

ROZPOZNANIE FORMACJI I STRUKTUR DO BEZPIECZNEGO GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO2 WRAZ Z ICH PROGRAMEM MONITOROWANIA, RAPORT MERYTORYCZNY NR 3: SEGMENT I, REJON GZW

Koordynator projektu:

Dyrektor PIG-PIB, Przewodniczący Komitetu Sterującego Projektu:

dr inż. Adam Wójcicki

doc. dr hab. Jerzy Nawrocki

Koordynator regionalny:

mgr Janusz Jureczka



"WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA RODOWISKA ZA RODKI FINANSOWE WYPúACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY RODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ"

Warszawa, grudzień 2009

WYKONAWCY

IMIĘ I NAZWISKO	INSTYTUCJA	IMIĘ I NAZWISKO	INSTYTUCJA
mgr Janusz Jureczka	PIG-PIB	dr hab. inż. Stanisław Nagy, prof. nzw.	AGH
dr inż. Adam Wójcicki	PIG-PIB	prof. dr hab. inż. Andrzej Gonet	AGH
dr Lidia Razowska-Jaworek	PIG-PIB prof. dr hab. inż. Stanisław Stryczek		AGH
mgr Włodzimierz Krieger	PIG-PIB	dr hab. inż. Rafał Wiśniowski	AGH
mgr inż. Michał Rolka	PIG-PIB	dr inż. Jarosław Chećko	GIG
mgr inż. Marek Gałka	PIG-PIB	mgr inż. Magdalena Głogowska	GIG
mgr inż. Sławomir Wilk	PIG-PIB	mgr inż. Karol Kura	GIG
mgr Jan Kwarciński	PIG-PIB	mgr inż. Robert Warzecha	GIG
mgr Anna Chmura	PIG-PIB	dr Eleonora Solik-Heliasz	GIG
dr inż. Jadwiga Wagner	PIG-PIB	dr inż. Tadeusz Bromek	GIG
mgr inż. Zbigniew Kaczorowski	PIG-PIB	mgr inż. Tomasz Urych	GIG
inż. Jacek Chełmiński	PIG-PIB	mgr Tomasz Bąk	PBG
mgr inż. Maciej Tomaszczyk	PIG-PIB	Zdzisław Żuk	PBG

Spis tre ci

WST P	4
1.1.1 Charakterystyka formacji i struktur odpowiednich do geologicznego sk€dowania CO2	5
1.1.2 Okre lenie (aktualizacja) bilansu sekwestracyjnego dla Polski ó rejon GZW	9
1.1.3 Wykonanie przestrzennych modeli facjalnych potencjalnych poziomów zbiornikowych i	
poziomów ekranuj cych5	8
1.1.4 Analiza stref tektonicznych	3
1.1.5 Analizy parametrów petrologicznych i petrofizycznych dla ska∉zbiornikowych i	
uszczelniaj cych110	0
1.1.6 Charakterystyka hydrogeologiczna formacji wodono nych i geochemiczna p€nów z€ owych	1
	3
1.1.7 Wyznaczenie stref wy€czonych z sekwestracji CO214	5
1.1.8 Przedstawienie modeli uk€dów sekwestracyjnych w Polsce (rejon GZW) i wskazanie stref oraz wybranych struktur o w€sno ciach szczególnie korzystnych dla geologicznego sk€dowania	
CO215	1
1.1.9 Ocena rozprzestrzeniania si zat€czonego CO2 w mediach z€ owych dla wytypowanych	
obszarów150	5
1.1.10 Budowa wielodost pnej bazy danych17	5
1.1.11 Okre lenie obszarów, na których mo na b dzie lokalizowa sk€dowiska CO2	
(Podsumowanie)178	8
Literatura	4

WST P

Niniejszy raport merytoryczny dotyczy prac prowadzonych w ramach projektu rozwojowego zamówionego przez Ministerstwo rodowiska ó krajowego programu š*Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego sk€adowania CO₂ wraz z ich programem monitorowaniaö, finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony rodowiska i Gospodarki Wodnej (umowa trójstronna nr 408/2008/15u-07/FG-GO-Tx/D z dnia 11.12.2008), realizowanego przez Konsorcjum w nast puj cym sk€dzie:*

- Pa stwowy Instytut Geologiczny ó Pa stwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB ó lider)

- Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH)
- G€wny Instytut Górnictwa (GIG)
- Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energi (IGSMiE PAN)
- Instytut Nafty i Gazu (INiG)
- Przedsi biorstwo Bada Geofizycznych sp. z o.o. (PBG)

Strategicznym celem krajowego programu jest dostarczenie Ministerstwu rodowiska informacji niezb dnych dla podejmowania w przysz€ ci decyzji o przyznawaniu koncesji na rozpoznawanie potencjalnych sk€dowisk i ich zagospodarowywanie, w nawi zaniu do Dyrektywy unijnej dotycz cej geologicznego sk€dowania CO2 i jej transpozycji na prawo krajowe.

Zakres rzeczowy prac w ramach krajowego programu obejmuje nast puj ce ramowe zagadnienia: <u>I segment</u>

- charakterystyka formacji i struktur odpowiednich do geologicznego sk€dowania CO2

- okre lenie (aktualizacja) bilansu sekwestracyjnego dla Polski

- wykonanie przestrzennych modeli facjalnych potencjalnych poziomów zbiornikowych i ekranuj cych

- analiza stref tektonicznych

- laboratoryjne analizy petrologiczne i petrofizyczne

- charakterystyka hydrogeologiczna formacji wodono nych i geochemiczna p€nów z€ owych

- wyznaczenie stref wy€czonych z sekwestracji CO₂

- przedstawienie modeli uk€dów sekwestracyjnych, stref i struktur o optymalnych w€sno ciach

- ocena rozprzestrzeniania sizat 6
czonego CO $_2$ w mediach z \bullet owych dla wytypowanych obszarów

- budowa wielodost pnej bazy danych

- okre lenie obszarów, na których mo na b dzie lokalizowa sk€dowiska CO₂ oraz wytypowanie potencjalnych sk€dowisk

Zagadnienia ogólne

- problematyka akceptacji spo€cznej dla geologicznego sk€dowania CO₂

 koordynacja prac konsorcjum, kontakty z partnerami zewn trznymi, rozpowszechnianie wyników, stron internetow projektu, standaryzacj i kontrol jako ci wyników
II segment

- zebranie szczegó€wych informacji geologicznych, geofizycznych, hydrogeologicznych, z€ owych, geomechanicznych dla wytypowanych sk€dowisk

- opracowanie szczegó€wych statycznych modeli o rodka geologicznego dla wytypowanych sk€dowisk

- modelowania dynamiczne procesów zat€czania CO₂ do sk€dowiska

- zarz dzanie ryzykiem geologicznego sk€dowania CO2

- opracowanie programu monitoringu sk€dowiska przed rozpocz ciem sk€dowania CO2 oraz za€ e dla monitoringu w czasie eksploatacji sk€dowiska i po jego zamkni ciu. Prace dotycz ca€go obszaru Polski wraz z ekonomiczn stref Ba€yku. W o miu rejonach kraju, wybranych zarówno ze wzgl du na potrzeby gospodarki narodowej jak i znane w chwili obecnej mo liwo ci geologicznego sk€dowania, przewidziano w szczególno ci wykonanie gruntownego rozpoznania potencjalnych sk€dowisk CO₂ w poziomach wodono nych solankowych. Ponadto przedmiotem szczegó€wych analiz s opcje geologicznego sk€dowania CO₂ w z€ ach w glowodorów (z mo liwo ci wspomagania wydobycia) i w g€bokich, nieeksploatowanych pok€dów w gla z odzyskiem metanu. Pozwoli to na wskazanie potencjalnych sk€dowisk CO₂, spe€iaj cych podstawowe kryteria geologiczne oraz bezpiecze stwa i oddzia€wania na rodowisko.

Poza tym zostanie szczegó€wo przebadanych pi potencjalnych sk€dowisk, z tego trzy dla poziomów wodono nych solankowych (w trzech rejonach), jedno z€ e w glowodorów i jeden obiekt w pok€dach w gla, co zako czy si programami monitoringu sk€dowiska. Przedsi wzi cie jest wa ne dla gospodarki narodowej z uwagi na mo liwo szybkiego wdro enia jego wyników, praktycznie natychmiast po zako czeniu etapu prac odnosz cego si do danego rejonu i potencjalnego sk€dowiska, czym zainteresowanych jest w tej chwili szereg podmiotów przemys€wych.

Niniejszy raport obejmuje wyniki prac realizowanych dla I segmentu (opcja ó poziomy wodono ne solankowe) w drugim z rejonów ó w rejonie Górnego 1 ska (GZW). <u>Wyniki prac I Segmentu przedstawiono poni ej zgodnie z odno nym zakresem ramowym Karty Informacyjnej Przedsi wzi cia z Dziedziny Geologii ó zal. nr 1 do Umowy trójstronnej).</u> Wspomniany zakres ramowy I Segmentu by€realizowany zasadniczo przez Odzia€Górno 1 ski PIG-PIB i G€wny Instytut Górnictwa, a pozostali partnerzy Konsorcjum wnie li jedynie drobne przyczynki (AGH, PBG).

Prace te wykonano w szczególno ci na potrzeby projektu demonstracyjnej elektrowni poligeneracyjnej PKE&ZAK K dzierzyn, o obni onej emisji CO_2 . Uruchomienie elektrowni, produkuj cej energi elektryczn (300 MW), ciep $\mathbf{\bullet}$ i metanol (0.5 mln t/rok), gdzie przewidziano wychwyt, transport i geologiczne sk $\mathbf{\bullet}$ dowanie dwutlenku w gla pochodz cego ze spalania paliw kopalnych, planowane jest na rok 2015. Docelowo (po roku 2015) przewiduje si sk $\mathbf{\bullet}$ dowanie do **2.8 mln ton** dwutlenku w gla rocznie w formacjach geologicznych.

1.1.1 Charakterystyka formacji i struktur odpowiednich do geologicznego skûadowania CO2

Jaros€aw Che ko, Magdalena G€gowska, Karol Kura ó GIG Janusz Jureczka, W€dzimierz Krieger, Micha€Rolka, S€awomir Wilk ó PIG-PIB OG

Zgodnie z za 6 eniami projektu, punkt 1.1.1. šCharakterystyka formacji i struktur odpowiednich do geologicznego sk€dowania CO₂ö dla rejonu Górno l skiego Zag€bia W glowego (GZW) obejmowa€ak e zagadnienia szczegó€we, realizowane przez G€wny Instytut Górnictwa (GIG) w ramach punktu 1.1.20 šCharakterystyka GZW i pok€dów w glaö, przy wspó€dziale Pa stwowego Instytutu Geologicznego ó Pa stwowego Instytutu Badawczego Oddzia€Górno 1 ski (PIG-PIB OG). W pierwszym etapie prac, którego wyniki s prezentowane w niniejszym raporcie, zosta€ przeanalizowane mo liwo ci sk€dowania CO2 w poziomach solankowych. Prace obejmowa€ szczegó€w analiz budowy geologicznej GZW, wybór potencjalnych poziomów solankowych, ich weryfikacj oraz wybór i okre lenie parametrów potencjalnych zbiorników. Prace wykonane przez GIG, skupia€ si g€wnie na charakterystyce budowy geologicznej GZW oraz szczegó€wej charakterystyce zbiornika warstw d bowieckich (miocen), wykazuj cego najwi ksze potencjalne mo liwo ci sk€dowania CO2. Niniejszy raport oprócz streszczenia wyników tych prac prezentuje zagadnie zwi zanych z poziomami solankowymi rejonu GZW, równie w pozosta€ch ca€ formacjach geologicznych, cechuj cych si mniejszymi potencjalnymi mo liwo ciami sk€dowania CO2, tzn. krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej (karbon górny ó utwory w glono ne). W nast pnym etapie prac dla GZW zostan przeanalizowane mo liwo ci sk€dowania CO2 zwi zane z pok€dami w gla.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BUDOWY GEOLOGICZNEJ GZW

Administracyjnie, Górno l skie Zag€bie W glowe (GZW) po€ one jest w obr bie województwa l skiego, a we wschodniej cz ci ó tak e ma€polskiego (Rys. 1.1.1.1). W kierunku po€dniowo-wschodnim przechodzi na teren Republiki Czeskiej w rejonie ostrawsko-karwi skim. Obszar Zag€bia wynosi ok. 7490 km², w tym na terenie pa stwa polskiego ok. 5760 km² (Jureczka i in., 2005).

Zagospodarowanie przestrzenne powierzchni terenu jest zró nicowane. Oko€ 29% powierzchni terenu to obszary zurbanizowane. Zabudow zwart charakteryzuje si g€wnie pó€ocna i wschodnia cz GZW. 13% powierzchni to tereny le ne, które skupiaj si g€wnie w centralnej i zachodniej cz ci Zag€bia. Cz du ych kompleksów le nych znajduje si w obr bie Parków Krajobrazowych. Obszary Natura 2000 po€ one s w wi kszo ci poza zabudow miejsk i przemys€w (Rys. 1.1.1.1). Usytuowane s g€wnie w po€dniowej cz ci GZW. W sumie w jego granicach mie ci si dziewi zatwierdzonych obszarów i pi proponowanych.





Rozpoznanie geologiczne i górnicze

Na terenie GZW eksploatacj w gla rozpocz to ju w po \bullet wie XVII wieku. Obecnie, wed \bullet g stanu na 31.12.2008 r. (Bilans ..., 2009) w GZW znajduje si 120 rozpoznanych i udokumentowanych z \bullet w gla kamiennego, w tym 46 z \bullet jest eksploatowanych przez 32 kopalnie, a 34 z \bullet jest w stanie zaniechanej eksploatacji. Pozosta \bullet z \bullet a (40 z \bullet) s niezagospodarowane ó Rys. **1.1.1.2**.



Rys. **1.1.1.2**. Rozmieszczenie z€ w gla kamiennego w GZW (Jureczka i in., 2009) 1 ó z€ a zaniechane (zakreskowane ó z€ a skre lone z rejestru), 2 ó z€ a eksploatowane, 3 ó z€ a niezagospodarowane (zakreskowane ó z€ a skre lone z rejestru zasobów)

Ogó€m dotychczas dokumentowany obszar w zag€biu wynosi 3295 km² (ok. 57% powierzchni polskiej cz ci zag€bia). Z€ a eksploatowane zajmuj aktualnie 1030 km² (ok. 18% powierzchni zag€bia), a z€ a wyeksploatowane lub zaniechane ó 706 km² (ok. 12%). Wi kszo z€ eksploatowanych lub o zaniechanej eksploatacji znajduje si w pó€ocnej i zachodniej cz ci zag€bia. Pozosta€, dotychczas nie dokumentowany, obszar zag€bia znajduje si g€wnie w jego po€dniowej i wschodniej cz ci, a w mniejszym stopniu tak e w cz ci pó€ocnej (Jureczka i in. 2009); obszar ten na ogó€jest znacznie s€biej rozpoznany geologicznie ni obszary z€ e ó Rys. 1.1.1.3. Dotychczas w granicach Zag€bia Górno l skiego odwiercono przesz€ 5600 otworów wiertniczych (nie licz c tysi cy górniczych otworów do€wych), w tym blisko 2500 otworów o g€boko ci nie mniejszej ni 500 m, a 1200 o g€boko ci przynajmniej 1000 m. Zdecydowana z tych otworów znajduje si w granicach obszarów dotychczas dokumentowanych z€. wi kszo Poza granicami tych obszarów zlokalizowanych jest 265 otworów o g€boko ci nie mniejszej ni 500 m, w tym 125 otworów o g€boko ci przynajmniej 1000 m. Najs€biej rozpoznana jest skrajnie zag€bia. W po€dniowej cz ci zag€bia stopie rozpoznania pó€ocna i po€dniowo-wschodnia cz budowy geologicznej, obok otworów wiertniczych, zwi ksza znaczna ilo wykonanych profilowa sejsmicznych (Rys. 1.1.1.3).



Rys. **1.1.1.3**. Rozpoznanie geologiczne w Górno 1 skim Zag€biu W glowym (Jureczka i in., 2009) 1 ó obszary dokumentowane, 2 ó profile sejsmiczne, 3 ó otwory wiertnicze o g€boko ci przynajmniej 1000 m, 4 ó otwory wiertnicze o g€boko ci od 500 do 1000 m

Stratygrafia i litologia

Granic GZW okre la zasi g utworów w glono nych karbonu górnego, a cz ciowo tak e linie uskoków. Na zachodzie ograniczaj j sfatowane utwory fliszowe karbonu dolnego (kulmu). Granica pótocno-wschodnia ukryta jest pod utworami permu i triasu. Poni ej utworów w glono nych wyst puj sfatowane utwory dolnopaleozoiczne, na których le niezgodnie w glanowe utwory dewonu (wapie w glowy) i karbonu dolnego. Granica potodniowa przebiega pod nasuni ciem fliszu karpackiego. Jest to granica erozyjna. Wyst puj tu metamorficzne utwory prekambru, a powy ej utwory kambru i dewonu. Strop karbonu zalega tu na g \in boko ci poni ej 2000-3000 m, si gaj c nawet 5000 m ó Rys. **1.1.1.4** (Jureczka i in., 2005).



Rys. 1.1.1.4. Rze ba powierzchni stropu karbonu GZW (Jureczka i in., 2005)

Pod€ e utworów w glono nych karbonu

Pod€ e Górno l skiego Zag€bia W glowego zbudowane jest z utworów prekambru, kambru, dewonu oraz cz ciowo z m€dszych ska€karbonu (Jureczka & Kotas, 1995).

Utwory najni szego **prekambru** zbudowane s ze ska€krystalicznych oraz kompleksu s€bo zmetamorfizowanych ska€ pelitowych i psamitowych. **Kambr** zbudowany jest z utworów klastycznych. Mi szo utworów kambryjskich waha si od 0 do 1100 m.

Utwory **dewonu** w najstarszej cz ci (dewon dolny) to utwory klastyczne. Ich mi szo waha si od 0 do 78 m. Dewon rodkowy to ciemnoszare i czarne dolomity o grubo ci 250-290 m. Dewon górny reprezentowany jest przez wapienie organiczne i detrytyczne.

Karbon dolny (rodkowy i górny turnej) GZW buduj ska€ w glanowe, b d ce kontynuacj sedymentacji platformowej rozpocz tej w dewonie. Najni sza seria to wapienie detrytyczne, organodetrytyczne i pseudo-oolitowe. Grubo tej serii si ga do 140 m. Górna seria (dolny i rodkowy wizen) zbudowana jest z ciemnoszarych wapieni detrytycznych, organodetrytycznych i pseudo-oolitowych z przewarstwieniami mu€wców, tufitów i lidytów (Kotas, 1995). Mi szo tej serii tak e dochodzi do 140 m. Maksymalna mi szo utworów w glanowych dewonu i dolnego karbonu to 1170 m.

Prefliszowa asocjacja w glanowa (wapie w glowy) przechodzi w klastyczne utwory pochodzenia morskiego, odpowiadaj ce utworom fliszowym (Kotas, 1995). Na górnej serii karbonu dolnego le zgodnie mu€wcowo-piaszczyste utwory asocjacji fliszowej (Jureczka & Kotas, 1995). Granica ta jest wyra na i dobrze zdefiniowana. Wiek warstw karbonu górnego okre lany jest na górny wizen i dolny namur A. Seria w pó€ocnej i wschodniej cz ci GZW reprezentowana jest przez warstwy malinowickie, które s korelowane we wschodniej cz ci z warstwami zalaskimi, a w cz ci czeskiej z warstwami kijowickimi. Mi szo ca€go kulmu waha si od 200 m do 1500 m. Utwory te charakteryzuje praktycznie ca€owity brak pok€dów w gla. Górna granica warstw malinowickich i zalaskich okre lana jest w stropie poziomu morskiego ^TYur. Powy ej tego poziomu nast puj zmiany litologiczne. Morskie osady przechodz tutaj w utwory molasowe (tzw. karbon produktywny) zawieraj ce pok tody w gla.

Karbon w glono ny

Utwory produktywne karbonu (tab. **1.1.1.1**.) ujawniaj asymetryczn budow w Zag€biu. Poszczególne ogniwa litostratygraficzne ulegaj znacznej redukcji w kierunku wschodnim i po€dniowo-wschodnim.

Tabela 1.1.1.1. Podzia€itostratygraficzny karbonu w glono nego GZW

(wg Dembowski, 1972 ze zmianami Jureczka, 1988; podzia€stosowany w górnictwie wg Doktorowicza-Hrebnickiego i Boche skiego, 1952)

Podziaûkarbonu rekomendowany przez ICS (2008) Podziaûstosowany w opracowaniach naukowych			Podziaûstosowany w górnictwie		Wiek (mln lat)					
Ерс	oka	Wiel	k				Ogniwa litostraty	ygraficzne		(iiiii iat)
PENSYLWAN	rodkowy	moskow	WESTFAL		KRAKOWSKA SERIA PISAKOWCOWA	warstwy libi ski	p.110 e p.119	warstwy libi skie grupa pokÿadów 100	p. 110 p. 119	307,2±1,0
				ပ		warstwy ÿaziskie	e	warstwy ÿaziskie grupa pokÿadów 200	p.201 p.215	
				ш	RIA VCOWA	warstwy orzesk	poziom zmiany facjalnej p.3 kie s.s. tufit grupa pokÿadów 300		p. 301	311.7+1.1
				A	SE MUýON	warstwy zaÿ sk	ie		p. 364 p. 401	
	baszkir U VS Baszkir Baszkir Baszkir	baszkir		ပ	SKA WA	warstwy rudzkie	p. sÿ Hubert ● ♥ € S.S.	warstwy rudzkie grupa pokÿadów 400	p. 419	
		RNO NCC	warstwy siodÿov	p.501 ve	warstwy siodÿowe	p. 501	318,1±1,3			
		GOF PAS	warstwy jejkow	ickie poziom zmiany facjalnej	grupa pokyadow 500	p.510				
MISSISSIS górny serbnchom A NAMUF			warstwy	p.m. Gaebler @@ Warstwy por bskie p.m. Barbara @@	warstwy por bskie grupa pokÿadów 600	p. 601 p. 630				
	RIA ICZNA		warstwy jaklowieckie	warstwy jaklowieckie grupa pokÿadów 700	p. 701 p. 723					
	SEF PARAL	warstwy florowskie*	p.m.Enna 🏽 🏟 Warstwy gruszowskie ÿupek szlifierski	warstwy gruszowskie grupa pokÿadów 800	p. 801 p. 848					
						warstwy sarnowskie*	p.m.Nanetta @@ warstwy pietrzkowickie p.m.¥tur(XVI) @@@@@	warstwy pietrzkowickie grupa pokÿadów 900	p.901 p.915	328,3±1,6

* - wg podziaju Doktorowicza-Hrebnickiego dla rejonu d browskiego (1935)

Seria w glono na karbonu charakteryzuje si dwudzieln budow. Dolna cz , seria paraliczna, le y niezgodnie na morskich osadach siliciklastycznych. Górna cz , okre lana jako osady kontynentalne (l dowe) górno l skiej serii piaskowcowej, serii mu&wcowej i krakowskiej serii piaskowcowej le y penakordantnie na serii paralicznej z przerw sedymentacyjn (Rys. 1.1.1.5).



