,23	15	1	54
Bełchatów -4	7468	1371,3	2,79	12,07	2,75	2,43	11,61	0,04	5,2	7	1	68
Bełchatów -4	7469	1402,4	2,66	14,42	2,59	2,24	13,48	0,12	2	44	4	65
Bełchatów -4	7470	1402,7	2,64	12,96	2,21	2,01	9,06	0,23	0,8	62	15	81
Bełchatów -4	7471	1417	2,68	12,46	2,6	2,3	11,54	0,18	1,13	50	8	75
Bełchatów -4	7472	1431,2	2,68	8,01	2,64	2,44	7,7	0,05	2,75	8	0,4	55
Dymek IG-1	7270	840,7	2,68	12,05	2,57	2,29	10,86	0,06	3,15	46	bm	49
Dymek IG-1	7271	895,5	2,68	11,78	2,59	2,31	10,81	0,04	4,37	5	0,3	60
Dymek IG-1	7272	896,1	2,74	4,77	2,71	2,58	4,63	0,07	1	12	0,5	61
Dymek IG-1	7273	952,1	2,8	7,38	2,64	2,47	6,36	0,02	6,32	8	0,05	62
Dymek IG-1	7274	1011	2,76	6,25	2,59	2,45	5,34	0,02	5,72	7	0,04	68
Dymek IG-1	7275	1075	2,69	11,03	2,58	2,33	9,94	0,03	6,48	23	0,05	59
Dymek IG-1	7276	1210,1	2,76	12,8	2,72	2,38	12,31	0,18	1,13	64	10	67
Dymek IG-1	7277	1649,7	2,68	6,43	2,66	2,49	6,3	0,06	1,79	14	1	56
Dymek IG-1	7278	1650,8	2,71	4,92	2,59	2,47	4,39	0,03	2,5	23	0,3	51
Dymek IG-1	7279	1651,7	2,7	5,49	2,59	2,46	4,95	0,04	2,25	18	0,4	52
Dymek IG-1	7280	1652,7	2,68	5,93	2,61	2,46	5,54	0,04	2,02	35	0,5	39
Dymek IG-1	7281	1653,3	2,66	6,78	2,59	2,43	6,34	0,04	2,59	9	0,8	48
Dymek IG-1	7282	1654	2,65	5,54	2,64	2,5	5,49	0,11	0,78	10	1	59
Dymek IG-1	7283	1693,1	2,71	2,34	2,64	2,58	2,19	0,03	1,19	38	0,1	36
Dymek IG-1	7284	1695,6	2,79	0,73	2,72	2,7	0,68	0,02	0,52	30	0,03	65
Dymek IG-1	7285	1697,6	2,77	2,86	2,57	2,51	2,38	0,03	1,39	40	25 ; 0,08	41
Dymek IG-1	7286	1727,2	2,71	5,3	2,64	2,51	4,95	0,03	2,8	7	0,2	54
Dymek IG-1	7287	1730	2,74	2,8	2,62	2,55	2,5	0,02	1,95	20	0,05	52

Tabela 1.3.2_3 Wyniki badań przepuszczalności dla próbek skał z rejonu Bełchatowa (przykład).

Wyniki analizy przepuszczalności

Odzwiert	Głębokość	Numer	Przepuszczalność	Uwagi
	[m]	próbki	[mD]	
1	2	3	4	5
Bełchatów 4	1193,5	7461	niep	
Bełchatów 4	1254	7462	niep	prostopadła
Bełchatów 4	1254	7462		0 równoległa
Bełchatów 4	1265	7463	niep	
Bełchatów 4	1295,8	7464		0
Bełchatów 4	1314	7465		0
Bełchatów 4	1329	7466		0,01
Bełchatów 4	1358,5	7467		0,22
Bełchatów 4	1371,3	7468		0,61
Bełchatów 4	1402,4	7469		0
Bełchatów 4	1402,7	7470		198,10
Bełchatów 4	1417	7471		0,1
Bełchatów 4	1431,2	7472		0
Dymek IG-1	840,7	7270		1,16
Dymek IG-1	896,1	7272		0
Dymek IG-1	952,1	7273		0
Dymek IG-1	1011	7274	niep	
Dymek IG-1	1075	7275		2,50
Dymek IG-1	1210,1	7276		4,18
Dymek IG-1	1649,7	7277		1,24
Dymek IG-1	1650,8	7278		0,49
Dymek IG-1	1652,7	7280		0,26
Dymek IG-1	1653,3	7281		0
Dymek IG-1	1654	7282		0,50
Dymek IG-1	1697,6	7285	niep	
Dymek IG-1	1717,2	7286	brak pomiaru	
Dymek IG-1	1730	7287	brak pomiaru	
Dymek IG-1	1780,4	7288		0,1
Dymek IG-1	1781,7	7289		0,1
Dymek IG-1	1782,4	7290		1,32
Dymek IG-1	1783,6	7291		0
Dymek IG-1	1784,9	7292		0,1
Dymek IG-1	1785,9	7293		0
Dymek IG-1	1811,9	7294	niep	
Dymek IG-1	1813,8	7295	niep	

Przebadano wszystkie skały, z których dało się wyciąć próbki typu „plug” o długości, co najmniej 4 cm. Otrzymane wyniki zamieszczono w Tabeli 1.3.2_3.

Badania PVT mieszanin CO₂ i solanek

(Jan Lubaś, Józef Such, Marcin Warnecki, Jerzy Kuśnierczyk, Stanisław Biały)

Badania mieszanin CO₂ i wód złożowych prowadzono na nowoczesnej, beztrzęsowej aparaturze PVT do badań właściwości fazowych płynów złożowych (Fig. 1.3.2_1). Zestaw ten jest używany w INiG w Zakładzie Badania Złóż Ropy i Gazu od 2003 roku.

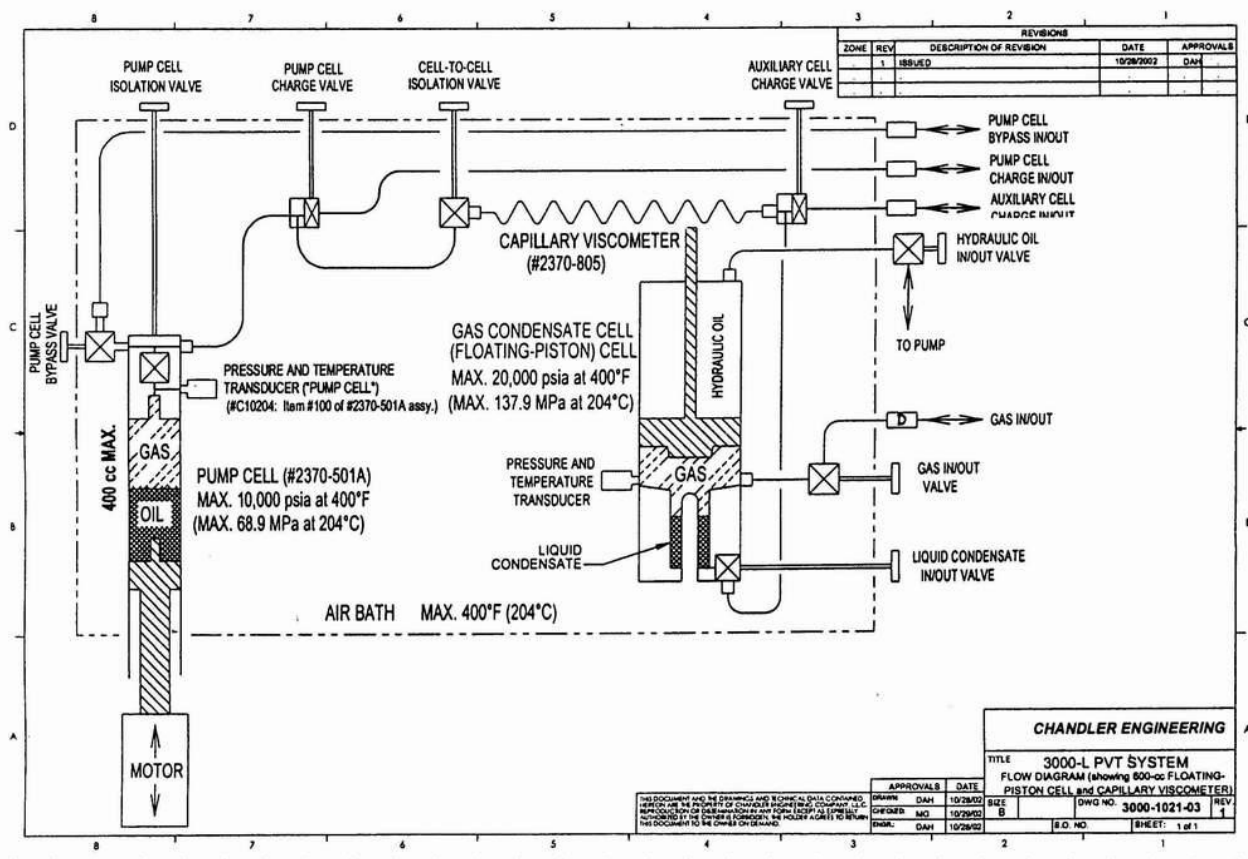


Fig. 1.3.2_1 Schemat poglądowy beztrzęsowej aparatury PVT

Procedura badawcza stosowana podczas badań kolejnych mieszanin CO₂ i solanki była następująca (patrz Fig. 1.3.2_1):

- 1) przygotowano solankę, w wodzie destylowanej rozpuszczano określoną ilość środków chemicznych aż do osiągnięcia pożądanego składu chemicznego imitując skład solanki złożowej,
- 2) odmierzoną porcją solanki złożowej wprowadzano do komory badawczej,
- 3) pompą próżniową odpowietrzano próbkę solanki w celu odebrania rozpuszczonego w niej powietrza (próżnia w komorze),
- 4) poprzez szczelny układ ciśnieniowy doprowadzano i nabierano do komory z solanką dwutlenek węgla w fazie gazowej,
- 5) zamykano komorę ciśnieniową, mając wewnątrz solankę i CO₂ w bezpośrednim kontakcie,

- 6) uruchamiano mieszanie magnetyczne,
- 7) podnoszono temperaturę przygotowanego układu solanka/gaz do pożądanej wartości dla prowadzenia badania,
- 8) podnoszono ciśnienie w komorze do pożądanej wartości – używano funkcji *Constant Pressure*, która pozwala na inteligentne monitorowanie oraz utrzymywanie zadanego ciśnienia badawczego w układzie, bacząc na zmiany temperatury – jest to szczególnie istotne podczas podnoszenia temperatury płynów w komorze ciśnieniowej,
- 9) w celu osiągnięcia równowagi fazowej i maksymalnego nasycenia solanki CO₂, próbkę utrzymywano w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury przez okres 15 godzin poddając ją nieustannemu mieszaniu,
- 10) po osiągnięciu stabilizacji fazowej (utrzymując zadane ciśnienie) wytlaczano z komory nadmiarowy gaz, który w danych warunkach PT nie zdołał rozpuścić się w wodzie – odbiór czapy gazowej,
- 11) tak przygotowaną (nasyconą CO₂) solankę rozgazowywano, odbierając i mierząc gaz aż do osiągnięcia ciśnienia atmosferycznego,
- 12) wytlaczano próbkę z komory mierząc gaz oraz objętość solanki.

Zebranie i podsumowanie uzyskanych wyników badań PVT

W **Tabeli 1.3.2_4** zebrano rezultaty badań wszystkich solanek wytypowanych do przeprowadzenia analiz PVT na tym etapie projektu. Tabele wzbogacono o wybrane cechy skały zbiornikowej, parametry złożowe oraz skład poszczególnych solanek.

Określona rozpuszczalność CO₂ w poszczególnych solankach, zmieniała się w zakresie od 12,9 (Radoszyn 1) do 32,1 m³/m³ (Zakrzyn P1). Łatwość rozpuszczania się CO₂ w wodach złożowych uzależniona jest od parametrów złożowych oraz cech fizyczno-chemicznych solanki.

Przeprowadzone badania wykazały m.in., że solanki o niższej gęstości charakteryzują się większą zdolnością do rozpuszczania CO₂. Gęstość wód złożowych w dużej mierze jest odzwierciedleniem stopnia ich mineralizacji, mineralizacja z kolei jest tu m.in. pochodną głębokości zalegania warstwy wodonośnej, głębokość determinuje ciśnienie i temperaturę złożową. Z uwagi na powyższe, analizowanie zdolności rozpuszczania się CO₂ w danej solance złożowej winno odbywać się w sposób mający na uwadze ogół wymienionych parametrów/właściwości fizyczno-chemicznych.

Objaśnienia

BSN – współczynnik objętościowy solanki nasyconej CO₂ w warunkach złożowych, [m³/m³]

PT – warunki ciśnienia i temperatury

Pzł – ciśnienie złożowe, [bara]

RsCO₂ – rozpuszczalność CO₂ w solance, [m³/m³]

T_z – temperatura złożowa, [°C]

ρ_{SM} – gęstość solanki martwej (w temperaturze 20°C), [g/cm³]

ρ_{SN} – gęstość solanki nasyconej CO₂ w warunkach (PT) złożowych [g/cm³]

V_{gn} – objętość gazu w warunkach normalnych, [ncm³]

V_{SM} – objętość solanki martwej, [cm³]

V_{SN} – objętość solanki nasyconej CO₂, [cm³]

Tabela 1.3.2_4 Wyniki badań PVT solanek dla warunków złożowych występujących w wybranych otworach w rejonie Bełchatowa

Lp.	Nazwa odwiertu	wiek	strop [m]	Warunki złożowe		Skład solanki złożowej [mg/dm ³]								Mineralizacja [g/dm ³]	Parametry określone w badaniach PVT			
				P _{zł} [bara]	T _{zł} [°C]	Cl	Br	J	Ca	Mg	Fe	Na	K		R _{SCO2} [m ³ /m ³]	B _{SN} [m ³ /m ³]	ρ _{SN} [g/cm ³]	ρ _{SM} [g/cm ³]
1	Budziszewice IG1	J1	1325	132	45,5	2916,6	8,54	1,26	394	74	-	1824	140,5	7,092	30,0	1,044	1,018	1,0028
2	Budziszewice IG1	T1	3436	375	110,0	60776	156,62	11,72	9860	4,4	-	27490	750	104,9	25,1	1,067	1,051	1,0716
3	Jeżów IG1	J1	1635	162	49,3	1369,4	7,68	0	27,03	7,6	6	930	17,5	2,66	29,4	1,038	1,021	1,0010
4	Jeżów IG1	J1	1712	167	50,8	8027,78	54,16	1,92	361,72	111,13	18	4250	36	12,96	30,5	1,045	1,022	1,0071
5	Jeżów IG1	T3	1893	187	58,5	39238,91	248,11	1,35	4471,88	796,7	25	17500	150	63,2	25,4	1,043	1,047	1,0413
6	Jeżów IG1	T1	2726	313	77,5	219852	1963,39	3,49	69685	5446,62	75	46000	3700	360	13,0	1,029	1,223	1,2327
7	Kalisz IG1	J1	1185	118	45,1	1315,15	5,6	0,41	101,53	40,84	2,22	724	46	2,56	31,3	1,048	1,014	1,0003
8	Kalisz IG1	P2	3025	339	123,0	201637	1798,47	-	18134,55	4558,5	-	87500	13750	336,6	13,5	1,058	1,166	1,2067
9	Madaje Stare IG1	K1	1478	140	48,0	19	-	-	55	7	1	32	6	0,263	30,9	1,048	1,012	0,9986
10	Madaje Stare IG1	J3	1929	181	62,1	33200	85	3	1950	664	1,2	17500	320	55,9	25,3	1,044	1,040	1,0352
11	Madaje Stare IG1	J3	2178	205	69,4	58900	133	4	3500	1000	1	30400	520	96,2	22,2	1,042	1,061	1,0611
12	Niechmirów IG1	J1	1400	134	52,5	75575,98	747,66	4,5	17424	2894,08	46,55	24750	440	127	20,2	1,035	1,088	1,0855
13	Ożegów IG1	T1	2085	216	71,8	148650	1050	5	19600	4000	35	63750	1900	242	14,6	1,037	1,142	1,1552
14	Ożegów IG1	P2	2538	263	89,2	199100	1400	7	30750	4400	50	82500	2550	328	13,8	1,040	1,190	1,2104
15	Poddębice IG1	J3	2545	252	87,0	76200	81	4	3650	750	83	40500	640	129	21,1	1,047	1,069	1,0770

Lp.	Nazwa odwiertu	wiek	strop [m]	Warunki złożowe		Skład solanki złożowej [mg/dm ³]								Mineralizacja [g/dm ³]	Parametry określone w badaniach PVT			
				P _{zł} [bara]	T _{zł} [°C]	Cl	Br	J	Ca	Mg	Fe	Na	K		R _{SCO2} [m ³ /m ³]	B _{SN} [m ³ /m ³]	ρ _{SN} [g/cm ³]	ρ _{SM} [g/cm ³]
16	Poddębice IG1	K1	2150	212	77,0	15315,7	25,91	0,52	614,17	118,9	16,67	8500	75	25,1	27,3	1,054	1,014	1,0149
17	Poddębice PIG2	K1	2110	210	76,0	44700	42	4,7	2120	347	1,56	27900	265	74,164	24,1	1,054	1,044	1,0518
18	Poddębice PIG2	K2	849	85	35,0	1470	1	1	200	14,9	2,42	1240	18,4	3,752	31,8	1,046	1,017	1,0008
19	Radoszyn 1	P2	2413	261	75,0	208960	2900	-	56500	6010	950	53690	9790	340,21	12,9	1,025	1,228	1,2327
20	Sarnów IG1	K1	1605	159	50,5	28	0	0	14	2	9	132	9	0,377	31,2	1,048	1,012	0,9984
21	Sarnów IG1	J3	2091	207	66,8	48700	91	4	3000	800	42	26500	390	80	25,3	1,051	1,051	1,0534
22	Szwejki IG3	J2	1620	157	46,1	3971,1	6,6	-	456,9	97,2	-	1200	1900	8,7	32,0	1,051	1,016	1,0038
23	Szwejki IG3	T1	3675	363	88,3	154308,8	239,7	-	25009,9	2626,5	134	60500	1200	250,4	17,0	1,040	1,146	1,1580
24	Zakrzyn IG1	J1	1620	161	68,5	29599	-	-	1100	260,8	2,55	18125	250	51,252	23,6	1,050	1,029	1,0328
25	Zakrzyn IG1	T1	3300	423	126,8	223659	-	-	63750	3000	321,5	57125	5325	370,683	13,6	1,051	1,201	1,2349
26	Zakrzyn IG1	P1	4224	559	162,8	55460	-	-	1730,3	31,6	101,67	44688	436,15	115,299	32,1	1,114	1,025	1,0779
27	Zaosie 2	J1	518	50	24,8	709,1	-	-	400,8	0	-	350	80	3,62	26,8	1,038	1,014	0,9995
28	Zaosie 3	J1	915	91	36,1	3900	-	-	1442,8	0	-	1750	120	9,1	30,7	1,042	1,023	1,0045
29	Zaosie 3	T3	1202	126	44,5	9006	-	-	2420,8	0	-	3700	100	21,12	29,4	1,042	1,026	1,0100
30	Zaosie 2	T2	2043	203	68,7	153174,2	919	0	37995,8	2626,5	34,3	52500	500	250,53	14,1	1,034	1,160	1,1716
31	Zgierz IG1	J2	1915	190	62,0	36700	161,9	28,5	3000	232	0,45	20000	283	61,4	24,8	1,044	1,044	1,0405

Rejon III - Mazowsze (oraz II - GZW i IV - Zapadlisko/front Karpat)

(Małgorzata Włodarczyk, Barbara Darlak, Grzegorz Leśniak, Marta Kyś)

Analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności

Wykonano analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności dla gazu dla 298 próbek z 36 otworów (Tabela 1.3.2_5). Wyniki zamieszczono w formie tabelarycznej - dostępne w bazie danych.

Wykonano badania z następujących odwiertów (Tabela 1.3.2_5), wg analogicznej metodyki jak dla rejonu Bełchatowa (patrz przykład - Tabela 1.3.2_6):

Tabela 1.3.2_5 Zestawienie otworów, w których wykonano analizy petrofizyczne na próbkach

Otwór	Ilość przebadanych próbek
Białobrzegi IG-1	8
Bielsk 2	8
Bodzanów 1	5
Bodzanów GN 3	11
Bodzanów IG-1	7
Garwolin-1	11
Gostynin IG-1A	28
Gostynin IG-3	7
Gostynin IG-4	9
Gostynin 7	9
Gostynin 8	3
Gradzanowo-2	1
Izdebno IG-1	1
Korabiewice PIG-1	10
Kutno 1	6
Łowicz IG-1	10
Maciejowice IG-1	2
Mszczonów IG-1	11
Płońsk-1	7
Płońsk IG-2	5
Polik IG-1	8
Potycz 1	3
Raducz IG-1	9
Rdutów 2	16
Rębków-1	4
Różyce 1	6
Różyce IG-2	10
Siedlec 1	8
Warka IG-1	7
Wilga IG-1	5
Wojszyce IG-4	22
Wojszyce IG-3	7
Żabieniec-1	3
Żychlin 4	10

Żychlin IG-3	14
Żyrów 1	7

Tabela 1.3.2_6 Wyniki analiz dla próbek skał z rejonu Mazowsza (przykład)

Odwiert	Nr próbki	Głęb. [m]	Gęstość materiał. [g/cm ³]	Porowat. całkowita [%]	Gęstość szkielet. [g/cm ³]	Gęstość z porozym [g/cm ³]	Porowat. z porozym [%]	Średnia kapilarna [um]	Powierzchn. właściw. [m ² /g]	Pory >1 um [%]	Średnica progowa [um]	Histereza [%]	Przep. [mD]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Białobrzegi IG-1	8635	1624,30	2,64	14,03	2,54	2,22	12,75	0,07	3,37	47	bm	51	?
Białobrzegi IG-1	8636	1631,60	2,66	26,51	2,71	1,95	27,91	2,65	0,22	93	30	6	14,928
Białobrzegi IG-1	8637	1658,20	2,66	27,98	2,64	1,92	27,43	0,87	0,66	90	20	41	282,0826
Białobrzegi IG-1	8638	1688,20	2,66	10,19	2,44	2,24	8,35	0,05	3,08	51	0,2 ; 0,05	28	?
Białobrzegi IG-1	8639	1719,10	2,65	25,99	2,70	1,96	27,36	0,37	1,51	84	20	71	150,9306
Białobrzegi IG-1	8640	1744,50	2,66	25,00	2,68	1,92	25,51	1,59	0,38	91	70	9	?
Białobrzegi IG-1	8641	1774,40	2,58	7,22	2,43	2,28	6,28	0,02	5,49	8	0,09	63	0,001
Białobrzegi IG-1	8642	1812,30	2,64	8,94	2,58	2,36	8,43	0,04	3,46	9	0,8	42	0,001
Wilga IG-1	8643	1527,80	2,67	22,18	2,57	2,05	20,16	0,12	3,25	55	8	66	?
Wilga IG-1	8644	2308,40	2,75	4,90	2,62	2,50	4,34	0,03	2,24	40	0,05	34	?
Wilga IG-1	8645	2357,50	2,78	4,52	2,61	2,51	3,86	0,02	2,53	40	0,05	43	?
Maciejowice IG-1	8646	1877,50	2,69	6,99	2,64	2,46	6,66	0,02	5,94	6	0,04	53	0,001
Maciejowice IG-1	8647	1897,00	2,70	4,56	2,58	2,48	4,07	0,02	3,53	23	0,4	56	?
Izdebn0 IG-1	8648	1950,20	2,70	6,41	2,63	2,47	5,99	0,03	3,48	24	0,1	64	?
Płońsk-1	8649	1808,50	2,67	20,63	2,65	2,12	20,23	1,47	0,26	89	30	30	278,6831
Płońsk-1	8650	1930,10	2,69	11,56	2,55	2,29	10,14	0,05	3,84	7	0,8	48	?
Płońsk-1	8651	1959,10	2,71	9,39	2,72	2,47	9,48	0,23	0,67	56	20	60	24,09559
Płońsk-1	8652	2051,90	2,65	25,07	2,72	1,99	26,96	1,92	0,28	92	60	13	?
Płońsk-1	8653	2082,70	2,68	25,99	2,78	1,98	28,88	0,84	0,70	92	70	9	684,8625
Płońsk-1	8654	2152,00	2,64	21,05	2,59	2,07	20,05	0,35	1,10	79	50	29	15,21885
Płońsk-1	8655	2181,90	2,67	24,76	2,67	2,01	24,76	0,56	0,88	90	90	11	?
Płońsk IG-2	8656	1984,00	2,63	4,92	2,43	2,33	4,10	0,04	1,68	45	0,05	54	?
Płońsk IG-2	8657	2106,70	2,71	28,87	2,71	1,93	28,87	0,86	0,70	88	30	22	97,19528
Płońsk IG-2	8658	2581,20	2,77	5,07	2,64	2,52	4,49	0,04	1,61	20	0,05	73	?
Płońsk IG-2	8659	2644,10	2,67	14,85	2,62	2,25	14,14	0,11	2,37	55	9	72	0,476012
Płońsk IG-2	8660	2656,80	2,66	11,95	2,62	2,31	11,49	0,07	2,70	44	4	72	0,364331
Gradzanowo-2	8661	2481,10	2,67	17,43	2,65	2,20	17,09	0,11	2,75	62	9	65	?
Wilga IG-1	8662	1801,50	2,04	4,90	2,61	2,31	11,39	0,02	9,85	4	0,04	41	?
Wilga IG-1	8663	1896,40	2,68	12,64	2,66	2,33	12,39	0,10	2,19	55	bm	62	?
Warka IG-1	8664	1777,40	2,64	7,84	2,57	2,38	7,33	0,02	5,52	7	0,09	59	?
Warka IG-1	8665	1911,60	2,71	12,72	2,54	2,26	10,87	0,03	5,79	13	0,2	60	?
Warka IG-1	8666	2069,20	2,66	24,06	2,63	2,01	23,36	1,52	0,31	90	60	11	?
Warka IG-1	8667	2135,20	2,64	16,80	2,59	2,18	16,00	0,49	0,60	82	50	32	426,2092
Warka IG-1	8668	2139,10	2,69	18,44	2,61	2,16	17,07	0,24	1,33	65	5	69	0,301474
Warka IG-1	8669	2207,10	2,74	30,71	2,09	1,70	18,61	0,32	1,35	83	20	30	?
Warka IG-1	8670	2259,10	2,73	16,58	2,65	2,24	15,35	0,50	0,55	80	12	70	4,925163

Wykonanie badania wypierania solanki z modelu złoża „slim tube”

(Jan Lubaś, Józef Such, Marcin Warnecki, Jerzy Kuśmierczyk, Stanisław Biały)

Głównym celem badań było określenie udziału objętościowego CO₂ znajdującego się w modelu zawodnionej struktury sekwencyjnej w postaci nadkrytycznej (gazowej) i rozpuszczonej w wodzie resztkowej. W prezentowanym raporcie omówiono następujące zagadnienia:

- pobór płynów złożowych użytych do badań,
- przygotowanie próbek w temperaturze złożowej i przy określonym ciśnieniu,
- wprowadzenie próbek do modelu złoża typu Slim Tube,
- wykonanie badań wypierania solanki ze złoża,
- badanie statyczne prowadzone na tej samej solance,
- opracowanie uzyskanych wyników,
- wykonanie bilansów dla poszczególnych badań.