Rys. 1.1.1.5. Mapa geologiczno strukturalna utworów karbonu (Jureczka i in., 2005)

Seria paraliczna (SP)

Seria paraliczna wiekowo zaliczana jest do namuru A. Charakterystyczn jej cech s wyst puj ce cyklicznie w profilu osady klastyczne i fitogenetyczne. Osady klastyczne to w g€wnej mierze piaskowce drobno- i rednioziarniste. Obok rzadziej wyst puj cych osadów grubszej frakcji, stanowi one od 20 do 50% ca€j serii. Ska€ fitogeniczne to oko€ 3-4% udzia€. Mi szo utworów serii paralicznej we wschodniej cz ci GZW wynosi oko€ 200 m, a w cz ci zachodniej prawie 3800 m. W profilu serii paralicznej wyró niono 110, zwykle cienkich do 1-1,5 m, pok€dów w gla.

Górno 1 ska seria piaskowcowa (GSP)

Jest pierwsz seri tzw. osadów kontynentalnych karbonu produktywnego GZW. Cech charakterystyczn GSP jest przewaga piaskowców i zlepie ców nad piaskowcami drobnoziarnistymi i i€wcami oraz wyst powanie grubych pok€dów w gla. Osady gruboklastyczne maj do 70-90% udzia€ w profilu. W GSP naliczono oko€ 60 pok€dów w gla (Jureczka &. Kotas, 1995). S to zazwyczaj do grube pok€dy o mi szo ci 4-8 m. Najgrubszy pok€d ma 24 m (pok€d 510, Reden).

Seria mu&wcowa (SM)

Sedymentacyjnie seria mu€wcowa jest kontynuacj najwy szej cz ci GSP. Maksymalna mi szo serii w zachodniej cz ci Zag€bia dochodzi do 2000 m, w cz ci wschodniej zredukowana jest do 150 m. Seria mu€wcowa w ród kontynentalnych utworów karbonu produktywnego zajmuje najwi kszy obszar. Dominuj utwory drobnoklastyczne: mu€wce, mu€wce piaszczyste, rzadziej i€wce. Piaskowce ó na ogó€drobnoziarniste ó stanowi zaledwie 15-25% mi szo ci profilu serii. Pok€dy w gla s liczne, cienkie i zmienne. Rzadko przekraczaj mi szo 1,5 m. W serii wyró niono 160 warstw w gla, z czego 70 ma znaczenie ekonomiczne. Ca€owity udzia€w gla w profilu serii to 5-7%. Stratygraficzne zaliczana jest do westfalu A i dolnej

cz ci westfalu B.

Krakowska seria piaskowcowa (KSP)

Krakowska seria piaskowcowa jest najm€dsz formacj karbonu produktywnego. Jej cech charakterystyczn jest jednolita budowa na ca€m obszarze wyst powania. KSP sk€da si w przewadze z gruboziarnistego osadu (ok. 70% profilu, czasem wi cej do 90%). S to piaskowce grubo- i rednioziarniste tworz ce grube, du ej mi szo ci pakiety. Pakiety te rozdzielone s interwa€mi osadów drobnoziarnistych, w obr bie których wyst puj pok€dy w gla. Maksymalna mi szo serii to 1140 m w rejonie Libi a. Obszar depozycji tej serii jest wysuni ty najbardziej na wschód. Zaliczana jest do westfalu B-D. Warstwy w gla s nieliczne, lecz o du ej mi szo ci, nierzadko 6-7 m. W profilu wyró niono 40 warstw w gla. 20 pok€dów ma znaczenie bilansowe. KSP ko czy sedymentacj karbonu produktywnego.

Nadk@d karbonu produktywnego

We wschodniej cz ci Zag€bia stopow cz profilu karbonu górnego buduj utwory zwane **arkoz kwaczalsk**, zalegaj ce na utworach w glono nych. Wiek tych utworów okre lany jest na stefan. Arkoz kwaczalsk buduj rozsypliwe, gruboziarniste piaskowce arkozowe i wiry. Utwory te prze€wicone s czerwonymi i pstrymi €pkami. Grubo arkozy kwaczalskiej maksymalnie si ga do 170 m.

Permskie utwory w nadk €dzie karbonu GZW wyst puj g€wnie we wschodniej cz ci Zag€bia, a w mniejszym zakresie tak e w skrajnie pó€ocno-zachodniej cz ci pod przykryciem utworów triasowych. W cz ci wschodniej przewa nie tworz izolowane wzgórza. Le niezgodnie na warstwach karbonu. Wszystkie reprezentuj osady czerwonego sp gowca (dolny autun). S to kolejno od sp gu: martwica wapienna, zlepie ce my lachowickie ó ogniwo w glanowe, i ogniwo porfirowo-wapienne. Powy ej zalegaj tufy filipowickie, melafiry i porfiry. Mi szo utworów permu dochodzi nawet do 400 m.

Utwory **triasu** w GZW wyst puj najcz ciej w obr bie niecek: bytomskiej, chrzanowskiej, wilkoszy skiej i d€goszy skiej oraz w okolicy Gliwic i Miko€wa. Poza tymi obszarami trias wyst puje w izolowanych p€tach. Dolny trias reprezentowany jest przez utwory klastyczne pstrego piaskowca wykszta€one w postaci piaskowców, i€wców oraz mu€wców. Powy ej tej serii le ju typowo morskie osady retu, nale ce do górnego pstrego piaskowca. Reprezentuj je dolomity, margle i wapienie jamiste. Sedymentacja morska trwa€ na omawianym terenie a do ko ca wapienia muszlowego (trias rodkowy). W tym czasie od 1 ska Opolskiego po okolice Zawiercia i Krzeszowic osadza€ si na przemian wapienie i dolomity. Cz tego profilu w okolicach Chrzanowa i w niecce bytomskiej wykszta€ona jest jako dolomity kruszcono ne. Trias górny (ilasty) wyst puje w obr bie niecki chrzanowskiej. Mi szo ca€go triasu nie przekracza 230-250 m.

Jura w nadk€dzie karbonu GZW wyst puje do marginalnie w skrajnie wschodniej cz ci Zag€bia ó w okolicy Chrzanowa, Krzeszowic i dalej na po€dniowy-wschód w kierunku Skawiny. Wyst puj tu margle glaukonitowe i piaskowce zaliczane do jury rodkowej oraz wapienie skaliste, p€towe i margle rodkowej jury. Utwory jury rodkowej le z niewielk niezgodno ci k tow na erozyjnej powierzchni triasu; w okolicach Skawiny zalegaj bezpo rednio na karbonie. Mi szo tych utworów dochodzi do 100 m.

W po€dniowej cz ci GZW wyst puje **nasuni cie karpackie**. Flisz karpacki nasuni ty jest na osady mioce skie formacji skawi skiej lub d bowieckiej. Mi szo waha si od 800 m do ponad 2000 m w rejonie Suchej Beskidzkiej.

Trzeciorz d (neogen) wykszta€ony jest przewa nie w formie nieci g€j pokrywy osadowej na zró nicowanej morfologicznie powierzchni stropowej karbonu. Lokalnie wyst puje bezpo rednio na utworach triasu lub osadach jurajskich. Trzeciorz d ma mi szo od kilku do 1100 m (Jureczka & Kotas, 1995). Wiekowo reprezentowany jest przez utwory miocenu i na niewielkim obszarze pliocenu. W cz ci pó€ocnej wyst puj najstarsze ogniwa miocenu w

formie piasków i i€w. W po€dniowej cz ci GZW w g€bokich rynnach erozyjnych zalegaj gruboklastyczne osady formacji d bowieckiej. Formacja ta wykszta€ona jest w postaci zlepie ców, piaskowców, bardzo rzadko przewarstwianych mu€wcami i i€wcami. Ich mi szo zwykle nie przekracza 100-150 m, maksymalnie si ga 250-300 m (nie licz c sporadycznie wyst puj cego w dolnej cz ci formacji ogniwa zamarskiego). Powy ej po€ ony jest kompleks ilasto-mu€wcowy morskich osadów miocenu formacji skawi skiej. Mi szo ich wzrasta w kierunku po€dniowym, gdzie osi ga maksymaln wielko 1100 m. Najm€dszy miocen reprezentuj utwory ewaporatowe w postaci gipsów i soli kamiennych, o mi szo ci do 150 m oraz kompleks osadów ilastomu€wcowych mi szo ci do 300 m. Wyst puje g€wnie w zachodniej cz ci GZW. W pó€ocnozachodniej cz ci GZW wyst puj tak e utwory pliocenu o maksymalnej mi szo ci stu kilkudziesi ciu metrów.

Czwartorz d tworzy nieci g€ pokryw o zmiennej mi szo ci. Maksymalna mi szo wyst puje w dolinach kopalnych oraz wspó€zesnych rzek i na ogó€nie przekracza 100 m.

Tektonika

G€wne cechy strukturalne GZW zwi zane s z blokow budow pod€ a. Zasadnicze rysy tektoniki ukszta€owa€ si g€wnie w fazie asturyjskiej. W GZW wyró niamy trzy strefy o zró nicowanej budowie strukturalnej:

- □ strefa tektoniki fa€owej
- strefa tektoniki dysjunktywnej
- □ strefa tektoniki fa€owo-blokowej.

<u>Strefa tektoniki fa€lowej (zachodnia cz GZW).</u> Tworzy pas o kierunku SSW-NNE. Swym zasi giem obejmuje obszar od zachodnich granic GZW a po lini nasuni cia or€wskoboguszowickiego. Strefa tektoniki fa€lowej jest stosunkowo w ska. Pas ten osi ga maksymaln szeroko ok. 20 km. Karbon w tym obszarze jest silnie sfa€lowany. W przewadze s to asymetryczne fa€ly o charakterze brachysynklin (niecki jejkowicka i chwa€wicka). Pozosta€ struktury maj charakter zaburze . Wymienione wy ej niecki rozdzielone s nasuni ciem micha€owicko-rybnickim. W kierunku pó€ocnym zwi ksza si amplituda nasuni cia or€wskoboguszowickiego i micha€owicko-rybnickiego. Natomiast w kierunku po€dniowym w czeskiej cz ci zag€bia oba te nasuni cia zanikaj .

Strefa tektoniki dysjunktywnej (blokowej) obejmuje przewa aj c cz Zag€bia. Biegnie ona na wschód od nasuni cia or€wsko-boguszowickiego. G€wnym elementem strukturalnym s uskoki przebiegu WNW-ESE. W nast pstwie powsta€ formy zr bowe 0 i schodowe. Utwory karbonu s €godnie nachylone o upadach na ogó€nie przekraczaj cych 15•, tworz c formy antyklinalnych wyniesie, kopu€stref synklinalnych, niecek. Dominuje tutaj niecka g€wna. Pozosta€ jednostki tektoniczne to niecka bytomsko-d browska, siod€ g€wne, siod€ Jastrz bia i niecka Drogomy la. Zrzuty uskoków to zwykle 100-150 m. Zdarzaj si jednak uskoki o zrzutach 200-300 m, a nawet 500-1000 m.

<u>Strefa tektoniki fa€lowo-blokowej</u> obejmuje wschodni stosunkowo w ski fragment GZW. Cech charakterystyczn tej strefy jest pó€locno-wschodnia wergencja struktur. Wyst puje tutaj uk€d niesymetrycznych fa€lów i €lsek. Jest on poci ty uskokami o przebiegu po€ldnikowym (Kotas, 1972; Jureczka & Kotas, 1995).

Istotny wp€w na budow zag€bia mia€ tak e orogeneza alpejska. Du a liczba uskoków powsta€ch podczas orogenezy waryscyjskiej uleg€ w tym czasie odm€dzeniu. Zwi kszy€ si ich amplitudy. Jednak e dok€dny wp€w alpejskich ruchów tektonicznych na waryscyjskie pod€ e nie zosta€ dobrze poznany. Prawdopodobnie w trzeciorz dzie podczas tej orogenezy powsta€ skomplikowana rze ba terenu na za€ eniach tektonicznych i o du ych deniwelacjach. W pó niejszym czasie zosta€ ona wype€iona molasowymi osadami miocenu zapadliska przedkarpackiego.

W€asno ci hydrogeologiczne (nadk€ad, utwory w glono ne karbonu, pod€ e)

Najwa niejsze pi tra wodono ne w obr bie GZW wyst puj w utworach czwartorz du, neogenu, triasu i karbonu, a w cz ci wschodniej tak e jury. Ponadto istniej tak e pi tra wodono ne w obr bie dewonu i kambru.

Utwory **czwartorz du** charakteryzuj si zró nicowanymi warunkami hydrogeologicznymi i s zale ne od mi szo ci i wykszta€enia litologicznego osadów (Wilk, red., 2003). Do wodono nych zaliczane s osady rzeczne, rzeczno-lodowcowe oraz piaski mi dzymorenowe. Mi szo tych utworów wynosi od kilku do nawet 100 m. W czwartorz dowym profilu pi tra wodono nego wyró nia si 1-3 poziomów wodono nych. Czwartorz dowe pi tro wodono ne ma bezpo redni kontakt z wodami powierzchniowymi.

Kompleks wodono ny **neogenu** zbudowany jest z kompleksu ilasto-piaszczystego o mi szo ci od kilku do 1100 metrów w po€dniowej cz ci Zag€bia. Kszta€owanie si wodono nych utworów neogenu uzale nione jest od ich wykszta€enia facjalnego, przepuszczalno ci oraz warunków zasilania i drena u. Najwy sze przepuszczalno ci maj wyst puj ce w pó€ocno-zachodniej cz ci Zag€bia piaski i wiry plioce skie, wype€iaj ce formy dolin kopalnych oraz piaszczysto-ilaste utwory sarmatu (Kleczkowski, 1966; Rudzi ska-Zapa nik, 1997).

Trzon utworów neogenu tworz morskie utwory **miocenu**, które s s€bo wodono ne, praktycznie bezwodne. Przyjmuje si , e jest to kompleks warstw izoluj cych. W sp gu miocenu w zapadlisku przedkarpackim zalegaj warstwy d bowieckie tworz ce najwi kszy zbiornik w profilu utworów wodono nych neogenu. Warstwy te zbudowane s g€wnie ze zlepie ców, brekcji i piaskowców (Bu€i in., 1994). Mi szo ci opisywanych warstw s zmienne w przedziale od 25 do 300 m, przeci tnie wynosz ok. 70 m. G€boko zalegania waha si przewa nie w przedziale 500-1300 m p.p.t. Zbiornik ten jest nieodnawialny i zawiera wody pogrzebane. W€sno ci warstw d bowieckich s zró nicowane i zale od litologii ska€oraz stopnia ich diagenezy. Obserwuje si tendencj wzrostu ogólnej mineralizacji wód wraz z g€boko ci .

Utwory **fliszu karpackiego** nasuni te na utwory neogenu s zmiennej mi szo ci od kilku do 300 metrów. Wiek okre lany jest na neoge sko-paleoge sko-kredowy. Utwory te tworz kompleks izoluj cy, prowadz cy niewielkie ilo ci wód u ytkowych w stropowych warstwach oraz wód zmineralizowanych w strefach dyslokacji (Chowaniec i in., 2006).

Pi tro wodono ne **jury** wyst puje tylko lokalnie w zasi gu zbiornika triasu chrzanowskiego. Mi szo ci poziomu wahaj si w granicach kilkudziesi ciu metrów. Jest to poziom szczelinowo-krasowy prowadz cy wody zwyk \in .

W profilu hydrogeologicznym **triasu** wyst puj trzy g€wne pi tra wodono ne: wapienia muszlowego, retu oraz rodkowego i dolnego pstrego piaskowca. Poziom wodono ny rodkowego i dolnego pstrego piaskowca buduj piaski i s€bo zwi z€ piaskowce. Mi szo waha si w granicach do dwudziestu kilku metrów. Jest to poziom porowy o niesta€m wyst powaniu i podrz dnym znaczeniu. Ulega on drenowaniu przez wyrobiska górnicze kopal w gla kamiennego. G€wne poziomy wodono ne triasu wyst puj w w glanowych utworach wapienia muszlowego i retu. S to poziomy szczelinowo-krasowe, dobrze przepuszczalne i silnie wodono ne. Prowadz wody zwyk€. Miarodajna mi szo kompleksu wodono nego utworów w glanowych triasu mie ci si w granicach 20-120 m.

Utwory **permu** wyst puj ce we wschodniej cz ci Zag€bia zbudowane s ze zlepie ców, podrz dnie piaskowców i i€wców. S to ska s€bo przepuszczalne, praktycznie bezwodne. Prowadz wody zwyk€ w zasi gu swych wychodni i stref dyslokacji.

Pi tro wodono ne **karbonu górnego** dochodzi nawet do 4,5 km mi szo ci. Wyró nia si tutaj cztery kompleksy wodono ne: krakowskiej serii piaskowcowej, serii mu€wcowej, górno l skiej serii piaskowcowej oraz serii paralicznej. Podzia€en oparty jest na litostratygraficznej zmienno ci

wykszta€enia osadów. Kompleksy wodono ne KSP oraz GSP, g€wnie w postaci piaskowców, generalnie charakteryzuj si wy szymi warto ciami w€ ciwo ci hydrogeologicznych ska€w porównaniu z kompleksami SM i SP, które na ogó€wykszta€one s w postaci kompleksów i€wcowo-mu€wcowych (Wilk, 2003).

Wodono no utworów karbonu zwi zana jest z wyst powaniem zespo€w oddzielnych szczelinowo-porowych poziomów wodono nych, zbudowanych z piaskowców i zlepie ców. Poziomy te, o mi szo ciach od kilku do kilkudziesi ciu metrów, s od siebie izolowane wk€dkami nieprzepuszczalnych i€wców. Obserwuje si €czno hydrauliczn mi dzy poszczególnymi poziomami wodono nymi w strefach uskokowych oraz w zasi gu wp€wu oddzia€wania eksploatacji górniczej. Piaskowce karbonu górnego charakteryzuj si du zmienno ci parametrów hydrogeologicznych. Wraz z g€boko ci obserwuje si znacz ce obni enie wodono no ci i przepuszczalno ci warstw wodono nych karbonu.

Wapienie i dolomity **dolnego karbonu oraz górnego i rodkowego dewonu** tworz wspólny kompleks wodono ny. Kompleks w glanowy le y pod nadk€dem m€dszego paleozoiku i neogenu, na g€boko ci kilku kilometrów od powierzchni terenu. S to ska€ w zasadzie nieprzepuszczalne. W po€dniowej cz ci zag€bia obserwuje si podwy szon porowato i przepuszczalno . Zwi zane jest to z silnym zaanga owaniem tektonicznym obszaru oraz wyst powaniu powierzchni skrasowia€ch i zwietrza€ch.

Seria terygeniczna **dolnego dewonu** i **kambru**, ze wzgl du na kilkukilometrow g€boko zalegania w centralnej cz ci niecki zosta€ stwierdzona nielicznymi otworami. Zalega bezpo rednio na pod€ u kambryjskim. Kompleks wodono ny rozpoznany jest w niewielkim stopniu. Tworzy on porowy, s€bo przepuszczalny o rodek hydrogeologiczny.

WYBRANIE REJONÓW BADA SZCZEGÓ/ OWYCH I POZIOMÓW SOLANKOWYCH

Kryteria wyboru

Przy wyborze miejsca sk€dowania dwutlenku w gla uwzgl dnia si : odleg€ od g€wnych emitentów, rodzaj i pojemno struktury przeznaczonej do sk€dowania, budow geologiczn , g€boko zalegania warstw zbiornikowych, uwarunkowania geotermalne, hydrodynamiczne oraz aspekty ekonomiczne i prawne (Tarkowski, 2005).

Do podziemnego sk€dowania nadaj si du e, zamkni te, wyniesione struktury. Istotnym czynnikiem jest odpowiednia pojemno sk€dowiska zale na od porowato ci efektywnej i przepuszczalno ci. Struktury przeznaczone do sk€dowania dwutlenku w gla powinny stanowi pu€pk strukturaln i stratygraficzn tak, aby dwutlenek w gla nie przedosta€si na powierzchni . Niewskazana jest obecno u ytkowych poziomów wodono nych oraz z€ surowców mineralnych. Sk€dowany dwutlenek w gla powinien by izolowany od poziomów wód pitnych. Najwa niejsze kryteria geologiczne i hydrogeologiczne, które powinny decydowa o wyborze miejsca sk€dowania zosta€ podane w poni szej tabeli.

Wska niki	Warto ci
g€boko sk€dowania	> 800 m, < 2500 m
przepuszczalno	> 300 mD (50-100 mD)*
porowato efektywna	> 20% (> 10%)*
mi szo efektywna	> 30 m
uszczelnienie (o budowie ci g€j,	> 50 m
niezaburzonej)	
mineralizacja	$> 30 g/dm^{3}$

Tabela 1.1.1.2. Kryteria geologiczne do wyboru miejsc sk&dowania	
(Chadwick et al., 2006, z modyfikacjami)	

* W nawiasach podano warto ci, które mo na przyj w ramach eksperymentu.

Pojemno sk€adowania oraz odleg€ sk€adowiska od emitenta powinna by za ka dym razem oszacowana z uwzgl dnieniem kosztów inwestycji.

Pierwsz wst pn selekcj struktur przydatnych do sk€dowania CO2 oparto o podstawowe kryteria geologiczne: g€boko zalegania stropu warstwy solankowej na g€boko ci co najmniej 800 m (ale nie wi kszej ni 2000-2200 m) oraz wyst powanie nad jej stropem nieprzepuszczalnych utworów o mi szo ci nie mniejszej ni 50 m (Tab. **1.1.1.2**). Przyj cie tych za€ e znacznie ograniczy€ mo liwo ci wyznaczenia potencjalnych sk€dowisk w obr bie GZW i jego bezpo rednim s siedztwie.



Rys. **1.1.1.6**. Szkic wyst powania serii piaskowcowych karbonu z zasi giem nieprzepuszczalnych utworów miocenu (wg Bromek i in., 2009 ze zmianami, geologia wg Jureczka i in. 2005).

Z przestawionego zarysu budowy geologicznej GZW wynika, e profilu geologicznym zag€bia wyst puj utwory od prekambru do czwartorz du, maj ce zró nicowan mi szo i wykszta€enie litologiczne. Dominuj ce znaczenie maj jednak utwory w glono ne karbonu, których ca€owita sumaryczna mi szo , kompilowana z ró nych cz ci zag€bia, wynosi ok. 8500 m, a bezwzgl dna w centralnej cz ci zag€bia ok. 5000 m. Rozwój osadów produktywnych karbonu ó co prawda ó nie jest równomierny, nie mniej jednak ze wzgl du na du e g€boko ci zalegania (na ogó€poni ej 2500-3000 m) utwory pod€ a karbonu w glono nego (karbon dolny, dewon, kambr) z punktu widzenia sk€dowania CO2 dla przyj tych w tym projekcie za€ e nie

maj znaczenia. Wyj tkiem tu mo e by skrajnie po€dniowa cz zag€bia, gdzie utwory pod€ a karbonu zalegaj na mniejszych g€boko ciach w granicach od 1500-2000 m. Z punktu widzenia sk€dowania CO2 podstawowe znaczenie ma te budowa geologiczna nadk€du karbonu i wyst powanie nieprzepuszczalnych utworów mioce skich ó Rys. **1.1.1.6**.

Z przeprowadzonej wst pnej analizy budowy geologicznej karbonu i utworów nadk€du ó w tym wyst powania mi szych pakietów osadów gruboklastycznych ó wynika, e potencja€pod wzgl dem geologicznym do sk€dowania dwutlenku w gla na obszarze GZW wykazuj tylko utwory dwóch karbo skich jednostek litostratygraficznych ó **górno l skiej serii piaskowcowej** i **krakowskiej serii piaskowcowej**, a w profilu utworów nadk€du ó kompleks **warstw d bowieckich** zalegaj cy w sp gowej cz ci miocenu, na ogó€bezpo rednio na stropie karbonu górnego ó Rys. **1.1.1.6**. Pewne potencjalne mo liwo ci mog mie równie utwory stropowej cz ci serii w glanowej (karbon dolny) oraz serii terygenicznej dewonu dolnego i kambru. Serie te zalegaj jednak na du ych g€boko ciach, na ogó€znacznie przekraczaj cych 2000-2500 m, z wyj tkiem ograniczonego obszaru w skrajnie po€dniowej cz ci GZW i s w znikomym stopniu rozpoznane geologicznie, w zwi zku z czym odst piono od ich charakterystyki.

Ze wzgl du na zasi g utworów miocenu oraz budow strukturaln utworów karbonu obszary bada dla krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej ograniczono wy€cznie do centralnej, wschodniej i po€dniowej cz ci zag€bia ó Rys. 1.1.1.7. Z kolei dla warstw d bowieckich w badaniach uwzgl dniono niemal ca obszar ich wyst powania z wyj tkiem skrajnej po€dniowo-wschodniej cz ci zag€bia, gdzie utwory te zalegaj pod nasuni ciem karpackim na znacznych g€boko ciach przekraczaj cych 2000-2200 m ó Rys. 1.1.1.7.



Rys. 1.1.1.7. Rozmieszczenie obszarów bada na obszarze GZW

Na podstawie podanych powy ej kryteriów i po okre leniu warunków geologicznych, jakie decyduj o miejscu sk€dowania oraz po uwzgl dnieniu aspektów rodowiskowych, w tym zw€szcza uwzgl dnienia obszarów silnie zurbanizowanych, do dalszych bada zosta€ wytypowanych kilka rejonów w centralnej i po€dniowej cz ci GZW. Charakterystyka i opis tych rejonów zosta€ przedstawiony w zadaniu 1.1.9 projektu šRozpoznanie formacji i struktur bezpiecznego geologicznego sk€dowania CO_2 wraz z ich programem monitorowaniaö. Wytypowane obszary charakteryzuj si rzadk zabudow i nie koliduj z wyst puj cymi na obszarze GZW rezerwatami przyrody. Cz ciowo jednak, ponad wytypowanymi obszarami poziomów solankowych, na powierzchni terenu wyst puj obszary Natura 2000 (Rys. 1.1.1.1).

Rejony jakie zosta wybrane do dalszych bada znajduj si w obr bie nast puj cych kompleksów litostratygraficznych: krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej karbonu górnego oraz warstw d bowieckich zaliczanych do miocenu.

Lokalizacje rejonów bada

Krakowska seria piaskowcowa (KSP)

Wst pn selekcj opart o kryteria geologiczne obj to obszary, które spe€iaj kryterium szczelno ci do lokowania CO₂, to znaczy zlokalizowane s w po€dniowej ó hydrogeologicznie zakrytej ó cz ci KSP. Podstaw by€ dane geologiczne z wierce (w tym zaleganie sp gu krakowskiej serii piaskowcowej na g€boko ciach co najmniej 850-900 m) oraz mapy geologicznostrukturalne karbonu (Jureczka i in., 2005). Istotne znaczenie mia€ równie uwzgl dnienie po€ enie czynnych kopal w gla kamiennego, które eksploatuj pok€dy krakowskiej serii piaskowcowej. Uwzgl dniaj c powy sze za€ enia wytypowano trzy potencjalne zbiorniki KSP w nast puj cych rejonach (Rys. **1.1.1.8.**):

- šZgo -Kobiórö w centralnej cz ci GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku be€kiego,
 - obszar o powierzchni 116,38 km², zbiornik najp€tszy ó g€boko sp gu KSP stosunkowo rzadko przekracza 850 m;
- š Pszczyna- wikliceö w po€dniowej cz ci GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku jawiszowickiego,

obszar o powierzchni 61,42 km², zbiornik o stosunkowo ma€j powierzchni, ale g€boko zalegania KSP cz sto spe€ia zak€dane kryteria poni ej 800 m;

š Polanka-Zator-Spytkowiceö we wschodniej cz ci GZW,

obszar o powierzchni 214,94 km², zbiornik o najwi kszej powierzchni, stosunkowo najdalej po€ ony od czynnych kopal .



Rys. 1.1.1.8. Rejony bada krakowskiej serii piaskowcowej (obja nienia w tek cie).

Wybranie potencjalnych rejonów perspektywicznych do sk€dowania CO2 w utworach krakowskiej serii piaskowcowej mocno ogranicza lokalizacja czynnych kopal w gla kamiennego, które eksploatuj pok€dy tej serii (na Rys. 1.1.1.8 zaznaczone kolorem szarym). Wokó€tych kopal wyznaczono wst pn dwukilometrow stref bezpiecze stwa (linia zielona). Wy€czenie tych obszarów zdecydowanie ograniczy€ rejony, w których KSP zalega na g€boko ciach poni ej 800 m (kolor zielony na Rys. 1.1.1.8) i jest przykryta izolacyjna warstw miocenu. Tego stanu nie zmienia rozszerzenie potencjalnych obszarów o rejony s siedniego p€tszego wyst powania krakowskiej serii piaskowcowej w granicach 700-800 m (kolor ó€y).

Górno 1 ska seria piaskowcowa (GSP)

Na podstawie wst pnej selekcji opartej o kryteria geologiczne wybrano obszary w trzech rejonach w po€dniowej i centralnej cz ci GZW, w obszarze hydrogeologicznie zakrytym. Rejony te wyznaczono na podstawie danych geologicznych z wierce (w tym zalegania stropu górno l skiej serii piaskowcowej na g€boko ciach co najmniej 800-850 m i jej mi szo ci nie mniejszej ni 50-100 m) oraz map geologiczno-strukturalnych karbonu (Jureczka i in., 2005). Pewne znaczenie mia€ równie uwzgl dnienie po€ enie czynnych kopal w gla kamiennego, które eksploatuj pok€dy górno l skiej serii piaskowcowej b d tez pok€dy tej serii znajduj si w zasi gu eksploatacji tych kopal do g€boko ci 1000-1200 m.



Rys. 1.1.1.9. Rejony bada górno l skiej serii piaskowcowej (obja nienia w tek cie).

Na podstawie tych za€ e wytypowano trzy potencjalne zbiorniki GSP (Rys. 1.1.1.9):

• šPiasek-Studzieniceö w centralnej cz ci GZW, w skrzydle wisz cym uskoku jawiszowickiego,

obszar o powierzchni 53,68 km², pomi dzy kopalniami šKrupi skiö i šPiastö

• šPaw€wice-Pszczyna- wikliceö w po€dniowej cz ci GZW, w skrzydle wisz cym uskoku ruptawskiego

obszar o powierzchni 124,56 km², pomi dzy kopalniami šPniówekö i šBrzeszcze-Silesiaö

Ruch šSilesiaö

 šZebrzydowice-Drogomy I-Chybieö w po€dniowej cz ci GZW obszar o powierzchni 160,72 km², na po€dniowy-wschód od kopal Jastrz bskiej Spó€i W glowej

Wybranie potencjalnych rejonów perspektywicznych do sk€dowania CO2 w utworach górno l skiej serii piaskowcowej, ze wzgl du na g€boko jej wyst powania, w zasadzie nie ogranicza lokalizacja czynnych kopal w gla kamiennego (na Rys. **1.1.1.9** zaznaczone kolorem szarym). Wyj tkiem tu móg⊕y by wschodni obszar wyst powania GSP, ale w tej cz ci zag€bia seria si wyklinowuje (zielony szraf na Rys. **1.1.1.9**) i dla sk€dowania CO2 obszar ten jest bez znaczenia. Niewielkie te ograniczenia powoduj obszary p€tkiego zalegania serii (kolor czerwony), wi ksze znaczenie dla wy€czenia ze sk€dowania mog mie obszary bardzo g€bokiego zalegania serii poni ej 2000-2200, (obszar niebieski), które praktycznie s nierozpoznane geologicznie.

Warstwy d bowieckie

Na etapie wst pnej selekcji do geologicznego sk€dowania CO₂ rozwa any by€niemal ca€ rozleg€ zbiornik s€nych wód podziemnych zwi zany z warstwami d bowieckimi, zlokalizowany w po€dniowej cz ci GZW i jego po€dniowym obrze eniu. Warstwy d bowieckie tworz tu równole nikowy pas o szeroko ci do 25 km, zalegaj cy w sp gowej cz ci profilu miocenu, przewa nie bezpo rednio na utworach karbonu lub starszego miocenu, a lokalnie tak e na utworach serii w glanowej dolnego karbonu i dewonu b d na serii terygenicznej dolnego dewonu i kambru lub nawet prekambru. Ich obszar wyst powania wynosi ok. 1750 km². Obszar ten generalnie znajduje si poza zasi giem górnictwa w gla kamiennego, strop warstw d bowieckich zalega tu na g€boko ciach na ogó€nie mniejszych ni 700-800 m, przewa nie w granicach 850-1000 m, z wyj tkiem cz ci wschodniej i po€dniowo-wschodniej, gdzie zalega na g€boko ciach znacznie przekraczaj cych 1200-1300 m (nawet do ok. 2400 m w rejonie na po€dniowy-wschód od Andrychowa, przy czym s one tam s€bo rozpoznane, a ich przynale no stratygraficzna budzi w tpliwo ci).



Rys. 1.1.1.10. Rejony bada warstw d bowieckich (obja nienia w tek cie)

Na podstawie wst pnej selekcji w oparciu o kryteria geologiczne, w tym g€boko zalegania i mi szo , wybrano dwa obszary (Rys. **1.1.1.10**):

- šCieszyn-Skoczów-Czechowiceö ó w po€dniowo-zachodniej cz ci GZW i jego bezpo rednim obrze eniu obszar o powierzchni 370,82 km²,
- šK ty-Andrychówö ó w po€dniowej cz ci GZW i jego bezpo rednim obrze eniu obszar o powierzchni 89,53 km²,

Wybrane potencjalne rejony perspektywiczne do sk & dowania CO2 w utworach warstw d bowieckich po \textcircled one s poza obszarami czynnych kopal w gla kamiennego (na Rys. 1.1.1.10 zaznaczone kolorem szarym) oraz dwukilometrowej strefy buforowej (zielona linia na Rys. 1.1.1.10), a tak e poza obszarami aktualnie projektowanych kopal (obszary zaszrafowane) Dla rozmieszczenia potencjalnych obszarów istotne znaczenie maj liczne okna erozyjne oraz zmiany mi szo ci (obszary o grubo ci warstw d bowieckich poni ej 50 m zaznaczone s kolorem ó \textcircled ym). Wa ny jest równie stopie rozpoznania warstw d bowieckich, ca po \textcircled dniowa i po \textcircled dniowowschodnia cz ich obszaru wyst powania jest praktycznie nierozpoznana, w tym obszar bardzo g \textcircled bokiego zalegania, poni ej 2100-2200 m (zaznaczony kolorem niebieskim).

Wst pna charakterystyka geologiczna i hydrogeologiczna potencjalnych formacji i rejonów do sk€adowania CO₂

Krakowska seria piaskowcowa

Krakowsk seri piaskowcow w wyznaczonych rejonach badawczych tworzy kompleks piaskowcowo-mu€wcowy, osi gaj cy mi szo ci rz du 200-800 m i posiadaj cy budow blokow (obszar silnie zdyslokowany). Wodono ne s kompleksy gruboklastyczne, których udzia€w profilu litologicznym waha si od 75 do 90% ogólnej mi szo ci. Zbiorniki zalegaj na g€boko ciach na ogó€od 250-450 m (strop KSP) do 800-1100 m (maksymalnie ok. 1250 m) ó sp g KSP i s przykryte ilastymi utworami neogenu o mi szo ciach wynosz cych na ogó€ 200-400 m, maksymalnie do 650 m. Ci nienia piezometryczne rosn z g€boko ci od 1,9 do 4,4 MPa. Wspó€zynniki filtracji piaskowców kszta€uj si w granicach od 1,25x10⁻⁷ do 4,94x10⁻⁶ m/s, a porowato efektywna kompleksu KSP mie ci si w przedziale od 12,3 do 24,47%. Wody podziemne w zasi gu rozpatrywanych rejonów charakteryzuj si such pozosta€ ci od 70 do 111 g/dm³ oraz typem chemicznym Cl-Na i Cl-Na-Ca.

Generalnie piaskowce opisywanej serii nale do silnie wodono nej cz ci karbonu i charakteryzuj si relatywnie dobr przepuszczalno ci i wodono no ci . Jednak wraz z g€boko ci ich zalegania, na wi kszych g€boko ciach piaskowce s zbite (silnie zdiagenezowane o zabli nionych p€szczyznach sp ka), a warto ci parametrów hydrogeologicznych malej i ska€ staj si s€bo przepuszczalne i praktycznie nieprzepuszczalne. Istotne znaczenie ma równie fakt,

e w ka dym z wyznaczonych obszarów, gdzie utwory krakowskiej serii piaskowcowej zalegaj poni ej poziomu 800 m utwory te kontynuuj si powy ej tego poziomu do g€boko ci w granicach na ogó€200-400 m i dopiero nad ich stropem zalega kompleks nieprzepuszczalnych utworów ilastych miocenu. Inaczej mówi c w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej powy ej g€boko ci 800 m nie mo na wyznaczy adnego nieprzepuszczalnego pakietu ilastego o mi szo ciach rz du 50 m i wi kszych. Wyst puj ce tu prze€wicenia ska€ilasto-mu€wcowych (cz sto z pok€dami w gla) na ogó€nie przekraczaj 15-20 m grubo ci i s bardzo zmienne lateralnie.

Górno 1 ska Seria Piaskowcowa

Górno l ska seria piaskowcowa w wyznaczonych rejonach badawczych stanowi kompleks ska€ piaskowcowo-mu€wcowo-i€wcowy, w którym dominuj grubo€wicowe piaskowce osi gaj ce sumaryczne mi szo ci do 50-350 m (mi szo ca€j serii si ga 450 m, przewa nie wynosi w granicach 100-350 m). Strop serii zalega na ogó€na g€boko ciach od 900-1000 m do 1500-1700 m, pod przykryciem serii mu€wcowej o zró nicowanej mi szo ci od kilkudziesi ciu do 1000 metrów, nad któr wyst puj nieprzepuszczalne ilaste osady miocenu. Badane parametry zbiornikowe piaskowców wskazuj na ska€ rednio porowate i zmniejszaj ce si z g€boko ci (0,52-19,6%), s€bo przepuszczalne (0,016-5,1 mD) i warto ci malej ce z g€boko ci oraz s€bo ods czalne i praktycznie nieods czalne na g€boko ciach poni ej 900-1200 m (0,56-4,72%). Wspó€zynniki filtracji s rz du 10⁻⁸ i 10⁻⁹m/s i malej z g€boko ci .

Utwory GSP tworz zbiorniki s€nych wód podziemnych o mineralizacji ogólnej od 33 do 180 g/dm³, typu Cl-Na i Cl-Na-Ca. Ci nienia piezometryczne w zbiorniku kszta€uj si od 20 do 26 Mpa i rosn z g€boko ci.

Warstwy d bowieckie

W wyznaczonych rejonach badawczych strop warstw d bowieckich zalega na g€boko ciach na ogó€nie mniejszych ni 700-750 m, przewa nie w granicach 850-1100 m, z wyj tkiem cz ci po€dniowo-wschodniej Rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice i wschodniej Rejonu Kety-Andrychów, gdzie zalega na g€boko ciach przekraczaj cych 1300-1400 m. Warstwy d bowieckie tworz utwory gruboklastyczne ó piaskowce i zlepie ce o mi szo ciach zmiennych w przedziale od kilku-kilkunastu metrów do 250 m (na ogó€w granicach 70-100 m), które wype€iaj zag€bienia w stropie utworów paleozoicznych. Zró nicowanie mi szo ci wynika z po€ enia i form morfologicznych pod€ a paleozoicznego (g€wnie powierzchni stropu karbonu). W profilu pionowym warstw d bowieckich obserwuje si gradacj uziarnienia, od najgrubszych w cz ci sp gowej (zlepie ce gruboziarniste) do drobnych w stropie (piaskowce ró noziarniste). W nadk€dzie warstw d bowieckich wyst puje seria ilasto-mu€wcowa nale ca do formacji skawi skiej neogenu. Utwory te maj zmienn mi szo do ok. 1100 m. Miejscami (g€wnie w po€dniowej cz ci) w nadk€dzie warstw d bowieckich wyst puj utwory fliszu karpackiego o mi szo ciach do 1000 m. Wyst puj ce w pod€ u utwory nale ce do karbonu, dewonu lub kambru posiadaj przepuszczalno szczelinowo-porow w piaskowcach i wapieniach, co umo liwia kontakty hydrauliczne mi dzy poziomami. Lokalnie w pod€ u wyst puj s€abo przepuszczalne utwory starszego neogenu.

Warstwy d bowieckie tworz porowy, zakryty, nieodnawialny zbiornik wód podziemnych, drenowany w zachodniej jego cz ci przez kopalnie po stronie czeskiej, a w cz ci pó€ocnozachodniej przez kopalnie Jastrz bskiej Spó€i W glowej. Ci nienia piezometryczne kszta€uj si w granicach od 2,9 do 10,4 MPa, zaznacza si tendencja wzrostu warto ci z g€boko ci zalegania zbiornika.

Parametry hydrogeologiczne zbiornika s zró nicowane i uwarunkowane litologi ska€oraz g€boko ci ich zalegania. Cechy przestrzeni porowej, badane laboratoryjnie na próbkach rdzenia, wskazuj na ska€ rednio porowate (0,12-28,4%; r.=10,3%), od s€bo przepuszczalnych do nieprzepuszczalnych (0,003-415 mD, tj. od 2,9 x 10⁻¹² do 4,00 x 10⁻⁶m/s; r.=40,95 mD, tj. 3,9 x 10⁻⁷m/s) i s€bo lub praktycznie nieods czalne (0,1-9,65%; r.= 2,34%). Wodono no zbiornika charakteryzuj parametry okre lone z dop€wu p€nu do otworu (badania próbnikiem z€ a). Otrzymane wydajno ci otworów mieszcz si w przedziale od 0,003 do 32,2 m³/h; wydatki jednostkowe wynosz od 0,0004 do 0,3521 m³/h.1mS; wspó€zynniki filtracji kszta€uj si od 4,15 x 10⁻⁹m/s do 1,9 x 10⁻⁴m/s.

Zbiornik d bowiecki zawiera wody s€ne i solanki o suchej pozosta€ ci w granicach od 10,6 do 98,0 g/dm³, typu Cl - Na a sporadycznie Cl - Na - Ca; Cl - HCO₃- Na.

Wybór formacji geologicznych o najkorzystniejszych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych

Z przedstawionej charakterystyki geologiczno-hydrogeologicznej wyst puj cych w Górno l skim Zag€biu W glowym kompleksów gruboklastycznych wynika, e najkorzystniejszymi parametrami, pod k tem potencjalnego sk€dowiska CO2, charakteryzuj si warstwy d bowieckie w profilu utworów mioce skich Utwory gruboklastyczne krakowskiej serii piaskowcowej karbonu w glono nego, co prawda nale do silnie wodono nej cz ci karbonu i charakteryzuj si relatywnie dobr przepuszczalno ci i wodono no ci , jednak na ogó€zalegaj stosunkowo p€tko, a na obszarach, w których zalegaj g€biej ó poni ej 800 m ó kontynuuj si powy ej tego poziomu do znacznie mniejszych g€boko ci. G€boko zalegania na stropie KSP nieprzepuszczalnych utworów ilastych miocenu na ogó€nie jest wi ksza ni 400-450 m. Z kolei utwory gruboklastyczne górno 1 skiej serii piaskowcowej wykazuj si dobrymi parametrami geologicznymi pod wzgl dem g€boko ci zalegania i przykrycia utworami izoluj cymi, lecz s€bymi parametrami hydrogeologicznymi, zw€szcza w zakresie przepuszczalno ci.