Rola procesu rozpuszczania CO₂ w solankach oraz wypieranie wody z przestrzeni porowej

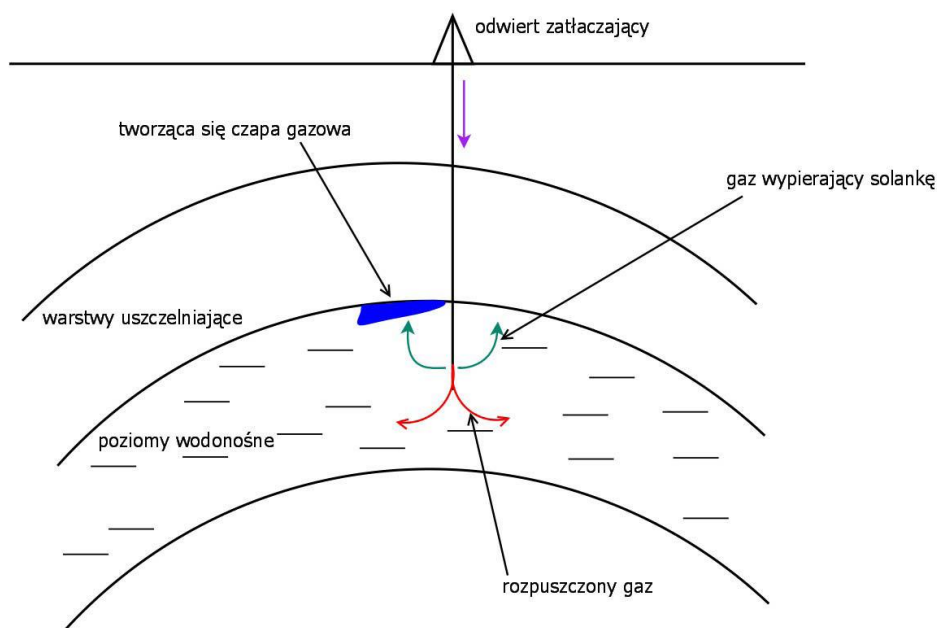


Fig. 1.3.2_2 Rozpuszczanie i wypieranie solanki z przestrzeni porowej poprzez zatłaczany CO₂

Znaczną rolę w procesie zatłaczania CO₂ do głębokich poziomów wodonośnych odgrywa rozpuszczalność, a także wypieranie wody z przestrzeni porowej (Chadwick et al., 2007). Ponieważ od tego zależy między innymi pojemność składowania dwutlenku węgla w poziomach solankowych. Im rozpuszczalność jest większa, tym dany poziom będzie mógł przyjąć większą ilość CO₂. Także wypieranie wody z przestrzeni

porowej ma znaczny wpływ na pojemność, jak również na bezpieczeństwo migrowania gazu w skałach złożowych. Ponieważ ta część gazu, która się już nie rozpuści w solance będzie tworzyć „czapę gazową” wypierając z porów wodę. Nadkład warstw musi być na tyle szczelny, aby uniemożliwić migrację CO₂ do warstw leżących powyżej, a tym samym do wód pitnych, czy wydostania się gazu na powierzchnię. **Fig. 1.3.2_2** obrazuje, w jaki sposób może zachować się CO₂ wtłaczany do poziomów solankowych zgodnie z wcześniejszym opisem.

Badania laboratoryjne procesu zatłaczania CO₂ do modelu złoża nasyconego solanką.

Przeprowadzone badania polegały na zatłoczeniu do fizycznego modelu złoża(ang. slim tube) wody złożowej pochodzącej z odwiertu Porażyn – 2A nasyconej rodzimym gazem ziemnym i wypieraniu jej poprzez zatłaczanie CO₂. Prace badawcze przeprowadzono w temperaturze 100 °C, która odpowiadała temperaturze złożowej oraz przy kilku wartościach ciśnienia (P1 = 26,6 MPa, P2 = 40,0 MPa). Takie same badania powtórzono używając mieszaniny solanki pochodzącej z odwiertu Ujazd – 15 oraz wody destylowanej w stosunku 1:1. Próbkę nasycono również gazem ziemnym z odwiertu Porażyn – 2A.

Przed przystąpieniem do badań dokonano pomiaru gęstości próbek wody złożowej, a także przygotowanych mieszanin. Uzyskane pomiary uśredniono, a następnie zestawiono w **Tabeli 1.3.2_7** jak również zilustrowano na **Fig. 1.3.2_3**.

Tabela 1.3.2_7 Gęstość płynu w warunkach normalnych

L.p	Nazwa badanej cieczy	Gęstość [g/cm ³]
1	Porażyn – 2A	1,1319
2	Ujazd – 15	1,1541
3	Mieszanina I	1,0802
4	Mieszanina II	1,0806

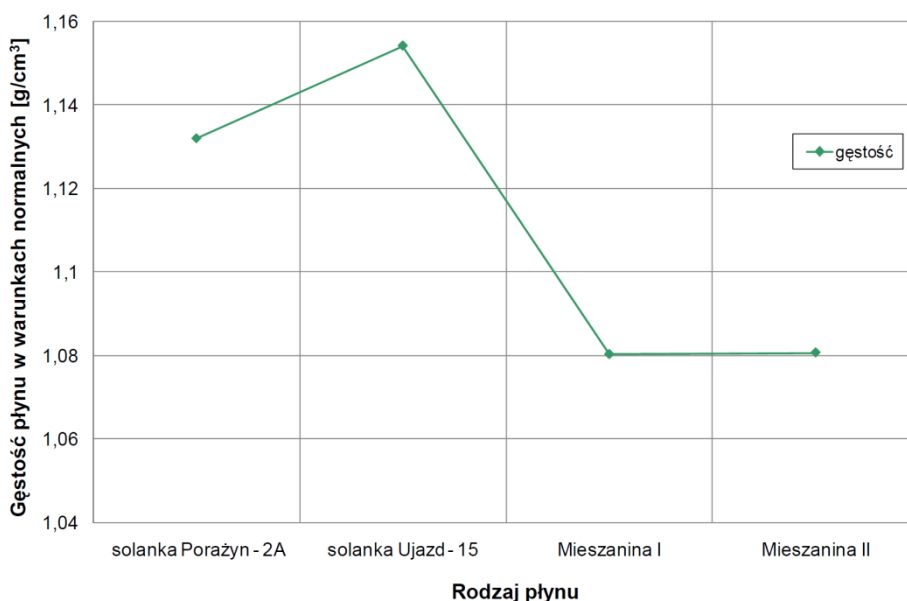


Fig. 1.3.2_3 Gęstość poszczególnych płynów w warunkach normalnych

Skład oraz charakterystyka gazu z odwiertu Porążyn – 2A (użytego do badań)

Do badań wykorzystano próbki gazu głowicowego z odwiertu Porążyn – 2A pobranego do butli ciśnieniowej w temperaturze 35 °C oraz przy ciśnieniu 18 MPa. W Tabeli 1.3.2_8 podano uproszczony skład chemiczny gazu oparty o wyniki analizy chromatograficznej.

Tabela1.3.2_8 Skład gazu złożowego z odwiertu Porążyn – 2A

Składnik	% molowy
He	0,136
N ₂	19,05
CO ₂	0,308
C1	79,772
C2	0,631
C3	0,034
iC4	0,003
nC4	0,005
iC5	0,001
nC5	0,003
C6	0,003
C7	0,005
C8	0,021
C9	0,012
C10+	0,015
Masa molowa frakcji C10+	137,369

Dla potrzeb niniejszego zlecenia wykorzystano z pracy INiG (Warnecki i in., 2009) wyniki badań kontaktowych próbki gazu Porążyn – 2A konieczne do interpretacji i analizy wyników zatłaczania.

Temperatury w jakich prowadzone były badania wynosiły kolejno: T1 = 21 °C, T2 = 60 °C, T3 = 100 °C. Dla każdej z wymienionych temperatur wyznaczono w kolejnych punktach ciśnieniowych objętość próbki, współczynnik objętościowy gazu, współczynnik ściśliwości gazu, a także zbadano czy na jakimś punkcie ciśnieniowym następuje proces kondensacji cieczy. Uzyskane wyniki przeprowadzonych prac badawczych przedstawiono na Fig. 1.3.2_4 i 5.

Jak wynika z badań przeprowadzonych na próbce gazu z odwiertu Porążyn – 2A na żadnym punkcie pomiaru nie odnotowano wytrącania się fazy ciekłej. Można więc przyjąć stwierdzenie, że powyższy gaz jest gazem suchym, ułatwia to badanie zjawiska wypierania rodzimego gazu poprzez zatłaczanie CO₂ do złoża.

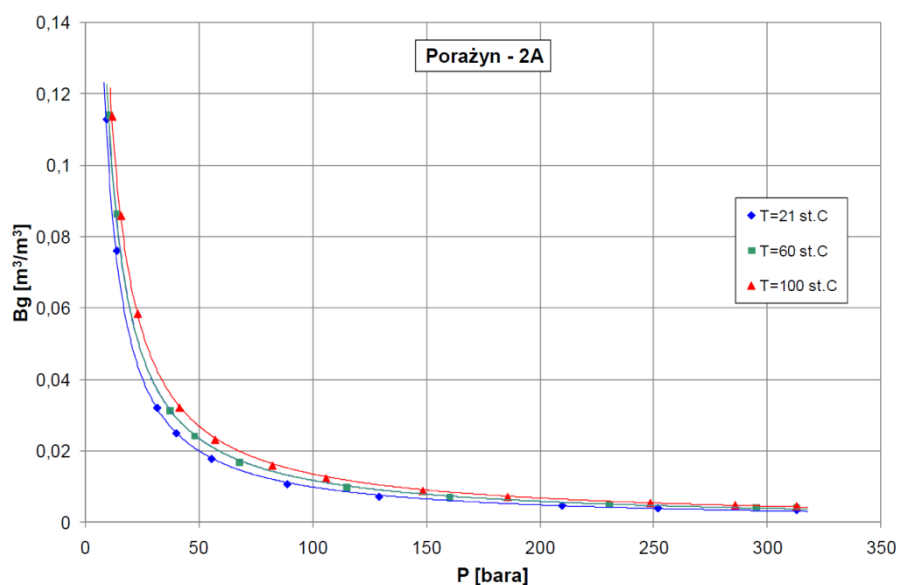


Fig. 1.3.2_4 Współczynnik objętościowy gazu B_g – badania kontaktowe gazu (Warnecki i in., 2009)

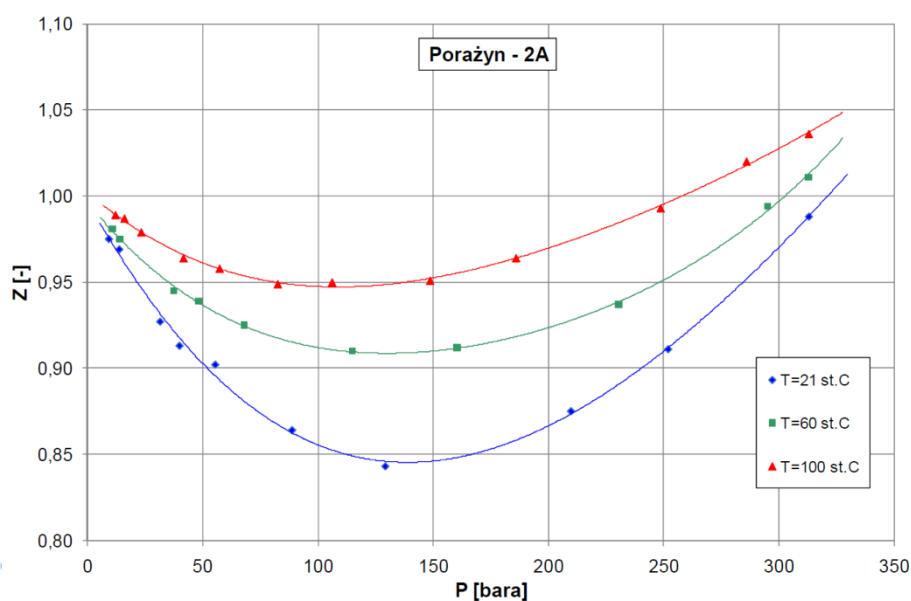


Fig. 1.3.2_5 Współczynnik ściśliwości gazu Z – badania kontaktowe gazu (Warnecki i in., 2009)

Charakterystyka dwutlenku węgla (CO₂)

Podobnie jak w przypadku gazu wykorzystano również wyniki badań dwutlenku węgla. Prace badawcze (badania kontaktowe – CME test) wykonano na aparaturze beztrzęciowej PVT w temperaturach $T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ oraz $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Również dla CO₂ wyznaczono w poszczególnych punktach ciśnienia podstawowe współczynniki objętościowe, a także ściśliwości gazu. Określenie ilości fazy ciekłej było niemożliwe, gdyż w temperaturze $30 \text{ }^\circ\text{C}$ przejście przez krzywą wrzenia/kondensacji następuje przy ciśnieniu $7,2 \text{ MPa}$ (Warnecki i in., 2009).

Ponieważ w czasie badań, które prowadzono przy temperaturze 100 °C dwutlenek węgla znajdował się w obszarze superkrytycznym (tzw. „gęsty gaz”) nie można było odróżnić fazy ciekłej od gazowej. Wyniki badań zilustrowano na **Fig. 1.3.2_6 i 7**.

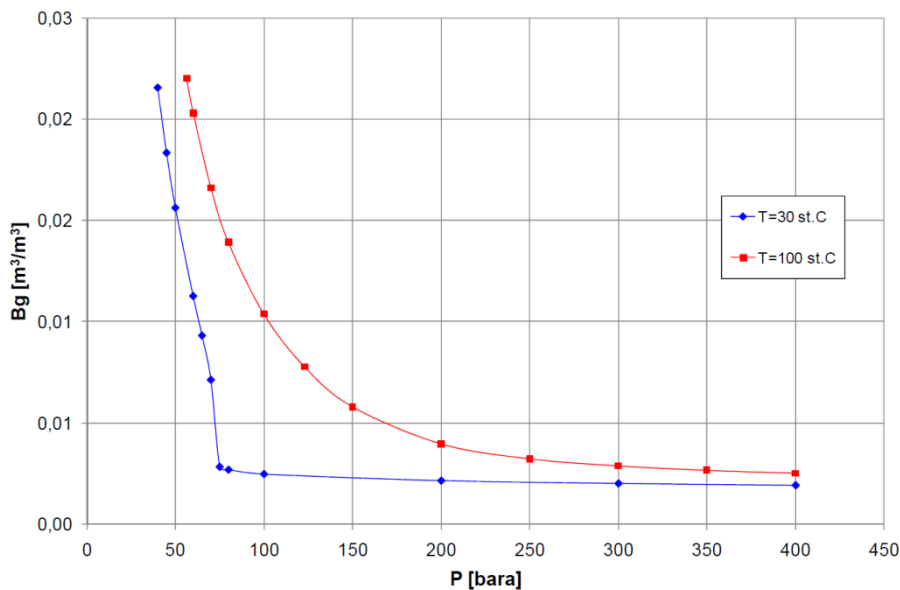


Fig. 1.3.2_6 Współczynnik objętościowy gazu B_g – badania kontaktowe CO₂ (Warnecki i in., 2009)

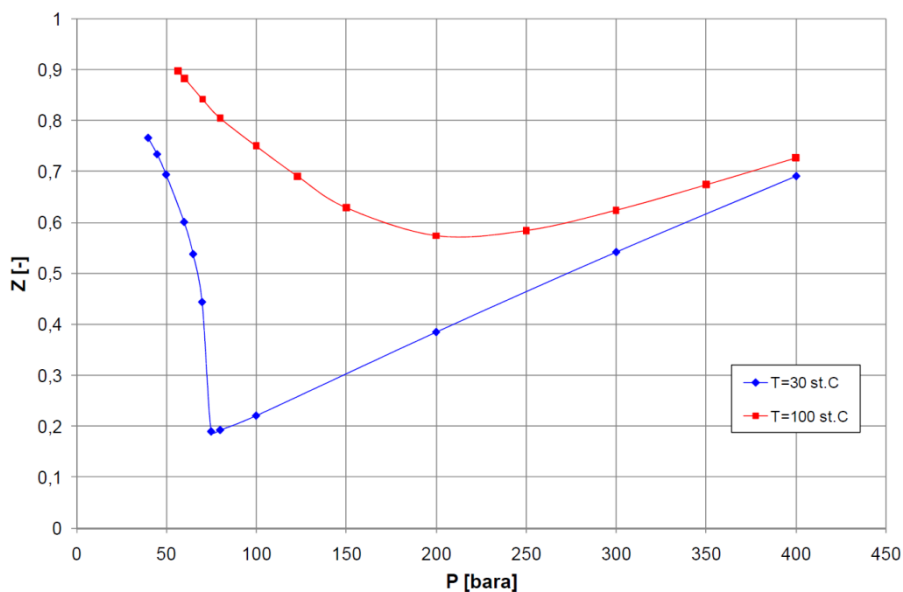


Fig. 1.3.2_7 Współczynnik ściśliwości gazu Z – badania kontaktowe CO₂ (Warnecki i in., 2009)

Przygotowanie próbek oraz modelu złoża do badań

Przed przystąpieniem do badań została wyznaczona objętość przestrzeni porowej fizycznego modelu złoża typu „cienka rurka” (ang. Slim Tube) za pomocą azotu. Dokonano tego w warunkach PT, w jakich zostało

później przeprowadzone pierwsze badanie. Określona objętość wyniosła 177,94 cm³ przy ciśnieniu $P = 266,7$ bara oraz temperaturze $T = 100$ °C.

Do badań stopnia wypierania z ośrodka porowatego wody złożowej nasyconej gazem ziemnym przy pomocy CO₂ użyto próbek gazu i wody złożowej ze złóż gazowych Porażyn i Ujazd z odwiertów Porażyn – 2A oraz Ujazd – 15.

Próbki wody złożowej do badań zostały przygotowane przy pomocy beztrzęciowej aparatury PVT firmy Chandler Engineering „Model 2370-300-GT PVTSystem” (Fig. 1.3.2_8). Badania przeprowadzono w dwóch różnych ciśnieniach: 26,6 MPa oraz 40,0 MPa (Kuśnierczyk & Warnecki, 2009).



Fig. 1.3.2_8 Aparatura do badań PVT firmy Chandler Engineering „Model 2370-300-GT PVTSystem”

Wykonano dwa rodzaje próbek:

- wody złożowej z odwiertu Porażyn – 2A, którą nasycono gazem ziemnym z tego samego odwiertu,
- mieszaniny wody złożowej z odwiertu Ujazd – 15 i wody destylowanej w stosunku 1:1 (200 cm³ solanki i 200 cm³ wody destylowanej) nasyconej gazem rodzimym z odwiertu Porażyn – 2A.

W przypadku pierwszego rodzaju próbki nabrano 365 cm³ wody złożowej do komory ropnej, a następnie wpuszczono gaz cały czas mieszając. Po nasyczeniu próbki zamknięto zawór doprowadzający gaz i sprężono ją do ciśnienia $P = 26,6/40,0$ MPa oraz podgrzano do temperatury $T = 100$ °C. Próbkę utrzymywano w tych warunkach PT przez około 20 godzin ciągle mieszając, przyśpiesza to osiągnięcie stabilizacji i poprawia rozpuszczanie się gazu w wodzie złożowej. Aby osiągnąć wymagana temperaturę oraz odpowiednie wygrzanie próbki umieszcza się ją w komorze wysokociśnieniowej, która z kolei znajduje się w powietrznej łaźni termostatycznej (Fig. 1.3.2_9).

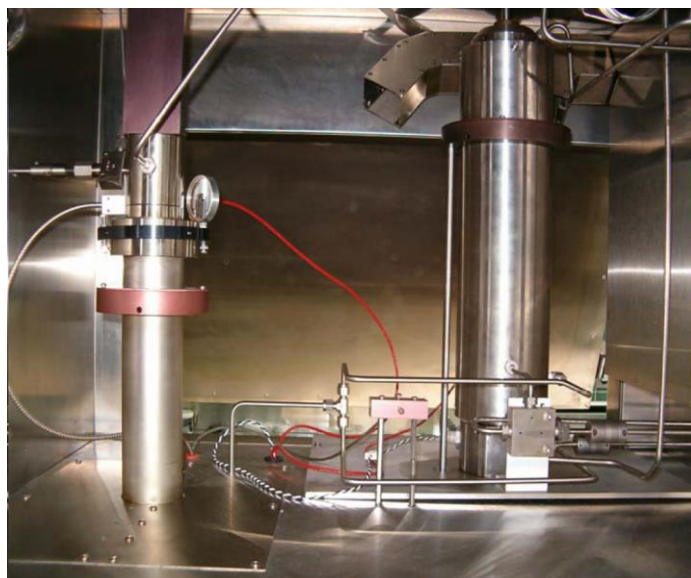


Fig. 1.3.2_9 Łaźnia termostatyczna wraz z komorami ropną (z lewej) i kondensatową (z prawej)

Podobnie postąpiono z drugim rodzajem, różnica polegała na tym, że wcześniej wykonano mieszanie solanki oraz wody destylowanej (w stosunku 1:1), a dopiero później nabrano ją do komory i nasycono gazem ziemnym.

Po nasyceniu wody złożowej gazem rodzimym, odpuszczono nadmiar gazu z czapy gazowej. Uzyskano w ten sposób wodę złożową nasyconą gazem rodzimym wykorzystywaną do badań w cienkiej rurce. Nasycanie złoża zachodziło w powolnym procesie zatłaczania obrobionej poprzednio próbki do fizycznego modelu złoża wygrzanego wcześniej do temperatury 100 °C. Przetłoczono wodę w ilości kilku objętości porowej „cienkiej rurki” (Kuśnierczyk & Warnecki, 2009).



Fig. 1.3.2_10 Zestaw badawczy typu „slim tube” (Nodzeński i in., 2005)

Fizyczny model złoża – „cienka rurka”

Badania laboratoryjne procesów wypierania z ośrodka porowatego wody złożowej przeprowadzono za pomocą zestawu badawczego „cienka rurka” (ang. „slim tube”) (Fig. 1.3.2_10, 11) (Kuśnierczyk & Warnecki, 2009).

Zasadniczym elementem aparatury jest rurka wypełniona ośrodkiem porowatym imitującym skałę złożową. Niewielka średnica i odpowiednia długość modelu złoża jest konieczna dla uniknięcia tzw. Zjawiska „palcowania” (ang. fingering) i zapewnienia stabilnego i wyrównanego frontu wypierania ropy zatłaczanym medium. Ważną cechą modelu złoża jest wskaźnik ilorazu długości cienkiej rurki do jej średnicy. Rurka o odpowiedniej długości zapewnia wystarczający czas, aby podczas procesu wypierania zostały zniesione wszelkie perturbacje przepływu w trakcie dyspersji poprzecznej. Przedstawiona aparatura pozwala na zadanie określonego ciśnienia oraz temperatury, a tym samym na dokładne odwzorowanie warunków panujących w złożu. Cały proces wytlaczania próbki można kontrolować za pomocą przyrządów aparatury, a także śledzić go wizualnie poprzez szklany wziernik zamontowany na wyjściu z „cienkiej rurki”(Lubaś i in., 2006).

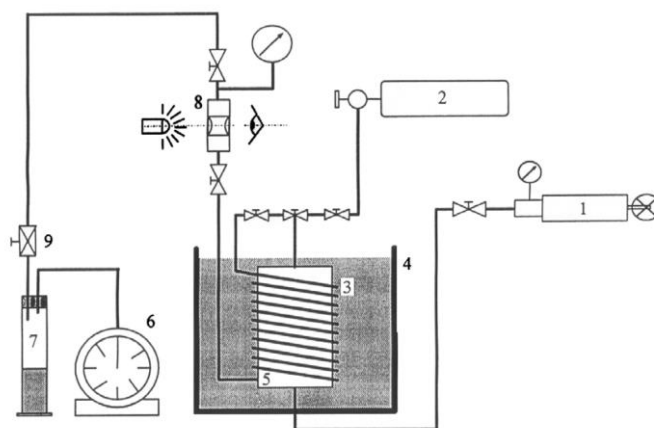


Fig. 1.3.2_11 Schemat zestawu badawczego „slim tube”(Warnecki, 2006)

1) objętościowa pompa rtęciowa; 2) pojemnik na próbkę (woda złożowa nasycona gazem); 3) cienka rurka; 4) termostat olejowy; 5) zbiornik z gazem (CO₂); 6) gazomierz; 7) separator; 8) wziernik optyczny; 9) reduktor ciśnienia gazu.

Poniżej zestawiono charakterystyczne dane cienkiej rurki:

- długość $L = 25$ m
- średnica $\Phi = 5$ mm
- objętość przestrzeni porowej $V = 178$ cm³
- porowatość 35%
- przepuszczalność 15 D
- granulacja piasku 0,20 – 0,15 mm
- prędkość przepływu fazy ciekłej ok. 350 cm/godzinę

Solanka Porążyn – 2A nasycona rodzimym gazem ziemnym

Do ośrodka porowatego cienkiej rurki zatłoczono solankę z odwiertu Porążyn – 2A nasyconą w warunkach złożowych rodzimym gazem ziemnym. Następnie przy zadanym ciśnieniu i temperaturze, zależnie od badania: 26,6 MPa lub 40,0 MPa oraz 100 °C rozpoczęto proces powolnego zatłaczania CO₂. Utrzymując przez całe badanie stałe ciśnienie na wyjściu z cienkiej rurki. Prowadzono również separację wypieranej solanki dla bilansowej oceny ilości uzyskiwanych mediów. Mierzono odebrany gaz oraz ciecz, która wydzieliła się na każdym kroku pomiarowym.

Przebieg zmian wykładnika gazowego na wyjściu z cienkiej rurki, podczas badania prowadzonego przy ciśnieniu $P = 26,6$ MPa, zilustrowano na **Fig. 1.3.2_12**. Przedstawiono również ilość solanki wypieranej z cienkiej rurki w funkcji objętości zatłoczonego CO₂. Badanie przerwano po zatłoczeniu 1,4 ilości objętości porowej (PV – ang. Pore Volume). Po zatłoczeniu 1,2 PV objętości CO₂ z cienkiej rurki odebrano 52,5 % odgazowanej solanki (Warnecki, 2009).

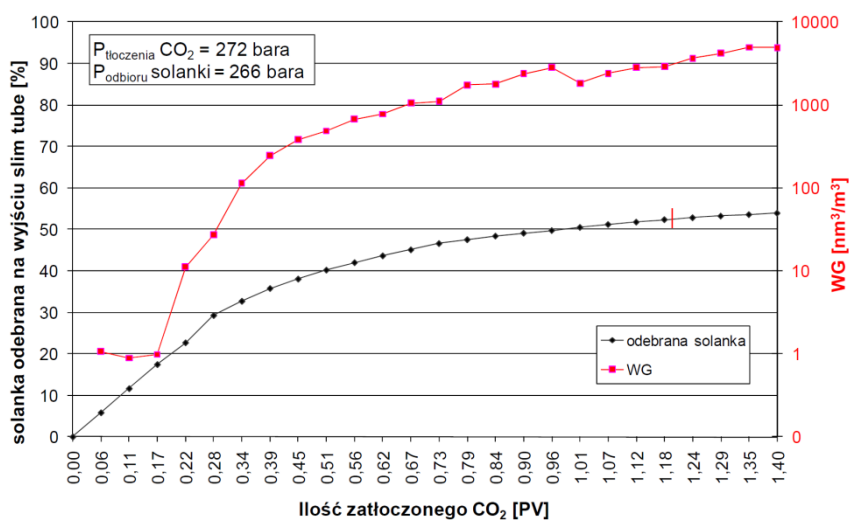


Fig. 1.3.2_12 Przebieg procesu zatłaczania CO₂ do ośrodka porowatego cienkiej rurki wypełnionego solanką – $P = 26,6$ MPa

Aby lepiej przybliżyć proces odbioru wypieranej solanki zestawiono na **Fig. 1.3.2_13** sumaryczną ilość odebranych płynów. Można zauważyć nagły wzrost ilości odbieranego gazu przy nie zmieniającym się poziomie odbioru wody złożowej, co sygnalizuje „przebicie” się gazu. Nastąpiło to już 47 minut od rozpoczęcia badania.