Na przedstawionym wy ej tle potencjalnych zbiorników karbo skich znacznie korzystniej zbiornik warstw d bowieckich o do dobrych parametrach geologicznych i rvsuje si hydrogeologicznych. Zbiornik ten jest stosunkowo rozleg€, a jego parametry geologiczne w zakresie mi szo ci utworów gruboklastycznych i g€boko ci ich zalegania s zró nicowane. Bior c pod uwag to zró nicowanie, a tak e stan dotychczasowego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego oraz po€ enie w stosunku do obszarów górniczych kopal w gla kamiennego, w zbiorniku tym mo na wydzieli kilka obszarów, które mog by rozpatrywane jako miejsca ewentualnego sk€dowania CO2. Obszary te nale y lokalizowa w zachodniej i pó€ocnej cz ci zbiornika warstw d bowieckich. Wg obecnego stanu rozpoznania najwi ksze potencjalne mo liwo ci daje obszar po€ ony na zachód i pó€ocny-zachód od Bielska-Bia€j rozci gaj cy si od Cieszyna i Skoczowa po Czechowice-Dziedzice. Ten obszar wyst powania zbiornika warstw d bowieckich zosta€poddany dalszej szczegó€wej analizie w zakresie mo liwo ci bezpiecznego sk€dowania CO2. Szczegó€wa i komplementarna charakterystyka warstw d bowieckich oraz rejonów badawczych jest podana w za€czniku nr. 1 (Raportu GIG). Poni ej przedstawiony jest wyci g z tego raportu z szerszym rozwini ciem dla obu wyznaczonych rejonów badawczych zw€szcza ó maj cego znacznie wi ksze potencjalne znaczenie ó Rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice, dla którego za€czono równie szczegó€we rozwi zania kartograficzne.

WARSTWY D BOWIECKIE (MIOCEN)

Zagospodarowanie przestrzenne

W stosunku do du ych aglomeracji miejskich Górno 1 skiego Okr gu Przemys€wego, rejon wyst powania warstw d bowieckich jest stosunkowo s€bo zurbanizowany. Znajduje si tu jedno du e miasto - Bielsko-Bia€ i kilka mniejszych, mi dzy innymi: Cieszyn, Skoczów, Andrychów, K ty, Sucha Beskidzka. Pó€ocno-zachodnia cz omawianego obszaru graniczy z aglomeracj Rybnickiego Okr gu W glowego, którego najbli sze miasto to Jastrz bie-Zdrój.

Obszar ten jest stosunkowo s abo uprzemys wiony; dominuj tereny rolnicze, a na obszarze Karpat (Beskidy) tak e tereny le ne. Znajduje si tu wiele miejscowo ci o charakterze rekreacyjnym i kilka uzdrowiskowych, a tak e obszary rezerwatów le nych, co równie stwarza szczególne warunki w zakresie ochrony rodowiska.

Hydrograficznie, obszar ten znajduje si dorzeczu Wis€ (w partii ród€wej, gdzie jest wiele uj wody do celów komunalnych), a cz zachodnia obejmuje równie dorzecze Odry. W pobli u znajduje si du y rezerwuar wody pitnej - Zbiornik Gocza€owicki, s tu tak e inne bardzo wa ne zbiorniki wodne, mi dzy innymi w rejonie ywca.

Rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Obszar generalnie zlokalizowany jest na po€dnie od jeziora Gocza€owickiego. Na jego terenie z wi kszych miejscowo ci po€ ony jest w po€dniowo-zachodniej cz ci Skoczów, a w cz ci po€dniowo-wschodniej obejmuje zachodnie dzielnice Bielska-Bia€j, w cz ci pó€ocno-wschodniej dochodzi do zachodnich dzielnic Czechowic-Dziedzic. Na powierzchni liczne s stawy, niezbyt du y obszar zajmuj lasy, znaczn powierzchni zajmuj grunty orne. Po€dniowo-wschodnie granice obszaru opieraj si o pasmo Beskidu l skiego ó góra Szyndzielnia, Klimczok, B€atnia.

Od pó€ocy w niewielkiej odleg€ ci (2,5-3,5 km) zlokalizowane s obszary z€ owe w gla kamiennego Paw€wice i Kobiór-Pszczyna. Od strony pó€ocno-wschodniej w odleg€ ci ok. 2 km znajduje si KWK Brzeszcze-Silesia, Ruch Silesia, a od pó€ocno-zachodniej KWK Pniówek. Od strony zachodniej w odleg€ ci 0,75-3,0 km znajduj si obszary z€ owe w gla kamiennego Bzie-D bina i Zebrzydowice. W odleg€ ci ok. 5,0 km jest obszar górniczy dawnej kopalni Morcinek.

W skrajnie zachodniej cz ci omawiany rejon obejmuje równie pó€ocne dzielnice Cieszyna i wchodzi bezpo rednio na obszar z€ owy Zebrzydowice i dawnej kopalni Morcinek.

Rejon K ty-Andrychów

Rejon ten po€ ony jest na wschód od Czechowic-Dziedzic. Wi ksze miejscowo ci to K ty, granice obszaru zbli aj si do Andrychowa. Na powierzchni przewa aj grunty orne, niewiele jest powierzchni le nych, bardzo liczne s ma€ miejscowo ci i wsie. W odleg€ ci ok. 3,0 km na pó€ocny-zachód znajduje si KWK Brzeszcze-Silesia, Ruch Silesia, a na pó€oc w odleg€ ci kilku kilometrów (6,0-7,0 km) jest KWK Brzeszcze-Silesia, Ruch Brzeszcze i obszar z€ owy O wi cim-Polanka.

Rozpoznanie geologiczne i górnicze

Obszar wyst powania warstw d bowieckich wyznaczono kartograficznie na podstawie danych ze 130 otworów wiertniczych. Rozwi zania hydrogeologiczne wykonano w oparciu o wyniki bada hydrogeologicznych wykonanych w 67 otworach; przewa nie by€ to wyniki z polowych bada bezpo rednich, rzadziej z bada laboratoryjnych.

Rozpoznanie geologiczne tego obszaru jest bardzo zró nicowane. Jest to g€wnie rozpoznanie otworami wiertniczymi, a tak e badaniami sejsmicznymi. Otwory wiertnicze charakteryzuj si zró nicowanym stopniem wiarygodno ci informacji, obok pe€ordzeniowych otworów wierconych za w glem, zlokalizowano tu tak e znaczn ilo bezrdzeniowych otworów naftowych. Najcenniejsze s informacje z parametrycznych otworów Pa stwowego Instytutu Geologicznego, w których wykonano ró nego rodzaju kompleksowe badania. Istotne informacje dla rozpoznania geologicznego obok otworów wiertniczych wnosz profile bada sejsmicznych maj ce w wi kszo ci przebieg N-S. Prace górnicze prowadzone by€ tylko w jednej kopalni, aktualnie zamkni tej, która w ca€ ci znajdowa€ si na obszarze wyst powania warstw d bowieckich kopalni šMorcinekö. Pewne znaczenie maj te informacje z najbli szych kopal s siaduj cych z omawianym obszarem od pó€ocy: s to kopalnie Jastrz bskiej Spó€i W glowej oraz "Brzeszcze-Silesia".

W zakresie rozpoznania wyra nie widoczne s dwie strefy: lepiej rozpoznana w granicach GZW, szczególnie w pobli u kopal i bardzo s€bo - w granicach po€dniowego obrze enia zag€bia. Najlepiej udokumentowana jest cz zachodnia. Stopie rozpoznania maleje znacz co w kierunku wschodnim. Pod wzgl dem istniej cego rozpoznania geologicznego obszar warstw d bowieckich mo na podzieli na 4 rejony, którymi w kolejno ci nasycenia informacjami geologicznymi b d :

- zachodni: Cieszyn - Bzie-D bina

- centralno-pó€ocny: Rudzica Bielsko K ty ó Andrychów
- wschodni: Tomice Sucha Beskidzka
- centralno-po€dniowy: / odygowice.

<u>Rejon zachodni</u>, ograniczony od pó€ocy lini kopal jastrz bskich šJas-Mosö, šZofiówkaö, šPniówekö i granic z€ a w gla kamiennego Paw€wice, a od wschodu lini pomi dzy

miejscowo ciami Strumie -Skoczów-Ustro , jest obszarem najlepiej udokumentowanym. Zlokalizowana jest tu wi kszo otworów wiertniczych, w profilach których wyst puj warstwy d bowieckie, oraz dziesi tki profili sejsmicznych. Do bardzo dobrze udokumentowanych otworów nale otwory PIG: Cieszyn IG-1, Zamarski IG-1, D bowiec IG-1, Drogomy 1 IG-1, Rudzica IG-1. Obszar ten jest cz ciowo rozpoznany górniczymi robotami podziemnymi. Znajdowa€ si tu jedyna kopalnia ca€owicie po€ ona na obszarze wyst powania warstw d bowieckich ó zamkni ta obecnie kopalnia šMorcinekö. Pomi dzy kopalniami "Jas-Mos", "Zofiówka" i "Pniówek" na pó€ocy, a zlikwidowan kopalni "Morcinek" na po€dniu s po€ one obszary z€ Zebrzydowice i Bzie-D bina. W skrajnie po€dniowej cz ci po€ one jest z€ e Cieszyn. Z€ a te rozpoznane s w kategorii C_1 lub C_2 . W tym rejonie znajduje si wyznaczony do szczegó€wych bada obszar Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

<u>Rejon centralno-pó€ocny</u> jest stosunkowo dobrze poznany w cz ci pó€ocnej w pasie zasi gu warstw d bowieckich, który przebiega w pobli u kopal "Brzeszcze-Silesia" oraz z€ Kobiór-Pszczyna i wiklice-Mi dzyrzecze-Bieru . Nie mniej jednak otwory wiertnicze w tej cz ci s bardzo nierównomiernie zlokalizowane, wi kszo z nich jest usytuowana w s siedztwie obu wymienionych kopal . Pozosta€, wi ksza cz tego rejonu (okolice Bielsko-Bia€j, K t, Andrychowa) jest bardzo s€bo poznana z nielicznych otworów, cz sto wierconych bezrdzeniowo. Stopie rozpoznania gwa€ownie spada w kierunku wschodnim. Ogó€m w tej cz ci poza granicami GZW jest zlokalizowane 16 otworów wiertniczych, w tym 11 o g€boko ci przynajmniej 1000 m. Istotne informacje dla rozpoznania geologicznego tej cz ci badanego obszaru wnosz profile bada sejsmicznych maj ce w wi kszo ci przebieg N-S. W tym rejonie znajduje si przewidziany do szczegó€wych bada <u>K ty-Andrychów</u>.

We <u>wschodnim rejonie</u> wyst powania warstw d bowieckich na bardzo du ej powierzchni (ok. 500 km²) znajduje si tylko 5 otworów wiertniczych, z których tylko dwa Potrójna IG-1 i Sucha Beskidzka IG-1 maj istotne znaczenie dla rozpoznania geologicznego tego obszaru. Dodatkowe informacje wnosz tu nieliczne profile sejsmiczne. Przedstawione dla tego rejonu rozwi zania w znacznej cz ci nale y traktowa jako przypuszczalne.

<u>Rejon centralno-po€dniowy</u> równie o bardzo du ej powierzchni praktycznie jest pozbawiony informacji geologicznych. Na granicy przypuszczalnego zasi gu warstw d bowieckich znajduje si tu tylko jeden otwór/ odygowice IG-1. Kilka profilów sejsmicznych z tego rejonu jest starych i o w tpliwej jako ci. Z tego wzgl du rozwi zania w tym rejonie nale y traktowa czysto hipotetycznie i praktycznie rejon ten nie by€brany pod uwag w niniejszym opracowaniu.

Ogólna charakterystyka budowy geologicznej obszaru wyst powania warstw d bowieckich

Obszar wyst powania warstw d bowieckich znajduje si w obr bie Zag€bia Górno l skiego i jego po€dniowego obrze enia. Budowa geologiczna tego rejonu zosta€ ukszta€owana w wyniku wielofazowo ci rozwoju geologicznego, nak€daj cej si na siebie dzia€lno ci sedymentacyjno-diastroficznej dwóch cykli orogenicznych: waryscyjskiego i alpejskiego.

W wyniku dzia€lno ci sedymentacyjno-diastroficznej cyklu waryscyjskiego obejmuj cego osady karbonu i dewonu zosta€ pierwotnie ukszta€owane Górno l skie Zag€bie W glowe i jego bezpo rednie obrze enie. GZW zbudowane jest z utworów w glono nych karbonu górnego. Starsze jednostki cyklu waryscyjskiego wchodz ju w stref bezpo redniego obrze enia zag€bia S to morsko-deltowe osady kulmu, przewa nie bez pok€dów i wk€dek w gla, a okre lane jako warstwy malinowickie/zalaskie (ni sza cz karbonu górnego i dolnego oraz seria w glanowa (dolny karbon i dewon) i l dowe, klastyczne osady dewonu dolnego.

W wyniku dzia€lno ci sedymentacyjno-diastroficznej cyklu alpejskiego budowa geologiczna omawianej cz ci Zag€bia Górno l skiego, jego obrze enia, jak równie pod€ a

uleg€ modyfikacjom. W tym czasie na omawianym obszarze powsta€ struktura okre lana mianem zapadliska przedkarpackiego b d rowu przedgórskiego Karpat. Zapadlisko to zosta€ wype€ione molasowymi osadami miocenu. W ko cowej fazie dzia€lno ci tego cyklu dosz€ do nasuni fliszu karpackiego na molas mioce sk, a w skrajnie po€dniowej cz ci obszaru równie na wyniesione elementy pod€ a. Utwory d bowieckie uwa ane s za ekwiwalent wzmo onej erozji nasuni tych Karpat w fazie styryjskiej 17-16 mln lat temu (Jura, 2001).

Kompleksy osadów powsta€ w wyniku sedymentacyjno-diastroficznej dzia€lno ci cykli waryscyjskiego i alpejskiego oddziela silnie zró nicowana morfologicznie powierzchnia okre lana mianem **powierzchni stropu paleozoiku lub powierzchni podmioce skiej**. Powierzchnia ta zosta€ ukszta€owana w d€gim czasowo okresie luki sedymentacyjnej, od permu do dolnego miocenu. G€wnym czynnikiem deformuj cym j by€ procesy erozyjne.

W ni szej cz ci profilu molasy mioce skiej na omawianym obszarze wyst puj gruboklastyczne osady buduj ce <u>warstwy d bowieckie</u>, których sedymentacja zachodzi€ b d to na ró nowiekowych utworach paleozoicznych, b d na osadach molasowych starszego miocenu. Cech charakterystyczn zlepie ców i piaskowców nale cych do warstw d bowieckich jest brak przewarstwie mu€wcowych oraz gradacyjne uziarnienie gradacyjne w ca€m profilu (Bu€, Jura, 1983a i b). Osady warstw d bowieckich zosta€ przykryte ilastymi osadami miocenu rodkowego formacji skawi skiej. Cech charakterystyczn sedymentacji mioce skiej jest to, e osady kolejnych, coraz m€dszych ogniw molasy stopniowo wype€ia€ (id c od po€dnia) obszary dolin. Osady m€dszej z jednostek litostratygraficznych miocenu - formacji skawi skiej - przykrywaj nawet najwy ej wyniesione grzbiety. Taki charakter sedymentacji sprawia, e osady poszczególnych ogniw miocenu s nierównomiernie rozmieszczone, a ka de m€dsze ogniwo molasy zalega przekraczaj co na starszym.

Profil pod € a warstw d bowieckich

Pod€ e warstw d bowieckich buduj utwory: prekambru, kambru, dewonu, karbonu i trzeciorz du. Warstwy d bowieckie przewa nie zalegaj bezpo rednio na karbonie (utwory produktywne + kulm) lub osadach starszego miocenu, w znacznie mniejszym stopniu na serii w glanowej dolnego karbonu i dewonu oraz na serii terygenicznej dolnego dewonu i kambru. Nie mo na tak e wykluczy bezpo redniego zalegania warstw d bowieckich na prekambryjskim pod€ u krystalicznym w rejonie na po€dnie od Bielska.

Prekambr

W profilu rozpoznanych ska€ prekambryjskich wydzielane s , na podstawie uk€du przestrzennego kompleksów i ró nic w stopniu przeobra e metamorficznych tych ska€ dwa zespo€ wiekowe (Kotas 1982). Do starszego zespo€ zaliczane s ska€ metamorficzne i magmowe (€pki krystaliczne, gnejsy, gnejsy zmagmatyzowane, granitoidy metamorficzne, gabro diallagowooliwinowe) rozpoznane wzd€ po€dniowego obrze enia GZW. M€dszy zespó€ ska€ prekambryjskich reprezentuj ska€ anchimetamorficzne typu: fyllitów, metapelitów, metapsamitów i metakonglonatów (Heflik, Konior 1974, Dudek 1980, Moryc, Heflik 1998). Do prekambru zaliczane s równie kompleksy zlepie ców rozpoznane ponad ska€mi anchimetamorficznymi w otworach Potrójna IG-1 i Piotrowice 1 (1 czka 1976, 1982).

Kambr

Rozpoznane w po€dniowym obrze eniu GZW i udokumentowane paleontologicznie ska kambru nale do kambru dolnego - poziomu *Holmia* (Or€wski 1975, Bu€, Jachowicz 1996). Utwory te zalegaj niezgodnie na ró nych zespo€ach ska€prekambryjskich. Reprezentuj one transgresywn sekwencj okre lon jako <u>formacja z Gocza€owic</u>, w której wyró niane s trzy ogniwa (Kotas 1982, Bu€ 2000). Doln cz sekwencji stanowi ogniwo piaskowców skolitusowych, które tworz piaskowce grubo- i rednioziarniste z podrz dnymi wk€dkami mu€wców, w sp gu przechodz ce w zlepie ce. rodkow cz profilu zajmuje ogniwo piaskowców bioturbacyjnych, reprezentowane przez drobno- i rednioziarniste piaskowce przewarstwiane mu€wcami. Stropowa cz profilu tej dolnokambryjskiej sekwencji utworzona jest z mu€wców piaszczystych, w których stwierdzono trylobity (ogniwo mu€wców z trylobitami). Mi szo dolnokambryjskich utworów formacji z Gocza€owic ro nie od rejonu Bielska-Gocza€owic w kierunku wschodnim od oko€ 300 do ponad 2000 m i prawdopodobnie w kierunku pó€ocnym i zachodnim. W rejonie Cieszyna utworów dolnokambryjskich nie stwierdzono. W rejonie tym na utworach prekambryjskich zalegaj bezpo rednio ska€ dewo skie (otwory Pu ców 1, Krasna 1 - Moryc, Heflik 1998).

Utwory klastyczne dewonu

Utwory te znane s z tych samych wierce , w których stwierdzono utwory kambru w pod€ u zag€bia. W zwi zku z tym, obszar ich rozpoznania ograniczony jest do po€dniowej cz ci GZW, miedzy Cieszynem-Gocza€owicami-Wadowicami-Such Beskidzk . Kompleks dolnodewo ski tworz ró noziarniste piaskowce cz sto z domieszk wiru, zlepie ce drobnoziarniste, wirowce piaszczyste lub ilaste oraz mu€wce i i€wce (Kotas 1982, Toma , Zaj c 1996). Utwory te, o cyklicznej budowie maj charakter osadów l dowych. Wyniki bada palinologicznych wskazuj , e nale one do emsu (Turnau 1974). Kompleks ska€dolnodewo skich osi ga niewielk mi szo rz du od kilku do oko€ 50 m, maksymalnie 78 m (otwór Piotrowice 1 - Kotas 1982).

Utwory w glanowe dewonu rodkowego, górnego i karbonu dolnego

W profilu w glanowego kompleksu dewo sko-dolnokarbo skiego wyró niane s dwie cz ci tzw. serie - dolomityczna i wapienna (Kotas 1982). <u>Seria dolomityczna</u>, le ca w sp gu tego kompleksu zbudowana jest z ciemnoszarych i czarnych dolomitów z rzadka wyst puj cymi, cienkimi wk€dkami margli i mu€wców, przewa nie przepojonych anhydrytem. Seria ta w pod€ u po€dniowej cz ci GZW wykazuje wzgl dnie sta€ mi szo w granicach 250-290 m. Umownie zalicza si j do dewonu rodkowego eiflu.

Wy ej le ca <u>seria wapienna</u> utworzona jest z wapieni organodetrytycznych i organogenicznych, miejscami pelitycznych i pseudoolitowych. W górnej cz ci profilu tej serii nale cej ju do karbonu dolnego - wyst puj wk tłki mu twoćw, tufitów i lidytów. W wyniku oznacze fauny w profilu serii udokumentowano: fran, famen, turnej i wizen dolny. Przyjmuje si , e istnieje ci g sedymentacyjna miedzy dewonem a karbonem. Natomiast niektóre fakty zdaj si wskazywa na przerw sedymentacyjn w profilu tej serii, na przetomie turneju i wizenu. Mi szo dewo sko-dolnokarbo skiego kompleksu w glanowego rozpoznanego w pod \mathfrak{S} u GZW ro nie od po to nie od

Karbon

Powy ej serii w glanowej zalegaj morsko-deltowe utwory diastroficzne asocjacji fliszowej - <u>kulm</u> - ujmowane jako dwie równorz dne wiekowo jednostki litostratygraficzne - warstwy malinowickie i warstwy zalaskie. <u>Warstwy malinowickie</u> to kompleks osadów mu€wcowopiaszczystych pochodzenia morskiego, praktycznie bezw glowy. W <u>warstwach zalaskich</u> (wschodnia cz omawianego rejonu) cz sto spotyka si cienkie warstwy w gla. Maksymaln mi szo osady kulmu osi gaj w cz ci zachodniej obszaru, ocenia si j na ponad 1000m. Pod wzgl dem stratygraficznym utwory te nale do wizenu górnego i dolnej cz ci namuru A. Pe€y profil tych osadów na obszarze wyst powania warstw d bowieckich poznany zosta€praktycznie tylko w otworach Bestwina IG-1, Rudzica IG-1 i Gocza€owice IG-1. Z otworów naftowych przewiercaj cych ten kompleks osadów informacje s sk pe.

<u>Utwory produktywne karbonu górnego</u> le zgodnie na osadach opisanej wy ej asocjacji fliszowej. W ich obr bie wydziela si 4 serie litostratygraficzne. Wyra nie zaznacza si

dwudzielno tych osadów- w ni szej cz ci s to osady o wyra nych wp€wach okresowych zalewów morskich (seria paraliczna), oddzielone luk sedymentacyjn od wy ej leg€ch 3 serii o charakterze l dowym.