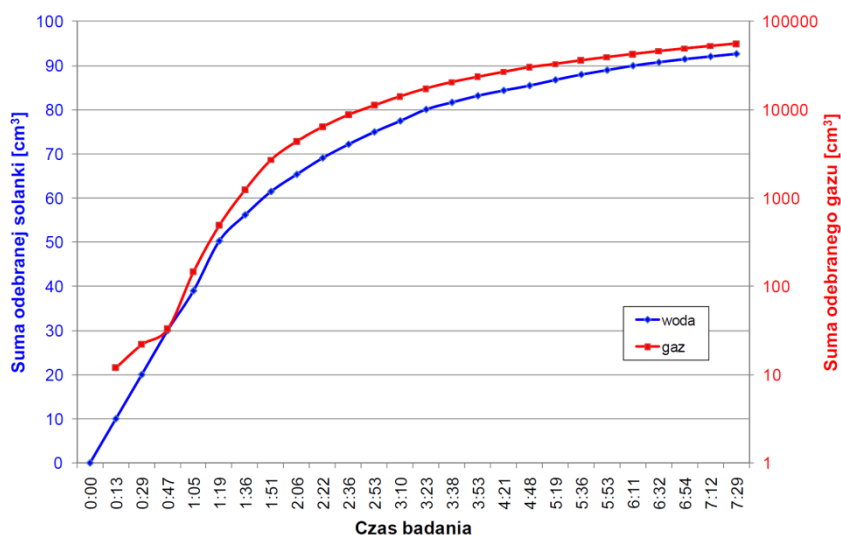


Fig. 1.3.2_13 Sumaryczna ilość odebranej wody oraz gazu w czasie badania P = 26,6 MPa

Powyższe badanie powtórzono w warunkach podwyższonego ciśnienia. Wodę złożową Porążyn – 2A nasycono rodzimym gazem ziemnym w warunkach P = 40,0 MPa i T = 100 °C. Po ustaleniu odpowiednich parametrów ciśnienia i temperatury modelu złoża, a następnie wypełnieniu objętości przestrzeni porowej cienkiej rurki nasyconą solanką, przystąpiono do badania procesu zatłaczania CO₂.

Charakter zmian wykładnika gazowego (WG) oraz objętości odebranej solanki podczas procesu zatłaczania CO₂ prowadzonego przy ciśnieniu 41,3 MPa przedstawiono na Fig. 1.3.2_14. Zilustrowano także ilość solanki wypieranej cienkiej rurki w funkcji objętości zatłoczonego CO₂. Badanie przerwano po zatłoczeniu 1,4 ilości objętości porowej (PV). Po zatłoczeniu 1,2 PV objętości CO₂ z cienkiej rurki odebrano prawie 53 % pierwotnej ilości solanki (Warnecki, 2009).

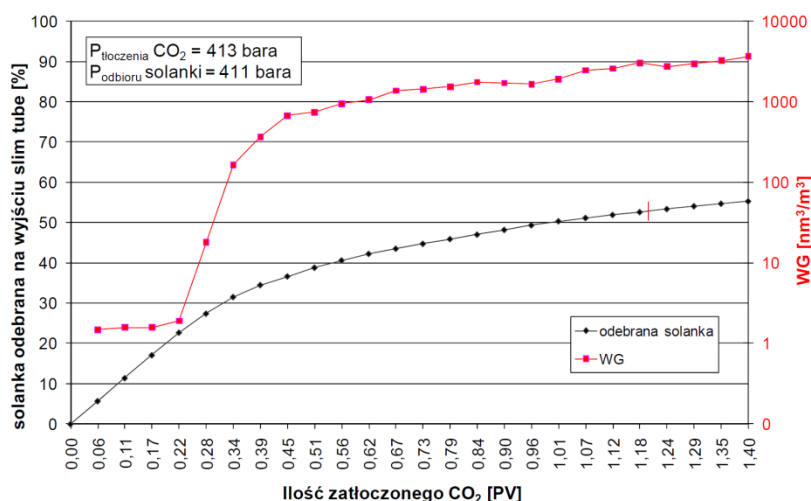


Fig. 1.3.2_14 Przebieg procesu zatłaczania CO₂ do ośrodka porowatego cienkiej rurki wypełnionego solanką – P = 41,1 MPa

Aby lepiej zobrazować przebieg badania na **Fig. 1.3.2_15** przedstawiono sumaryczną ilość odebranej wody złożowej oraz gazu. Na szczególną uwagę zasługuje moment gwałtownego wzrostu odbieranego gazu, przy niezmiennym poziomie odbioru solanki, co wskazuje na moment „przebicia” fazy gazowej. Wystąpił on po 65 minutach od rozpoczęcia badania.

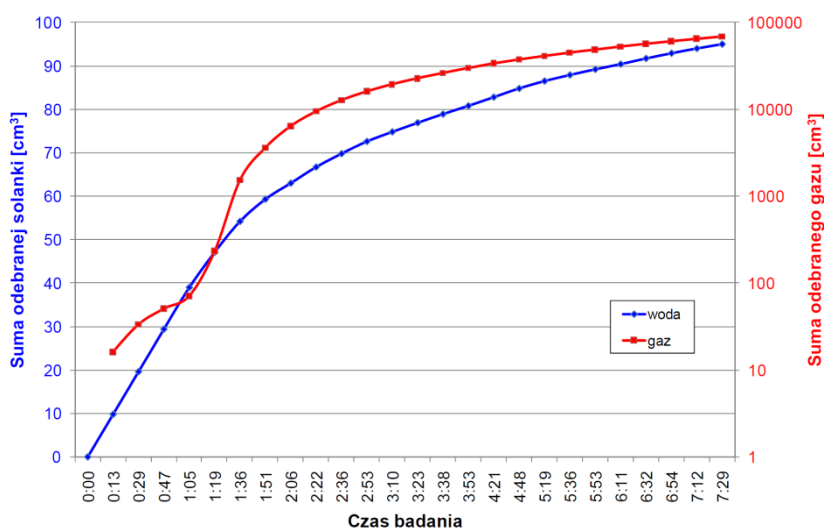


Fig. 1.3.2_15 Sumaryczna ilość odebranej wody oraz gazu w czasie badania P = 41,1 MPa

Mieszanina solanki Ujazd – 15 i wody destylowanej w stosunku 1:1

Takie same badanie powtórzono na mieszaninie solanki pobranej z odwiertu Ujazd – 15 oraz wody destylowanej w stosunku 1:1. Taki roztwór nasycono w warunkach PT gazem ziemnym z odwiertu Porążyn – 2A i zatłoczono do fizycznego modelu złoża. Tak jak w przypadku pierwszego badania ciśnienie wynosiło P = 26,6 MPa, natomiast temperatura T = 100 °C. Dzięki temu można porównać jak zmiana zasolenia próbki wpłynęła na stopień odzysku solanki oraz na moment gwałtownego wzrostu wykładnika gazowego.

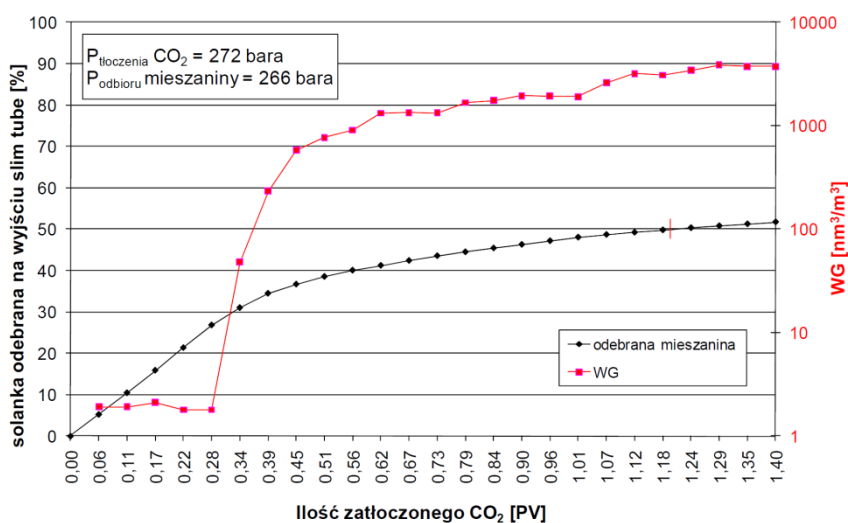


Fig. 1.3.2_16 Przebieg procesu zatłaczania CO₂ do ośrodka porowatego cienkiej rurki wypełnionego mieszaniną – P = 26,6 MPa

Zmianę wielkości wykładnika gazowego na wyjściu z cienkiej rurki, w czasie badania prowadzonego dla ciśnienia $P = 26,6$ MPa przedstawiono na **Fig. 1.3.2_16**. Zilustrowano również ilość wypieranej mieszanki w funkcji objętości zatłoczonego CO₂. Tak jak w poprzednich przypadkach badanie przerwano po zatłoczeniu 1.4 ilości objętości porowej (PV). Po zatłoczeniu 1.2 PV objętości CO₂ z cienkiej rurki odebrano około 50 % pierwotnej ilości mieszanki (Kuśnierczyk & Warnecki, 2009).

Tak samo jak w poprzednim badaniu dokonano zestawienia na **Fig. 1.3.2_17** sumarycznej ilości odebranej mieszanki, jak również gazu z uwzględnieniem nagłego wzrostu odbieranego gazu. Można zaobserwować, że punkt, gdy gaz „przebił” się nastąpił po 1,19 godz. od momentu rozpoczęcia wyłaczania mieszanki za pomocą CO₂.

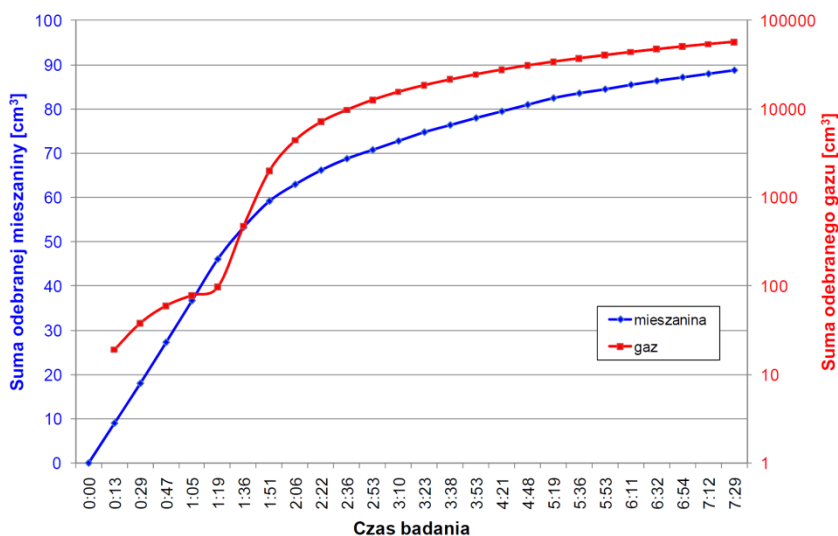


Fig. 1.3.2_17 Sumaryczna ilość odebranej mieszanki oraz gazu w czasie badania $P = 26,6$ MPa

Powyższe badanie powtórzono w warunkach podwyższonego ciśnienia. Mieszankę solanki z odwiertu Ujazd – 15 oraz wody destylowanej nasycono gazem ziemnym Porążyn – 2A w warunkach $P = 40,0$ MPa, $T = 100$ °C.

Przebieg zmian wykładnika gazowego (WG) oraz objętości odebranej mieszanki (solanka Ujazd – 15 + woda destylowana) w czasie procesu wypierania poprzez CO₂ przy ciśnieniu 41,0 MPa przedstawiono na **Fig. 1.3.2_18**. Znajduje się także na nim ilość mieszanki, która została wyparta z cienkiej rurki w funkcji objętości zatłoczonego CO₂. Analogicznie jak w poprzednich przypadkach badanie przerwano po zatłoczeniu 1.4 objętości porowej modelu złoża (PV). Przy zatłoczeniu 1.2 PV z cienkiej rurki wydobyto niemal 55 % odgazowanej mieszanki (Kuśnierczyk & Warnecki, 2009).

Tak jak w poprzednich badaniach na **Fig. 1.3.2_19** ukazano ilość odbieranych płynów w czasie prowadzenia wypierania mieszanki. Zachowuje się ona w podobny sposób jak woda złożowa, jednak punkt „przebiccia” następuje nieco później, gdyż po 1,5 godziny.

We wszystkich powyższych badaniach można zauważyć nagły wzrost wykładnika gazowego, co charakteryzuje punkt w którym nastąpiło „przebiccie” się gazu. Od tego momentu wzrasta ilość odebranego

gazu, także w stosunku do odebranej cieczy. Te momenty zestawiono na **Fig. 1.3.2_20** dla poszczególnych badań (Kuśnierczyk & Warnecki, 2009).

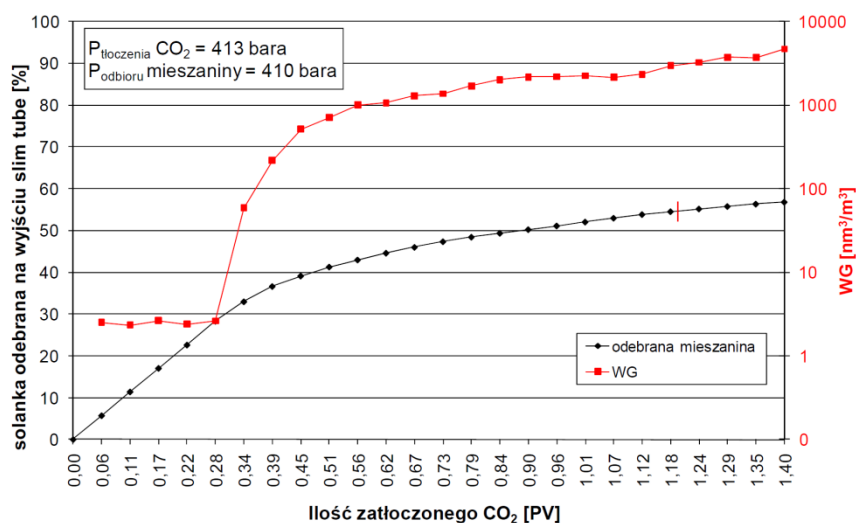


Fig. 1.3.2_18 Przebieg procesu zatłoczenia CO₂ do ośrodka porowatego cienkiej rurki wypełnionego mieszaniną – P = 41,0 MPa

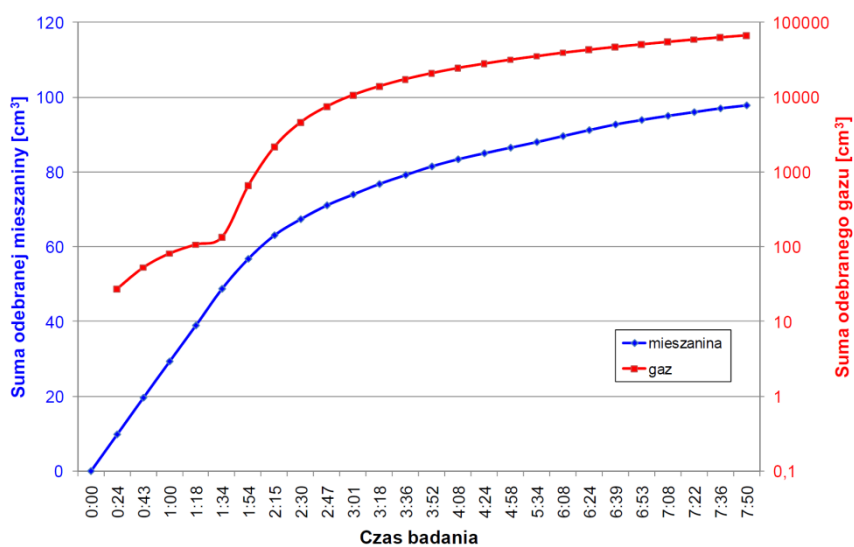


Fig. 1.3.2_18 Sumaryczna ilość odebranej mieszaniny oraz gazu w czasie badania P = 41,0 MPa

We wszystkich powyższych badaniach można zauważyć nagły wzrost wykładnika gazowego, co charakteryzuje punkt, w którym nastąpiło „przebicie” się gazu. Od tego momentu wzrasta ilość odebranego gazu, także w stosunku do odebranej cieczy. Te momenty zestawiono na **Fig. 1.3.2_19** dla poszczególnych badań.

Podczas wypierania solanki z cienkiej rurki, początkowo odbierano tylko wodę, jednak po pewnym czasie nastąpiło „przebicie” się gazu i dalej odbywał się wypływ dwufazowy (woda + gaz). Jak wynika z badań

moment, gdy zaczęto odbierać również gaz, nastąpił szybciej przy ciśnieniu 26,6 MPa, niż przy 40,0 MPa. W inny sposób zachowuje się mieszanina sporządzona z solanki Ujazd – 15 oraz wody destylowanej. Pomimo zmiany ciśnienia, punkt „przebicia” nastąpił po takim samym czasie. Można zauważyć, że pomimo zmiany zasolenia badanej próbki, w czasie wypierania zachowuje się ona w podobny sposób, zatem nieznaczna zmiana gęstości nie ma wielkiego wpływu na ilościowy odbiór płynu. W przypadku solanki Porążyn – 2A znacznie ważniejsze jest ciśnienie tłoczenia CO₂. Dla wykonanych badań czas, w jakim następuje jednofazowy wypływ skraca się wraz ze zmniejszaniem ciśnienia. Dla ciśnienia 26,6 MPa okres nagłego wzrostu wykładnika gazowego, a tym samym „przebicie” gazu następuje po zatłoczeniu około 0,17 objętości porowej cienkiej rurki. Natomiast dla ciśnienia 40,0 MPa zmiana ta następuje po zatłoczeniu 0,22 PV (Fig. 1.3.2_19). Inaczej kształtuje się to w przypadku mieszaniny, kiedy zmiana ciśnienia nie wpłynęła na ilość zatłoczonego CO₂ i w obu przypadkach wyniosła 0,28 PV. W większym stopniu ciśnienie tłoczenia ma wpływ na odzysk wody złożowej, w przypadku mieszaniny. Natomiast w przypadku solanki z odwiertu Porążyn – 2A różnica ta jest znacznie mniejsza i wynosi zaledwie 0,5 %. Ilość oraz różnice odzyskanego płynu zilustrowano na rysunku 3.6.6. Im wyższe ciśnienie tłoczenia tym większy odzysk wody złożowej.

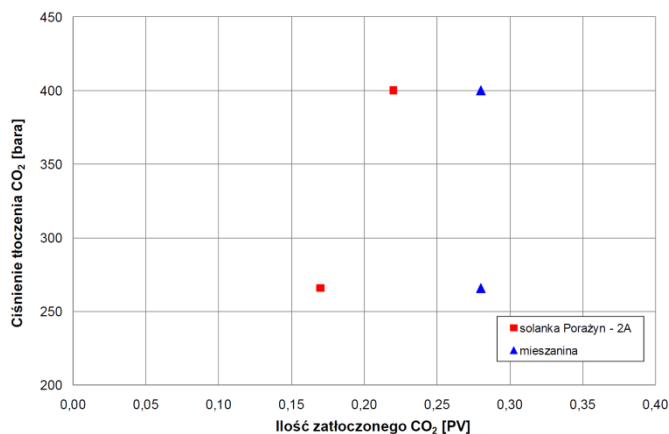


Fig. 1.3.2_19 Punkt „przebicia” gazu w funkcji ilości zatłoczonego CO₂

Solanka Porążyn – 2A nasycona rodzimym gazem ziemnym, warunki statyczne

Próbka została przygotowana w ten sam sposób, jak w poprzednich przypadkach. Solankę z odwiertu Porążyn – 2A nasycono gazem z tego samego odwiertu, podgrzewając ją do temperatury 100 °C i podnosząc ciśnienie do 26,6 MPa.

Następnie odebrano naddatek gazu, a próbkę przetłoczono do pojemnika przy wyższym ciśnieniu niż ciśnienie złożowe w celu utrzymania jednorodności płynu. Tak jak wcześniej próbkę zatłoczono do modelu złoża typu „cienka rurka”, a następnie wtłoczono CO₂ w objętości 18 cm³, co odpowiada 10 % objętości porów w modelu.

Podczas zatłaczania dwutlenku węgla na wyjściu odebrano 15,5 cm³ wody złożowej oraz 27 cm³ gazu. Po zatłoczeniu określonej objętości CO₂ przerwano badanie i pozostawiono model w tym stanie na okres około 65 godzin, po czym wznowiono wtłaczanie gazu. Badanie miało na celu określenie czy, i w jakim stopniu CO₂ migruje w przestrzeni porowej przy złożowym ciśnieniu oraz temperaturze w odniesieniu do wcześniej przeprowadzonych badań.

Badanie przerwano po zatłoczeniu 1,0 ilości objętości porowej (PV – ang. Pore Volume), w tym czasie odebrano około 44 % pierwotnej objętości zatłoczonej próbki.

Podsumowanie

Badania prowadzone na fizycznym modelu złoża typu cienka rurka miały na celu przedstawienie procesu jaki zachodzi w czasie zatłaczania CO₂ do głębokich poziomów solankowych.

Dla każdego badania określono ilość wypartej solanki, a także określono moment, w którym gaz ukazał się na wyjściu z cienkiej rurki. Moment ten charakteryzuje gwałtowny wzrost wykładnika gazowego i ciągle zwiększanie się ilości odbieranego gazu w stosunku do odbieranej wody.

Wykonano również badanie w warunkach statycznych w celu określenia czy przy zadanym ciśnieniu oraz temperaturze front solanka – dwutlenek węgla przemieszcza się w złożu. Wyniki sugerują brak migracji gazu w warunkach statycznych.

W pracy dokonano także obliczeń udziału CO₂ znajdującego się w modelu złoża, zarówno rozpuszczonego w solance, jak i wypełniającego wolną przestrzeń porową (w stanie nadkrytycznym). Określono również procentowy udział wody resztkowej w odniesieniu do całkowitej objętości wody znajdującej się w cienkiej rurce. Jak wynika z przeprowadzonych badań, a także obliczeń w wodzie resztkowej zajmującej przestrzeń porową modelu złoża rozpuszcza się 3 – 5 % CO₂, resztę stanowi gaz w stanie nadkrytycznym wypełniający wolne pory.

Udziały wody resztkowej, a także odebranej w stosunku do całkowitej ilości solanki w fizycznym modelu złoża oscylowały na granicy 50 %, zarówno dla wody resztkowej, jak odebranej.

Rejon V - Lubelszczyzna (i Podlasie)

(Małgorzata Włodarczyk, Barbara Darlak, Grzegorz Leśniak, Marta Kyś)

Analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności

Wykonano analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności dla gazu dla 442 próbek z 43 otworów (Tabela 1.3.2_9). Wyniki opracowano w formie tabelarycznej - dostępne w bazie Wykonano badania z następujących odwiertów:

Tabela 1.3.2_9 Zestawienie otworów, w których wykonano analizy petrofizyczne na próbkach

Nazwa odwiertu	Ilość próbek
Abramów-6	4
Abramów-7	14
Busówno IG-1	15
Bychawa IG-1	4
Bychawa IG-2	6
Ciecierzyn-1	5
Ciecierzyn-5	3
Dęblin-7	2
Glinnik-2	16
Grabowiec IG-4	30
Gródek-1	4
Krasnystaw IG-6	26
Kumów-2	13
Kumów-3	6
Lubartów IG-3	27
Lublin IG-2	15
Łączna-9	18
Łączna-13	16
Łączna-25	18
Łączna-26	14
Kock IG-2	8
Komarów-9	5
Lublin IG-1	13
Nasutów-1	23
Nasutów-5	9
Piaski IG-1	10
Ruskie Piaski IG-2	3
Siedliska IG-1	4
Stanin-1	4
Stężyca-1	7
Stężyca-2	7
Świdnik-22	5
Świdnik-14	5
Świdnik-16	4
Świdnik IG-1	13

Tarkawica-1	5
Tarkawica-3	2
Telatyn IG-1	10
Terebin IG-4	5
Tyszowce IG-1	15
Tyszowce IG-2	5
Ułhówek IG-1	3
Wilczanka-1	21

Wyniki analiz opracowano w zbiorczym zestawieniu tabelarycznym (Tabela 1.3.2_10) na podstawie indywidualnych metryk próbek, z zastosowaniem analogicznej metodyki jak dla rejonu Bełchatowa i innych rejonów omówionych powyżej.

Tabela 1.3.2_10 Wyniki analiz dla próbek skał z rejonu Lubelszczyzny (przykład)

Odwiert	Nr próbki	Głęb. [m]	Gęstość materiał. [g/cm ³]	Porowat. całkowita [%]	Gęstość szkielet. [g/cm ³]	Gęstość z porozym [g/cm ³]	Porowat. z porozym [%]	Średnia kapilarna [μm]	Powierzch właściw. [m ² /g]	Pory >1 μm [%]	Średnica progowa [μm]	Histereza [%]	Przep. [mD]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Busówno IG-1	9025	802,80	2,86	1,76	2,67	2,63	1,48	0,02	1,15	20	0,2	66	
	9026	812,00	2,60	4,13	2,49	2,39	3,72	0,02	3,01	13	0,1	69	
	9027	835,30	2,70	2,26	2,54	2,49	1,95	0,03	1,25	32	0,07	50	
	9028	846,60	2,83	7,37	2,72	2,54	6,64	0,03	3,77	6	0,20	78	
	9029	855,30	2,64	2,30	2,53	2,48	2,07	0,03	1,22	38	0,08	42	
	9030	879,90	2,66	2,52	2,52	2,46	2,21	0,05	0,67	65	0,05	6	
	9031	888,10	2,67	15,68	2,61	2,23	14,79	0,43	0,62	63	5	50	3,709
	9032	896,60	2,71	1,79	2,59	2,55	1,60	0,04	0,63	68	0,02	1	
	9033	912,00	2,67	17,55	2,62	2,18	16,71	0,34	0,89	61	8	48	6,848
	9034	921,10	2,66	19,13	2,58	2,13	17,71	0,48	0,69	68	10	43	8,946
	9035	930,30	2,68	8,33	2,62	2,41	7,86	0,06	2,14	17	1	52	0,001
	9036	941,70	2,73	1,48	2,60	2,56	1,31	0,02	0,87	41	0,03	29	
	9037	1030,20	2,68	2,97	2,56	2,49	2,65	0,04	0,95	65	0,10	15	
	9038	1085,40	2,71	17,19	2,67	2,23	16,53	0,29	1,03	69	20	51	29,961
	9039	1091,40	2,68	13,83	2,63	2,29	13,17	0,21	1,09	56	3	64	0,995
	Grabowiec IG-4	9040	788,10	2,84	1,90	2,55	2,51	1,47	0,03	0,76	39	0	43
9041		802,50	2,67	2,10	2,61	2,55	1,98	0,05	0,58	63	0,05	36	2,596
9042		815,90	2,69	7,79	2,45	2,30	6,28	0,17	0,63	88	0,02	2	
9043		822,40	2,70	0,95	2,66	2,64	0,91	0,03	0,43	31	0,1	45	0,001
9044		833,90	2,61	4,76	2,54	2,43	4,45	0,08	0,89	73	0,04	30	
9045		840,30	2,67	1,47	2,64	2,60	1,43	0,04	0,55	35	0,2	52	0,001
9046		850,40	2,68	5,20	2,65	2,52	5,05	0,06	1,32	8	0,3	72	0,001
9047		857,20	2,67	8,89	2,64	2,41	8,63	0,13	1,14	14	2	64	0,067
9048		863,40	2,67	9,19	2,64	2,40	8,92	0,12	1,25	20	2	66	0,117
9049		872,40	2,66	12,64	2,64	2,31	12,39	0,31	0,69	70	20	62	16,285
9050		881,10	2,65	13,69	2,61	2,26	13,16	0,47	0,49	78	50	29	101,731
9051		882,90	2,67	9,39	2,62	2,38	8,94	0,14	1,11	25	2	68	0,150
9052		887,00	2,65	9,65	2,62	2,37	9,37	0,29	0,55	60	3	82	0,386
9053		962,60	2,69	1,17	2,63	2,61	1,10	0,04	0,48	49	0,05	46	0,001
9054		967,90	2,65	8,97	2,64	2,40	8,88	0,44	0,34	70	3	74	0,630
9055		972,60	2,62	5,04	2,59	2,46	4,89	0,09	0,87	57	bm	50	
9056		979,60	2,69	1,64	2,66	2,62	1,59	0,28	0,09	85	0,01	4	0,001

Wykonanie badań lepkości solanek nasyconych CO₂ w warunkach złożowych (Marcin Warnecki, Jan Lubaś, Jerzy Kuśnierczyk, Stanisław Biały)

W pracy zawarto wyniki badań lepkości dynamicznej solanek złożowych z rejonu Bełchatowa. Badania prowadzono głównie w warunkach temperatury i ciśnienia złożowego. Część badań lepkości rozszerzono o dodatkowe punkty pomiarowe – przeprowadzono pomiary w ciśnieniach wyższych i niższych od ciśnienia złożowego. Ponadto wykonano badania lepkości przy różnych stopniach nasycenia solanki dwutlenkiem węgla tj. dla rozpuszczalności (R_{sCO_2}) odpowiadającym ciśnieniom powyżej jak i poniżej ciśnienia złożowego.

Do grona przebadanych solanek (rejon Bełchatowa) dodano wodę złożową z odrębnego obszaru. Przebadana została solanka pochodząca z odwiertu Nosówka 1 (koło Rzeszowa). Wykonano badania PVT oznaczając m.in. wartość rozpuszczalności CO₂ w zadanych warunkach złożowych. Następnie przeprowadzono pomiary lepkości solanki nasyconej dwutlenkiem węgla w warunkach złożowych oraz na kilku niższych stopniach ciśnieniowych, gdzie woda była stopniowo odgazowana.

Przedstawiono wpływ poszczególnych parametrów złożowych (temperatury, ciśnienia, mineralizacji, rozpuszczalności) na lepkość solanki. Zebrane wyniki badań zestawiono w tabelach i zilustrowano na wykresach.

Badania mieszanin CO₂ i wód złożowych prowadzono na nowoczesnej, bezręcznej aparaturze PVT do badań właściwości fazowych płynów złożowych (patrz **Fig. 1.3.2_8 i 9**). Zestaw ten jest używany w INiG w Zakładzie Badania Złóż Ropy i Gazu od 2003 roku.

Pomiary lepkości

Lepkość jest bardzo ważnym parametrem płynów złożowych i zazwyczaj rutynowo badana jest podczas prowadzenia badań PVT.

Popularne metody pomiaru lepkości:

- z użyciem lepkościomierza kulkowego,
- z użyciem lepkościomierza kapilarnego.

Lepkość (w pierwszej metodzie) oblicza się ze wzoru:

$$\mu = K \times (\rho_k - \rho_0) \times t_{sr}$$

gdzie:

K - stała wiskozymetru; ρ_k - gęstość kulki stalowej; ρ_0 - gęstość ropy; t_{sr} - średni czas opadania kulki.

Stałą kulki (K) wyznacza się eksperymentalnie poprzez okresową kalibrację wiskozymetru płynem wzorcowym o znanej lepkości. Wartości gęstości badanej cieczy uzyskuje się z badań kontaktowych i/lub różnicowych – są to standardowe badania PVT płynów złożowych. Gęstość stalowej kulki jest znana. Pomiaru lepkości dokonuje się zazwyczaj w kilku punktach ciśnieniowych odpowiadających badaniom kontaktowym i/lub różnicowym.

Alternatywnie do pomiarów lepkości można używać lepkościomierza kapilarnego.

W zależności od rodzaju/przewidywanej lepkości próbki, montuje się wiskozymetr pokrywający odpowiedni zakres pomiarowy:

- 0,3 ÷ 20 cP,

- 1 ÷ 50 cP,

- 20 ÷ 3 000 cP.

Każda kapilara jest uprzednio kalibrowana i posiada swoją stałą kapilary, niezależną od wydatku przepływu, temperatury i ciśnienia pomiaru. Zasada pomiaru lepkości wiskozymetrem kapilarnym opiera się na prawie Hegen-Poiseuille'a wyprowadzonym ok. 1840 r., następnie zmodyfikowanym poprzez dodanie współczynnika kapilary (K_v) uwzględniającego poprawkę na rzeczywiste przepływy laminarne:

$$\mu = K_v \times (\pi \times R^4 \times \Delta P) / (8 \times Q \times L)$$

gdzie:

μ - lepkość dynamiczna; K_v - stała kapilary; R - promień kapilary, ΔP - spadek ciśnienia na kapilarze; Q - wydatek przepływu; L - długość kapilary.

Współczynnik lepkości K_v podlega kalibracji przy użyciu wzorca lepkości, jest wartością indywidualną każdej kapilary i dla każdej kapilary musi być kalibrowany oddzielnie.

Wiskozymetrem kulkowym i kapilarnym można prowadzić pomiary lepkości zarówno powyżej jak i poniżej ciśnienia nasycenia.

Do pomiarów lepkości solanki używano wyłącznie wiskozymetru kapilarnego, gdyż wiskozymetr kulkowy nie może być użyty z cieczami przewodzącymi prąd elektryczny. Solanka, jako ciecz przewodząca (w odróżnieniu od ropy) nie mogła być badana w lepkościomierzu kulkowym, w którym to do pomiaru czasu opadania kulki wykorzystywane są elementy, których działanie opiera się na przewodnictwie stalowej kulki i ścianki komory testowej przy braku przewodności badanej cieczy (np. ropy).

Procedura badawcza stosowana podczas badań lepkości mieszanin CO₂ i solanki była następująca (Warnecki, 2009):

- 1) przygotowano solankę, w wodzie destylowanej rozpuszczano określoną ilość środków chemicznych aż do osiągnięcia pożądanego składu chemicznego imitując skład solanki złożowej,
- 2) odmierzoną porcję solanki złożowej wprowadzano do komory badawczej,
- 3) pompą próżniową odpowietrzano próbkę solanki w celu odebrania rozpuszczonego w niej powietrza (próżnia w komorze),
- 4) poprzez szczelny układ ciśnieniowy doprowadzano i nabierano do komory z solanką dwutlenek węgla w fazie gazowej,
- 5) zamykano komorę ciśnieniową, mając wewnątrz solankę i CO₂ w bezpośrednim kontakcie,

- 6) uruchamiano mieszanie magnetyczne,
- 7) podnoszono temperaturę przygotowanego układu solanka/gaz do pożądanej wartości dla prowadzenia badania,
- 8) podnoszono ciśnienie w komorze do pożądanej wartości – używano funkcji Constant Pressure, która pozwala na inteligentne monitorowanie oraz utrzymywanie zadanego ciśnienia badawczego w układzie, bacząc na zmiany temperatury – jest to szczególnie istotne podczas podnoszenia temperatury płynów w komorze ciśnieniowej,
- 9) w celu osiągnięcia równowagi fazowej i maksymalnego nasycenia solanki CO₂, przez odpowiedni okres czasu próbkę utrzymywano w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury poddając ją nieustannemu mieszaniu,
- 10) po osiągnięciu stabilizacji fazowej (utrzymując zadane ciśnienie) wytłaczano z komory nadmiarowy gaz, który w danych warunkach PT nie zdołał rozpuścić się w wodzie – odbiór czapy gazowej,
- 11) w drugiej komorze ciśnieniowej sprężano wodę destylowaną do wartości nieznacznie wyższej od ciśnienia badanej solanki,
- 12) przy pomocy funkcji aparatury Sweep Mode przetłaczano z jednej komory do drugiej (przez wiskozymetr) około 100 cm³ solanki dokonując pomiarów jej lepkości w funkcji czasu. Podczas procesu pomiarowego utrzymywano stałe zadane ciśnienie i temperaturę badań,
- 13) wartość lepkości w danych warunkach PT uzyskiwano obliczając średnią arytmetyczną z kilkuset punktów pomiarowych.

Wyniki badań

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki kilkudziesięciu badań lepkości otrzymanych podczas pomiarów z użyciem wiskozymetru kapilarnego aparatury PVT.

Dane te umieszczone zostały obok innych ważnych parametrów solanek – wyznaczonych podczas wcześniej prowadzonych badań (M. Warnecki i zespół - 2009).

Określono wówczas takie właściwości jak:

- gęstość solanki martwej,
- rozpuszczalność CO₂ w solance w warunkach (PT) złożowych,
- współ. objętościowy solanki nasyconej CO₂ w warunkach (PT) złożowych,
- gęstość solanki nasyconej CO₂ w warunkach (PT) złożowych.

Wynikom lepkości towarzyszy wartość ciśnienia, temperatury złożowej oraz ilości rozpuszczonego CO₂ w danych warunkach PT.

Każdy pomiar lepkości przebiegał przez pewien okres czasu (zazwyczaj ok. 20 min.). Dlatego zdecydowano się przedstawić proces pomiaru na wykresach uwzględniających zmiany lepkości i ciśnienia w trakcie badania – w funkcji czasu.

W **Tabeli 1.3.2_11** zebrano rezultaty badań wszystkich solanek wytypowanych do przeprowadzenia pomiarów lepkości. Tabele wzbogacono o wybrane cechy skały zbiornikowej, parametry złożowe oraz skład poszczególnych solanek. Dane zilustrowano graficznie na kolejnych rysunkach:

- ciśnienie i temperatura złożowa poszczególnych odwiertów (**Fig. 1.3.2_20**),
- rozpuszczalność CO₂ w poszczególnych solankach w warunkach PT (**Fig. 1.3.2_21**),
- współczynnik objętościowy solanki w warunkach PT (**Fig. 1.3.2_22**),
- gęstość solanek (**Fig. 1.3.2_23**),
- rozpuszczalność CO₂ w solance w funkcji temperatury złożowej (**Fig. 1.3.2_24**),
- rozpuszczalność CO₂ w solance w funkcji ciśnienia złożowego (**Fig. 1.3.2_25**),
- rozpuszczalność CO₂ w solance w funkcji gęstości w temp. 20 °C (**Fig. 1.3.2_26**),
- rozpuszczalność CO₂ w solance w funkcji gęstości w warunkach PT (**Fig. 1.3.2_27**),
- rozpuszczalność CO₂ w funkcji mineralizacji (**Fig. 1.3.2_28**),
- gęstość solanki martwej w funkcji mineralizacji (**Fig. 1.3.2_29**),
- gęstość solanki nasyconej CO₂ (warunki PT) w funkcji mineralizacji (**Fig. 1.3.2_30**),
- lepkość solanek w warunkach ciśnienia i temperatury (**Fig. 1.3.2_31**),
- lepkość solanki w funkcji rozpuszczalności CO₂ w próbce (**Fig. 1.3.2_32**),
- lepkość solanki w funkcji temperatury (**Fig. 1.3.2_33**),
- lepkość solanki w funkcji ciśnienia (**Fig. 1.3.2_34**),
- lepkość solanki w funkcji gęstości w temperaturze 20 °C (**Fig. 1.3.2_35**),
- lepkość solanki w funkcji gęstości w warunkach PT (**Fig. 1.3.2_36**),
- lepkość solanki w funkcji mineralizacji (**Fig. 1.3.2_37**).

Określona lepkość solanek w warunkach ciśnienia i temperatury, zmieniała się w zakresie od 0,503 cP (Nosówka 1), przy ciśnieniu 10,6 MPa i temp. 102 °C do 1,085 cP (Zaosie 2), przy ciśnieniu 5,0 MPa i temp. 24,8 °C.

Lepkość solanek nasyconych dwutlenkiem węgla zależy od wielu czynników.

Jednym z nich jest mineralizacja wody. Im większy stopień mineralizacji tym lepkość wzrasta – przy zachowaniu niezmiennych pozostałych parametrów (P, T, Rs). Badania literaturowe (Ershagi et al., 1983) podają ponadto, iż największą lepkością charakteryzują się wodne roztwory chlorku wapnia (CaCl_2) potem z NaCl i KCl.

Temperatura złożowa ma również istotny wpływ na wartość lepkości solanki –wraz ze wzrostem temperatury lepkość spada. Zjawisku temu przeciwdziała ciśnienie; ze wzrostem ciśnienia złożowego lepkość solanki nieznacznie wzrasta.

W przebadanym zakresie temperatura ma znacznie większy wpływ na lepkość solanki niż ciśnienie.

Badania wykazały, iż nasycenie solanki dwutlenkiem węgla w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury powoduje wzrost lepkości dynamicznej nowopowstałej mieszaniny. Zmiany są nieduże aczkolwiek zauważalne (badania solanki Zaosie 3, Zgierz IG1 i Nosówka 1).

Podczas badań solanek Ożegów IG1, Szwejki IG3 i Zakrzyn IG1 odnotowano problemy odnośnie stabilizacji parametru lepkości w czasie. Jak przedstawiono na odpowiednich rysunkach, lepkość jednostajnie rosła podczas całego procesu pomiarowego. Badania powtórzono po uprzednim oczyszczeniu/przemyciu kapilary(w przeciwprądzie) wodą destylowaną i przedmuchianiu azotem. Niestety, powtórne pomiary również charakteryzowały się wzrostowym trendem rejestrowanej lepkości.

Fakt, iż lepkość wzrastała w czasie badania (rosła różnica ciśnień ΔP na końcach kapilary) może świadczyć o narastających oporach przepływu wynikających z wytrącania i osadzania się w kapilarze soli/składników stałych utrudniających przepływ i właściwe pomiary. W związku z powyższym, należałoby przypuszczać, iż wartości lepkości zmierzone na początku tych badań są bardziej realne.

Tabeli 1.3.2_11 Zebranie uzyskanych wyników badań PVT

Lp.	Nazwa odwiertu	wiek	strop [m]	Warunki złożowe		Skład solanki złożowej [mg/dm ³]								Mineralizacja [g/dm ³]	Parametry określone w badaniach PVT				
				P _{zł} [bara]	T _{zł} [°C]	Cl	Br	J	Ca	Mg	Fe	Na	K		R _{SCO2} [m ³ /m ³]	B _{SN} [m ³ /m ³]	ρ _{SN} [g/cm ³]	ρ _{SM} [g/cm ³]	μ [cP]
1	Budziszewice IG1	J1	1325	132	45,5	2916,6	8,54	1,26	394	74	-	1824	140,5	7,092	30,0	1,044	1,018	1,0022	0,849
2	Budziszewice IG1	T1	3436	375	110,0	60776	156,62	11,72	9860	4,4	-	27490	750	104,9	25,1	1,067	1,051	1,0681	0,569
3	Jeżów IG1	J1	1635	162	49,3	1369,4	7,68	0	27,03	7,6	6	930	17,5	2,66	29,4	1,038	1,021	0,9998	0,712
4	Jeżów IG1	J1	1712	167	50,8	8027,78	54,16	1,92	361,72	111,13	18	4250	36	12,96	30,5	1,045	1,022	1,0068	0,697
5	Jeżów IG1	T3	1893	187	58,5	39238,91	248,11	1,35	4471,88	796,7	25	17500	150	63,2	25,4	1,043	1,047	1,0416	0,739
6	Jeżów IG1	T1	2726	313	77,5	219852	1963,39	3,49	69685	5446,62	75	46000	3700	360	13,0	1,029	1,223	1,2369	1,071
7	Kalisz IG1	J1	1185	118	45,1	1315,15	5,6	0,41	101,53	40,84	2,22	724	46	2,56	31,3	1,048	1,014	0,9992	0,755
8	Kalisz IG1	P2	3025	339	123,0	201637	1798,47	-	18134,55	4558,5	-	87500	13750	336,6	13,5	1,058	1,166	1,2079	0,712
9	Madaje Stare IG1	K1	1478	140	48,0	19	-	-	55	7	1	32	6	0,263	30,9	1,048	1,012	0,9975	0,706
10	Madaje Stare IG1	J3	1929	181	62,1	33200	85	3	1950	664	1,2	17500	320	55,9	25,3	1,044	1,040	1,0374	0,660
11	Madaje Stare IG1	J3	2178	205	69,4	58900	133	4	3500	1000	1	30400	520	96,2	22,2	1,042	1,061	1,0622	0,652
12	Niechmirów IG1	J1	1400	134	52,5	75575,98	747,66	4,5	17424	2894,08	46,55	24750	440	127	20,2	1,035	1,088	1,0881	0,879
13	Ożegów IG1	T1	2085	216	71,8	148650	1050	5	19600	4000	35	63750	1900	242	14,6	1,037	1,142	1,1597	0,847
14	Ożegów IG1	P2	2538	263	89,2	199100	1400	7	30750	4400	50	82500	2550	328	13,8	1,040	1,190	1,2067	0,961
15	Poddebice IG1	J3	2545	252	87,0	76200	81	4	3650	750	83	40500	640	129	21,1	1,047	1,069	1,0786	0,882

Tabeli 1.3.2_11 Zebranie uzyskanych wyników badań PVT, c.d.

Lp.	Nazwa odwiertu	wiek	strop [m]	Warunki złożowe		Skład solanki złożowej [mg/dm ³]								Mineralizacja [g/dm ³]	Parametry określone w badaniach PVT				
				P _{zł} [bara]	T _{zł} [°C]	Cl	Br	J	Ca	Mg	Fe	Na	K		R _{SCO2} [m ³ /m ³]	B _{SN} [m ³ /m ³]	ρ _{SN} [g/cm ³]	ρ _{SM} [g/cm ³]	μ [cP]
16	Poddebice IG1	K1	2150	212	77,0	15315,7	25,91	0,52	614,17	118,9	16,67	8500	75	25,1	27,3	1,054	1,014	1,0147	0,527
17	Poddebice PIG2	K1	2110	210	76,0	44700	42	4,7	2120	347	1,56	27900	265	74,164	24,1	1,054	1,044	1,0525	0,612
18	Poddebice PIG2	K2	849	85	35,0	1470	1	1	200	14,9	2,42	1240	18,4	3,752	31,8	1,046	1,017	1,0009	0,860
19	Radoszyn 1	P2	2413	261	75,0	208960	2900	-	56500	6010	950	53690	9790	340,21	12,9	1,025	1,228	1,2302	1,062
20	Sarnów IG1	K1	1605	159	50,5	28	-	-	14	2	9	132	9	0,377	31,2	1,048	1,012	0,9984	0,724
21	Sarnów IG1	J3	2091	207	66,8	48700	91	4	3000	800	42	26500	390	80	25,3	1,051	1,051	1,0537	0,654
22	Szwejki IG3	J2	1620	157	46,1	3971,1	6,6	-	456,9	97,2	-	1200	1900	8,7	32,0	1,051	1,016	1,0039	0,730
23	Szwejki IG3	T1	3675	363	88,3	154308,8	239,7	-	25009,9	2626,5	134	60500	1200	250,4	17,0	1,040	1,146	1,1584	0,793
24	Zakrzyn IG1	J1	1620	161	68,5	29599	-	-	1100	260,8	2,55	18125	250	51,252	23,6	1,050	1,029	1,0336	0,622
25	Zakrzyn IG1	T1	3300	423	126,8	223659	-	-	63750	3000	321,5	57125	5325	370,683	13,6	1,051	1,201	1,2337	0,795
26	Zaosie 2	J1	518	50	24,8	709,1	-	-	400,8	-	-	350	80	3,62	26,8	1,038	1,014	0,9998	1,085
27	Zaosie 3	J1	915	91	36,1	3900	-	-	1442,8	-	-	1750	120	9,1	30,7	1,042	1,023	1,0047	0,901
28	Zaosie 3	T3	1202	126	44,5	9006	-	-	2420,8	-	-	3700	100	21,12	solanka martwa (nienasycona CO ₂)				0,743
29	Zaosie 3	T3	1202	126	44,5	9006	-	-	2420,8	-	-	3700	100	21,12	29,4	1,042	1,026	1,0103	0,788
30	Zaosie 3	T3	1202	160	44,5	9006	-	-	2420,8	-	-	3700	100	21,12	29,4	-	-	1,0103	0,794
31	Zaosie 2	T2	2043	203	68,7	153174,2	919	-	37995,8	2626,5	34,3	52500	500	250,53	14,1	1,034	1,160	1,1729	0,906
32	Zgierz IG1	J2	1915	20	62,0	36700	161,9	28,5	3000	232	0,45	20000	283	61,4	-	-	-	1,0408	0,616

Tabeli 1.3.2_11 Zebranie uzyskanych wyników badań PVT, c.d.

Lp.	Nazwa odwiertu	wiek	strop [m]	Warunki złożowe		Skład solanki złożowej [mg/dm ³]								Mineralizacja [g/dm ³]	Parametry określone w badaniach PVT				
				P _{zł} [bara]	T _{zł} [°C]	Cl	Br	J	Ca	Mg	Fe	Na	K		R _{SCO2} [m ³ /m ³]	B _{SN} [m ³ /m ³]	ρ _{SN} [g/cm ³]	ρ _{SM} [g/cm ³]	μ [cP]
33	Zgierz IG1	J2	1915	100	62,0	36700	161,9	28,5	3000	232	0,45	20000	283	61,4	-	-	-	1,0408	0,670
34	Zgierz IG1	J2	1915	190	62,0	36700	161,9	28,5	3000	232	0,45	20000	283	61,4	24,8	1,044	1,044	1,0408	0,663
35	Zgierz IG1	J2	1915	350	62,0	36700	161,9	28,5	3000	232	0,45	20000	283	61,4	24,8	-	-	1,0408	0,682
36	Zgierz IG1	J2	1915	500	62,0	36700	161,9	28,5	3000	232	0,45	20000	283	61,4	24,8	-	-	1,0408	0,685
37	Nosówka 1	Cr	3465	106	102	109900	-	-	8420	2920	-	55800	500	150	-	-	-	1,0966	0,503
38	Nosówka 1	Cr	3465	255	102	109900	-	-	8420	2920	-	55800	500	150	-	-	-	1,0966	0,521
39	Nosówka 1	Cr	3465	306,5	102	109900	-	-	8420	2920	-	55800	500	150	-	-	-	1,0966	0,524
40	Nosówka 1	Cr	3465	357,1	102	109900	-	-	8420	2920	-	55800	500	177,54	20,3	1,044	1,089	1,0966	0,546

Otwory nawiercają poziomy solankowe, za wyjątkiem wymienionego jako ostatni otworu Nosówka 1 (złoże ropy naftowej).