Seria paraliczna (namur A) jest bardzo s€bo rozpoznana na omawianym obszarze. Podstaw dla jej charakterystyki stanowi wyniki bada przeprowadzonych w kilku otworach PIG. Maksymalna mi szo serii stwierdzona w pó€ocno-zachodniej cz ci omawianego rejonu si ga do 2000 m. W wy szej cz ci profilu tej serii przewa aj i€wce i mu€wce, a w cz ci dolnej piaskowce. Pok€dy w gla s liczne lecz cienkie, rzadko powy ej 0,5 m.

Górno l ska seria piaskowcowa (namur B-C) charakteryzuje si zmienn mi szo ci, maksymalnie osi ga 500 m w cz ci pó€ocno-zachodniej, w kierunku wschodnim redukuje si ca€owicie. W dolnej cz ci profilu tej serii dominuj piaskowce z wk€dkami zlepie ców, a w cz ci górnej mu€wce i i€wce.

Seria mu€wcowa (westfal A-B) wyst puje w cz ci pó€ocnej obszaru do linii uskokowej Ruptawa-Jawiszowice-Marcypor ba. Maksymalna mi szo serii w cz ci pó€ocno-zachodniej omawianego obszaru wynosi oko€ 1000 m. Pod wzgl dem litologicznym seria zbudowana jest przewa nie z i€wców i mu€wców z podrz dnym udzia€m piaskowców. Pok€dy w gla s licznie i maj zró nicowan mi szo do 3 m.

Najmédsz stropow karbo sk seri wyst puj c na obszarze bada jest krakowska seria piaskowcowa (westfal B-C), tylko w póéocnej i wschodniej cz ci obszaru. Seria ta w znacznej cz ci jest zerodowana. Litologicznie zbudowana jest w ok. 80% z piaskowców i zlepie ców. Podrz dnie wyst puj muéwce i i wce. Pokédy w gla s stosunkowo rzadkie.

Warstwy d bowieckie zalegaj bezpo rednio zarówno na osadach kulmu, jak i wszystkich seriach karbonu produktywnego (z wyj tkiem krakowskiej serii piaskowcowej) g€wnie w zachodniej i pó€ocnej cz ci rejonu wyst powania.

Trzeciorz d (neogen)

W niektórych rejonach obszaru wyst powania warstw d bowieckich ich pod€ e tworz tak e osady trzeciorz dowe starszego miocenu o bardzo zró nicowanej mi szo ci, w ród których wydziela si szereg jednostek litostratygraficznych (w randze formacji lub ogniw), cz sto bardzo nieprecyzyjnie okre lonych i o w tpliwej podbudowie biostratygraficznej. W miar dostatecznie osady te s rozpoznane w rejonie cieszy skim (otwór Cieszyn IG-1, Bielowicko IG-1) oraz w cz ci wschodniej w otworze Sucha Beskidzka IG-1. W obu tych rejonach wykszta€enie tych osadów jest zupe€ie ró ne i podzielone na ró ne jednostki litostratygraficzne. Korelacja tych podzia€w pomi dzy sob jest bardzo utrudniona. Z kolei bardzo sk pe opisy rdzeni lub prób z sita w innych otworach (rejon Bielska, K t, Andrychowa) uniemo liwiaj rozci gni cie istniej cych propozycji podzia€w litostratygraficznych na inne otwory. Z tego wzgl du w niniejszym opracowaniu wszystkie osady trzeciorz dowe zalegaj ce pod warstwami d bowieckimi traktowane s jako osady starszego miocenu.

W rejonie cieszy skim za najstarsz jednostk molasowych utworów miocenu uwa a si osady <u>formacji zebrzydowickiej</u> zdefiniowanej przez Bu€ i Jur (1983a). Buduj j zielonoszare i€wce, rzadziej mu€wce s€bo wapniste, a jej maksymalna mi szo dochodzi do 150 m. Osady tej formacji zosta€ nawiercone tylko w kilku otworach osi gaj cych najni sze partie stropu karbonu. S to otwory Cieszyn IG-1, Zebrzydowice 13, Zebrzydowice 14, Kaczyce 27. Osady formacji zebrzydowickiej wype€iaj przypuszczalnie najni sze partie dolin w rejonie Skoczowa i Ko czyc. Zasi g, jak równie ich charakter litologiczno-facjalny, jest dotychczas bardzo s€bo rozpoznany z uwagi na bardzo ma€ liczb punktów stwierdze . Na wschód od rejonu cieszy skiego (otwory Jaworza, Bielska, K t, Andrychowa oraz Sucha Beskidzka) nie stwierdzono w sposób jednoznaczny odpowiednika tej formacji. Formacja zebrzydowicka na podstawie bada mikrofaunistycznych / uczkowskiej i Olszewskiej (wykonanych w otworach PIG) zaliczana jest do dolnego miocenu, a Garecka (Garecka i in., 1996) precyzuje wiek formacji zebrzydowickiej na wy szy eggenburg-najni szy karpat.

Kolejn jednostk molasy mioce skiej w rejonie cieszy skim (równie zdefiniowan przez Bu€ i Jur (1983a)) jest formacja d bowiecka. Bu€ i Jura wydzielaj w niej dwa ogniwa: starsze ogniwo zamarskie i m€dsze ogniwo d bowieckie b d ce de facto opisywanymi w tym opracowaniu warstwami d bowieckimi w uj ciu tradycyjnym. Utwory zdefiniowane jako ogniwo zamarskie zalegaj bezpo rednio pod warstwami d bowieckimi- tworz je sp€wy grawitacyjne fliszu karpackiego - olistolity i olistostromy z bardzo licznymi porwakami ska€ pod€ a, poprzedzielane warstwami grubo€wicowych zlepie ców i osadów wirowych. Materia €liszowy to g€wnie €pki czarne i mu€wce, cz sto margliste, zbrekcjowane i zlustrowane oraz margle i brekcje mu two wo-piaszczyste. Osady te maj ograniczony zasi g lateralny ograniczony do ni szych partii dolin rejonu Skoczowa. Zosta€ one stwierdzone tylko w trzech otworach: Cieszyn IG-1 Zamarski IG-1 i Bielowicko IG-1- w ostatnim z wymienionych otworów osi gaj najwi ksz dotychczas stwierdzon mi szo ó 320 m. Granica stropowa ogniwa ma charakter stopniowego przej cia od typowych zlepie ców d bowieckich do osadów wirowcowo-ilastych i mu€wców. W kierunku wschodnim utwory te przypuszczalnie mog wyst powa w g€bokiej dolinie na po€dnie od Bielska, chocia obecny stan rozpoznania tego rejonu nie potwierdza obecno ci tego typu osadów. Stratygraficznie ogniwo to jest zaliczane do badenu lub pogranicza badenu i karpatu.

Nale y tu jeszcze wspomnie, e w zachodniej cz ci omawianego obszaru w profilu trzeciorz dowego pod€ a warstw d bowieckich niekiedy wyst puj l dowe klastyczne osady tzw. <u>formacji k€dnickiej</u>. Osady te - b d ce zwietrzelin ni ej leg€ch utworów karbonu górnego - wyst puj w formie izolowanych p€tów o mi szo ci przewa nie kilku - kilkunastu metrów.

We wschodniej cz ci badanego obszaru w otworze Sucha Beskidzka IG-1 (1 czka, 1976, osadów trzeciorz dowych zalegaj cych pod warstwami d bowieckimi wynosi 1977) mi szo blisko 550 m. Na ogó€osady te zalicza si do dolnego miocenu. Dla osadów tych wraz z analogicznymi w otworach Lachowice, Zawoja, Su€owice, le cymi ju poza omawianym obszarem bada, w literaturze geologicznej przedstawiono szereg propozycji podzia€w litostratygraficznych; dyskusj tych podzia€w przedstawi€Moryc (1989, 2005). Na ogó€za w tym rejonie uznaje si formacj susk (1 czka, 1977), zbudowan naistarsz z kontynentalno-brakicznych utworów pochodzenia fliszowego wyst puj cych w najni szej cz ci profilu mioce skiego w otworze Sucha Beskidzka IG-1 o mi szo ci ok. 250 m. Kolejn formacj wydzielan w tym otworze jest formacja stryszawska o mi szo ci ok. 350 m zbudowana w cz ci ni szej z osadów zlepie cowych (ok. 140 m), a w cz ci wy szej z utworów ilasto-mu€wcowych z wk€dkami piaskowców i zlepie ców. Ponadto Moryc (1989, 2005) w otworze Jachówka wydziela jeszcze jedn formacj starsz od warstw d bowieckich - formacj z Jachówki o mi szo ci ok. 180 m, w sk€d której wchodz ilasto-mu€wcowe utwory, które podobnie jak warstwy d bowieckie zaliczane s ju do badenu.

Profil nadk@du warstw d bowieckich

W profilu nadk adu warstw d bowieckich wyst puj utwory miocenu - formacji skawi skiej, nasuni cia karpackiego oraz czwartorz du. Na zdecydowanej wi kszo ci obszaru swojego wyst powania warstwy d bowieckie przykryte s osadami formacji skawi skiej. W kilku otworach w po admiowej cz ci omawianego obszaru warstwy d bowieckie stwierdzono bezpo rednio pod nasuni ciem karpackim (Cieszyn 10, Mi dzy wie H1, Potrójna IG-1, / odygowice IG-1).

Trzeciorz d (neogen) ó miocen

Morskie ilasto-mu€wcowe i mu€wcowo-margliste osady <u>formacji skawi skiej</u> ko cz sedymentacj molasy mioce skiej. Na omawianym obszarze le one na osadach warstw d bowieckich lub bezpo rednio na paleozoiku. W wyniku sedymentacji osadów tej formacji nast puje ca€owite wype€ienie dolin i przykrycie paleogrzbietów. Osady formacji skawi skiej maj bardzo du y zasi g lateralny i przykrywaj ok. 70-80% ca€go obszaru bada . Ich mi szo jest silnie zró nicowana od 0 m w rejonie Cieszyna, Ustronia, / odygowic i Potrójnej do 1000 m w rejonie Jawiszowic i 1100 m w rejonie Zebrzydowic. Na formacj skawi sk w ko cowej fazie procesów orogenicznych Karpat nasuni te zosta€ jednostki fliszu karpackiego. Pod nasuni ciem karpackim mi szo formacji maleje ku po€dniowi wraz ze wzrostem mi szo ci nasuni cia.

Na wi kszo ci obszaru charakter sedymentacji formacji skawi skiej jest typowy tzn. ilastomu€wcowy, lekko marglisty, z niewielkimi przewarstwieniami piaskowców. Natomiast w rejonie Bielska obserwuje si wyra ny wzrost udzia€ osadów gruboklastycznych w profilu formacji. Przyk€dem tego jest profil tych osadów w otworze Bestwina IG-1. Kompleksy piaskowców i zlepie ców poprzedzielane wk€dkami mu€wców osi gaj tu mi szo do 120 m. Na obecnym etapie rozpoznania geologicznego nie mo na jednak prognozowa jaki jest zasi g lateralny tych osadów i jaka jest ich forma. Mog to by formy soczewkowe piaszczysto-zlepie cowe obocznie przechodz ce w osady drobnoklastyczne.

Osady formacji skawi skiej zaliczane s do badenu. Wed€g Gareckiej (Garecka i in., 1996) sp g tej formacji jest diachroniczny. W cz ci po€dniowej si ga on karpatu, podczas gdy w pó€ocnej mo e by wieku bade skiego.

Kreda + paleogen - nasuni cie karpackie

Utwory fliszu karpackiego nasuni te s na osady formacji skawi skiej lub warstw d bowieckich, a poza obszarem wyst powania warstw d bowieckich mog by nasuni te bezpo rednio na osady paleozoiczne. S to osady p€szczowin pod l skiej i l skiej o mi szo ci na ogó€do 800-1000 m; w kierunku po€dniowo -wschodnim mi szo ta znacznie wzrasta przekraczaj c w rejonie Suchej Beskidzkiej 2000 m.

Czwartorz d

Osady czwartorz du rozwini te s w formie pokrywy osadowej zbudowanej z piasków i wirów przewarstwionych glinami i i€ami. Ich mi szo jest zró nicowana, przewa nie w granicach 10-40 m, w dolinach rzek mo e by nieco wi ksza. Na obszarze górzystym ich mi szo na ogó€nie przekracza 0-5 m.

Budowa strukturalna

G€wne za€ enia struktury utworów karbo skich i dewo skich zosta€ uformowane w czasie trwania orogenezy waryscyjskiej, a uleg€ modyfikacjom w okresie alpejskiej epoki tektonicznej (Kotas, 1972). Pó€ocna po€wa obszaru wyst powania warstw d bowieckich le y na po€dniowym pograniczu rozleg€j struktury zwanej nieck g€wn. Z tego powodu warstwy karbonu i dewonu zapadaj tu monoklinalnie w kierunku pó€ocnym. Jedynie lokalnie w strefach bezpo rednio przylegaj cych do uskoków obserwuje si podgi cia warstw.

Model budowy strukturalnej tego obszaru ukszta€owany jest przez tektonik dysjunktywn . Dominuj c zakresie odgrywaj uskoki lub strefy uskokowe rol W tym o przebiegu równole nikowym, przewa nie o du ych zrzutach powy ej 100 m. Uskoki te kszta€uj zr bowo-schodowy charakter struktury tej cz ci zag€bia i jego po€dniowego obrze enia. Do najwa niejszych równole nikowych stref uskokowych nale y zaliczy stref uskokow orv-Jawiszowice (zrzut ok. 1100 m) na pó€oc od zasi gu warstw d bowieckich oraz Ruptawa-Czechowice-Marcypor ba (zrzut do 600 m) z€ on z szeregu uskoków zrzucaj cych osady paleozoiku na po€dnie. S to strefy uskokowe, których za€ enia powsta€ w czasie orogenezy waryscyjskiej, a zosta€ odnowione w cyklu alpejskim.

W zachodniej cz ci obszaru wyst powania warstw d bowieckich obserwuje si €godne ugi cia warstw w formie synklin b d antyklin. Rozleg€ niecki (brachysynkliny) wyst puj w rejonie Pruchnej i Drogomy la oraz w rejonie Strumienia. W tej cz ci równolegle do strefy Ruptawa-Czechowice biegnie uskok Zebrzydowice-Ligota zrzucaj cy osady karbonu ku po€dniowi maksymalnie do 350 m. Do wa niejszych stref maj cych znaczenie w ukszta€owaniu modelu budowy strukturalnej karbonu na tym obszarze zaliczy nale y równie uskoki Zebrzydowice-Rudzica, Zamarski-Hermanice zrzucaj ce utwory karbonu ku pó€ocy. Maksymalne amplitudy zrzutów tych uskoków wynosz 300-350 m.

Najs€biej rozpoznana pod wzgl dem tektoniczno-strukturalnym jest po€dniowo-wschodnia cz obszaru. W cz ci tej - zw€szcza pod nasuni ciem karpackim - nie mo na wykluczy zaanga owania tektonicznego równie w osadach trzeciorz dowych, w tym du ych uskoków o amplitudach zrzutów wynosz cych kilkaset metrów.

Ukszta€owanie powierzchni stropu paleozoiku

Kompleksy osadów powsta€ w wyniku sedymentacyjno-diastroficznej dzia€lno ci cykli waryscyjskiego i alpejskiego oddziela silnie zró nicowana morfologicznie powierzchnia okre lana mianem powierzchni stropu paleozoiku lub powierzchni podmioce skiej. Powierzchnia ta zosta€ ukszta€owana w okresie luki sedymentacyjnej od permu do dolnego miocenu.

G€wnym czynnikiem deformuj cym powierzchni stropu paleozoiku by€ procesy erozyjne. Skala tych procesów by€ niew tpliwie uwarunkowana przez tektonik dysjunktywn . Wskazuj na to badania morfologii stropu karbonu wzd€ strefy uskokowej Ruptawa-Czechowice-Marcypor ba (Jura, 1983), przebiegaj cej wzd€ po€dniowej granicy kopal "Jas-Mos" i "Brzeszcze-Silesia". Wzd€ tej strefy zaznacza si wyra ny próg morfologiczny o znacznych deniwelacjach pomi dzy skrzyd€m zrzuconym a wisz cym. Deniwelacje te si gaj 500 i wi cej metrów. Próg ten jest poprzecznie poci ty erozyjnie. W strukturze morfologii stropu karbonu mo na wvdzieli szereg wa niejszych jednostek morfologicznych obni onych i wyniesionych o rozci g€ ci generalnie równole nikowej. Elementy wyniesione w literaturze dotycz cej tego regionu definiowane s jako grzbiety, a obni enia jako doliny. Do wa niejszych jednostek nale v Grzbiet Paw€wic, który w kierunku wschodnim kontynuuje si w kierunku Jawiszowic. Grzbiet obszaru i wyst puje nad sk€nem morfologicznym utworzonym ten obejmuje pó€ocn cz wzd€ strefy uskokowej Ruptawa-Czechowice-Marcypor ba. Na po€dnie od tej strefy wyst puje grzbiet Dziedzic-Kobiernic obejmuj cy cz centraln obszaru, który od pó€ocnego-zachodu rozci ty jest dolin Strumienia, od pó€ocnego-wschodu dolin Wilamowic, a od po€dnia dolin Bielska. Dolina Bielska w kierunku zachodnim €czy si przypuszczalnie z dolinami Strumienia i Skoczowa (Jura, 2001).

Zasadnicz cech morfologii stropu paleozoiku s bardzo du e deniwelacje. Najwy ej po€ one punkty powierzchni paleozoiku si gaj powy ej 100 m n.p.m., a najni sze po€ one s na poziomie oko€ -3000 m n.p.m. Deniwelacje pomi dzy poszczególnymi elementami morfologicznymi si gaj 1000 m. wiadczy to o redniogórskim charakterze tej rze by. Prawid€we okre lenie rze by powierzchni stropu paleozoiku ma du e znaczenie dla szacowania mi szo ci warstw d bowieckich, które najwy sze mi szo ci osi gaj w paleo-dolinach. Z kolei w pasie grzbietów mi szo ci te zdecydowanie malej, nawet do ca€owitego wyklinowania si.

Charakterystyka geologiczna warstw d bowieckich

Stratygrafia

Jako pierwszy termin warstwy d bowieckie wprowadzi€To€vi ski (1950) dla okre lenia osadów gruboklastycznych wyst puj cych w dolnej cz ci profilu miocenu w otworach w rejonie Skoczowa; osady te zalegaj bezpo rednio poni ej osadów ilastych miocenu, w tym rejonie przewa nie bezpo rednio na stropie karbonu. Od tego czasu dla okre lenia tej partii osadów stosowano ró norodne terminy: serie d bowieckie, sp gowe zlepie ce miocenu, formacja d bowiecka. litosom d bowiecki inne. Prób sformalizowania i i dok€dn charakterystyk warstw d bowieckich podali Jura i Bu€ (1983a), którzy tradycyjnie warstwy d bowieckie okre lili jako ogniwo d bowieckie ujmowane tworz ce, w niektórych rejonach, z ni ej leg€mi osadami mioce skimi (ogniwo zamarskie) formacj d bowieck .

Poniewa nadal funkcjonuj ró ne poj cia zarówno warstw, jak i ogniwa d bowieckiego (np. Garecka i in., 1996), a jednocze nie myl ca jest nazwa formacja d bowiecka, która zawiera ten sam cz€n jak i ogniwo, aby unikn niejasno ci, szczególnie w rodowiskach górniczych, autorzy wrócili do tradycyjnej nieformalnej nazwy tych osadów - warstw d bowieckich. Zatem jako warstwy d bowieckie w niniejszym opracowaniu uwa any jest:

pakiet autochtonicznych osadów gruboklastycznych wyst puj cy w sp gowej cz ci profilu miocenu górnego w po&dniowej cz ci GZW i jego po&dniowego obrze enia, pod ilastymi osadami bade skimi formacji skawi skiej (niekiedy bezpo rednio pod nasuni ciem karpackim), zalegaj cy na utworach paleozoicznych lub starszego miocenu.

Jak wspomniano wy ej omawiane tu warstwy d bowieckie zosta€ zdefiniowane przez Bu€ i Jur (1983 a,b) w rejonie cieszy skim - w sensie formalnym - jako ogniwo d bowieckie tworz ce wraz z ni ej leg€m ogniwem zamarskim formacj d bowieck . Formacja d bowiecka w tym rejonie jest przykryta osadami formacji skawi skiej, a zalega bezpo rednio na utworach karbonu (produktywnego lub kulmu), lub w niektórych miejscach na osadach formacji zebrzydowickiej.

Wiek warstw d bowieckiej jest trudny do okre lenia z powodu prawie ca€owitego braku szcz tków organicznych. Podsumowuj c wyniki bada biostratygraficznych warstw d bowieckich mo na okre li ich wiek w przewadze na wczesnobade ski, a w po€dniowej cz ci obszaru na by mo e pó nokarpacki (Moryc, 2005).

Litologia

Wykszta€enie litologiczne osadów d bowieckich zosta€ dok€dniej poznane tylko w rejonie zachodnim oraz pó€ocnym, zw€szcza w otworach odwierconych przez PIG (D bowiec IG-1, Cieszyn IG-1, Zamarski IG-1, Bestwina IG-1, Czechowice IG-1), a w cz ci wschodniej znane jest z otworów Sucha Beskidzka IG-1 i Potrójna IG-1. Z otworów naftowych (g€wnie wschodnia i centralna cz obszaru) informacje o cechach litologicznych osadów d bowieckich s bardzo sk pe. Ograniczaj si one tylko do podania typu litologicznego ska€

Wyró niaj c cech gruboklastystycznych osadów d bowieckich jest wyra na, normalna gradacja uziarnienia w profilu pionowym. W profilach otworów obserwuje si stopniow zmian wielko ci ziaren od najgrubszych w sp gu warstw (g€zowiska, zlepie ce gruboziarniste z blokami ska€o wielko ci do 30-40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce drobno- i rednioziarniste). Jedn z zasadniczych cech tego ogniwa s równie lateralne zmiany uziarnienia. Grubsze frakcje dominuj w cz ci po€dniowej omawianego obszaru. Ku pó€ocy zmniejsza si wielko ziaren w ca€m kompleksie osadów. W pó€ocnej i pó€ocno-zachodniej cz ci obszaru najgrubszymi frakcjami osadów d bowieckich s zlepie ce drobnoziarniste. W profilu przewa aj piaskowce ró noziarniste.

Wyniki bada petrograficznych wykonane na rdzeniach z otworów parametrycznych PIG wskazuj, e wysortowanie materia€ ziarnowego i stopie obtoczenia s bardzo zmienne. Sk€d petrograficzny materia€ ziarnistego jest bardzo zró nicowany litologicznie. G€wnymi sk€dnikami s okruchy ska€karbo skich buduj cych GZW (ska€ ilasto-mu€wcowe, piaskowce, syderyty, niekiedy w gle kamienne), okruchy ska€ w glanowych, magmowych, krystalicznych i metamorficznych (kwarcyty, €pki mikowo-chlorytowe). Spoiwo w obr bie tych osadów jest typu kontaktowego lub porowego. Najcz ciej ma ono charakter masy detrytycznej scementowanej grubokrystalicznym kalcytem.

Mi szo ig€boko zalegania

Mi szo warstw d bowieckich na ca€m obszarze wyst powania nawi zuje do form morfologicznych pod€ a paleozoicznego. Najwi ksze mi szo ci warstw d bowieckich s odnotowywane w strefach dolin stropu paleozoiku. W obr bie grzbietów mi szo ich ulega znacznej redukcji. Maksymalne mi szo ci osadów warstw d bowieckich, w granicach 250-300 m

wyst puj rejonie Bielska (na po€dnie od otworu Bielsko 4), Jaworza (na po€dnie od otworów Skoczów 1, Pogórze 1 i Jaworze IG-1) oraz bezpo rednio na wschód i pó€ocny-wschód od by€j kopalni "Morcinek". Najwi ksz mi szo stwierdzono w otworze Jaworze IG-1 - 263.0 m. Inne otwory, w których mi szo warstw d bowieckich przekracza 200 m to: Skoczów 1, K ty 3, Drogomy 1 IV i Bielsko 4. rednia mi szo z wszystkich otworów, w których stwierdzono wyst powanie warstw d bowieckich (130 otworów) wynosi 70,3 m, z tym, e w zdecydowanej wi kszo ci otworów (76%) mi szo ta nie przekracza 100 m. Dlatego te powinno si do ostro nie szacowa mi szo ci wi ksze ni 100-150 m, szczególnie w rejonach pozbawionych otworów wiertniczych, nale y si liczy z b€dem nawet do 50 m.

Ogólnie mo na stwierdzi, e na wi kszo ci obszaru wyst powania warstw d bowieckich ich mi szo zawiera si przewa nie w granicach 50-150 m. Najwi ksze zró nicowanie mi szo ci wyst puje w cz ci zachodniej (nale y zaznaczy jednak, e jest to obszar dobrze rozpoznany geologicznie). Najmniejsze ró nice w mi szo ci wyst puj w cz ci wschodniej, gdzie mi szo zawiera si w granicach 100-150 m. Uk€d izolinii mi szo ci jest wyra nie równole nikowy z odchyleniem w kierunku po€dniowym. Id c od linii pó€ocnego zasi gu na po€dnie przechodzi si kolejno trzy w skie i d€gie strefy du ych mi szo ci o kierunku WWN-EES oddzielone dwoma "grzbietami" o podobnych d€go ciach i kierunku, lecz znacznie szerszymi. Wyra nie jest widoczne, e w cz ci pó€ocnej maksymalne mi szo ci w "dolinach" (ok. 150-170 m) s znacznie mniejsze ni w cz ci po€dniowej (250-300 m), z kolei w "grzbietach" w cz ci pó€ocnej obserwuje si pas wychodni i niewielkiej mi szo ci do 25 m, w cz ci po€dniowej w "grzbietach" wychodni nie stwierdzono i mi szo jest wi ksza.

Rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Najwi ksze mi szo ci warstw d bowieckich powy ej 250 m wyst puj w po€dniowej, wschodniej i zachodniej cz ci obszaru. W cz ci centralnej, pó€ocno-wschodniej, pó€ocno-zachodniej i zachodniej s obszary, gdzie mi szo warstw gwa€ownie maleje, a nawet warstwy wyklinowuj si . Mi szo warstw jest bardzo zmienna, co ilustruje mapa mi szo ci warstw d bowieckich (Rys. 1.1.1.11), ale generalnie maleje w kierunku pó€ocnych i po€dniowych granic obszaru. Na ogó€zawiera si w granicach od 50 do 200-250 m.



Rys. 1.1.1.11. Mi szo warstw d bowieckich Rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Rejon K ty-Andrychów

Najwi ksze mi szo ci warstw d bowieckich powy ej 150 m wyst puj w pó€ocnowschodniej cz ci obszaru. W rejonie pó€ocnych, zachodnich i po€dniowo-zachodnich granic obszaru maleje do 0 m. W cz ci po€dniowej na znacznym obszarze mi szo nie przekracza 50 m.

G€boko zalegania powierzchni stropu warstw d bowieckich jest silnie zró nicowana. Generalnie, powierzchnia ta swoim uk€dem jest zbli ona do powierzchni stropu paleozoiku, w cz ci zachodniej i pó€ocnej uk€d ten podobny jest tak e do przebiegu izolinii mi szo ci. Pod wzgl dem g€boko ci zalegania mo na tu wydzieli 3 rejony:

- pó€ocno-zachodni obejmuj cy cz zachodni od granicy pa stwowej po po€dnik Jaworza na wschodzie oraz cz pó€ocn w pobli u Bielska - K t; w rejonie tym g€boko stropu raczej nie przekracza -1000 m i sporadycznie podnosi si wy ej ni -500 m, powierzchnia stropu jest silnie zró nicowana erozyjnie; generalnie w tej cz ci po€ one s oba wyznaczone obszary badawcze
- 2. po€dniowy obejmuj cy obszar na wschód od Jaworza i na po€dnie od Bielska po Andrychów; g€boko zalegania wynosi tu od -1000 do -1300 m, powierzchnia stropu jest przypuszczalnie stosunkowo p€ska, lekko obni a si w kierunku wschodnim;
- 3. wschodni obejmuj cy obszar na wschód od Andrychowa; powierzchnia stropu s€bo zró nicowana jest silnie nachylona w kierunku po€dniowo-wschodnim od -1000 do

przesz€ -2400 m.

Generalnie mo na stwierdzi, e strop warstw d bowieckich stopniowo obni a si z pó€ocnego zachodu w kierunku po€dniowo-wschodnim. Na obecnym etapie rozpoznania geologicznego nie mo na wykluczy w po€dniowo - wschodniej cz ci du ych pionowych przesuni tektonicznych powierzchni stropu warstw d bowieckich.

Rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice

W obszarze tym g€boko zalegania warstw d bowieckich waha si od -500 m n.p.m. (sporadycznie od -400 m n.p.m.) do -1000 m n.p.m. (sporadycznie do -1100 m n.p.m.). Najp€cej warstwy d bowieckie zalegaj w cz ci pó€ocno-wschodniej, pó€ocno-zachodniej, zachodniej i centralnej. Najwi ksze g€boko ci zalegania warstw maj miejsce na ograniczonym obszarze w cz ci wschodniej ó poni ej -1000 m n.p.m. W ca€m rejonie warstwy d bowieckie zalegaj na g€boko ci poni ej 700-800 m licz c od powierzchni terenu (sporadycznie p€cej w granicach 650-700 m). Rozk€d zalegania stropu i sp gu warstw d bowieckich przedstawiaj Rys. **1.1.1.12** i **13**.



izolinie stropu warstw dębowieckich zasięg występowania warstw dębowiekich rejon badań otwory wiertnicze

Rys. 1.1.1.12. G€boko zalegania stropu warstw d bowieckich rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Rejon K ty-Andrychów

W tym rejonie g€boko zalegania warstw d bowieckich zawiera si w granicach na ogó€ od -500 do -1000 m n.p.m. Najmniejsza jest w skrajnie zachodniej cz ci na niewielkim obszarze, gdzie wynosi -400 m n.p.m., a najwi ksza w cz ci wschodniej, gdzie przekracza -1000 m n.p.m.
(Rys. **1.1.1.10**). Na ca€m obszarze warstwy d bowieckie zalegaj poni ej 700-750 m licz c od powierzchni terenu.



Rys. **1.1.1.13**. G€boko zalegania sp gu warstw d bowieckich rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Istotne znaczenie ma te mi szo nieprzepuszczalnych osadów miocenu (formacja skawi ska) zalegaj cych na warstwach d bowieckich. Najwi ksze mi szo ci osady te osi gaj w pó€ocnych cz ciach obu wyznaczonych obszarów, przekraczaj c 900 m. Mi szo maleje w kierunku po€dniowym nawet zbli aj c si do zera, ale w tym w€ nie rejonie na utworach miocenu zalegaj utwory fliszu karpackiego. Szczegó€wo rozk€d mi szo ci w Rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice prezentuje Rys. 1.1.14.



Rys. 1.1.1.14. Mi szo miocenu nieprzepuszczalnego dla rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

1.1.2 Okre lenie (aktualizacja) bilansu sekwestracyjnego dla Polski Ë rejon GZW



Rys. **1.1.2.1** Opcje geologicznego sk adowania CO2 dla Polski po adniowej wg "Interaktywnego Atlasu prezentujacego mo liwo ci geologicznej sekwestracji CO2 w Polsce".



Rys. **1.1.2.2** Struktury w poziomach wodono nych solankowych analizowane dla rejonu Be€hatowa (Wójcicki (red.), 2009).

Pojemno ci sk€dowania dla poziomów wodono nych solankowych w Polsce by€ analizowane w ramach projektu 6PR UE CASTOR WP1.2 ó PBG szacowa€ pojemno ci sk€dowania dla 12 struktur w dolnym triasie, dolnej jurze i dolnej kredzie basenu permomezoicznego (Scholtz et al., 2006; Wójcicki, 2008), spo ród tych wytypowanych wst pnie przez IGSMiE PAN (Tarkowski 2005). W projekcie 6PR UE EU GeoCapacity (Vangkilde-Pedersen, 2008) IGSMiE analizowa€ opcje sk€dowania w poziomach wodono nych a PBG opcje dla struktur naftowych i pok€dów w gla. IGSMiE przebada€ 18 struktur, w tym te analizowane w projekcie CASTOR WP1.2 (Tarkowski & Uliasz-Misiak 2006). Wykonane prace obejmuj faz rozpoznawania, rankingu i wyboru struktur ó mo liwych obszarów zat €czania CO2, wykorzystuj c t sam metodyk jak stosowano w projekcie 5PR UE GESTCO (Larsen et al., 2003), nawi zuj c do najlepszych praktyk projektów unijnych CO2STORE i SACS dotycz cych g€bokich poziomów wodono nych solankowych w Danii, Niemczech, Norwegii i Wielkiej Brytanii (Chadwick et al. 2006). Informacje z tych projektów, aktualnie zako czonych, wykorzystano ostatnio jako podstaw do opracowania šInteraktywnego atlasu prezentuj cego mo liwo ci geologicznej sekwestracji CO2 w Polsceö. Wed€ig tych wst pnych oszacowa, pojemno ci sk€dowania dla znanych struktur w poziomach wodono nych solankowych wynosz w granicach 3752-8299 mln ton (Rys. 1.1.2.1).

Niestety dla Polski po€dniowej nie ma na Rys. **1.1.2.1** zaznaczonych adnych struktur w poziomach wodono nych solankowych w pobli u K dzierzyna co wynika z faktu e analizowane by€ najbardziej perspektywiczne poziomy mezozoiczne (wyst puj bardziej na pó€oc) a nie miocen, który jak mo na zauwa y w poprzednim rozdziale, oraz rozdzia€ch 1.1.3 i 1.1.6 nie ma tak dobrych w€sno ci zbiornikowych. Pozosta€ opcje, tzn. sk€dowanie w sczerpanych z€ ach w glowodorów, b d g€bokich nieeksploatowanych pok€dach w gla z mo liwo ci odzysku metanu, nie s przedmiotem niniejszego opracowania (s to osobne zadania realizowane w ramach niniejszego tematu, dla których powstan analogiczne opracowania).

W ramach I Segmentu dla rejonu Be€hatowa przeanalizowano i zweryfikowano mo liwo ci geologicznego sk€dowania w poziomach wodono nych solankowych jury po€ onych bardziej na pó€oc (Wójcicki (red.), 2009), gdzie udokumentowano w sposób bardzo dog€bny szereg struktur, jednak e najbli sza z nich znajduje si w odleg€ ci ponad 160 km od K dzierzyna.

St d w ramach niniejszego opracowania przeanalizowano mo liwo ci geologicznego sktadowania CO2 w obszarze najbli szym elektrowni poligeneracyjnej K dzierzyn, tzn. rejon GZW, a konkretnie jego potadniow cz gdzie wyst puj potencjalnie najbardziej perspektywiczne formacje zbiornikowe ó warstwy d bowieckie i ewentualnie ich pod 6 e górnokarbo skie (krakowska seria piaskowcowa, górno 1 ska seria piaskowcowa).

Zagadnienia pojemno ci poszczególnych formacji i struktur w rejonie GZW przeanalizowa€ szczegó€wo GIG.

Potencja€sk€adowania dla GZW ó poziomy solankowe Robert Warzecha, Tadeusz Bromek ó GIG

W ramach niniejszego projektu na terenie Górno l skiego Zag€bia W glowego wytypowano rejony do sk€dowania CO_2 w obr bie, których zostan wyznaczone zbiorniki przeznaczone do podziemnego sk€dowania dwutlenku w gla. Wytypowano rejony w utworach krakowskiej serii piaskowcowej (KSP), górno l skiej serii piaskowcowej (GSP) oraz w utworach warstw d bowieckich. Wszystkie wyznaczone rejony s badane pod k tem mo liwo ci lokowania CO_2 w g€bokich poziomach solankowych.

Oszacowanie pojemno ci sk€dowania CO₂ dla rejonu obejmuj cego warstwy d bowieckie zosta€ wykonane w oparciu o przekazane przez PIG-PIB nast puj ce mapy w skali 1:50000:

- mi szo ci miocenu nieprzepuszczalnego;
- mi szo ci utworów warstw d bowieckich;
- stropu i sp gu utworów warstw d bowieckich;
- przekroje geologiczne oraz dane z bada hydrogeologicznych na podstawie, których sporz dzono mapy parametrów hydrogeologicznych.

Po dokonaniu analizy wy ej wymienionych materia€w okre lono granice zbiornika w oparciu o przyj te kryteria geologiczne, przeznaczonego pod przysz€ lokowanie CO₂. Zbiornik zosta podzielony na bloki obliczeniowe. Dla ka dego bloku wykonano nast puj ce obliczenia:

- powierzchni [m²],
- redniej mi szo ci warstw d bowieckich [m],
- redniej porowato ci efektywnej [%],

przyj to równie wspó \in zynnik efektywno ci oraz g sto CO₂ w warunkach z \in owych, a tak e rozpuszczalno CO₂ w wodzie.

Zarys budowy geologicznej i ocena parametrów hydrogeologicznych warstw d bowieckich

Warstwy d bowieckie wyst puj w po€dniowej cz ci GZW, stanowi c pas o szeroko ci do 25 km. Zlokalizowane s w sp gowej cz ci miocenu w postaci utworów piaszczysto-zlepie cowatych. Zalegaj przewa nie bezpo rednio na utworach karbonu lub starszego miocenu a tak e lokalnie na utworach serii w glanowej dolnego karbonu i dewonu b d na serii terygenicznej dolnego dewonu i kambru. Ocenia si , e obszar ich wyst powania wynosi 1750 km².

Warstwy d bowieckie zbudowane s ze zlepie ców, brekcji i piaskowców. W profilu pionowym tych warstw obserwuje si zmian wielko ci ziarn od najwi kszych w cz ci sp gowej (do oko€ 40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce ró noziarniste). Obserwuje si równie zmiany uziarnienia w p€szczy nie poziomej. Grubsze frakcje przewa aj w cz ci po€dniowej, za w kierunku pó€ocnym wielko ziarn wyra nie si zmniejsza.

Petrograficznie ziarna s mocno zró nicowane. G€wnie s to okruchy ska€karbo skich (ilasto-mu€wcowe i piaskowcowe) oraz okruchy ska€ w glanowych, magmowych i metamorficznych.

Mi szo ci opisywanych warstw s zmienne w przedziale od 25 m do 300 m, rednio oko€ 70 m. Zró nicowanie mi szo ci wynika z po€ enia i form morfologicznych pod€ a paleozoicznego. G€boko zalegania warstw d bowieckich waha si przewa nie w przedziale od 500 m do 1300 m ppt. Najp€cej wyst puj w cz ci zachodniej i na pó€oc od Bielska i K t (od 500 m do 900 m), natomiast w obszarze na wschód od Jaworza i na po€dnie od Bielska po Andrychów g€boko ta osi ga od 900 m do 1300 m ppt. Na wschód od Andrychowa warstwy te wyst puj na g€boko ci

od 1000 m do prawie 2400 m.

Zbiornik wodono ny warstw d bowieckich przykryty jest mioce skimi osadami formacji skawi skiej, tylko w cz ci po €dniowej wyst puje bezpo rednio pod utworami fliszu karpackiego. Zbiornik ten jest nieodnawialny i zawiera wody paleoinfiltracyjne. Rozpoznanie hydrogeologiczne nie jest równomierne. Najlepiej rozpoznane s cz ci: pó€ocno-zachodnia, po€dniowo-zachodnia i zachodnia omawianego obszaru.

Porowato efektywna ska€ w rejonie wyznaczonego zbiornika jest zmienna i zawiera si w przedziale od 7% do 18,8%, a warto rednia wynosi 11,2%. Wspó€zynnik filtracji kszta€uje si w zakresie od 4,2 · 10⁻⁹ do 1,9 · 10⁻⁴ m/s, przyjmuj c warto redni 7 · 10⁻⁶ m/s. Ci nienia piezometryczne wynosz od 2,9 MPa do 10,4 MPa. Wodono no zlepie ców i piaskowców wyra ona warto ci wydatków jednostkowych wynosi od 0,00038 m³/h · 1mS do 0,3521 m³/h · 1mS. rednio wydatek wynosi 0,0407 m³/h · 1mS.

Ogólna mineralizacja wyra ona warto ciami suchej pozosta€ ci kszta€uje si w przedziale od 30,0 do 65,3 g/dm³. S to wody s€ne i solanki g€wnie typu Cl-Na oraz rzadziej Cl-Na-Ca. Odczyn (pH) waha si w granicach od 5,2 do 9,9.

Zbiornik warstw d bowieckich jest bardzo rozleg€, ma do dobre parametry hydrogeologiczne oraz izolowany jest od góry szczeln i grub seri utworów nieprzepuszczalnych.

Ze wzgl du na zró nicowan mi szo utworów, g€boko ich zalegania, stan dotychczasowego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego oraz po€ enie w stosunku do terenów chronionych i wyrobisk górniczych kopal w gla w zbiorniku tym mo na wydzieli kilka obszarów, które mog by rozpatrywane jako miejsca ewentualnego sk€dowania CO₂.

Charakterystyk wymienionych kompleksów wodono nych opracowano korzystaj c m.in. z nast puj cych prac: Bromek T. i in. 2009, Bu€ Z. i in. 1994, Gajowiec B. i in. 1994, Wilk Z. 2003.

Dotychczasowe rozpoznanie warunków geologicznych, hydrogeologicznych i górniczych z wykorzystaniem informacji geofizycznych i rodowiskowych pozwoli \clubsuit na wyznaczenie najbardziej korzystnej cz ci warstw d bowieckich jako ewentualnego zbiornika sktowania CO₂ (Rys. **1.1.2.3**).



Rys. 1.1.2.3 Mapa sytuacyjna rejonu bada .

Dotychczas opracowane klasyfikacje pojemno ci sk€dowania dwutlenku w gla (CSLF, CO2CRC, Uliasz-Misiak) w g€wnej mierze opieraj si na metodach u ywanych przy klasyfikacji

z€ ropy naftowej i gazu ziemnego. S one oparte na koncepcji piramidy zasobów w glowodorów przedstawionej przez McCabe (1998).

Klasyfikacja oparacowana przez Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) uwzgl dnia trzy sposoby oceny pojemno ci sk€dowania CO₂:

na podstawie piramidy wysokiego poziomu pojemno ci sk€dowania (Rys. 1.1.2.4).



Rys. **1.1.2.4.** Piramida wysokiego poziomu pojemno ci sk€dowania CO₂ w strukturach geologicznych (CSLF, 2005).

W górnej cz ci piramidy wyst puj sk€dowiska charakteryzuj ce si dobrymi warunkami geologicznymi o du ej pojemno ci i niskich kosztach sk€dowania. Przy czym pojemno sk€dowania w wierzcho€u piramidy jest znacznie mniejsza ni u jej podstawy, która charakteryzuje si šs€bymiö warunkami geologicznymi i wysokimi kosztami sk€dowania.

• poprzez techniczno-ekonomiczn piramid pojemno ci sk dowania (Rys. 1.1.2.4), pokazuj c zale no pomi dzy teoretyczn , efektywn , praktyczn i wykorzystywan pojemno sk dowania.



Rys. **1.1.2.5.** Techniczno-ekonomiczna piramida pojemno ci sk€dowania CO₂ w strukturach geologicznych (CSLF, 2008).

- ➤ teoretyczna pojemno sk€dowania stanowi ca€owit ilo CO₂, jak mo e pomie ci dana jednostka geologiczna. Ta cz ci piramidy zak€da, e w ca€j obj to ci porowej b dzie mo liwe sk€dowanie lub/i zat€czony dwutlenek w gla osi gnie w wyniku rozpuszczania, w p€nach z€ owych maksymalne nasycenie;
- ➢ efektywna pojemno sk€dowania jest to cz pojemno ci teoretycznej, pomniejszonej o geologiczno-in ynierskie aspekty szacowania pojemno ci sk€dowania tj.: g€boko, ci nienie, porowato. Mo e ona ulega zmianie w przypadku poszerzenia bada o dodatkowe dane geologiczne;
- praktyczna pojemno sktadowania jest to pojemno po uwzgl dnieniu kryteriów technicznych, ekonomicznych, prawnych oraz przeprowadzeniu oceny róde Emisji w stosunku do miejsc sktadowania. Podobnie jak w przypadku efektywnej pojemno ci sktadowania równie tutaj mog nast pi zmiany pojemno ci wywo tene zmianami wy ej wspomnianych kryteriów;
- oraz piramid uwzgl dniaj c rodzaj pu€pek wraz z mechanizmem sk€dowania i jego efektywno ci (Rys. 1.1.2.6).