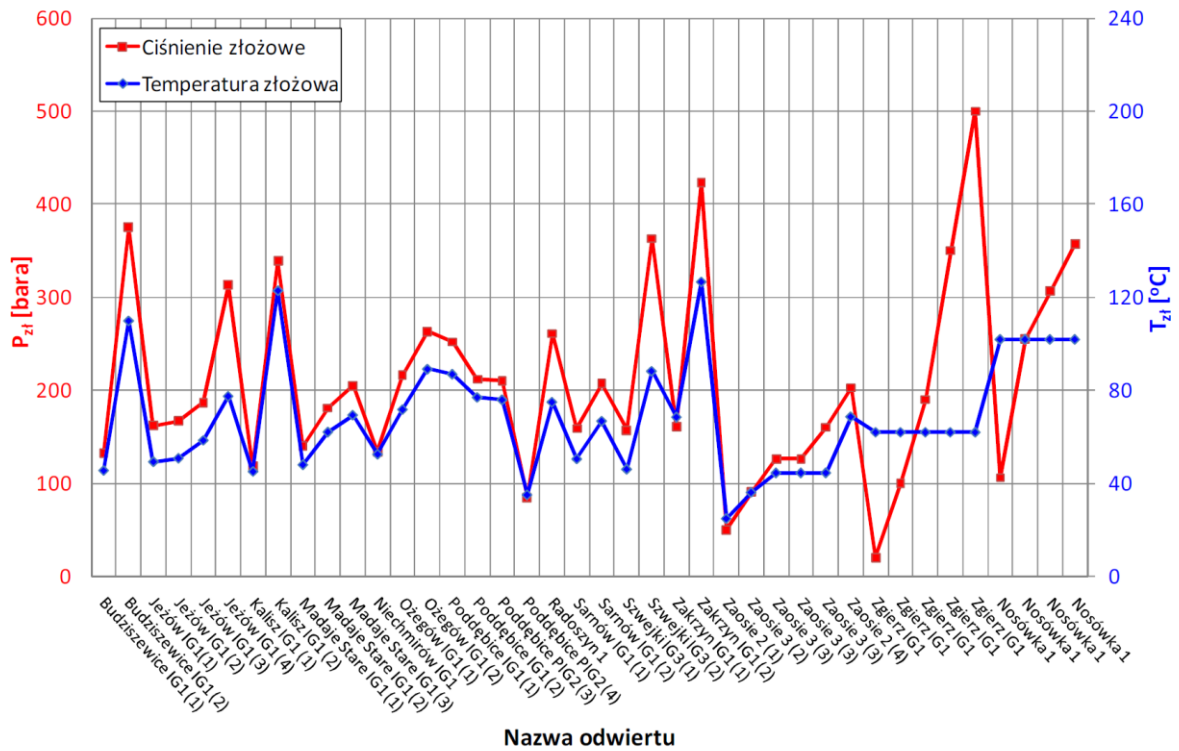


Fig. 1.3.2_20 Ciśnienie oraz temperatura dla poszczególnych badań

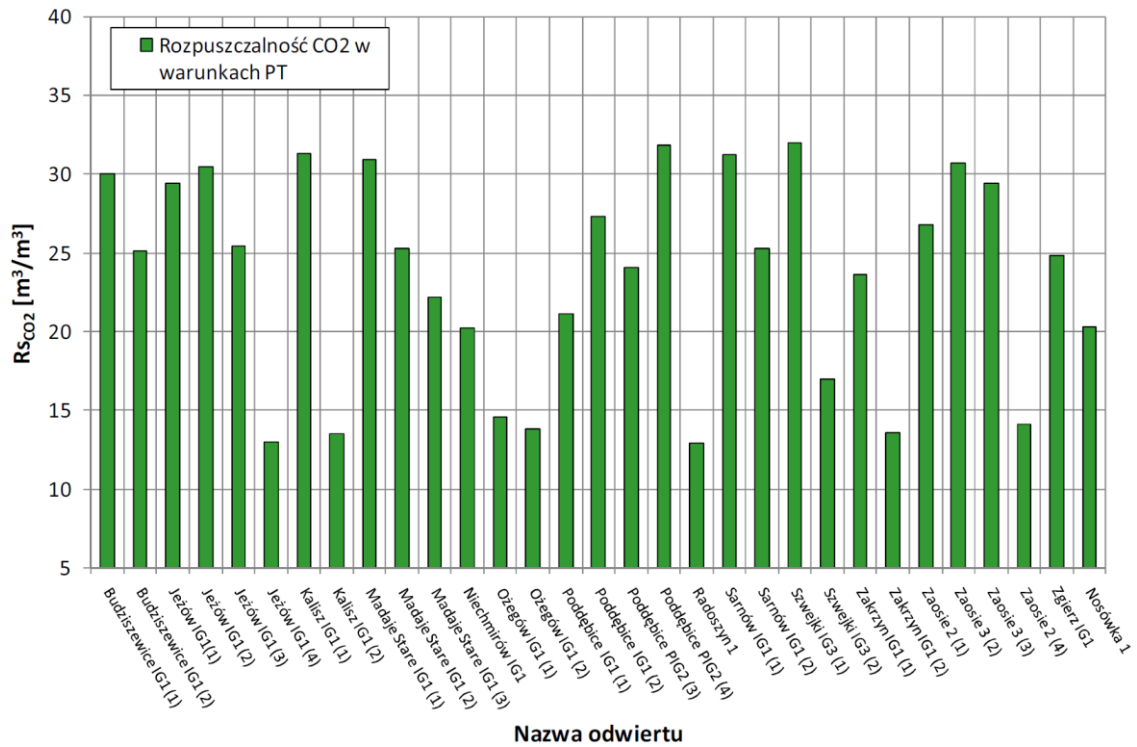


Fig. 1.3.2_21 Rozpuszczalność CO2 w poszczególnych solankach w warunkach PT

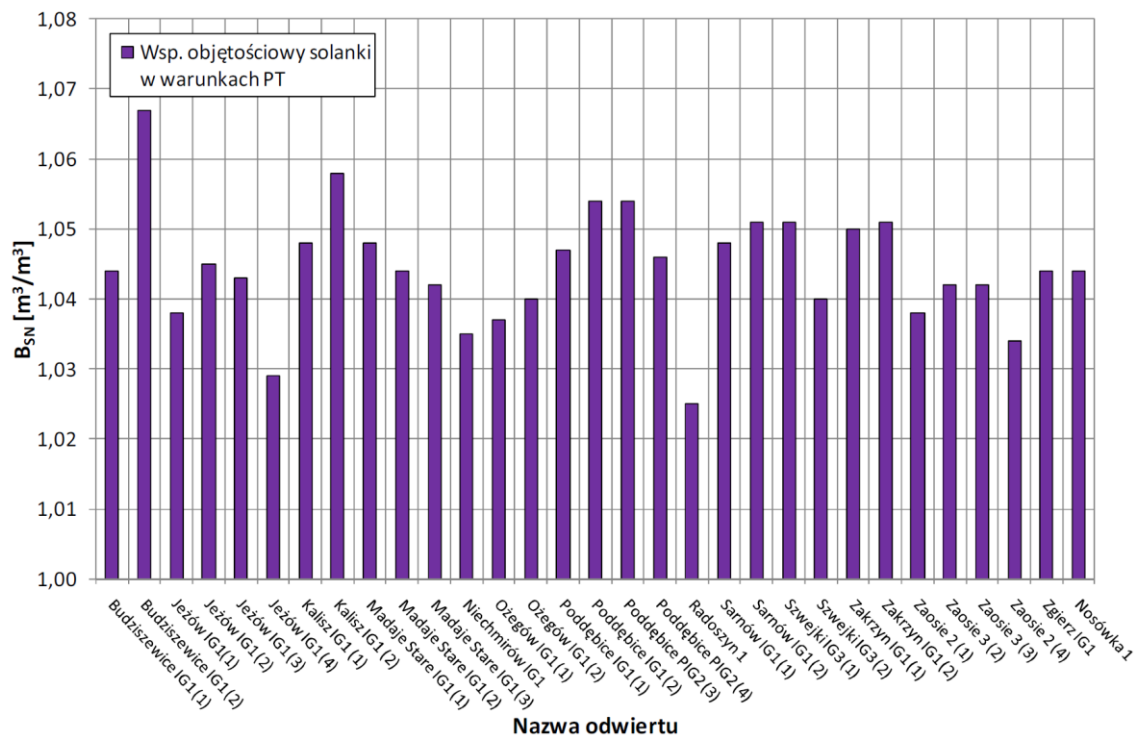


Fig. 1.3.2_22 Współczynnik objętościowy solanki w warunkach PT

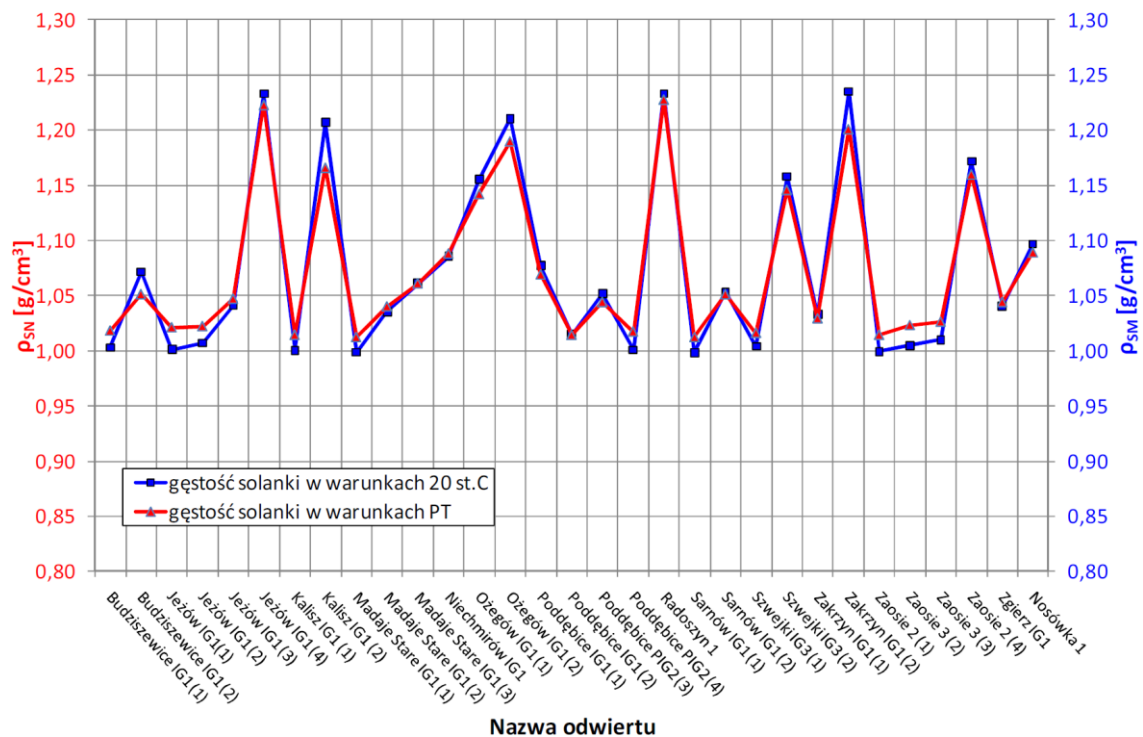


Fig. 1.3.2_23 Gęstości badanych solanek

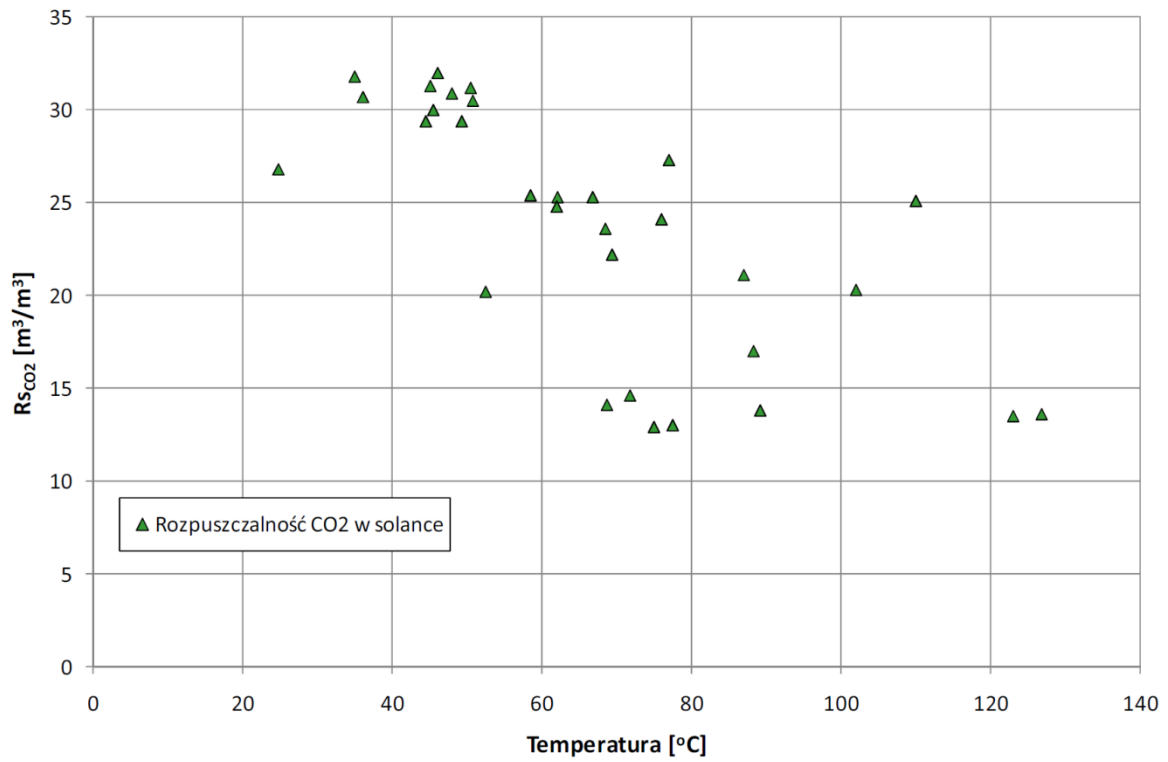


Fig. 1.3.2_24 Rozpuszczalność CO2 w solance w funkcji temperatury złożowej

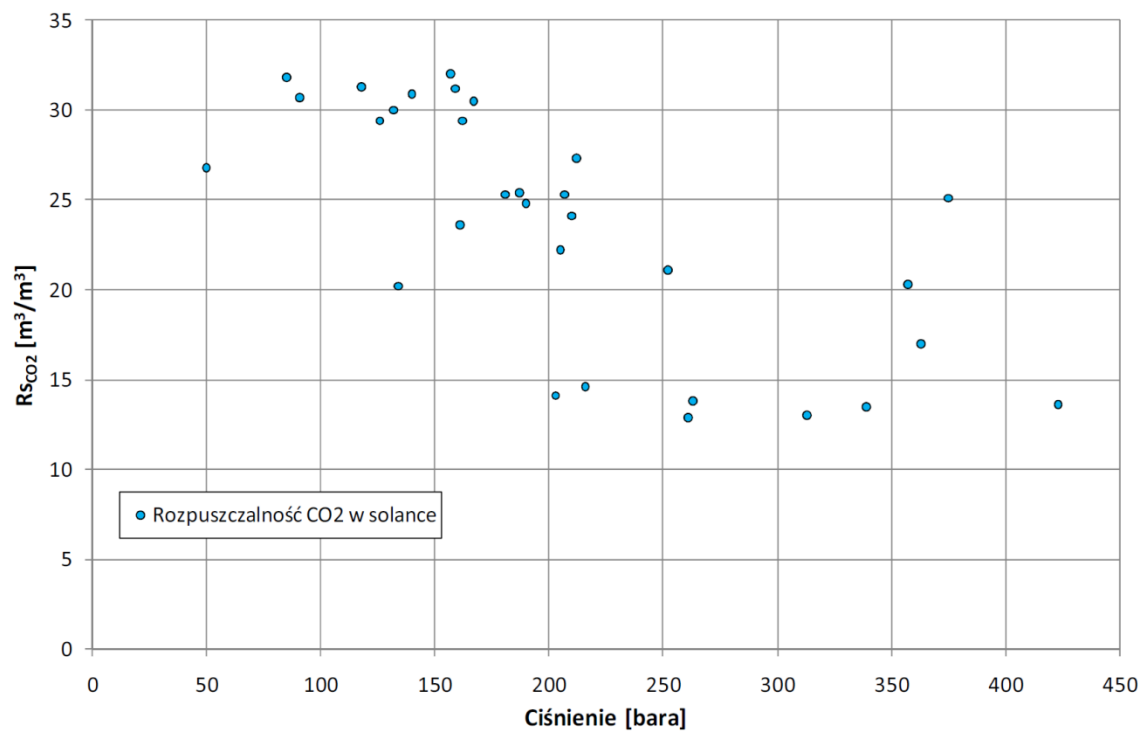


Fig. 1.3.2_25 Rozpuszczalność CO2 w solance w funkcji ciśnienia złożowego

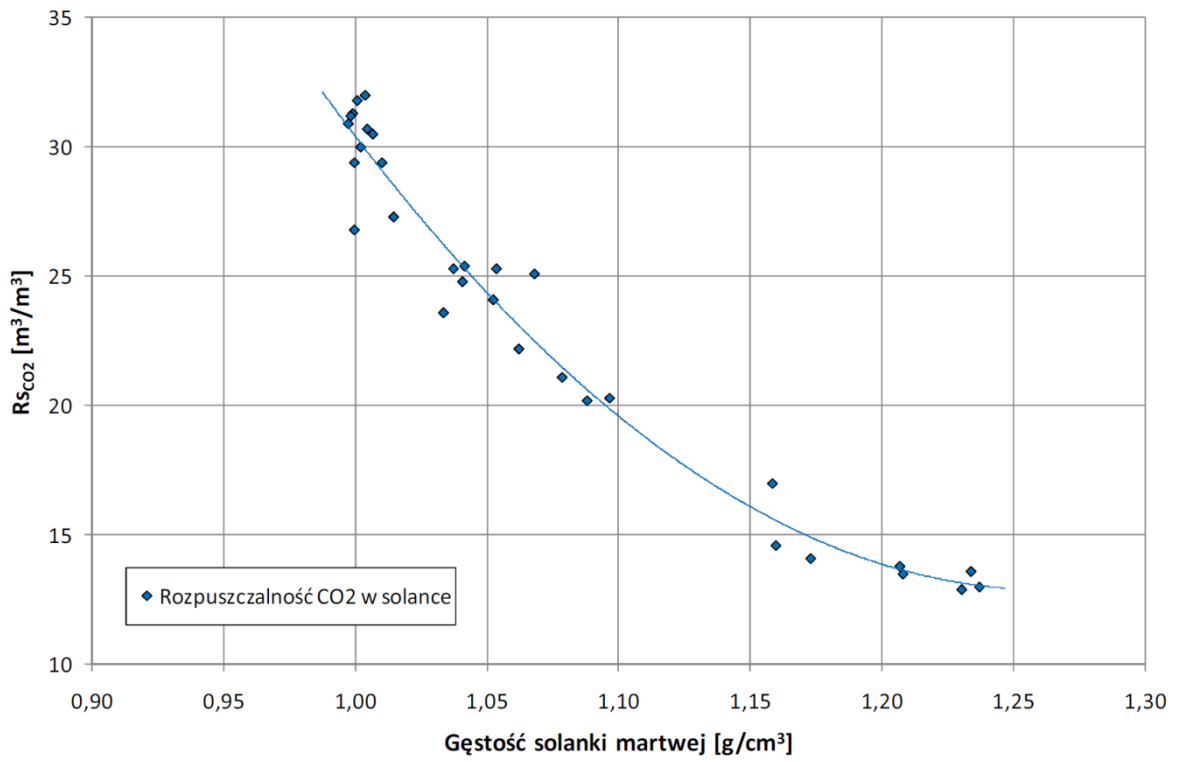


Fig. 1.3.2_26 Rozpuszczalność CO₂ w solance w funkcji gęstości w temp. 20 °C

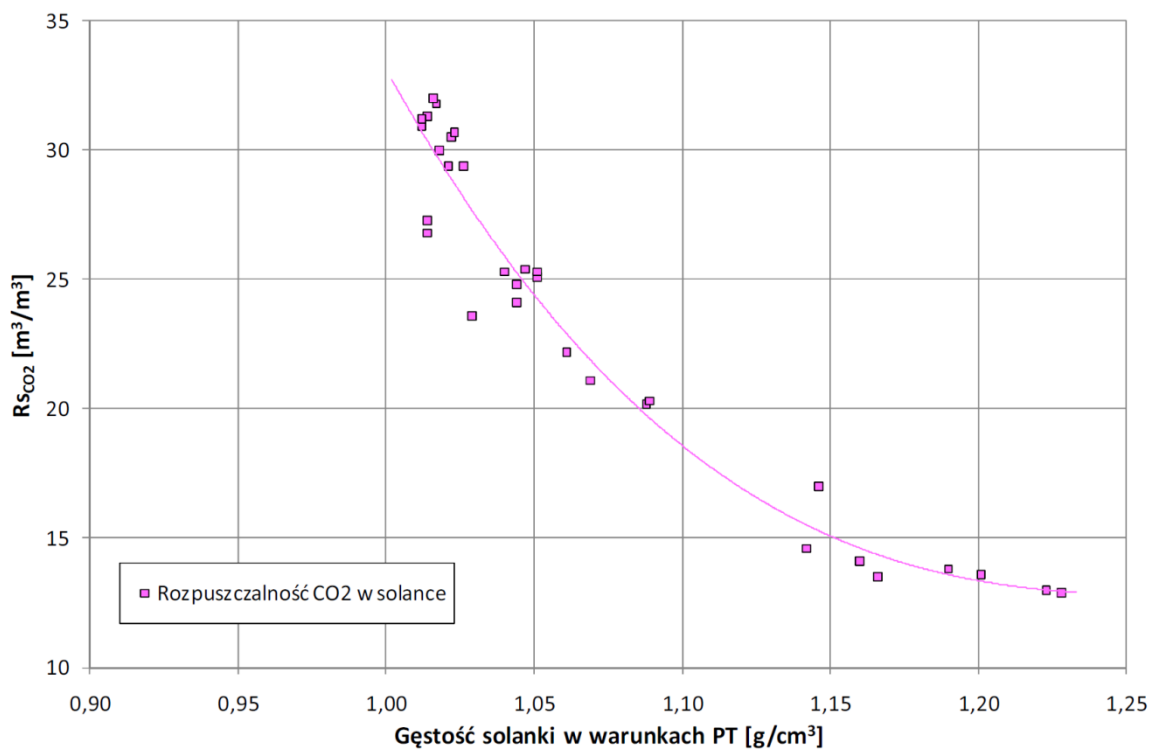


Fig. 1.3.2_27 Rozpuszczalność CO₂ w solance w funkcji gęstości w warunkach PT

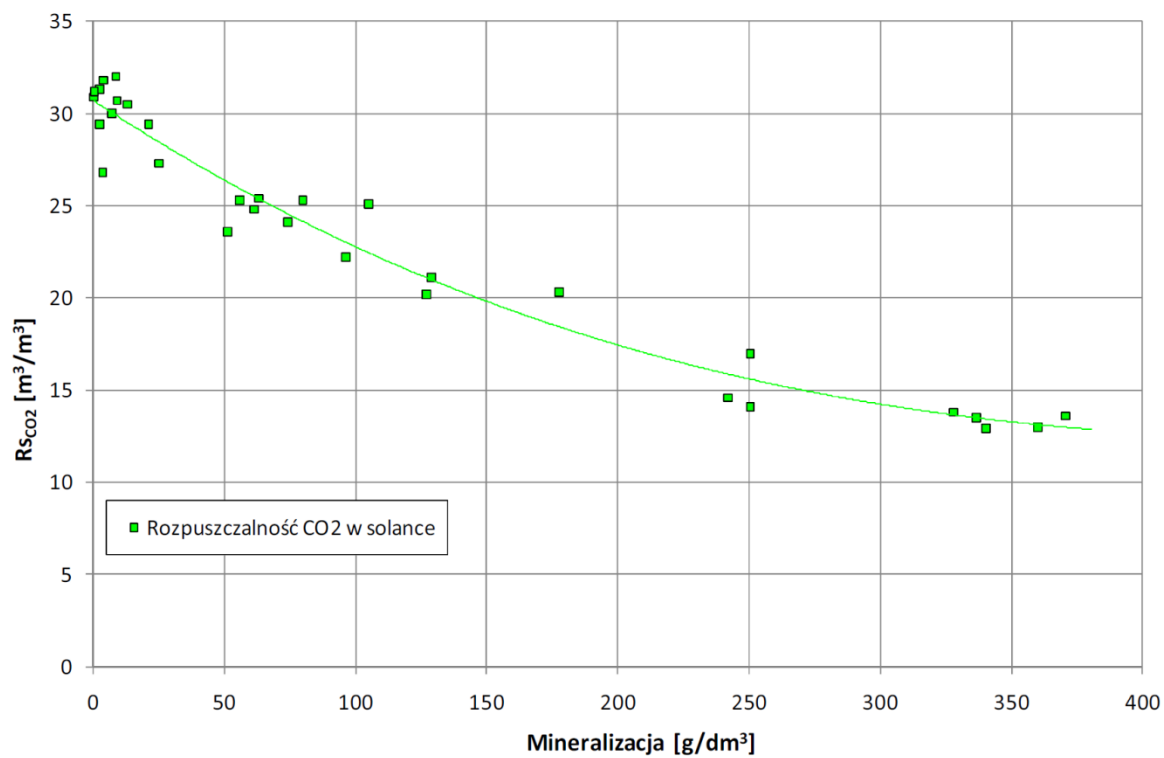


Fig. 1.3.2_28 Rozpuszczalność CO2 w funkcji mineralizacji

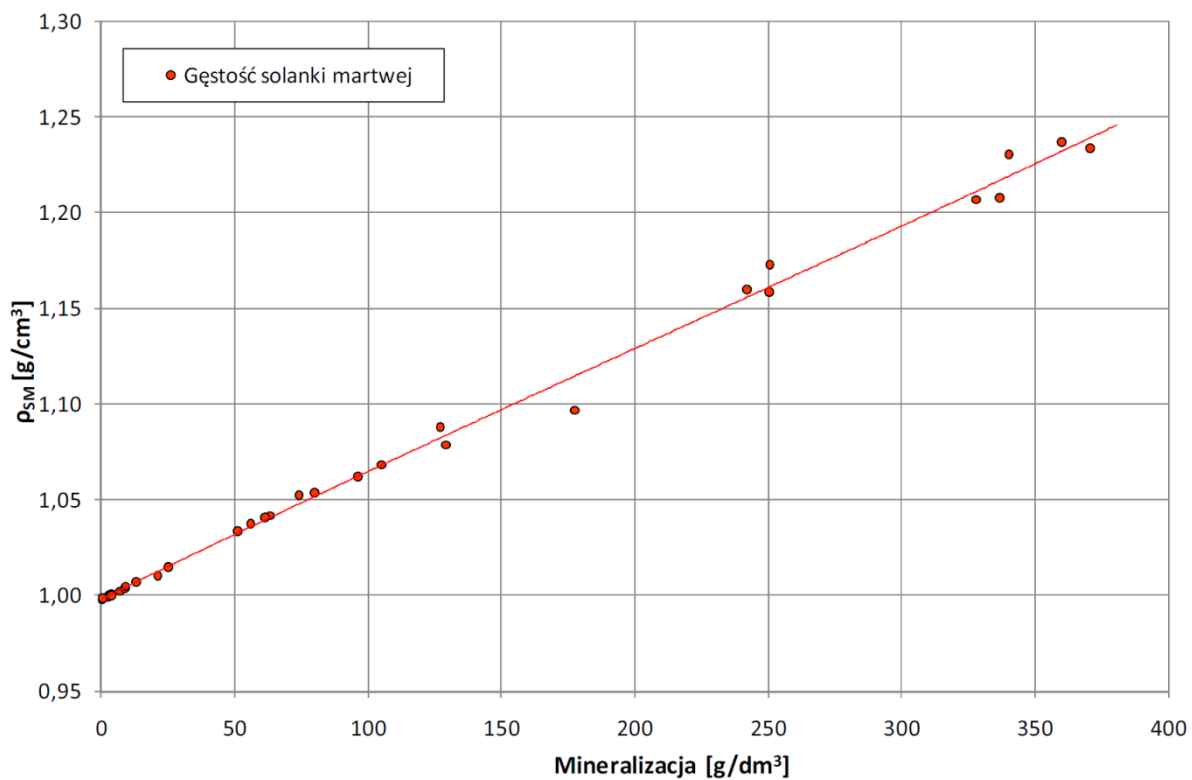


Fig. 1.3.2_29 Gęstość solanki martwej w funkcji mineralizacji

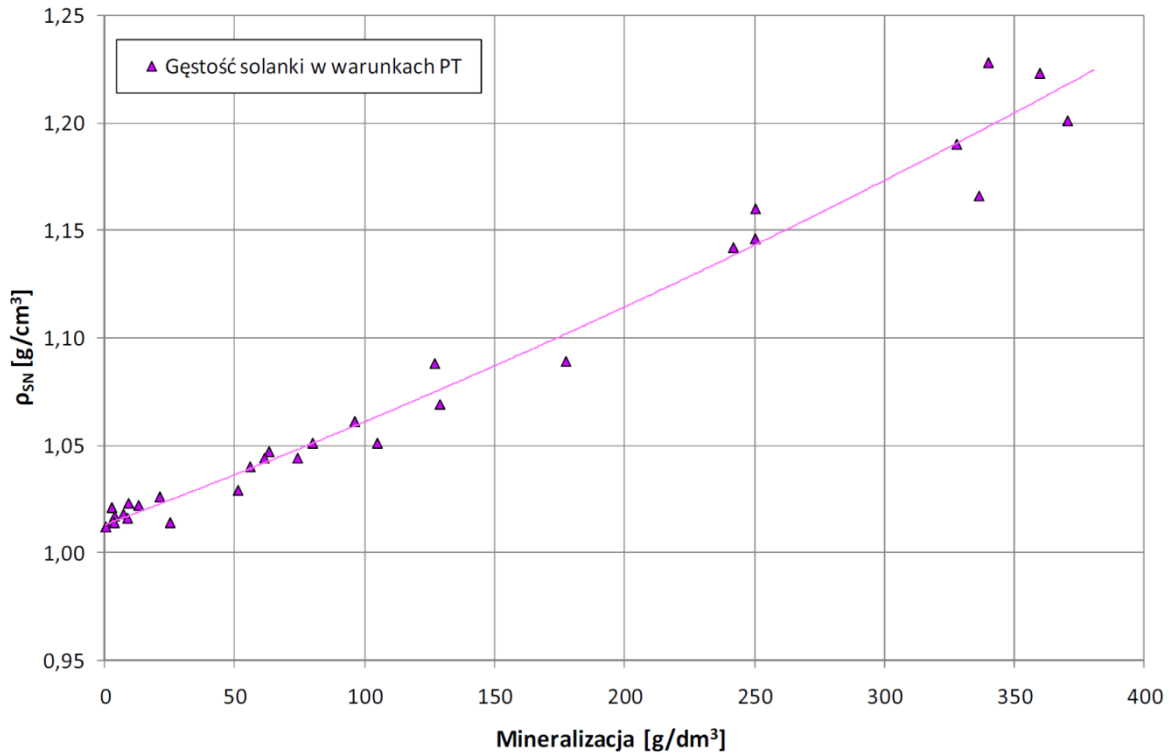


Fig. 1.3.2_30 Gęstość solanki w warunkach (PT) złożowych w funkcji mineralizacji

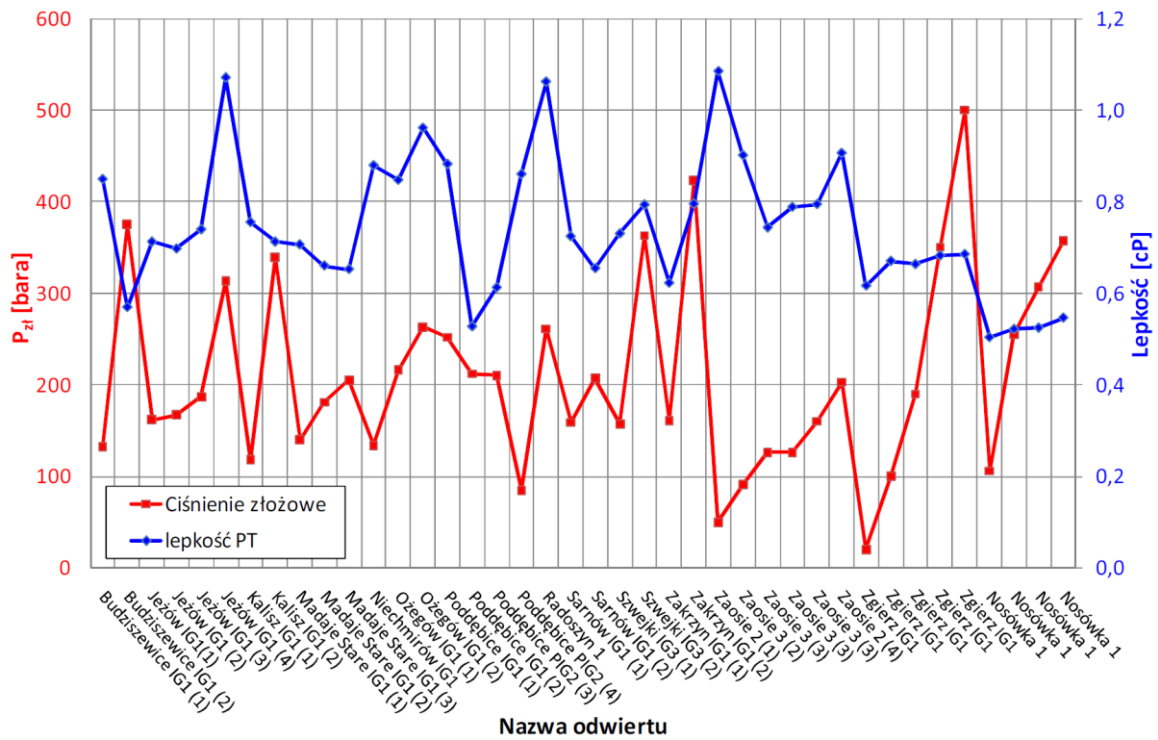


Fig. 1.3.2_31 Lepkość solanki w warunkach (PT) ciśnienia

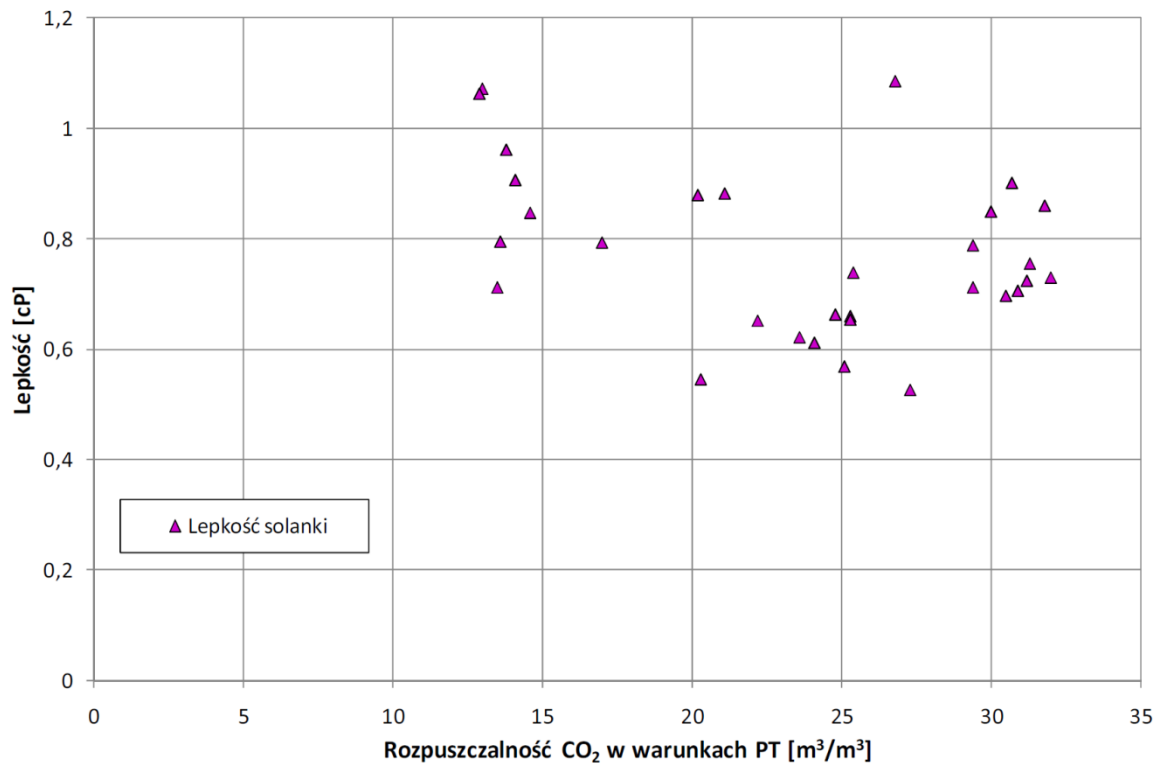


Fig. 1.3.2_32 Lepkość solanki w funkcji rozpuszczalności CO₂ w próbce

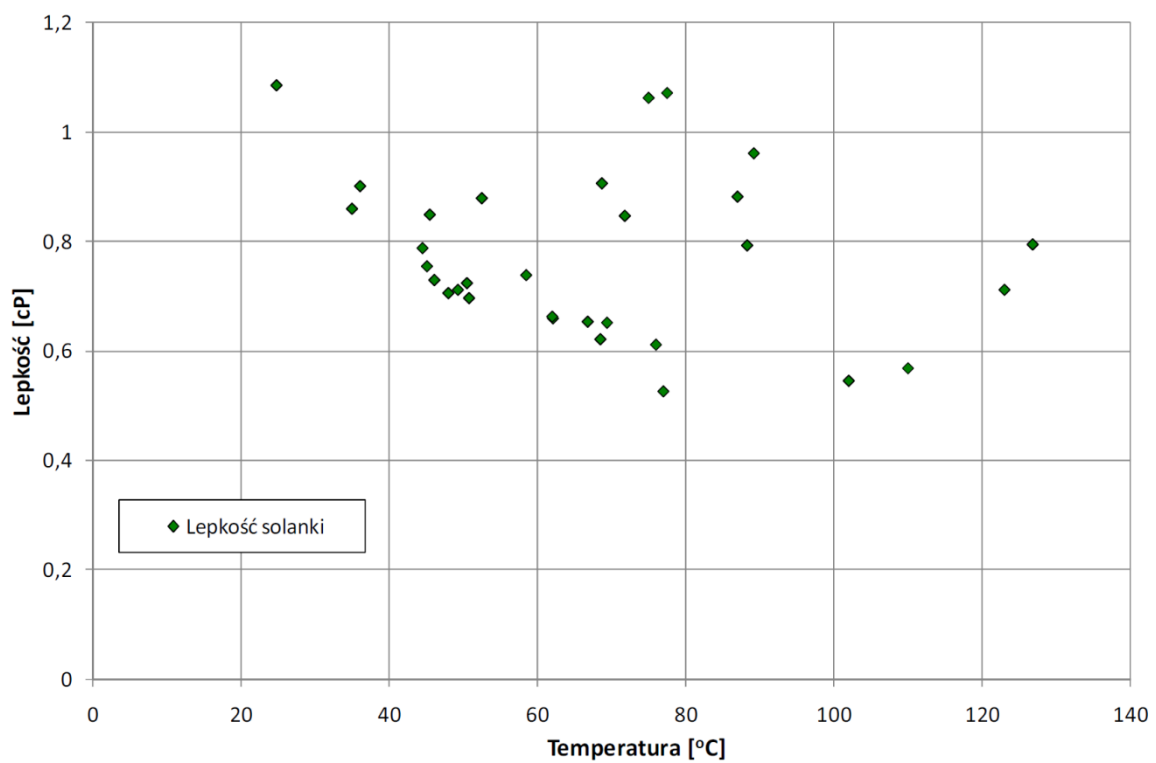


Fig. 1.3.2_33 Lepkość solanki w funkcji temperatury

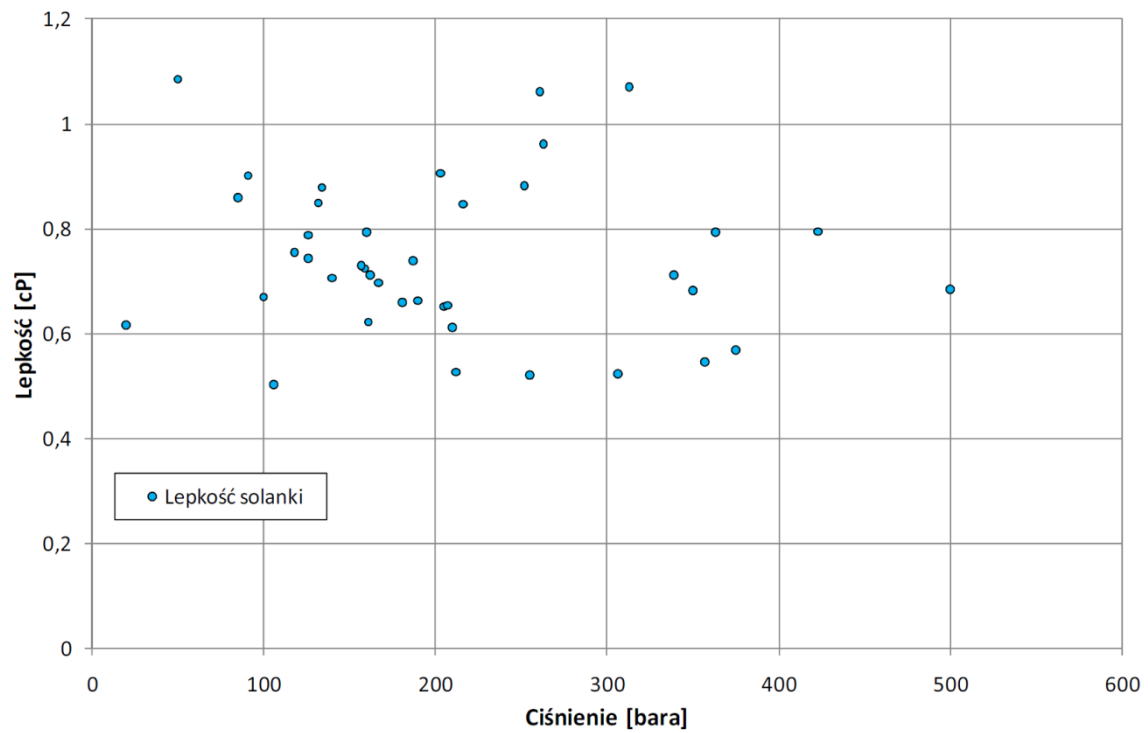
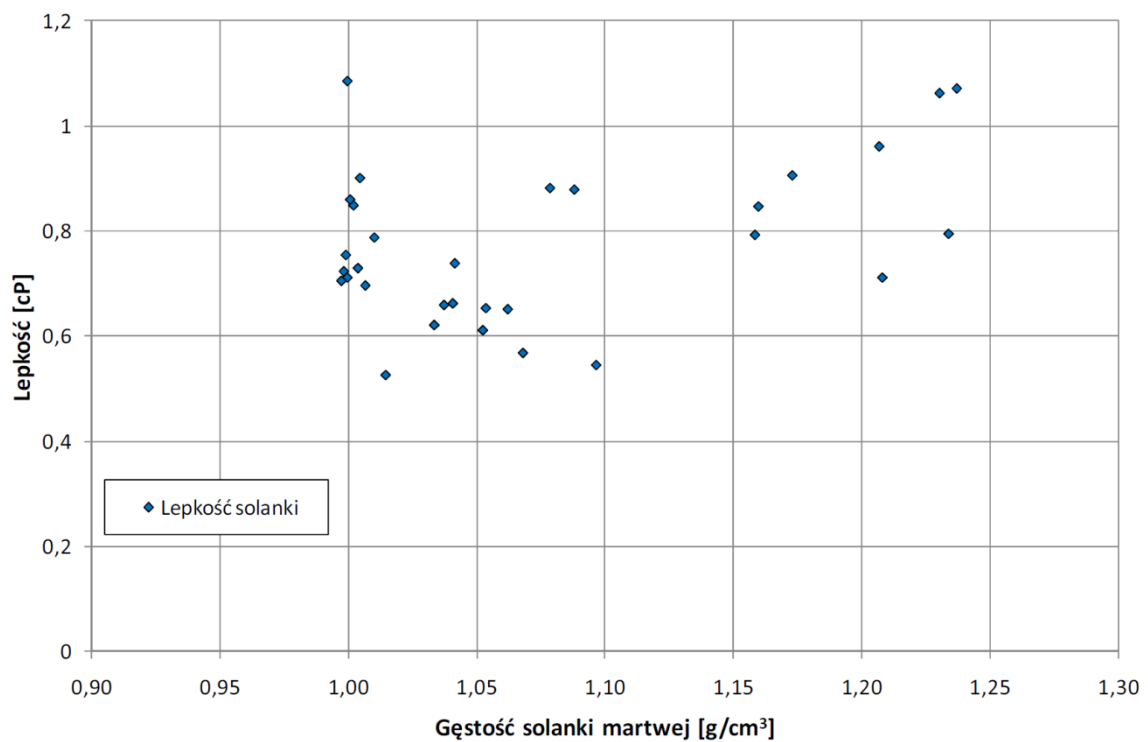


Fig. 1.3.2_34 Lepkość solanki w funkcji ciśnienia



1.3.2_35 Lepkość solanki w funkcji gęstości w temp. 20 °C

Fig.

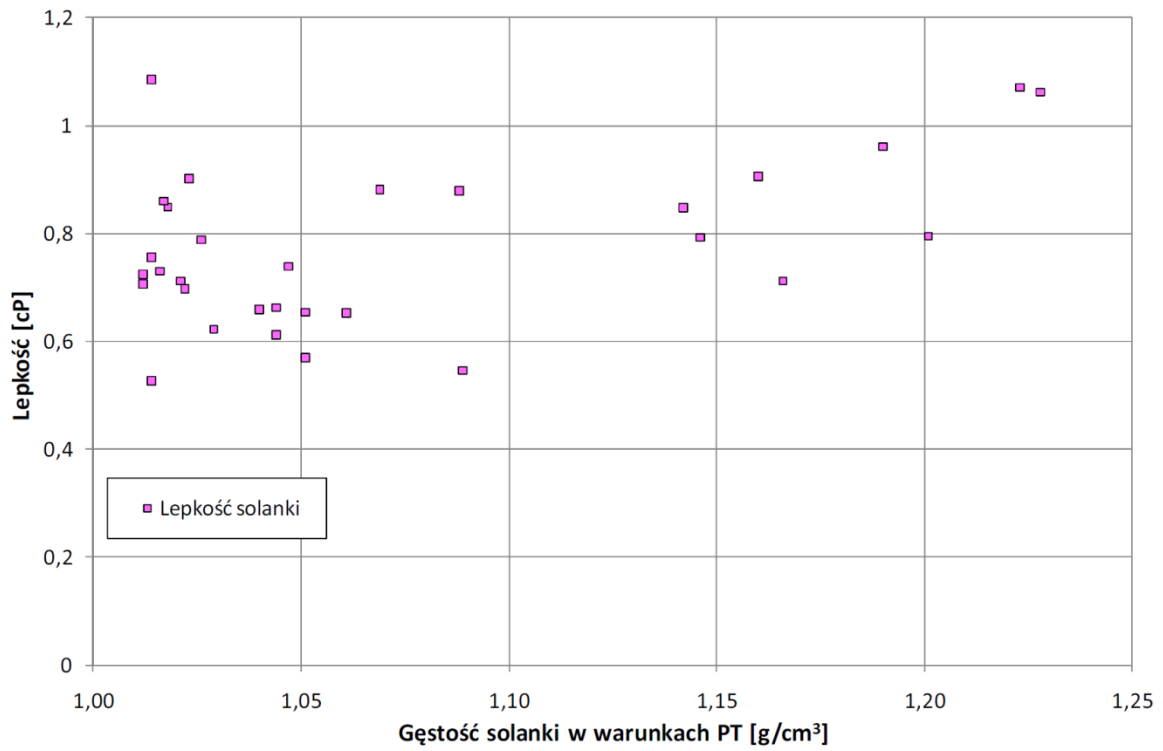


Fig. 1.3.2_36 Lepkość solanki w funkcji gęstości w warunkach PT

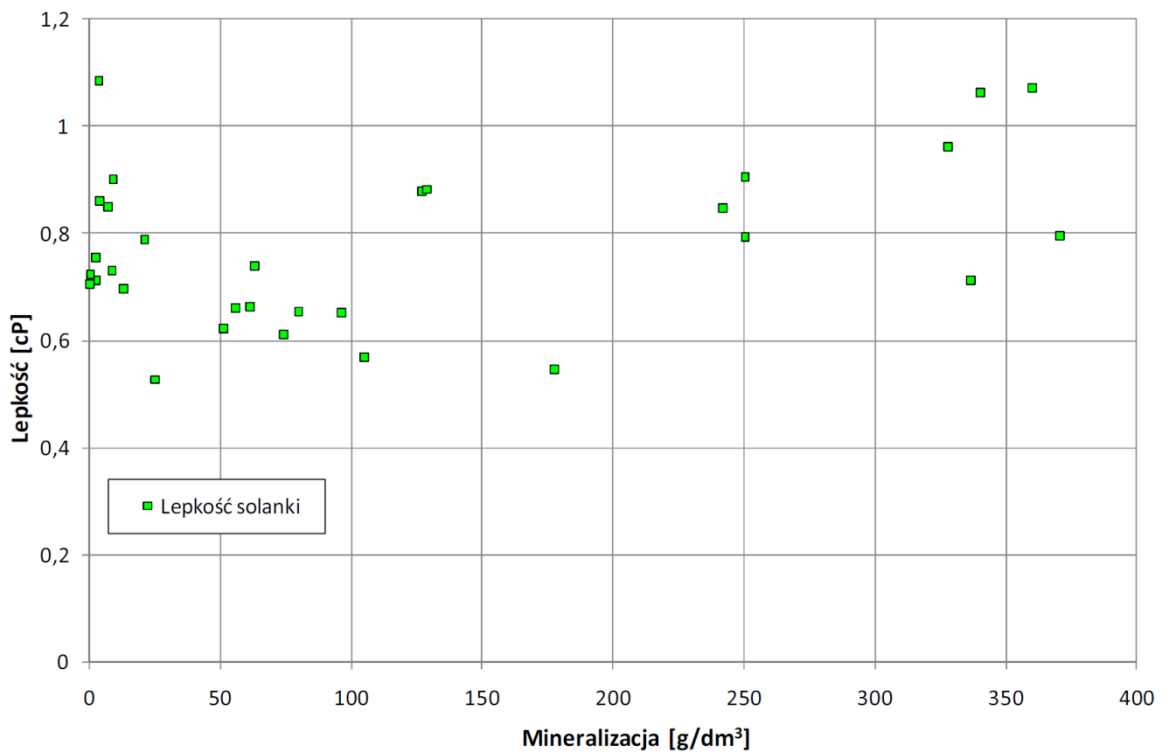


Fig. 1.3.2_37 Lepkość solanki w funkcji mineralizacji

Rejon VII - NW Polska (część I) oraz VI - Wielkopolska

(Małgorzata Włodarczyk, Barbara Darlak, Grzegorz Leśniak, Krzysztof Sowizdzał, Marta Kyś)

Wykonano analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności dla gazu dla 216 próbek z 61 otworów (Tabela 1.3.2_12). Wyniki opracowano w formie tabelarycznej - dostępne w bazie.

Wykonano badania z następujących odwiertów:

Tabela 1.3.2_12 Zestawienie otworów, w których wykonano analizy petrofizyczne na próbkach

Nazwa odwiertu	Ilość próbek
Białogard - 5	2
Biały Bór - 3	4
Biały Bór - 5	7
Biały Bór - 7	3
Brda - 3	3
Brda - 5	2
Brda - 7	4
Bronków – M-27	2
Byczyna - 1	5
Chociwel - 2	12
Chociwel - 3	10
Chośnice - 5	2
Cieptów K-4	1
Czarne - 2	2
Czarne - 5	2
Człopa - 1	1
Człopa - 2	16
Drozdowice FX-1	2
Dunowo - 1	5
Dźwirzyno - 3	2
Golub Dobrzyń - 1	5
Gozd - 4	1
Gronowo - 1	6
Janowiec - 3	2
Kamień Pomorski - 2	4
Karsina - 1	2
Kłanino - 2	2
Kobylnica - 1	3
Kurowo - 1	1
Kurowo - 2	4
Laska - 1	1
Mąkowary - 1	3
Mężyk - 1	1
Młyny - 1	6
Myślubórz GN-1	4
Niekłonice - 1	2

Petrykozy - 1	2
Pławno - 1	3
Podbrzezie Dolne K-6	4
Ponętów - 2	11
Przybyłów - 1	8
Radęcin - 1	5
Radnica - 1	1
Rosnowo - 1	3
Rzeczenica - 1	4
Sarbinowo - 1	2
Słocina IG-1	1
Stargard Szczeciński - 1	1
Stypułów K-17	4
Tychowo – 2	2
Wapnica 2k	1
Warnowo - 1	7
Warnowo - 5	2
Wierzchowo - 8	2
Wierzchowo - 9	2
Wierzchowo - 10	4
Wierzchowo - 12	2
Witkowo - 1	2
Wrociszów K-3	5
Wudzyn - 1	3
Wysoka Kamieńska - 8	1

Wyniki analiz opracowano w zbiorczym zestawieniu tabelarycznym (**Tabela 1.3.2_13**), na podstawie indywidualnych metryk próbek, z zastosowaniem analogicznej metodyki jak dla rejonu Bełchatowa i innych rejonów omówionych powyżej.

Tabela 1.3.2_13 Wyniki analiz dla próbek skał z rejonów NW Polski i Wielkopolski (przykład)

Odwiert	Nr próbki	Głęb.	Gęstość	Porowat.	Gęstość	Gęstość	Porowat.	Średnia	Powierzch	Pory	Średnica	Histereza	Przep.
		[m]	[g/cm ³]	całkowita [%]	szkielet. [g/cm ³]	z porozym [g/cm ³]	z porozym [%]	kapilarna [μm]	właśc. [m ² /g]	>1 μm [%]	progowa [μm]	[%]	[mD]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gronowo-1	816	2412,1	2,66	18,94	2,63	2,15	18,39	3,35	0,10	95	18	75	235,241
Gronowo-1	817	2492,8	2,72	12,52	2,66	2,34	11,81	0,43	0,47	75	10	73	13,379
Gronowo-1	818	2681,5	2,66	20,14	2,62	2,12	19,37	2,10	0,18	92	30	15	82,582
Klanino-2	819	1395,2	2,76	9,30	2,63	2,42	8,23	0,02	5,67	65	0,2	56	0,024
Klanino-2	820	1676,0	2,70	28,49	2,60	1,93	25,90	3,50	0,15	98	25	23	595,138
Janowiec-3	821	1147,1	2,67	8,97	2,60	2,38	8,38	0,02	6,96	5	0,07	68	0,001
Janowiec-3	822	1272,4	2,66	19,24	2,66	2,14	19,24	2,12	0,17	92	30	18	285,647
Dunowo-1	823	748,3	2,70	24,13	2,57	2,02	21,35	0,04	9,79	10	0,15	50	0,215
Dunowo-1	824	810,7	2,82	18,85	2,74	2,26	17,45	0,04	7,00	11	1	64	0,106
Dunowo-1	825	1397,3	2,67	27,64	2,62	1,93	26,32	0,57	0,96	89	25	26	
Dunowo-1	826	1536,3	2,70	29,18	2,64	1,92	27,53	0,18	3,20	75	18	58	113,407
Dunowo-1	827	2110,1	2,68	13,88	2,64	2,29	13,35	0,13	1,90	68	9	74	11,132
Ponętów-2	828	1483,6	2,66	16,27	2,64	2,22	15,95	5,36	0,05	94	90	8	839,956
Ponętów-2	829	1564,3	2,66	20,38	2,64	2,12	19,98	1,39	0,27	93	50	12	863,402
Ponętów-2	830	1631,4	2,74	7,38	2,61	2,44	6,53	0,03	4,09	22	0,1	57	0,018
Ponętów-2	831	2383,1	2,66	13,77	2,62	2,27	13,24	0,16	1,50	42	3	77	0,447
Ponętów-2	832	2388,1	2,69	11,83	2,66	2,36	11,49	0,27	0,74	73	10	80	7,546
Ponętów-2	833	2434,3	2,66	13,76	2,61	2,27	13,10	1,14	0,20	87	15	80	25,758
Ponętów-2	834	2467,3	2,66	9,25	2,64	2,40	9,07	0,28	0,53	73	12	80	5,725
Ponętów-2	835	2560,3	2,65	5,74	2,64	2,49	5,68	0,59	0,15	67	5	73	0,475
Ponętów-2	836	2608,2	2,66	7,10	2,65	2,46	7,03	0,43	0,27	27	2	78	0,125
Ponętów-2	837	2652,4	2,66	14,84	2,66	2,27	14,84	3,44	0,08	94	28	22	123,633
Ponętów-2	838	2696,8	2,66	11,06	2,61	2,34	10,53	0,79	0,23	81	15	76	10,211
Wamowo-5	839	393,3	2,71	28,99	2,59	1,92	25,88	0,07	7,45	34	15,0,2	58	14,821
Wamowo-5	840	1831,6	2,71	8,06	2,64	2,44	7,53	0,09	1,37	50	10	64	4,427
Czarnie-2	841	1541,5	2,73	9,15	2,68	2,44	8,71	0,03	5,66	13	0,1	52	
Czarnie-2	842	1933,4	2,71	20,94	2,63	2,12	19,39	0,27	1,38	81	25	46	153,210
Wierzchowo-8	843	1069,0	2,80	31,14	2,86	1,91	33,13	0,40	1,74	86	65	18	
Wierzchowo-8	844	1456,7	2,64	17,62	2,52	2,13	15,73	0,04	8,02	29	0,1	53	
Stargard Szczeciński-1	845	2392,8	2,79	5,87	2,72	2,57	5,49	0,50	0,17	62	5	66	295,140
Laska-1	846	1124,2	2,61	17,85	2,54	2,12	16,68	0,08	3,90	58	0,06	39	
Biały Bór-3	847	1451,5	2,73	29,34	2,70	1,93	28,49	0,42	1,41	82	30	30	904,424

Rejon VII - NW Polska (część II), VI – Wielkopolska-Kujawy i VIII – Łeba Bałtyk wraz z NE częścią Polski

(Piotr Such, Małgorzata Włodarczyk, Barbara Darlak, Grzegorz Leśniak, Krzysztof Sowizdzał, Marta Kyś)

Wykonano analizy gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz pomiary współczynnika przepuszczalności dla gazu dla 359 próbek z 59 otworów próbek (Tabela 1.3.2_14). Wyniki zamieszczono w formie tabelarycznej oraz formie wydruków krzywych porozymetrycznych.

Wykonano badania z następujących odwiertów:

Tabela 1.3.2_14 Zestawienie otworów, w których wykonano analizy petrofizyczne na próbkach

Nazwa odwiertu	Ilość próbek
B3-1	7
B6-1	7
B6-2	7
B8-1	7
Barciany 1	5
Bartoszyce IG-1	8
Brzezie - 1	17
Brześć Kujawski IG-1	16
Bydgoszcz IG-1	2
Chabowo - 1	15
Chabowo - 2	15
Chabowo - 3	19
Charzykowy IG-1	10
Ciechocinek IG-1	10
Ciechocinek IG-3	9
Cykowo IG-1	10
Czaplinek IG-1	3
Czaplinek IG-2	2
Człuchów IG-1	7
Człuchów IG-2	7
Debrzno IG-1	1
Dębowiec Warmiński 1	4
Głądy 1	2
Gładysze 2	3
Gostynin IG-1	9
Gościno IG-1	1
Gozd - 2	4
Grzybnica IG-1	3
Jamno IG-1	6
Jamno IG-3	4
Karsina - 1	7
Klewno 1	1
Kłanino - 1	3
Kłanino - 2	4
Kłanino - 3	7
Koło IG-3	7
Koło IG-4	2
Kołobrzeg IG-1	2
Kurowo - 1	3

Kurowo - 2	3
Lesieniec 1	5
Liski 1	1
Łankiejmy 1	1
Oświno IG-1	13
Pagórki IG-1	5
Piła IG-1	1
Pieszkowo 1	5
Połczyn IG-1	1
Reclaw IG-1	11
Rodnowo 1	5
Rokita IG-1	7
Szczecin IG-1	8
Szczecinek IG-1	1
Szubin IG-1	3
Tuchola IG-1	14
Tychowo PIG-2	2
Ustronie IG-1	2
Wągrowiec IG-1	4
Wolin IG-1	11

Wyniki analiz opracowano w zbiorczym zestawieniu tabelarycznym (Tabela 1.3.2_15) na podstawie indywidualnych metryk próbek, z zastosowaniem analogicznej metodyki jak dla rejonu Bełchatowa i innych rejonów omówionych powyżej.