Rys. **1.1.2.6.** Piramida pojemno ci sk€dowania CO2 typu pu€pki i efektywno ci w strukturach geologicznych (CSLF, 2005).

Ten typ piramidy przedstawia relacj pomi dzy rodzajem putopki, mechanizmem sktowania i jego efektywno ci w czasie.

W perspektywie d€goterminowej w zbiorniku mog zachodzi procesy, w trakcie których mechanizmy sk€dowania b d si wzajemnie wyklucza, wspó€dzia€ lub konkurowa.

Klasyfikacja Cooperative Research Center for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC), k€dzie g€wny nacisk na przestrze porow struktury i niepewno jej oszacowania. Zosta€ opracowana w oparciu o klasyfikacj CSLF oraz zasobów w glowodorów SPE (Rys. **1.1.2.7**).

W niniejszym podziale ca€owita obj to porowa jest definiowana jako szacowana ca€owita obj to porów w analizowanych basenach sedymentacyjnych lub miejscach sk€dowania oraz obj to jeszcze nie zdefiniowana.



Rys. 1.1.2.7. Klasyfikacja pojemno ci sk€dowania (CO2CRC, 2008).

Dzielimy j (obj to porow) na:

- a) teoretyczn i nieudokumentowan obj to porow, czyli tak która obecnie nie jest dost pna, ale mo e by wykorzystana w przysz€ ci. Perspektywiczna pojemno sk€dowania jest to wielko przestrzeni porowej w nieodkrytych miejscach sk€dowania, w których z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego b dzie mo liwe sk€dowanie dwutlenku w gla.
- b) stwierdzona obj to porowa jest to obj to porowa struktury geologicznej, obliczana na podstawie istniej cych danych. Dzieli si na:
 - 1. operacyjn pojemno sk€dowania okre laj ca obj to przestrzeni porowej, która mo e by dost pna badanym miejscu sk **G**dowania W z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego. Obliczana jest na podstawie istniej cych danych. W tej kategorii dodatkowo wyró niamy: stwierdzon, i prawdopodobn oraz stwierdzon, prawdopodobn stwierdzon i mo liw odpowiednio z prawdopodobie stwem 10%, 50% i 90%;
 - 2. warunkow pojemno sk€dowania b d c operacyjn pojemno ci sk€dowania poszerzon o aspekt przewidywanych przysz€ch uwarunkowa technicznoekonomicznych;

Zarówno warunkow jak i perspektywiczn pojemno sktadowania CO₂ wyznaczamy z ró n niepewno ci tj.: minimalnym, rednim i maksymalnym oszacowaniem. Zakres zale y od ilo ci i jako ci danych na podstawie, których wykonane s badania. Dla obu kategorii oszacowanie wyznacza si z prawdopodobie stwem 10, 50 i 90% odpowiednio dla wysokiego, niskiego i optymalnego oszacowania.

W Polsce zosta€ zaproponowana klasyfikacja pojemno ci sk€dowania dwutlenku w gla (Uliasz-Misiak, 2008), oparta na za€ eniach z klasyfikacji CSLF (CSLF 2005, 2008) oraz

klasyfikacj zasobów w glowodorów SPE/WPC/AAPG (Nie , 2006; Demirmen, 2007; Reserves and..., 2007; Uliasz-Misiak, 2008).

W niniejszej klasyfikacji (Tab. **1.1.2.1**) wyró niamy poj cie teoretycznej pojemno sk€dowania stanowi c ilo dwutlenku w gla jak mo e by zmagazynowana w ca€owitej przestrzeni porowej danej struktury.

	Tab.	1.1.2.1.	Klasyfikacja	a pojemno	ci sk € dowania	CO_2 (wg	Uliasz-Misiak,	2008).
--	------	----------	--------------	-----------	------------------------	------------	----------------	--------

Teoretyczna pojemno sk€dowania							
Efekt sk	tywna pojemi €dowania CO	D_2					
Efektywna stwierdzona pojemno sk & dowania CO ₂	Efektywna prawdopodobna pojemno sk t dowania CO ₂	Efektywna mo liwa pojemno sk t dowania CO ₂	Warunkowa pojemno sk€adowania CO2	Niedost pna pojemno sk€adowania CO2			

Dzielimy j na:

- sk€dowania, któr definiujemy jako ilo • efektywn pojemno dwutlenku w gla, który mo e by sk€dowany w rozpoznanych strukturach geologicznych uwzgl dniaj c przy tym aspekty geologiczne, techniczne i rodowiskowe tj.: g€boko , przepuszczalno, porowato , mi szo , ma€ przepuszczalny i odpowiednio mi szy nadk€d charakteryzuj cy si brakiem uskoków, odleg€ od emitenta, transport. Szacowanie pojemno ci wykonuje si na podstawie dost pnych danych przestrzeni porowej danej struktury. Z uwagi na gwarantowane jako cz prawdopodobie stwo zat6czenia CO₂ w ilo ci obliczonej, efektywn pojemno sk€dowania dzielimy na:
 - efektywn stwierdzon pojemno sk€dowania ó gwarantowane prawdopodobie stwo 90%;
 - efektywna prawdopodobna pojemno sk€dowania ó gwarantowane prawdopodobie stwo 50%;
 - efektywna mo liwa pojemno sk€dowania ó gwarantowane prawdopodobie stwo 10%;
- o warunkowa pojemno sk€adowania jest pojemno ci , która w chwili obecnej nie mo e by wykorzystana ze wzgl dów technicznych lub rodowiskowych. Stanowi ona ilo dwutlenku w gla, jaka mo e by sk€adowana w danej strukturze geologicznej, spe€iaj cej kryteria geologiczne jak w przypadku efektywnej pojemno ci sk€adowania;
- niedost pna pojemno sk€adowania oznacza pojemno , która obecnie nie mo e by wykorzystana gdy nie spe€ia przyj tych kryteriów przydatno ci do sk€dowania.

Szacowanie teoretycznej, efektywnej i warunkowej pojemno ci sk dowania mo e odbywa

si we wszystkich skalach oszacowa, podczas gdy pojemno efektywna stwierdzona, prawdopodobna i mo liwa jedynie w skali miejsca sk & dowania dwutlenku w gla.

Kryteria do wyboru miejsc sk@dowania

Na chwil obecn nie ma jednolitych kryteriów typowania miejsc sk dowania dwutlenku w gla. W pracy kryteria geologiczne zosta <math>dowane w oparciu o Best practice for the storage of CO₂ in saline aquifers (Chadwick et al., 2006) (Tab.**1.1.2.2**), gdzie zestawiono podstawowe parametry maj ce wp <math>dowane w na wybór miejsca sk dowania tj.:

- 1. ca€owita pojemno sk€dowania;
- 2. g€boko zalegania ska€zbiornikowych, ich mi szo i tektonika;
- 3. porowato , przepuszczalno i mineralizacja formacji przeznaczonej do lokowania CO₂;
- 4. tektonika ska€nadk€du i ich mi szo ;

Tab. 1.1.2.2. Kryteria wyboru miejsc sk€dowania (Best practice..., 2006).

Kryteria	Wska niki pozytywne				
Ca € owita pojemno	wi ksza ni ca∉owita ilo CO ₂ wyprodukowana przez ród€				
sk€dowania	emisji				
G€boko	> 1000 m < 2500 m				
Mi szo	> 50 m				
Porowato	> 20 %				
Przepuszczalno	> 300 mD				
Mineralizacja	$> 100 \text{ g/dm}^3$				
Uskoki	brak uskoków				
Mi szo nadk€adu	> 100 m				

Na podstawie przeprowadzonych analiz w niniejszym opracowaniu zaproponowano w€sne kryteria, które daj mo liwo prowadzenia dalszych bada na omawianym terenie (tab. 3). Modyfikacj zosta€ poddane nast puj ce parametry:

- g€boko ;
- porowato ;
- przepuszczalno ;
- mineralizacja;

Kryteria	Zaproponowane wska niki			
Ca € owita pojemno	> 10 Mt			
sk€dowania	>40 Wit			
G€boko	> 800 m < 2500 m			
Mi szo	> 50 m			
Porowato efektywna	> 9 %			
Przepuszczalno	~100 mD			
Mineralizacja	$> 30 \text{ g/dm}^3$			
Uskoki	brak uskoków			
Mi szo nadk€du	> 100 m			

Przyj ta metodyka oszacowania pojemno ci sk@dowania CO2

Wst pn selekcj struktury geologicznej przydatnej do sk€dowania CO₂ przeprowadza si z uwzgl dnieniem parametrów zalecanych w przyj tych kryteriach. Je eli dla rozpatrywanej struktury spe€ione s wymagania w zakresie g€boko ci zalegania, mi szo ci warstwy izolacyjnej, mineralizacji wody, korzystnej tektoniki oraz ekonomicznie uzasadnionej odleg€ ci od emitenta, to mo na wyznaczy granic zbiornika wykorzystuj c informacje dotycz ce mi szo ci warstw zbiornika ich porowato ci efektywnej i przepuszczalno ci. Parametry te najlepiej przedstawi w formie izolinii ich rednich warto ci wa onych. Okre lenie redniej mi szo ci wymaga wykonania mapy izopach i oszacowania powierzchni ograniczonej s siednimi izopachami, a nast pnie obliczenie redniej wa onej.

Wyznaczenie redniej wa onej mi szo ci zalecane jest zawsze, gdy stwierdzone otworami wiertniczymi mi szo ci warstw s wyra nie zró nicowane.

Podobnie mo na okre li jako rednie warto ci innych parametrów zbiornika z tym, e np. w przypadku porowato ci efektywnej najpierw okre la si redni wa on dla poszczególnych interwa€w mi szo ci, dla których oznaczono porowato efektywn, a nast pnie wykonuje map równych warto ci wa onych i podobnie jak dla mi szo ci okre la si rednie wa one warto ci porowato ci efektywnej dla ca€go zbiornika.

Wykorzystuj c mapy izoliniowe poszczególnych parametrów z okre leniem wymaganych kryteriów warto ci granicznych mo na wyznaczy zasi g (granice) ocenianego zbiornika. B dzie to w ka dym przypadku powierzchnia o kszta€ie zale nym od przebiegu poszczególnych izolinii granicznych (progowych).

Dysponuj c powierzchni zbiornika i jego redni mi szo ci oraz porowato ci efektywn mo na okre li obj to por stanowi cych podstaw oszacowania pojemno ci zbiornika.

Teoretyczna pojemno sk€dowania z wykorzystaniem wolnych przestrzeni V wynosi:

$$V = A \cdot h \cdot \varphi \tag{1}$$

gdzie:

- *A* ó powierzchnia zbiornika, m²;
- *h* ó rednia mi szo warstw zbiornika, m;
- ó wspó€zynnik porowato ci efektywnej, liczba niemianowana <1.

Dodatkow pojemno uzyska si uwzgl dniaj c ci liwo górotworu i wody zawartej w porach, spowodowanej zwi kszeniem ci nienia z6 owego wskutek zat6czania:

$$V_{spr} = A \cdot h \cdot \beta^* \cdot H_n \tag{2}$$

gdzie:

4. V_{spr} ó pojemno spr ysta, m³;

5. β^* ó wspó€zynnik pojemno ci spr ystej okre lanej jako:

$$\beta^* = \beta_s + \varphi \cdot \beta_w$$

gdzie:

> β_s i β_w ó wspó€zynnik ci liwo ci obj to ciowej odpowiednio ska€ i wody, MPa⁻¹;

- H_n ó nadci nienie przyj te przy zat Sczaniu, MPa;
- A, h i ó jak we wzorze (1).

Dwutlenek w gla wt€czany do utworów geologicznych b dzie w górotworze zatrzymany z wykorzystaniem w uproszczeniu nast puj cych mechanizmów:

- 2. wype€iania wolnych przestrzeni zwi zanych z porowato ci efektywn mi dzyziarnow i szczelinow ;
- 3. rozpuszczaniem w wodzie porowej (solance);
- 4. geochemicznego wi zania z minera€mi ska€ zbiornikowych i wi zania z mineralnymi sk€dnikami wody z€ owej

W przypadku gdy zatczanie odbywa si b dzie do zbiornika z poziomem wodono nym o zwierciadle napi tym gdzie pory otwarte w cac ci wypecione s wod to masa zatrzymanego CO₂ zwi zana b dzie z jego rozpuszczaniem, a jej teoretyczna wielko wyniesie:

$$Q_r = A \cdot h \cdot \varphi \cdot \left(m_{CO_2} - m_x \right) \cdot C_{ef}$$
(3)

gdzie:

- Q_r ó rozpuszczona masa CO₂ w wodzie, kg;
- A, h, ó jak we wzorze (1);
- m_{CO2} ó masa CO₂, która mo e si rozpu ci w 1m³ wody, (40÷60 kg/m³ ó Holt i in., 1995);
- m_x ó masa CO₂ zawarta w 1 m³ wody z Θ owej;
- *C_{ef}* ó wspó€zynnik skuteczno ci (sprawno ci) sk€dowania.

W przypadku zbiorników nie w petei zawodnionych wod, które mo na scharakteryzowa stopniem wypeteienia wod zbiornika S, mas sktadowanego dwutlenku w gla mo na oszacowa wg wzoru:

$$Q_s = A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S) \cdot \rho_{CO_2} \cdot C_{ef}$$
(4)

gdzie:

- Q_s ó masa sk dowanego CO₂ w cz ci zbiornika nie wype dionego wod ;
- A, h, i C_{ef} ó jak we wzorze (3);
- $_{CO2}$ ó g sto CO₂ w zale no ci od wyst puj cego ci nienia i temperatury.

Uwzgl dniaj c dodatkow mas CO_2 jak mo na sk dowa w zbiorniku wynikaj c ze ci liwo ci ska i wody porowej Q_{spr} oraz mas zwi zan z ewentualnymi reakcjami geochemicznymi z minera mi ska twórczymi i wod Q_m , mo na z pewnym uproszczeniem, wst pnie z uwzgl dnieniem aktualnego rozpoznania, oszacowa mas CO_2 , któr b dzie mo na ulokowa w rozpatrywanym zbiorniku jako sum $Q_r+Q_s+Q_{spr}+Q_m=Q$.

Przy ocenie masy sktadowanego CO₂ podstawow trudno stanowi okre lenie warto ci wspó ϵ zynnika skuteczno ci (sprawno ci) sktadowania. Rozrzut jego warto ci jest bardzo du y i wspó ϵ zynnik ten waha si od 1÷40%. Dla formacji regionalnych przyjmuje si 1÷4%, a dla indywidualnych struktur 3÷40% (Vangkilde-Pedersen i in., 2009). Najlepiej jest skorzysta (o ile to mo liwe) z wyników do wiadczalnych.

Podobnie trudno jest okre li , jaka cz wt€czanego CO₂ b dzie zaanga owana w reakcje ze ska€mi i cz ciami mineralnymi zawartymi w wodzie z€ owej. Zagadnienie to rozwi zuje si z pomoc modelowania, ale konieczna jest znajomo sk€du mineralnego ska€zbiornika oraz sk€du chemicznego wody.

Oszacowanie masy CO₂ mo liwej do ulokowania w wytypowanym zbiorniku warstw d bowieckich.

Omawiany zbiornik charakteryzuje si wystarczaj c mi szo ci , wyst powaniem dobrej izolacji nadk€du, ma€m zaanga owaniem tektonicznym, wyst powaniem napi tego poziomu wodono nego o zasoleniu powy ej 30 g/dm³, porowato ci od 9% do 18% oraz zmienn przepuszczalno ci (okre lon zbyt ma€ilo ci oznacze) mieszcz c si w przedziale od 1 do 363 mD. W rejonie wyznaczonego zbiornika przepuszczalno okre lona badaniami polowymi zawiera si w przedziale 10÷100 mD (Rys. **1.1.2.8**).



Rys. **1.1.2.8.** Mapa przepuszczalno ci utworów warstw d bowieckich na podstawie bada polowych (Solik-Heliasz, 2009).

Zbiornik ten spetia zalecane przez wiatowych specjalistów wi kszo kryteriów. Stosunkowo niska przepuszczalno i rednia porowato upowa niaj jedynie do wykonania oszacowania jego pojemno ci i masy CO₂ mo liwej do ewentualnego eksperymentalnego sk€dowania.

Oszacowanie pojemno ci przeprowadzono metod blokow o siatce 2km x 2km okre laj c dla ka dego bloku redni mi szo warstw zbiornika i redni porowato . Nast pnie zak tadaj c, e wszystkie wolne przestrzenie w ska tach s wype tione wod i przyjmuj c, e zat taczany CO₂ b dzie si rozpuszcza tw ilo ci rednio 50 kg/m³ wody (solanki), a wspó t zynnik skuteczno ci sk tadowania wyniesie 20%, oszacowano ewentualn mas Q_r mo liw do ulokowania w zawodnionych przestrzeniach porowych (Tab. **1.1.2.4**).

Oszacowano równie dodatkow pojemno zbiornika wynikaj c ze ci liwo ci ska \mathfrak{F} i wody przyjmuj c $\beta_s = 2,2 \cdot 10^{-4} MPa^{-1}$, $\beta_w = 3,9 \cdot 10^{-4} MPa^{-1}$, przy nadci nieniu 3 MPa.

$$Q_{spr} = V_{spr} \cdot \rho_{CO_2} \cdot C_{ef}$$
$$V_{spr} = A \cdot h \cdot (\beta_s + \varphi \cdot \beta_w) \cdot H_n$$

$Q_{spr} = 4352000 \text{ Mg}$

Pomijaj c ze wzgl du na brak danych mas dwutlenku w gla, która wejdzie w reakcje z minera ami mo na oszacowa, e zbiornik warstw d bowieckich w granicach okre lonych na Rys. **1.1.2.9** mo e (realistycznie bior c) pozwoli na ulokowanie oko **6 44 mln ton** CO₂.

Nume r	Powierzchnia	rednia porowato	rednia	Obj to	m _{CO2} - m _x =0,05	C _{ef} =0,2	Szacunek masy CO ₂ mo liwej Q _r
bloku	bloku [m²]	efektywna	mi szo [m]	por [m ³]	Mg		do sk€adowania w Mg
1	3349000	0,126	70	29538180,00	1476909,00	295381,80	39422406
2	3448000	0,104	79	28328768,00	1416438,40	283287,68	
3	3213000	0,110	83	29201350,50	1460067,53	292013,51	
4	4229000	0,117	102	50253207,00	2512660,35	502532,07	
5	4208000	0,123	87	45029808,00	2251490,40	450298,08	
6	4304000	0,122	88	46207744,00	2310387,20	462077,44	
7	1882000	0,101	125	23760250,00	1188012,50	237602,50	
8	4000000	0,110	140	61320000,00	3066000,00	613200,00	
9	4539000	0,107	82	39825186,00	1991259,30	398251,86	
10	2999000	0,106	85	27020990,00	1351049,50	270209,90	
11	2338000	0,117	80	21883680,00	1094184,00	218836,80	
12	2294000	0,127	104	30299152,00	1514957,60	302991,52	
13	2049000	0,140	102	29259720,00	1462986,00	292597,20	
14	2285000	0,109	85	21073412,50	1053670,63	210734,13	
15	2973000	0,098	85	24638737,50	1231936,88	246387,38	
16	2419000	0,094	141	31890886,50	1594544,33	318908,87	
17	5249000	0,109	134	76666894,00	3833344,70	766668,94	
18	5040000	0,142	137	97702920,00	4885146,00	977029,20	
19	4386000	0,166	156	113237748,00	5661887,40	1132377,48	
20	3550000	0,152	130	70148000,00	3507400,00	701480,00	
21	1461000	0,132	109	21020868,00	1051043,40	210208,68	
22	3663000	0,115	135	56868075,00	2843403,75	568680,75	
23	3472000	0,111	135	52027920,00	2601396,00	520279,20	
24	4000000	0,107	146	62196000,00	3109800,00	621960,00	
25	1929000	0,097	125	23268562,50	1163428,13	232685,63	
26	5491000	0,113	133	82524239,00	4126211,95	825242,39	
27	5146000	0,137	187	131354223,00	6567711,15	1313542,23	
28	5095000	0,139	150	106230750,00	5311537,50	1062307,50	
29	4000000	0,131	212	110664000,00	5533200,00	1106640,00	
30	4000000	0,123	183	90036000,00	4501800,00	900360,00	

Tab. 1.1.2.4. Zestawienie tabelaryczne wyników obliczeniowych.

31	4000000	0,119	156	74256000,00	3712800,00	742560,00
32	4000000	0,128	173	88576000,00	4428800,00	885760,00
33	4000000	0,118	175	82600000,00	4130000,00	826000,00
34	4088000	0,099	133	53826696,00	2691334,80	538266,96
35	4310000	0,099	83	35236405,00	1761820,25	352364,05
36	4000000	0,115	157	72220000,00	3611000,00	722200,00
37	5146000	0,134	204	140146164,00	7007308,20	1401461,64
38	3256000	0,113	155	56776500,00	2838825,00	567765,00
39	5584000	0,104	182	105185808,00	5259290,40	1051858,08
40	5290000	0,105	174	96648300,00	4832415,00	966483,00
41	5342000	0,111	154	90904814,00	4545240,70	909048,14
42	4000000	0,115	193	88394000,00	4419700,00	883940,00
43	4000000	0,102	149	60494000,00	3024700,00	604940,00
44	3707000	0,093	118	40680618,00	2034030,90	406806,18
45	3957000	0,095	137	51500355,00	2575017,75	515003,55
46	4000000	0,102	168	68544000,00	3427200,00	685440,00
47	4000000	0,114	187	85272000,00	4263600,00	852720,00
48	4849000	0,130	198	124813260,00	6240663,00	1248132,60
49	2762000	0,109	78	23374806,00	1168740,30	233748,06
50	3892000	0,107	80	33159840,00	1657992,00	331598,40
51	3181000	0,098	110	34116225,00	1705811,25	341162,25
52	3037000	0,095	201	57991515,00	2899575,75	579915,15
53	4000000	0,095	209	79002000,00	3950100,00	790020,00
54	4000000	0,094	206	77291200,00	3864560,00	772912,00
55	4000000	0,098	208	81369600,00	4068480,00	813696,00
56	3937000	0,104	234	95810832,00	4790541,60	958108,32
57	2583000	0,114	244	71848728,00	3592436,40	718487,28
58	3861000	0,103	77	30472942,50	1523647,13	304729,43
59	4000000	0,100	86	34228000,00	1711400,00	342280,00
60	2066000	0,091	226	42629430,80	2131471,54	426294,31
61	4000000	0,093	208	77376000,00	3868800,00	773760,00
62	4953000	0,101	174	87302568,60	4365128,43	873025,69
63	4607000	0,095	77	33700205,00	1685010,25	337002,05
64	2542000	0,095	137	33014479,20	1650723,96	330144,79

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza warunków geologicznych, hydrogeologicznych, górniczych z uwzgl dnieniem informacji z bada geofizycznych i warunków rodowiskowych w szeroko rozumianych warstwach d bowieckich wydzielono rejon (Rys. **1.1.2.3**) spetiaj cy podstawowe kryteria zbiorników przewidzianych do sktadowania CO_2 .