Tabela 1.3.2_15 Wyniki analiz dla próbek skał z rejonu VIII (przykład)

Odwiert	Nr próbki	Głęb. [m]	Gęstość materiał. [g/cm ³]	Porowat. całkowita [%]	Gęstość szkielet. [g/cm ³]	Gęstość z porozym [g/cm ³]	Porowat. z porozym [%]	Średnia kapilara [um]	Powierzchn. właściw. [m ² /g]	Pory >1 um [%]	Średnica progowa [um]	Histereza [%]	Przep. [mD]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
B3-1/81	3165	1388,20	2,70	0,60	2,65	2,63	0,57	0,23	0,04	67	0,04	48	0
B3-1/81	3166	1409,80	2,64	15,71	2,61	2,21	15,13	2,63	0,10	93	20	19	107,407
B3-1/81	3167	1410,90	2,51	6,52	2,51	2,34	6,51	0,58	0,19	71	2	63	0,760
B3-1/81	3168	1411,80	2,66	12,22	2,66	2,33	12,17	2,98	0,07	94	17	56	48,341
B3-1/81	3169	1412,90	2,64	8,22	2,60	2,39	7,85	1,96	0,07	90	9	79	11,385
B3-1/81	3170	1416,70	2,67	3,43	2,63	2,54	3,28	1,86	0,03	87	30	8	22,224
B3-1/81	3171	1425,6	2,64	9,06	2,61	2,38	8,75	0,35	0,42	7	0,7	74	bp
B6-1/82	3172	1433,20	2,33	3,02	2,29	2,23	2,91	0,05	1,07	67	0,02	23	bp
B6-1/82	3173	1438,90	2,74	1,43	2,73	2,69	1,41	1,43	0,02	81	0,5	22	0,010
B6-1/82	3174	1443,10	2,68	15,12	2,64	2,26	14,60	1,47	0,18	87	10	77,5	47,878
B6-1/82	3175	1446,00	2,70	9,05	2,64	2,41	8,51	0,16	0,91	12	0,4	66	bp
B6-1/82	3176	1464,80	2,67	10,53	2,62	2,36	10,07	1,18	0,15	84	8	77	20,025
B6-1/82	3177	1471,00	2,67	14,70	2,64	2,26	14,23	1,32	0,19	88	9	80	34,826
B6-1/82	3178	1475,30	2,67	13,49	2,60	2,27	12,63	2,62	0,09	93	9	84	28,399
B6-2/85	3179	1465,20	2,65	13,84	2,65	2,28	13,93	1,91	0,13	89	23	26	72,876
B6-2/85	3180	1475,30	2,65	2,69	2,63	2,56	2,64	0,26	0,16	23	0,4	71	0,125
B6-2/85	3181	1476,40	2,66	2,08	2,59	2,54	1,95	0,38	0,08	25	0,8	71	0,019
B6-2/85	3182	1478,00	2,64	4,42	2,64	2,52	4,41	0,40	0,18	20	0,7	80	0,042
B6-2/85	3183	1486,80	2,65	11,40	2,60	2,32	10,79	1,43	0,13	85	8	70	16,316
B6-2/85	3184	1489,60	2,65	11,32	2,60	2,32	10,80	1,09	0,17	82	5	64	3,586
B6-2/85	3185	1496,70	2,67	9,84	2,61	2,37	9,32	0,70	0,22	76	3,5	70	1,640
B8-1/83	3186	2194,60	2,64	11,32	2,60	2,32	10,89	4,59	0,04	94	15	34	bp
B8-1/83	3187	2197,90	2,65	12,75	2,61	2,29	12,30	4,87	0,04	95	23	10	91,907
B8-1/83	3188	2202,20	2,64	12,04	2,61	2,30	11,63	2,73	0,07	93	18	29	48,622
B8-1/83	3189	2206,30	2,65	3,00	2,65	2,57	3,00	0,20	0,23	27	0,4	68	1,253
B8-1/83	3190	2212,60	2,64	15,52	2,63	2,23	15,49	10,33	0,03	97	25	6	295,274
B8-1/83	3191	2218,10	2,64	16,01	2,57	2,18	14,95	4,96	0,06	94	19	14	66,026
B8-1/83	3192	2342,20	2,70	6,39	2,66	2,50	6,12	0,03	2,98	14	0,1	57	bp

Badanie zjawiska wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych poprzez zatłaczany CO₂ na fizycznym modelu złoża

(Marcin Warnecki, Jerzy Kuśnierczyk, Stanisław Biały)

W niniejszej pracy zawarto wyniki badań procesu wypierania gazu ziemnego rozpuszczonego w solankowych poziomach wodonośnych poprzez zatłaczanie CO₂. Zbudowano fizyczny model złoża współpracujący z nowoczesną aparaturą do badań PVT w celu odtworzenia warunków złożowych panujących w formacji czerwonego spągowca rejonu niecki poznańskiej.

W strukturze niecki poznańskiej zlokalizowanych jest kilkadziesiąt złóż gazu ziemnego (Karnkowski, 1999). Są to złoża typu masywowego od dołu podścielone silnie zmineralizowaną solanką złożową. Formację zbiornikową stanowią tu utwory czerwonego spągowca. Obecnie złoża te (udostępnione głównie w latach 60 – 70-tych) są w dużym stopniu wyeksploatowane. Złoża gazowe niecki poznańskiej stanowią kulminację rozległej struktury czerwonego spągowca, który w pozostałej objętości (poza złożami) jest strukturą zawodnioną o dobrej łączności hydrodynamicznej. Daje to możliwość zwiększenia stopnia sczerpania zasobów gazu na istniejących złożach w wyniku wypierania gazu węglowodorowego przez CO₂ zatłaczany bezpośrednio do wód podścielających złoża. Zakłada się, iż z uwagi na kilkakrotnie wyższą rozpuszczalność CO₂ w solance złożowej, w porównaniu z rozpuszczalnością gazu węglowodorowego, następować będzie wypieranie rodzimego gazu z warstw wodonośnych, a wyparte węglowodory będą wzbogacać zasoby istniejących złóż gazowych.

Pobór prób płynów złożowych do badań

Solanki nasycające piaskowce i zlepierce czerwonego spągowca w niecce poznańskiej charakteryzują się wysoką mineralizacją, tj. od 220 do 282 g/l. Ich skład chemiczny jest zbliżony. Są to solanki chlorkowo – sodowo - wapniowe. Obok głównych składników, w wodach tych występują także niewielkie ilości Magnezu Mg⁺⁺(0,18-5,62 g/l) oraz bromu Br⁻ (0,53 – 2,3 g/l) (Piesik, 2004).

Pod względem stopnia metamorfizmu, solanki niecki poznańskiej są silnie zmetamorfizowane. Rozkład mineralizacji ogólnej wzrasta z głębokością i miąższością utworów Saksonu.

Gazy ziemne występujące w utworach czerwonego spągowca niecki poznańskiej są wolne od siarkowodoru. Zawartość węglowodorów w gazie zmienia się w przedziale 70 – 85 % mol. - przy czym jest to głównie metan. Zawartość cięższych węglowodorów C₂₊ jest znikoma i generalnie nie przekracza 1%. Obok metanu, drugim, głównym składnikiem pozostaje azot, którego udział zawiera się w granicach 13 – 30% mol. W gazie występuje także hel w ilości 0,04 do 0,25 %mol (Dudek et al., 1985, 1990).

Występowanie wód w utworach czerwonego spągowca zostało potwierdzone licznymi wierceniami wykonanymi dla poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Dane uzyskane z wierceń dobitnie potwierdzają występowanie wód w poziomach piaskowcowych w całym profilu. Wszystkie złoża gazowe tego obszaru posiadają wody podścielające. Wody czerwonego spągowca i wapienia podstawowego tworzą wspólny poziom dynamiczny (Piesik, 2004).

Poboru płynów złożowych do badań (gaz, woda złożowa) dokonano na złożu Porażyn. Jest to złożo udostępnione jednym tylko odwiertem Porażyn-2A. Gaz i solanka złożowa Porażyn były już przedmiotem

badania dotyczących procesu wypierania gazu ziemnego z wód złożowych w procesach sekwestracji CO₂ (Warnecki i zespół – 2009). Niniejsza praca stanowi pewne nawiązanie i rozwinięcie wcześniej wykonywanych badań, które nie były wówczas prowadzone w ośrodku porowatym, lecz w komorze ciśnieniowej pozbawionej możliwości właściwego odtworzenia charakteru ośrodka porowatego, zjawisk i przepływów z nim związanych.

Występowanie wód w utworach czerwonego spągowca zostało potwierdzone licznymi wierceniami wykonanymi dla poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Dane uzyskane z wierceń dobitnie potwierdzają występowanie wód wlecz w komorze ciśnieniowej pozbawionej możliwości właściwego odtworzenia charakteru ośrodka porowatego, zjawisk i przepływów z nim związanych.

Złoże Porążyn posiada stosunkowo wysokie ciśnienie złożowe, co pozwala na uzyskanie korzystnych warunków nasycania solanki gazem rodzimym i dwutlenkiem węgla. Dzięki temu uwypuklone zostają procesy zachodzące przy badaniu zjawiska wypierania rodzimego gazu ziemnego przez zatłaczany CO₂ – wyższe rozpuszczalności.

Poboru prób płynów złożowych dokonano na ośrodku kopalń Grodzisk–Ujazd–Bukowiec.

Z odwiertu Porążyn-2A pobrano 2 × 5 dm³ odgazowanej solanki do plastikowych kanistrów bezciśnieniowych oraz dwie butle (2 × 30 dm³) gazu głowicowego tożsamego ze złożowym. Warunki poboru gazu: P = 19,7 MPa; T=35 °C.

Na podstawie karty obliczeniowej produkcji potencjalnej odwiertu ustalono warunki PT złożowe:

$P_{zł} = 26,6 \text{ MPa}$; $T_{zł} = 100 \text{ °C}$.

Tabela 1.3.2_16 Wyniki pomiarów i oznaczeń chem. solanki z odwiertu Porążyn-2A

Oznaczenie	Wartości oznaczone
Gęstość w 20°C [g/cm ³]	1.132
Odczyn [pH]	5.66
Sucha pozostałość [g/dm ³]	211.3
Chlorki [g/dm ³]	120.5
Siarczany [mg/dm ³]	218
Ca [mg/dm ³]	27 850
K [mg/dm ³]	1 638
Mg [mg/dm ³]	1 036
Na [mg/dm ³]	39 220

W Tabeli 1.3.2_8 zawarto skład chemiczny gazu Porążyn-2A oparty o wyniki chromatograficznej analizy gazu pobranego z głowicy odwiertu.

Wyniki pomiarów i oznaczeń chemicznych solanki pobranej do pojemników bezciśnieniowych zestawiono w Tabeli 1.3.2_16.

Badania PVT rodzimego gazu złożowego Porążyn i CO₂ w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury odpowiadającym aktualnym warunkom złożowym zasolonych poziomów wodonośnych niecki poznańskiej

Badania właściwości fazowych rodzimych gazów węglowodorowych nasycających zasolone poziomy wodonośne oraz badania CO₂ niezbędne są do poznania parametrów/charakterystyki wymienionych płynów w warunkach ciśnień i temperatur złożowych. Rezultaty badań wykorzystano do zaprojektowania, przeprowadzenia oraz interpretacji danych pozyskanych przed i w trakcie eksperymentu wypierania gazu rodzimego przez zatłaczany CO₂ na fizycznym modelu złoża.

Większość badań przeprowadzono na nowoczesnej, bezręciowej aparaturze PVT „Model 2370-3000-G PVT System” (raport nt. badań wypierania solanki z modelu złoża „slim tube”, powyżej).

Gaz złożowy Porążyn – parametry PVT

Próbka gazu złożowego z odwiertu Porążyn-2A została przebadana w komorze ciśnieniowej aparatury PVT. Przeprowadzono badania kontaktowe (CME test).

Temperatury prowadzenia badań wynosiły kolejno: T₁=21°C, T₂=60°C, T₃=T_{zł}=100°C. Dla każdej temperatury wyznaczono relacje ciśnienia w funkcji objętości próbki, wyliczono współczynniki objętościowe, współczynniki ściśliwości gazu, zweryfikowano stan fazowy pod kątem pojawienia się fazy ciekłej.

Uzyskane rezultaty badań zilustrowano na **Fig. 1.3.2_38 i 39**.

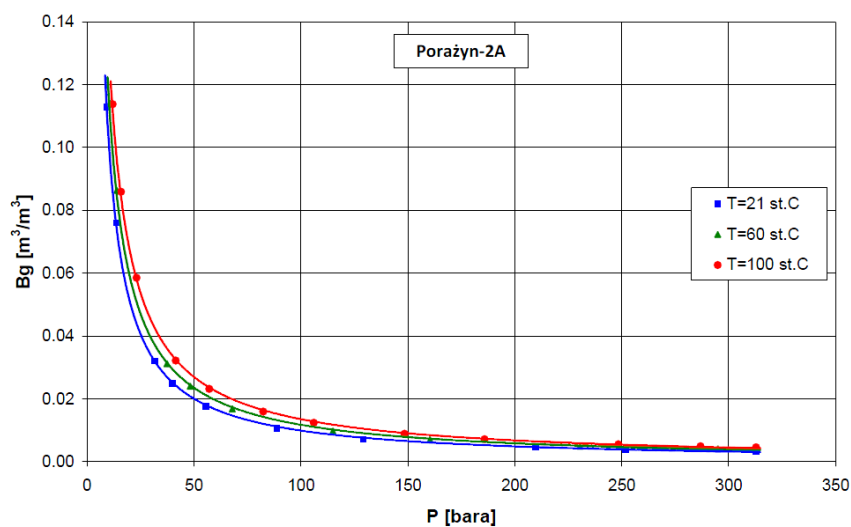


Fig. 1.3.2_38 Współczynnik objętościowy gazu (Bg) – badania

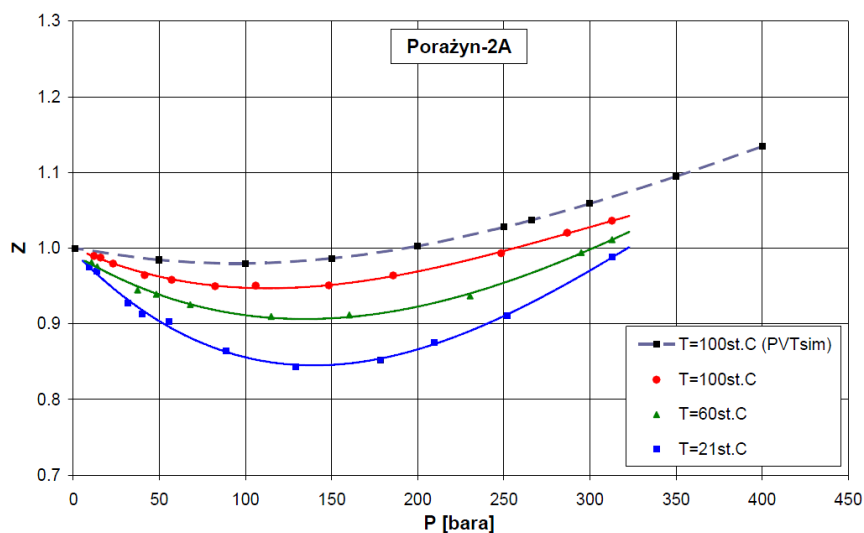


Fig. 1.3.2_39 Współczynnik ściśliwości gazu (Z) – badania kontaktowe

Nie odnotowano obecności fazy ciekłej w komorze ciśnieniowej na żadnym z punktów badawczych (w zakresie temperatur 21 – 100°C i ciśnienie 0,7-30 MPa). Z uwagi na powyższe oraz biorąc pod uwagę skład gazu należy stwierdzić, iż gaz z odwiertu Porażyn-2A jest gazem suchym. Brak wykraplania cieczy upraszcza badania przygotowawcze oraz ułatwia samo badanie zjawisk wypierania rodzimego gazu przez zatłaczany CO₂.

Dwutlenek węgla – parametry PVT

Gaz CO₂ poddano badaniom kontaktowym w aparaturze PVT. Przeprowadzono badania w temperaturach: T₁=21°C, T₂=T_{zł}=100°C. Dla każdej temperatury wyznaczono relacje ciśnienia w funkcji objętości próbki, wyliczono współczynniki objętościowe, współczynniki ściśliwości gazu. Pomiar ilości fazy ciekłej był niemożliwy.

W temperaturze 30°C przejście przez krzywą wrzenia/kondensacji występuje przy ciśnieniu ok. 7,2 MPa. Przemiana fazowa widoczna jest na sporządzonych wykresach, gdzie graficznie przedstawiono wyniki badań (Fig. 1.3.2_40 i 41).

Podczas badań prowadzonych w temperaturze 100°C CO₂ znajduje się w obszarze superkrytycznym „gęsty gaz”. Odróżnienie fazy ciekłej od gazowej nie jest możliwe.

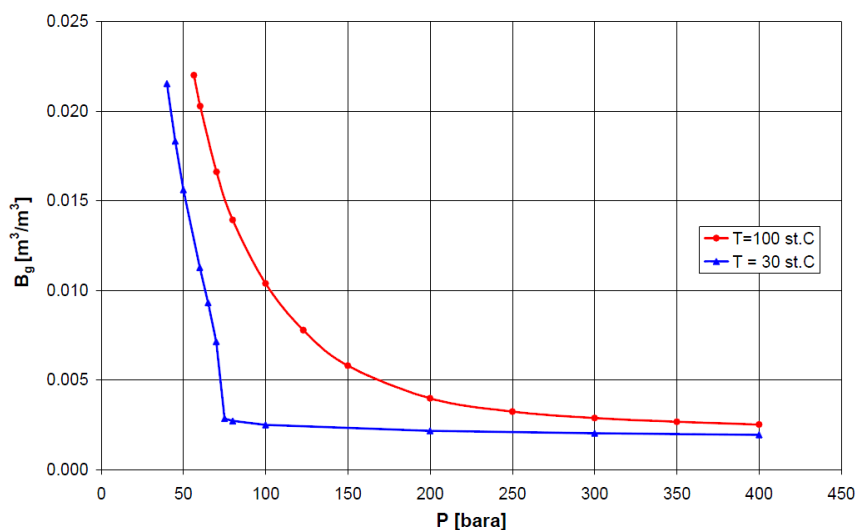


Fig. 1.3.2_40 Współczynnik objętościowy gazu (B_g) - badania kontaktowe CO2

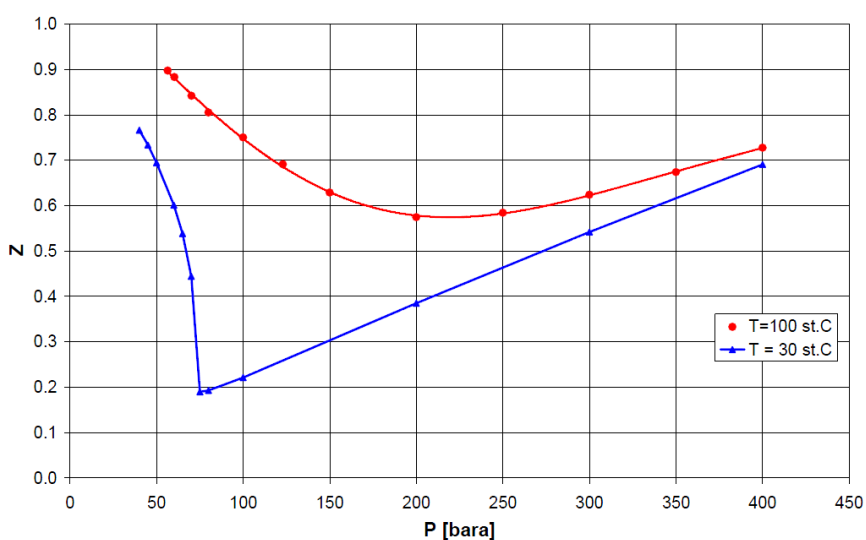


Fig. 1.3.2_41 Współczynnik ściśliwości gazu (Z) - badania kontaktowe CO2

Określenie rozpuszczalności rodzimego gazu Porażyn oraz CO2 w solance

Badania rozpuszczalności rodzimego gazu oraz CO2 w solance złożowej prowadzono w komorze „ropnej” bezrząciowej aparatury PVT. Komora posadowiona w łaźni termostatycznej wyposażona jest w mieszacz magnetyczny, a w swojej górnej części posiada szklany wziernik, który umożliwia obserwację próbki znajdującej się wewnątrz komory (vide Fig. 1.3.2_8 i 9). Określono także rozpuszczalność gazu Porażyn-2A i CO2 w wodzie destylowanej.

Rozpuszczalność gazu Porążyn w solance złożowej

Wyniki rozpuszczalności uzyskane podczas badań układu solanka/gaz złożowy z odwiertu Porążyn-2A zestawiono graficznie na wykresie przedstawiającym zależność rozpuszczalności w funkcji ciśnienia (Fig. 1.3.2_42).

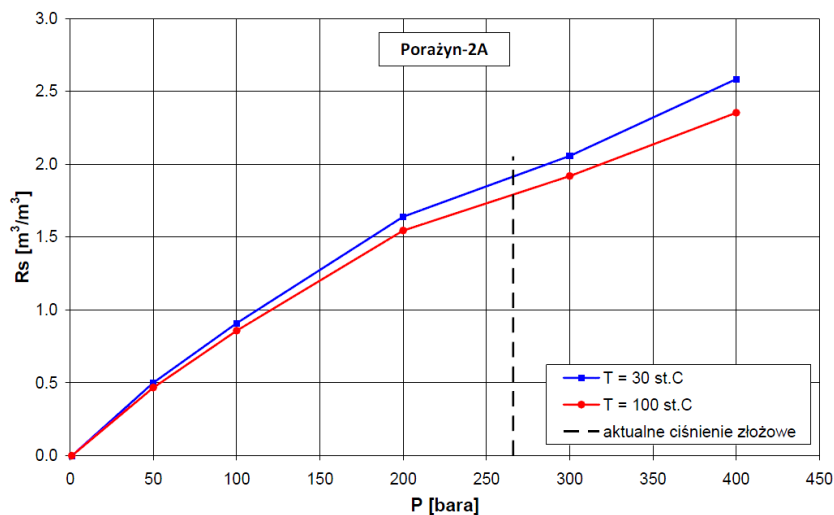


Fig. 1.3.2_42 Rozpuszczalność gazu złożowego w solance złożowej – Porążyn-2A

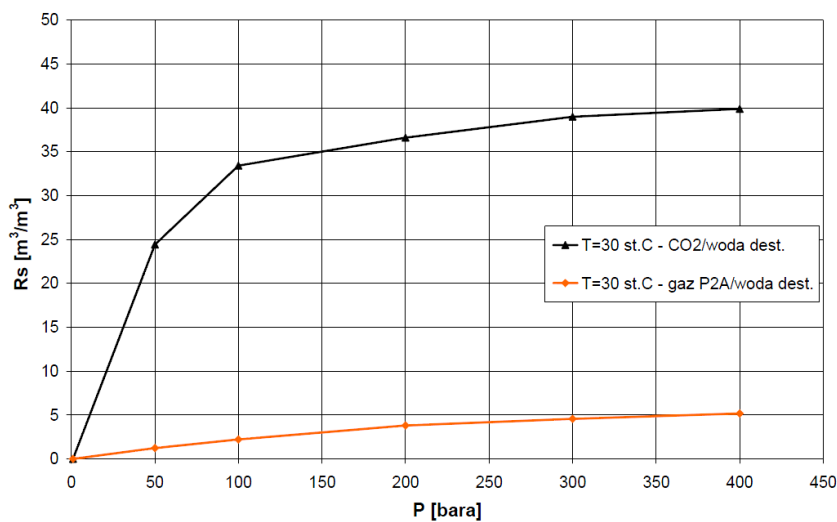


Fig. 1.3.2_42 Rozpuszczalność gazu złożowego Porążyn w wodzie destylowanej

Rozpuszczalność CO₂ w solance złożowej Porążyn-2A

Zwiększona zdolność dwutlenku węgla do rozpuszczania się w wodach złożowych pozwoliła na dokonanie pewnych pomiarów wolumetrycznych mediów w komorze -wyliczono współczynniki objętościowe solanki nasyconej CO₂ w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury.

Dzięki przeprowadzeniu stopniowego odbioru gazu z komory możliwe było wykreślenie zależności rozpuszczalności CO₂ w solance w funkcji ciśnienia (Fig. 1.3.2_43). Na Fig. 1.3.2_44 zawarto relacje współczynnika objętościowego nasyconej CO₂ solanki w funkcji ciśnienia.

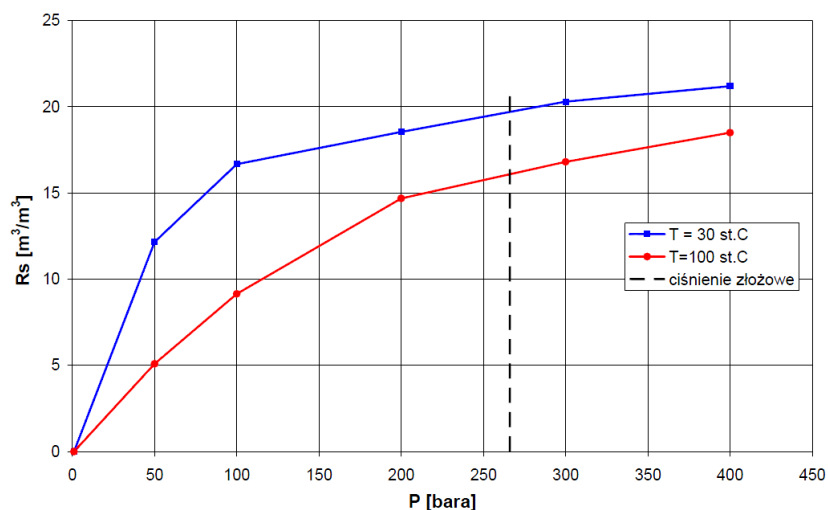


Fig. 1.3.2_43 Rozpuszczalność CO₂ w wodzie złożowej Porążyn 2A – DL test

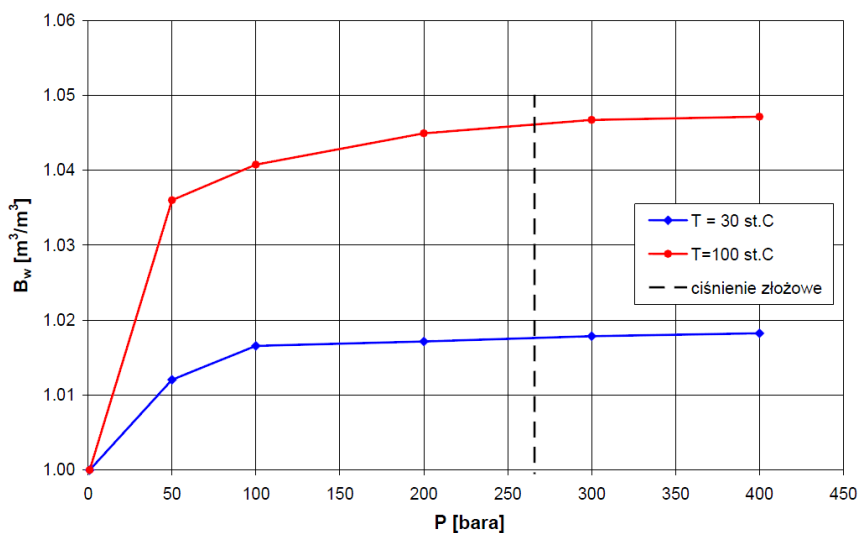


Fig. 1.3.2_44 Współczynnik objętościowy B_w solanki Porążyn-2A nasyconej CO₂

Badanie rozpuszczalności CO₂ w wodzie destylowanej przeprowadzono w temperaturze 30°C. Otrzymane rezultaty stanowią cenny materiał porównawczy dla innych badań i potwierdzają duży wpływ stopienia mineralizacji wody na zdolność rozpuszczania się w niej CO₂ – w każdych warunkach ciśnienia i temperatury.

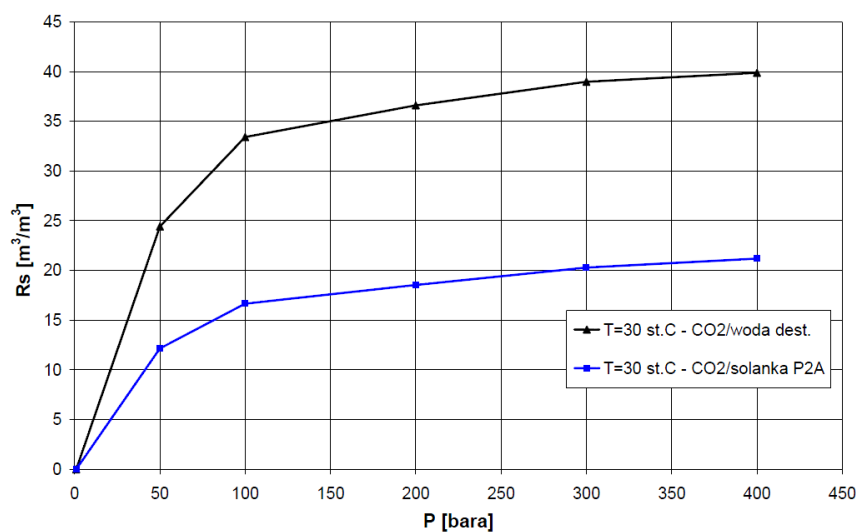


Fig. 1.3.2_45 Rozpuszczalność CO₂ w wodzie destylowanej i solance Porażyn – DL test

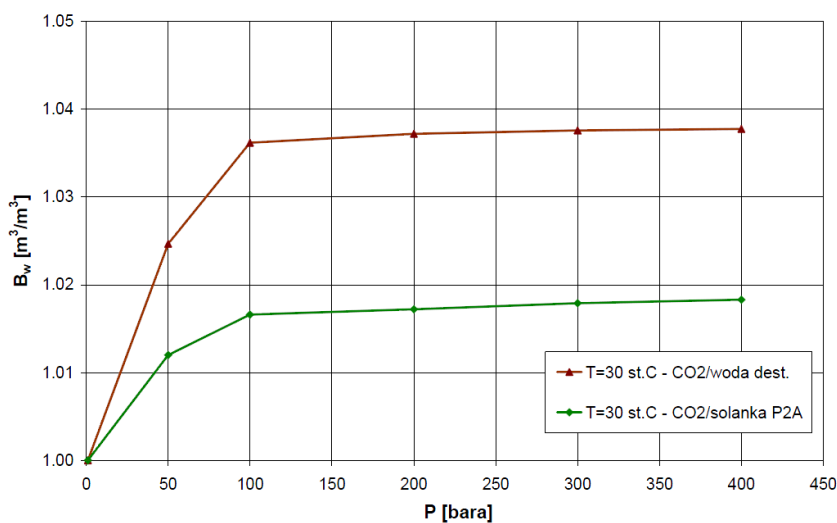


Fig. 1.3.2_46 Współczynnik objętościowy B_w wody dest. oraz solanki Porażyn nasycanej CO₂

Na **Fig. 1.3.2_47** zebrano wyniki badań rozpuszczalności gazów Porażyn oraz CO₂ w solance złożowej i wodzie destylowanej w różnych temperaturach.

Zauważalne jest znaczne zróżnicowanie w zdolności do rozpuszczania się poszczególnych gazów w wodzie.

Najlepsze wartości rozpuszczalności osiągnięto podczas kontaktowania CO₂ z wodą destylowaną w temperaturze 30 °C ($R_{sCO_2} = 40 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Zdolność CO₂ do rozpuszczania się w solance z odwiertu Porążyn-2A była już znacznie niższa ($R_{sCO_2}=21,2\text{m}^3/\text{m}^3$). Widać jak mocny wpływ na rozpuszczanie gazu ma stopień mineralizacji, a co za tym idzie gęstość solanki. Także rozpuszczalności rodzimych gazów ziemnych w wodzie destylowanej ($R_s=5,16 \text{ m}^3/\text{m}^3$) i solance ($R_s=2,58 \text{ m}^3/\text{m}^3$) znacznie się różnią – różnica, w warunkach $P=40,0 \text{ MPa}$, $T=30^\circ\text{C}$, wynosi 100%.

Oznaczone rozpuszczalności rodzimego gazu metanowego w solance są niewielkie w porównaniu do rozpuszczalności CO₂. Dla płynów pobranych z odwiertu Porążyn-2A (przy: $P_{zi}=26,6 \text{ MPa}$, $T_{zi}=100^\circ\text{C}$) rozpuszczalność wyniosła $R_s=1,8 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$.

Generalnie można także stwierdzić, iż lepsze rozpuszczanie gazu w solance/wodzie dest. zachodzi przy niższych temperaturach. Z przeprowadzonych badań można wnioskować, że różnice te wynoszą ok. 10-15% pomiędzy temperaturą 30°C a 100°C.

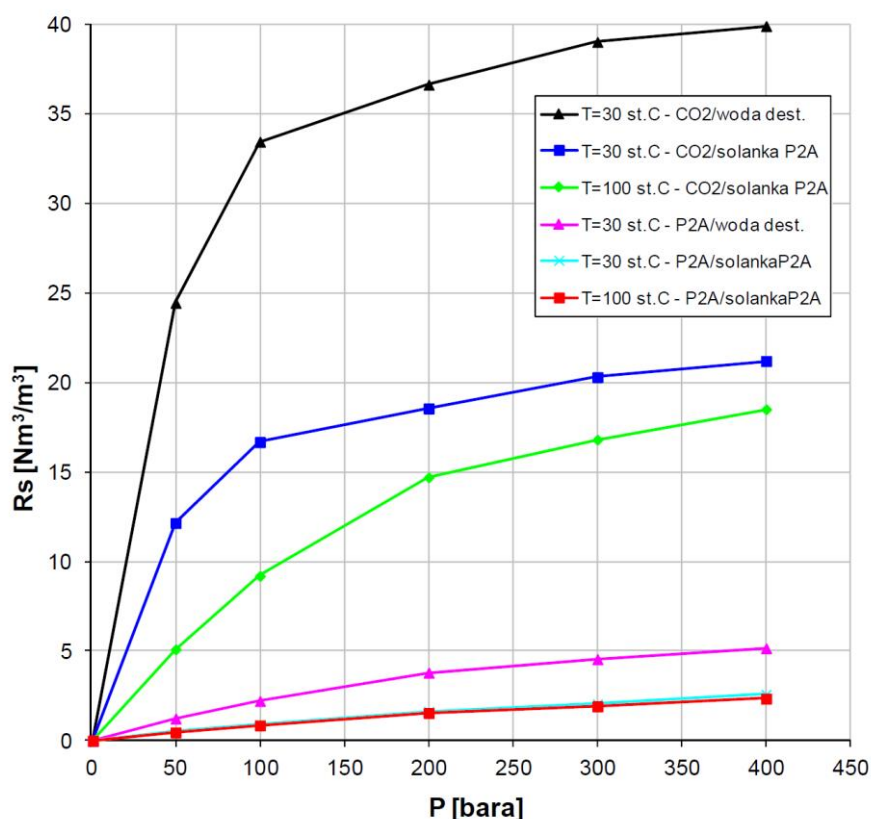


Fig. 1.3.2_47 Rezultaty badań rozpuszczalności gazu w wodzie

Izobaryczny współczynnik rozszerzalności termicznej solanki Porążyn

Solanka Porążyn poddana była badaniom pozwalającym ocenić jej zdolność do rozszerzania się pod wpływem wzrostu temperatury. Odmierzoną objętość solanki martwej wprowadzono do komory badawczej, a następnie dokonano izotermicznego sprężania jej w komorze w temperaturze 23,3°C do

ciśnienia 40,0 MPa. Następnie podniesiono temperaturę solanki do 100°C i manewr stopniowego sprężania powtórzono. Wyliczono izobaryczny współczynnik rozszerzalności termicznej β_P badanej solanki, który opisuje zdolność do zwiększania jej objętości przy podgrzewaniu (McCain, 1990). Jest to parametr przydatny do obliczeń objętościowych solanek nasyconych gazem. Pozwala oddzielić rozszerzalność solanki wynikającą ze zmiany temperatury od rozszerzalności/spęcznienia wynikającego z nasycania solanki gazem.

Rezultaty badania zawarto na **Fig. 1.3.2_48**.

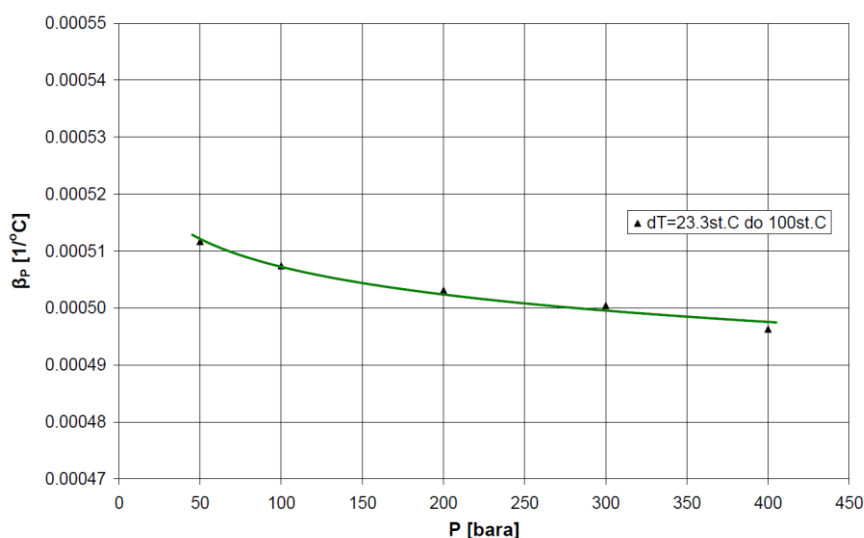


Fig. 1.3.2_48 Izobaryczny współczynnik rozszerzalności termicznej β_P martwej solanki Porążyn-2A oznaczony w zakresie temperatur $T_1=23.3^\circ\text{C}$ do $T_2=100^\circ\text{C}$

Modelowanie i analiza procesu wypierania rodzimego gazu metanowego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych skały zbiornikowej poprzez zatłaczany CO₂ na fizycznym modelu złoża

Dla realizacji zadania stworzono specjalne stanowisko badawcze (**Fig. 1.3.2_49**), którego głównym elementem była komora ciśnieniowa zbudowana ze stalowej rury o długości 220 cm i pojemności 4617 cm³. Komorę starannie wypełniono wysokogatunkowym piaskiem kwarcytowym o ziarnistości 0,1-0,5 mm. Dokonano pomiarów powstałej objętości porowej poprzez wypełnienie modelu złoża azotem –PV=1631,4 cm³. Dzięki temu wyznaczono porowatość ośrodka $\phi=35,3\%$.

Model złoża wyposażono w szklany wziernik umożliwiając tym samym obserwację „najwyższej” części próbki pod kątem zmian fazowych. Identyfikacja momentu pojawienia się w układzie wtórnej czapy gazowej, wynikającej z desorpcji gazu rodzimego przez zatłaczany CO₂, była niezwykle istotna dla właściwego prowadzenia eksperymentu wypierania. Wziernik (we współpracy z pompką wodną) umożliwiał także pomiar ilości wolnego gazu (wielkości czapy) w warunkach PT prowadzenia procesu wypierania.

Z uwagi na fakt prowadzenia badań w wysokiej temperaturze ($T_{zł}=100^\circ\text{C}$), koniecznością było wyposażenie stanowiska badawczego w precyzyjny układ grzewczy z regulacją i stabilizacją temperatury złoża. Zastosowano 3 maty grzewcze, którymi owinięto komorę modelu złoża, a następnie wykonano izolację termiczną. Każda z grzałek była sterowana indywidualnie poprzez precyzyjny czujnik i regulator pracujący w

trybie PID zapewniającym minimalne wahania temperatury układu (rzędu $\pm 0,1$ °C). Dzięki zastosowaniu trzech płaszczy grzewczych owiniętych wzdłuż całej długości złoża, trzech czujników temperatury i trzech regulatorów wyeliminowano problem powstawania gradientu temperatury wraz z wysokością modelu złoża.

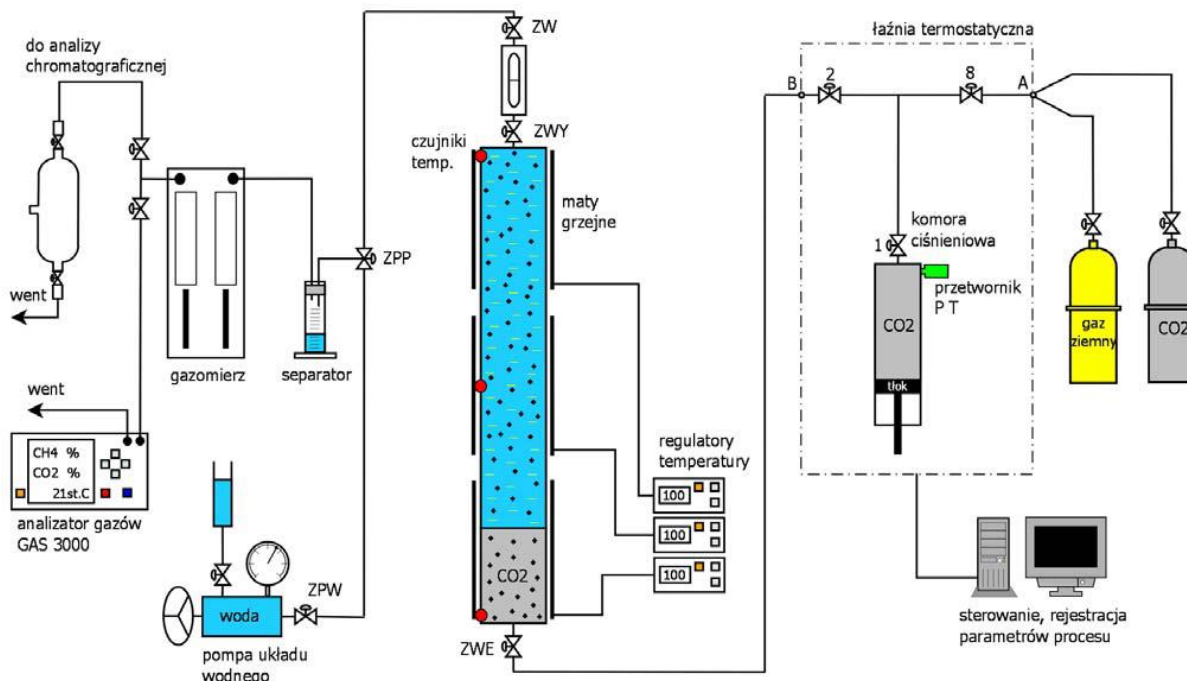


Fig. 1.3.2_49 Schemat stanowiska do badania procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych przez zatłaczany CO2

Opis eksperymentu wypierania gazu metanowego przez CO2

Do eksperymentu wypierania użyto gazu i wody złożowej pobranej z odwiertu Porażyn-2A. Badania zasadnicze prowadzono przy ciśnieniu i temperaturze odpowiadającym warunkom złożowym panującym na ww. złożu ($P_{zł}=26,6$ MPa, $T_{zł}=100$ °C).

W komorze ciśnieniowej aparatury PVT przygotowano solankę nasyconą rodzimym gazem ziemnym Porażyn w warunkach złożowych. Następnie, w stanie jednofazowym (powyżej ciśnienia nasycenia), przetłoczono przygotowaną solankę do ośrodka porowatego modelu złoża – utrzymując stałe ciśnienie i zapobiegając tym samym wydzielaniu się gazu. Nasycenie całej objętości porowej modelu złoża ($1631,4\text{cm}^3$) wymagało przygotowania pięciu porcji (nasyconej w odp. warunkach) solanki i właściwego przetłoczenia każdej z nich, aż do całkowitego wypełnienia porów złoża. Dodatkowa, szósta, porcja solanki została przygotowana i zatłoczona do modelu przy jednoczesnym odbiorze, separacji i pomiarze solanki i wydzielonego z niej gazu.

Pozwoliło to na ocenę zgodności uzyskiwanego wykładnika gazowego na wyjściu złoża z rezultatami odpowiednich badań rozpuszczalności. Po przetłoczeniu 320cm^3 nasyconej solanki stwierdzono stabilizację rejestrowanego wykładnika gazowego na poziomie $1,8\text{Nm}^3/\text{m}^3$. Potwierdzało to jednorodność i właściwy

stopień nasycenia solanki rodzimym gazem ziemnym. Następnie utrzymując podwyższone ciśnienie (w stosunku do P_{nas}) podniesiono temperaturę solanki do 100°C utrzymując stan jednofazowy w układzie. Podczas podgrzania objętość solanki wzrosła o 80 cm³, co stanowi 5%. Tak przygotowany układ pozostawiono do stabilizacji w warunkach złożowych ($P_{zi}=26,6$ MPa, $T_{zi}=100^{\circ}\text{C}$).

Do komory badawczej aparatury PVT wprowadzono CO₂ w fazie ciekłej, następnie sprężono do warunków zatłaczania $P_{Tł}=26,6$ MPa. Założono zatłoczenie takiej ilości CO₂, która byłaby równa ilości CO₂ potrzebnej do maksymalnego nasycenia użytej solanki w danych warunkach PT, a więc osiągnięcie rozpuszczalności $R_{maxCO_2} = 16 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ (przy $P_{zi}=26,6$ MPa, $T_{zi}=100^{\circ}\text{C}$) bez obecności rodzimego gazu rozpuszczonego w solance. Dane rozpuszczalności oraz inne istotne parametry PVT pozyskano z wcześniej przeprowadzonych badań.

Zatłaczanie dwutlenku węgla przeprowadzono, przy stałym ciśnieniu, przez zawór wejściowy/dolny (ZWE) przy jednoczesnym odbiorze solanki zaworem wyjściowym/górnym (ZWY). Ostatecznie zatłoczono 109% maksymalnej objętości CO₂, jaka mogłaby się rozpuścić w danych warunkach w solance. Było to 26102 Nm³ CO₂, w warunkach PT złożowych 89,6 cm³ (wysokość słupa CO₂ w modelu złoża 13 cm, powierzchnia kontaktu z solanką 7 cm² - uwzględniono porowatość ośrodka). Komorę tłoczącą CO₂ pozostawiono połączoną z modelem złoża, w funkcji pracy utrzymywania stałego ciśnienia w układzie (constant pressure). Dyfuzja/rozpuszczanie się CO₂ w solance nie powodowało spadku ciśnienia w złożu – tłok komory PVT odpowiednio przesuwał się utrzymując $P_{zi}=26,6$ MPa. Sterowanie i rejestracja parametrów prowadzonego procesu odbywała się przez oprogramowanie aparatury PVT.

Tak przygotowany model złoża pozostawiono, dla osiągnięcia nowych warunków równowagi fazowej, na okres 1 doby. Po tym czasie, z zachowaniem ciśnienia złożowego, wprowadzono górną (najbardziej interesującą) część badanego płynu do wziernika. Miało to na celu sprawdzenie, czy w określonym przedziale czasowym, w złożu nie wydzielił się już wolny gaz obecny w postaci wtórnej czapy gazowej. Obecność fazy gazowej okazała się faktem, przystąpiono do odbioru kolejnych porcji/objętości gazu „z czapy” z zachowaniem stałego ciśnienia utrzymywanego przez CO₂ dotłaczany od dołu modelu złoża.

W trakcie odbioru gazu (**Fig. 1.3.2_50**) pomierzono i poddano analizom składu 17 próbek gazu. W czasie rzeczywistym monitorowano skład gazu analizatorem CH₄/CO₂, ponadto skład 10-ciu pierwszych próbek określono poprzez chromatografię gazową. Eksperyment kontynuowano do momentu pojawienia się, najpierw „przekładek” wodnych, a po chwili wody na wyjściu układu, co wskazywało na fakt „wytłoczenia czapy gazowej”.

Po zbilansowaniu przeprowadzonego procesu, wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO₂, można stwierdzić, iż dzięki wprowadzeniu CO₂ do systemu złożowego złożonego z solanki pozostającej w równowadze fazowej z nasycającym ją rodzimym gazem metanowym, w układzie tworzą się nowe warunki równowagowe skutkujące pojawieniem się wtórnej czapy gazowej.

Czas migracji zdesorbowanego z solanki gazu do czapy, jej wielkość i skład fazy gazowej zależy od wielu czynników: sposobu i ilości zatłaczanego CO₂, parametrów PT złożowych, cech skały zbiornikowej (porowatość, przepuszczalność) i wielu innych.

W analizowanym wariantcie prowadzenia procesu na fizycznym modelu złoża osiągnięto efektywność wypierania rzędu 75% (**Fig. 1.3.2_51**). Należy mieć na uwadze ograniczenia jakimi charakteryzuje się zbudowany model złoża, a co za tym idzie prezentowany eksperyment. Niemożliwe jest w warunkach laboratoryjnych pełne oddanie procesów zachodzących w złożu - w czasie geologicznym, bardziej złożonych

i na większą skalę. Jednakże zastosowane rozwiązania pozwalają na pewno zbliżyć się do warunków i zjawisk zachodzących w złożu.

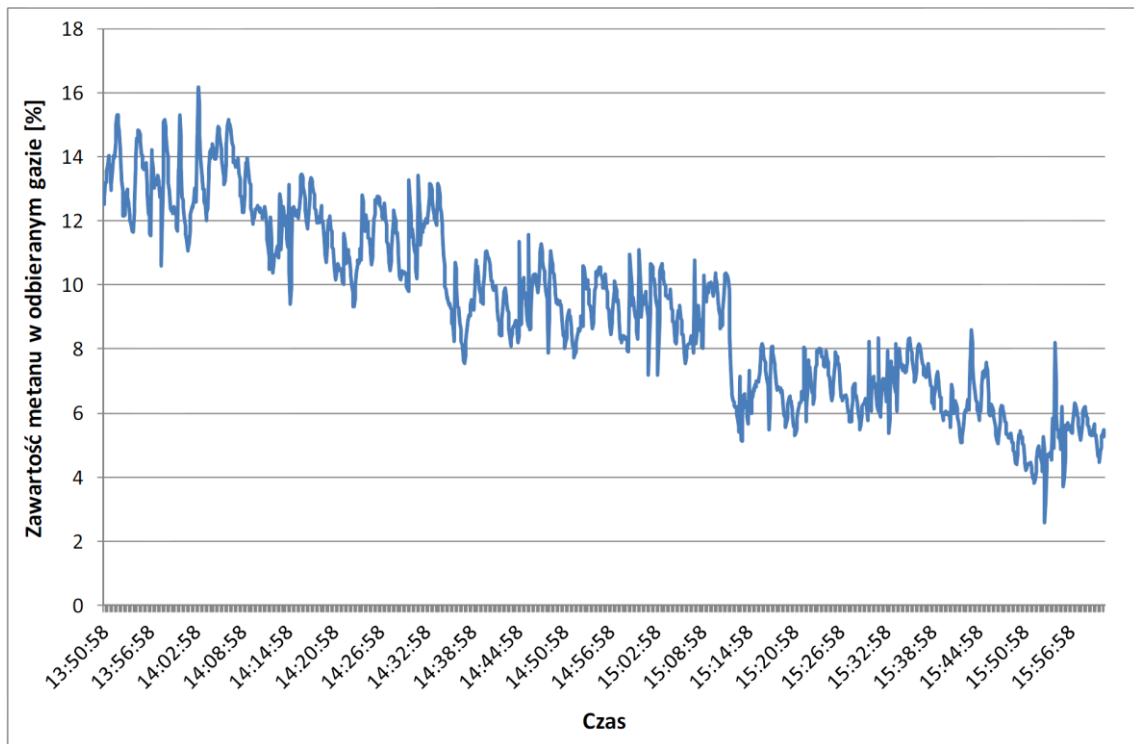


Fig. 1.3.2_50 Metan w odbieranym gazie – fragment wyników z analizatora

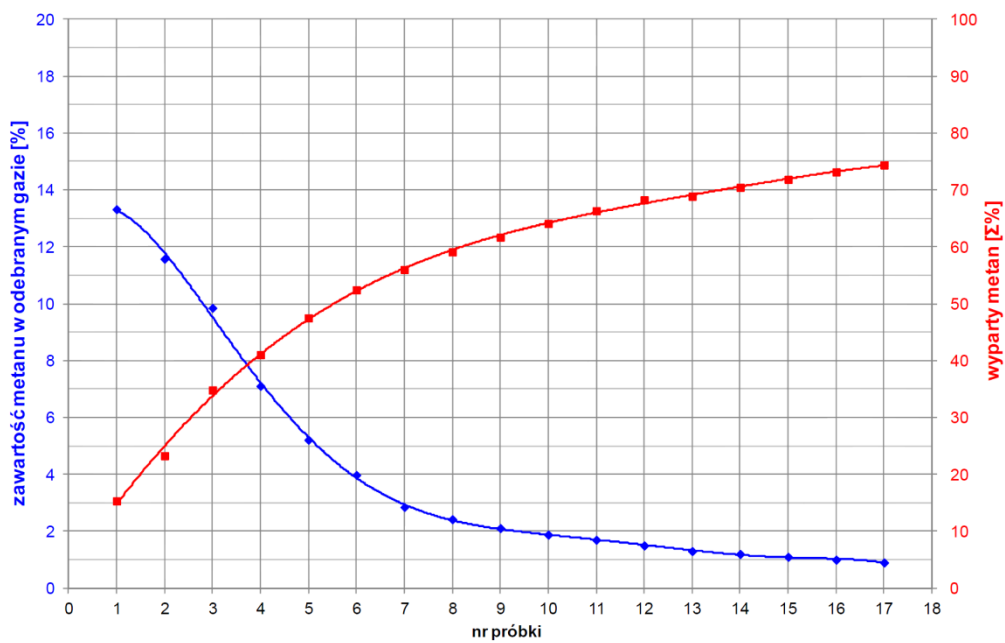


Fig. 1.3.2_51 Bilans metanu w eksperymencie wypierania

Podsumowanie

Podczas eksperymentu prowadzonego na fizycznym modelu złoża, dzięki zatłaczaniu CO₂ do ośrodka zbiornikowego wypełnionego solanką nasyconą gazem ziemnym, udało się uzyskać/wyekspluatować ok. 75% metanu pierwotnie „trwale” rozpuszczonego w wodach solankowych. Ilość ta stanowi pozabilansowe zasoby gazu, niemożliwe do wydobycia standardowymi metodami eksploatacji. Niestety, na tym etapie badań, nie można było do końca rozdzielić objętości metanu (stanowiącego 80% gazu rodzimego) pozostałego we wtórnej czapie gazowej i resztkowego nasycenia solanki metanem po zakończeniu długotrwałego eksperymentu. Z szacunków wynika, iż jest to w tym wariancie prowadzenia eksperymentu wypierania ok.25%.

Generalnie można stwierdzić, iż dzięki procesowi zatłaczania CO₂ do głębokich poziomów wodonośnych nasyconych gazem ziemnym, istnieje możliwość wzbogacania zasobów istniejących złóż gazu – dotyczy przyp. niecki poznańskiej. Dodatkowe ilości gazu węglowodorowego, wyparte z poziomów wodonośnych, stają się wydobywalne, stanowiąc pozabilansowe zasoby dodatkowe. Przeprowadzony zakres badań oraz cechy geologiczno-złożowe pozwalają uważać, iż głębokie solankowe poziomy wodonośne niecki poznańskiej powinny wykazać się dużą przydatnością dla programu wielkoprzemysłowej sekwestracji CO₂.

Korzystną cechą tej megastruktury, w porównaniu do innych podobnych obiektów zawodnionych, jest szczelność zweryfikowana w czasie geologicznym. To jej istnienie zapewniło powstanie szeregu mniejszych złóż gazu ziemnego (obecnie w dużej mierze wyekspluatowanych) w przystropowej części megazbiornika uszczelnionego od góry kompleksem ewaporatów cechsztyńskich (Warnecki, 2009).

Duża miąższość kilkusetmetrowych poziomów zawodnionych w rejonie niecki poznańskiej stwarza wyjątkowo korzystne i unikalne warunki geologiczne dla przyszłej sekwestracji CO₂ wydzielanego np. przez pobliską elektrociepłownię Poznań, a w dalszej perspektywie przez obiekty typu elektrownia Bełchatów.

Ważną cechą megazbiornika jest znaczne nasycenie wód wgłębnych rodzimym gazem węglowodorowym. Dla analizowanego złoża określono rozpuszczalność rzędu 1,8 Nm³ gazu rodzimego (80% metanu) rozpuszczonego w 1 m³ solanki złożowej (takie też wartości odtworzono w trakcie prowadzenia niniejszego eksperymentu). Jest to wielkość, którą bezpośrednio można wykorzystać do obliczenia pozabilansowych zasobów gazu rozpuszczonego w wodach akifera.

Przeprowadzone badania wykazały, że z uwagi na blisko 10-krotnie wyższą rozpuszczalność CO₂ w solance złożowej, w porównaniu z rozpuszczalnością gazu węglowodorowego zachodzi zjawisko wypierania rodzimego gazu z warstw wodonośnych. Jak wspomniano, daje to możliwość zwiększenia stopnia szczerpania zasobów gazu na istniejących złożach w wyniku desorpcji gazu węglowodorowego przez CO₂ zatłaczany bezpośrednio do wód podścielających. Wyparty gaz węglowodorowy będzie tym samym powiększał zasoby istniejących złóż (Warnecki, 2009).

Przeprowadzony eksperyment potwierdza wyniki wcześniej prowadzonych w INiG badań. Wykonano wówczas podobny eksperyment wypierania jednakże model złoża nie posiadał ośrodka porowatego i był wielokrotnie mniejszy (Warnecki i zespół 2009).