Granic tego rejonu okre lono wykorzystuj c warto ci progowe uj te w kryterium mi szo ci warstwy i porowato ci efektywnej z uwzgl dnieniem wyst powania warstwy izolacyjnej, g \in boko ci wyst powania warstw zbiornikowych, przepuszczalno ci, mineralizacji wody, zaburze tektonicznych oraz odleg \in ci zbiornika od emitenta (za \in 1÷8).

Dla tak wyznaczonego zbiornika wykonano mapy warstwicowe poszczególnych parametrów oraz przekroje geologiczne, a tak e wst pnie przeprowadzono oszacowanie pojemno ci zbiornika i okre lono mas CO₂, któr mo na by sk€dowa w tym zbiorniku.

Uzyskane rezultaty wskazuj, e zbiornik mo e by wykorzystany po wykonaniu otworu z kompletem bada wymaganych dla zato onego celu i przeprowadzeniu eksperymentalnego zattaczania. Jednak e jego pojemno jest niewystarczaj ca dla maksymalnego zapotrzebowania elektrowni poligeneracyjnej w K dzierzynie (2.9 mln ton x 25 lat = 73 mln ton << 44 mln ton), st d mo na ewentualnie rozpatrywa formacje dolnokarbo skie w podto u zbiornika warstw d bowieckich jako dodatkowe zbiorniki ó szczegótowa analiza zostanie przeprowadzona w II segmencie (nast pny raport dla rejonu GZW).



Rys. **1.1.2.9** Mapa wynikowa do oblicze pojemno ci geologicznego sk€dowania CO2 w zbiorniku warstw d bowieckich.

1.1.3 Wykonanie przestrzennych modeli facjalnych potencjalnych poziomów zbiornikowych i poziomów ekranuj cych

Jaros€aw Che ko ó GIG Janusz Jureczka, Marek Ga€ka ó PIG-PIB OG

Zgodnie z za€ eniami Projektu, punkt 1.1.3. šWykonanie przestrzennych modeli facjalnych potencjalnych poziomów zbiornikowych i poziomów ekranuj cychö dla rejonu Górno l skiego Zag€bia W glowego (GZW) obejmowa€tak e zagadnienia szczegó€we, realizowane przez G€wny Instytut Górnictwa (GIG) w ramach punktu 1.1.27. ó šOpracowanie przestrzennych modeli facjalnych dla GZWö, przy wspó€dziale Pa stwowego Instytutu Geologicznego ó Pa stwowego Instytutu Badawczego Oddzia€Górno l ski (PIG-PIB OG). W pierwszym etapie prac, którego wyniki s prezentowane w niniejszym raporcie, zosta€ przeanalizowane zagadnienia facjalne zwi zane z mo liwo ciami sk€dowania CO2 w poziomach solankowych.

Prace wst pne obejmowa€ okre lenie metodyki prac, a nast pnie analiz otworów wiertniczych pod k tem wyboru profili do interpretacji w wyznaczonych ó w innych punktach realizacji Projektu ó potencjalnych do sk€dowania CO2 rejonach badawczych. Wybrane rejony dotyczy€ utworów krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej karbonu górnego oraz warstw d bowieckich miocenu. / cznie przeanalizowano ok. 150 otworów wiertniczych, dla 65 otworów wykonano komputerow baz danych profili litologicznych. Nast pnie dla wybranych profili wykonano identyfikacj i korelacj horyzontów reperowych oraz poziomów zbiornikowych i uszczelniaj cych. Wyniki zosta€ przedstawione w formie szczegó€wych tabel korelacyjnych i przekrojów geologicznych.

Prace PIG-PIB OG skupia € si g€wnie na cz ci wst pnej (analizie profili otworów wiertniczych i poziomów korelacyjnych), okre leniu przebiegu profili korelacyjnych oraz wykonaniu komputerowej bazy danych profili litologicznych otworów. Prace GIG skupia € si g€wnie na opracowaniu korelacji facjalnych w wybranych rejonach badawczych.

W nast pnym etapie prac dla GZW zostan przeanalizowane zagadnienia facjalne zwi zane z mo liwo ciami sk dowania CO2 w pok dach w gla.

OPRACOWANIE PRZESTRZENNYCH MODELI FACJALNYCH DLA GZW

W ramach realizacji zadania na podstawie analizy profili otworów wiertniczych, opisu rdzeni i wyników bada stratygraficznych wykonano szereg korelacji mi dzyotworowych poziomów zbiornikowych i uszczelniaj cych w rejonie Górno 1 skiego Zag€bia W glowego. Wykonanie korelacji poprzedzone zosta€ analiz ok. 150 otworów wiertniczych pod k tem wyboru profili do interpretacji oraz okre leniem metodyki prac. Dla wybranych profili wykonano identyfikacj i korelacj horyzontów reperowych oraz poziomów zbiornikowych i uszczelniaj cych. Wykonane prace zosta€ oparte o dane z otworów wiertniczych przygotowanych i opracowanych przez Pa stwowy Instytut Geologiczny ó Pa stwowy Instytut Badawczy Oddzia€ Górno l ski w Sosnowcu. Do wykonania niniejszego opracowania wykorzystane zosta€ dane z otworów wiertniczych odwierconych g€wnie w latach 1965-1995, w tym otworów parametrycznych Pa stwowego Instytutu Geologicznego (odwierconych w latach 1977-1988), otworów firmy Amoco (odwierconych w latach 1994-1996) oraz z otworów poszukiwawczych wierconych za w glem i w znacznie mniejszym

stopniu z otworów wierconych przez firmy naftowe.

Przeprowadzona w ramach innych punktów šProjektuí ö analiza budowy geologicznej zag \in bia wykaza \in , e na jego obszarze potencjalne pod wzgl dem sk \in dowania CO2 mog by utwory dwóch karbo skich jednostek litostratygraficznych ó **górno l skiej serii piaskowcowej** i **krakowskiej serii piaskowcowej**, a w profilu utworów nadk \in du ó kompleks **warstw d bowieckich** zalegaj cy w sp gowej cz ci miocenu, na ogó \in bezpo rednio na stropie karbonu górnego ó Rys. **1.1.3.1**. Pewne potencjalne mo liwo ci mog mie równie utwory zalegaj cej poni ej utworów w glono nych, a mianowicie cz serii w glanowej (karbon dolny) oraz serii terygenicznej dewonu dolnego i kambru. Serie te zalegaj jednak na du ych g \in boko ciach (z wyj tkiem niewielkiego obszaru w skrajnie po \in dniowej cz ci GZW) i s w znikomym stopniu rozpoznane geologicznie, w zwi zku z czym odst piono od ich charakterystyki.

Ze wzgl du na zasi g nieprzepuszczalnych ilastych utworów miocenu oraz budow strukturaln utworów karbonu obszary bada dla krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej ograniczono wy€cznie do centralnej, wschodniej i po€dniowej cz ci zag€bia ó Rys. **1.1.3.1**. Z kolei dla warstw d bowieckich w badaniach nie uwzgl dniono skrajnej po€dniowo-wschodniej cz ci zag€bia, gdzie utwory te zalegaj pod nasuni ciem karpackim na znacznych g€boko ciach, a praktycznie ze wzgl du na stan rozpoznania skupiono si g€wnie na cz ci zachodniej wst powania tych warstw.



Rys. 1.1.3.1. Rozmieszczenie obszarów bada na obszarze GZW

Karbon górny ó górno 1 ska seria piaskowcowa (GSP)

Na wyznaczonym obszarze bada (Rys. **1.1.3.1**, kolor br zowy) górno l ska seria piaskowcowa w profilu utworów w glono nych karbonu górnego zalega pod przykryciem serii mu€wcowej, a w cz ci centralnej i wschodniej tego obszaru tak e pod przykryciem krakowskiej serii piaskowcowej. W nadk€dzie utworów karbonu na ca€m obszarze bada GSP wyst puj mi sze utwory ilasto margliste formacji skawi skiej miocenu.

Rejony bada szczegó€wych w obr bie wyst powania utworów GSP wyznaczono kartograficznie w ramach innych punktów šProjektuí ö na podstawie danych geologicznych z wierce (w tym zalegania stropu GSP na g€boko ciach co najmniej 800-850 m i jej mi szo ci nie mniejszej ni 50-100 m) oraz map geologiczno-strukturalnych karbonu (Jureczka i in., 2005). Pewne znaczenie mia€ równie uwzgl dnienie po€ enie czynnych kopal w gla kamiennego, w których pok€dy tej serii znajduj si w zasi gu eksploatacji do g€boko ci 1000-1200 m. Uwzgl dniaj c powy sze za€ enia wytypowano trzy potencjalne rejony bada pod k tem sk€dowania CO2 (Rys. **1.1.3.2**).

Potencjalne pod k tem sk€dowania CO2 rejony bada (Rys. 1.1.3.2) znajduj si w centralnej i po€dniowej cz ci zag€bia na obszarze rozleg€j struktury zwanej nieck g€wn ku po€dniowi przechodz cej w drug struktur brachysynklinaln ó nieck skoczowsk. S to nast puj ce trzy rejony:

- <u>Rejon Piasek-Studzienice</u> w cz ci centralnej GZW ó pomi dzy kopalniami šKrupi skiö i šPiastö
- <u>Rejon Paw€wice-Pszczyna- wiklice</u> w cz ci po€dniowej GZW ó pomi dzy kopalniami šPniówekö i šBrzeszcze-Silesiaö Ruch šSilesiaö
- <u>Rejon Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie</u> w cz ci po€dniowej GZW ó na po€dniowy-wschód od kopal Jastrz bskiej Spó€i W glowej.

Dla ka dego rejonu wykonane zosta€ tabele korelacyjne profili utworów górno l skiej serii piaskowcowej i utworów nadk€du (szczegó€wo przedstawione z za€cznikach: GSP/1, GSP/2a, GSP/2b, GSP/3a, GSP/3b). / cznie w 5 tabelach korelacyjnych uj to 25 otworów:

- GSP/1 ó Rejon Piasek-Studzienice: Amoco-Czarnków 1, Piasek IG-1, Amoco Studzienice 1, Amoco wierczyniec 1
- ◆ GSP/2a ó Rejon Paw €wice-Pszczyna- wiklice ó cz zachodnia: Warszowice Paw €wice TXA, Paw €wice 19, Studzionka IG-1, Paw €wice 6, Paw €wice 12, Paw €wice 11
- ◆ GSP/2b ó Rejon Paw 6wice-Pszczyna- wiklice ó cz wschodnia: Pszczyna 81, Amoco-Por ba 1, Amoco-/ ka 1, / ka IG-1, Amoco-Gocza €owice 1, Amoco-Pszczyna 1
- ♦ GSP/3a ó Rejon Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie ó cz pó€ocna: Zebrzydowice IG-53, Zebrzydowice 10, Drogomy l IG-1, Chybie IG-1, Czechowice IG-1
- ◆ GSP/3b ó Rejon Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie ó cz po€dniowa: Kaczyce 14, Kaczyce 27, D bowiec IG-1, Rudzica IG-1

Wybór otworów do korelacji utworów górno l skiej serii piaskowcowej by€mocno ograniczony ze wzgl du na znaczn g€boko zalegania serii, zw€szcza w rejonach badawczych Piasek-Studzienice i Paw€wice-Pszczyna wiklice. Przebieg linii korelacyjnych przedstawiono na figurach 3 i 4, a tabele korelacyjne na figurach oznaczonych GSP/1, GSP/2a, GSP/2b, GSP/3a, GSP/3b, b d cymi pomniejszonymi rysunkami za€czników.



Rys. 1.1.3.2. Rejony bada szczegó Swych górno 1 skiej serii piaskowcowej na mapie strukturalnej sp gu serii



Rys. 1.1.3.3 Profile korelacyjne w rejonach badawczych GSP: Piasek-Studzienice i Paw€wice-Pszczyna- wiklice na mapie strukturalnej sp gu serii



Rys. 1.1.3.4. Profile korelacyjne w rejonie badawczym GSP Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie na mapie strukturalnej sp gu serii











We wszystkich wyznaczonych rejonach badawczych utwory górno l skiej serii piaskowcowej zalegaj na ogó€znacznie poni ej g€boko ci 800 m (zaznaczona na powy szych tabelach korelacyjnych czerwon lini rz dna -550 m n.p.m. odpowiada mniej wi cej tej g€boko ci liczonej od powierzchni terenu). Tylko w skrajnie po€dniowo-wschodniej cz ci rejonu Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie strop serii zbli a si do g€boko ci ok. 850 m (GSP/3b ó Rudzica IG-1). W pozosta€j cz ci tego rejonu strop GSP zalega na g€boko ciach poni ej 1000 m, si gaj c nawet 1700 m (GSP/3a ó Zebrzydowice 10). Równie w dwóch pozosta€ch rejonach badawczych strop GSP zalega na g€boko ciach poni ej 1000-1100 m, si gaj c 1565 m (GSP/2b ó Amoco Pszczyna 1) w rejonie Paw€wice-Pszczyna- wiklice oraz 1538 m (GSP/1 ó Amoco wierczyniec 1) w rejonie Piasek-Studzienice. Przy czym, ze wzgl du na brak rozpoznania geologicznego maksymalne g€boko ci zalegania stropu GSP w obu tych rejonach nale y przyj o ok. 200-250 m wi ksze, co potwierdzaj mapy geologiczno-strukturalne (Jureczka i in., 2005). G€boko zalegania sp gu GSP wg map geologiczno-strukturalnych (Jureczka i in., 2005) jest zró nicowana w granicach (warto ci przybli one):

- a) 1100-1850 m w rejonie Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie
- b) 1050-2050 m w rejonie Paw Swice-Pszczyna- wiklice
- c) 1350-2050 m w rejonie Piasek-Studzienice.

Litologicznie utwory górno l skiej serii piaskowcowej s do zró nicowane. Na ogó€ zdecydowan przewag maj utwory gruboklastyczne (piaskowce rednio- i gruboziarniste, cz sto ró noziarniste, znacznie rzadziej zlepie ce). W stropowej cz ci serii na ogó€przewa aj utwory drobnoklastyczne (i€wce i mu€wce). Z tego powodu dla potencjalnego sk€dowania CO2 perspektywiczny jest sp gowy odcinek serii (odpowiadaj cy warstwom siod€wym), w którym dominuj utwory gruboklastyczne oraz grube pok€dy w gla.

We wszystkich otworach badanych rejonów w nadk€dzie górno l skiej serii piaskowcowej wyst puj utwory serii mu€wcowej o zró nicowanej litologii, ale w przewadze zbudowanej z utworów drobnoklastycznych (zw€szcza w dolnej cz ci serii odpowiadaj cej warstwom za€skim). Mi szo serii mu€wcowej jest silnie zró nicowana, na ogó€w granicach kilkuset metrów (maksymalnie si gaj c 1200 m), z wyj tkiem skrajnie po€dniowo-wschodniej cz ci rejonu Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie, gdzie jest ona znacznie mniejsza (nawet poni ej 100 m).

Ca€ utworów karbonu w omawianych rejonach jest przykryta ilastymi utworami miocenu (w tabelach oznaczone kolorem ó€ym). Utwory te maj zró nicowan mi szo , na ogó€nie mniejsz ni 150-200 m, a w rejonie Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie przekraczaj c nawet 1000 m.

Karbon górny ó krakowska seria piaskowcowa (KSP)

Obszar bada w obr bie wyst powania utworów krakowskiej serii piaskowcowej wyznaczono kartograficznie w ramach innych punktów šProjektuí ö Obszar ten wyznaczono na podstawie danych geologicznych z wierce (w tym zalegania sp gu krakowskiej serii piaskowcowej na g€boko ciach co najmniej 850-900 m) oraz map geologiczno-strukturalnych karbonu (Jureczka i in., 2005). Istotne znaczenie mia€ równie uwzgl dnienie po€ enie czynnych kopal w gla kamiennego, które eksploatuj pok€dy krakowskiej serii piaskowcowej. Uwzgl dniaj c powy sze za€ enia wytypowano trzy potencjalne rejony bada KSP w we wschodniej, centralnej i po€dniowej cz ci GZW (Rys. 1.1.3.5):

- **Rejon Zgo -Kobiór** w cz ci centralnej ó pomi dzy kopalniami šBoles€w mia€ö i šKrupi skiö oraz šPiastö;
- **Rejon Pszczyna- wiklice** w cz ci po€dniowej ó bezpo rednio na pó€oc od kopalni šBrzeszcze-Silesiaö Ruch šSilesiaö;
- **Rejon Polanka-Zator-Spytkowice** w cz ci wschodniej ó na po€dniowy-wschód od kopalni šJaninaö.

Dla ka dego rejonu wykonane zosta€ tabele korelacyjne profili utworów krakowskiej serii piaskowcowej i utworów nadk€du (szczegó€wo zestawione na za€cznikach (rysunkach): KSP/1, KSP/2, KSP/3)./ cznie w 3 tabelach korelacyjnych uj to 20 otworów;

KSP/1 ó Rejon Zgo -Kobiór: Woszczyce IG-1, Kobiór 92, Amoco Zgon 1, Kobiór 93, Studzienice 7, wierczyniec IG-24

KSP/2 ó Rejon Pszczyna- wiklice: Pszczyna 34, wiklice 1, wiklice IG-26, Mi dzyrzecze Bieru 81, Mi dzyrzecze Bieru 82

KSP/3 ó Rejon Polanka-Zator-Spytkowice: Por ba Wielka IG-1, O wi cim-Polanka 9, O wi cim-Polanka 2, Podolsze 40, Rozkochów 8, Spytkowice XXIV, Spytkowice 123, Ryczów 3, Ryczów 4.

Przebieg linii korelacyjnych przedstawiono na Rysunkach **1.1.3.6** i **7**, a tabele korelacyjne na Rysunkach oznaczonych KSP/1, KSP/2, KSP/3, b d cymi pomniejszonymi rysunkami za€czników.



Rys. 1.1.3.5. Rejony bada szczegó 6 wych krakowskiej serii piaskowcowej na mapie strukturalnej sp gu serii



Rys. **1.1.3.6.** Profile korelacyjne w rejonach badawczych KSP: Zgo -Kobiór i Pszczyna- wiklice na mapie strukturalnej sp gu serii



Rys. **1.1.3.7.** Profil korelacyjny w rejonie badawczym KSP Polanka-Zator-Spytkowice na-wiklice na mapie strukturalnej sp gu serii






W wyznaczonych rejonach badawczych utwory krakowskiej serii piaskowcowej zalegaj na zró nicowanych g€boko ciach, na ogó€poni ej 300-350 m (strop serii). We wszystkich tych rejonach cz profilu KSP przekracza przyjmowan do sk€dowania CO2 graniczn g€boko 800 m (zaznaczona na powy szych tabelach korelacyjnych czerwon lini rz dna -550 m n.p.m. odpowiada mniej wi cej tej g€boko ci liczonej od powierzchni terenu). Stosunkowo najmniejszy zasi g poni ej g€boko ci 800 m utwory krakowskiej serii piaskowcowej maj w rejonie Zgo - Kobiór i w€ ciwie mo na powiedzie , e w tym rejonie sp g KSP oscyluje wokó€tej g€boko ci (maksymalnie si gaj c 900 m w otworze Studzienice 7).

Znacznie korzystniej pod k tem zalegania utworów KSP poni ej g€boko ci 800 m przedstawiaj si dwa pozosta€ rejony badawcze. Praktycznie w ca€m rejonie Pszczyna- wiklice omawiane utwory zalegaj cz ciowo poni ej g€boko ci 800 m, a ich mi szo poni ej tej g€boko ci na ogó€znacznie przekracza 50 m si gaj c ponad 500 m w otworze Mi dzyrzecze-Bierun 81 (g€boko sp gu KSP ó 1314,60 m). Równie w rejonie Polanka-Zator-Spytkowice sp gowa cz profilu krakowskiej serii piaskowcowej na ogó€zalega poni ej g€boko ci 800 m, si gaj c 1040 m w otworze Ryczów 4.

Podstawowe znaczenie ma fakt, e w ka dym z wyznaczonych rejonów, gdzie utwory krakowskiej serii piaskowcowej zalegaj poni ej poziomu 800 m utwory te kontynuuj si powy ej tego poziomu do g€boko ci w granicach na ogó€200-400 m i dopiero nad ich stropem zalega kompleks nieprzepuszczalnych utworów ilastych miocenu. Inaczej mówi c, w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej powy ej g€boko ci 800 m nie mo na wyznaczy adnego nieprzepuszczalnego pakietu ilastego o mi szo ciach rz du 50 m i wi kszych. Wyst puj ce tu prze€wicenia ska€lastomu€wcowych (cz sto z pok€dami w gla) na ogó€nie przekraczaj 15-20 m grubo ci i s bardzo zmienne lateralnie. Praktycznie w ca€m profilu krakowskiej serii piaskowcowej (od sp gu do utwory gruboklastyczne (piaskowce rednio- i gruboziarniste, cz sto stropu) dominuj ró noziarniste oraz zlepie ce), sumarycznie cz sto si gaj c 90% mi szo ci profilu ca€j serii, zw€szcza w rejonach Pszczyna- wiklice i Polanka-Zator-Spytkowice. Tylko w niektórych otworach rejonu Zgo -Kobiór w profilu KSP wyst puj wi ksze przewarstwienia ska€ilastomu€wcowych, ale jest to rejon, w którym utwory KSP, rzadko przekraczaj g€boko 800 m (i na ograniczonych obszarach), a ponadto trudno tu jest wydzieli sta€ ó daj cy si prze ledzi lateralnie ó pakiet osadów drobnoklastycznych.

Miocen ó warstwy d bowieckie

Obszar wyst powania warstw d bowieckich wyznaczono kartograficznie w ramach innych punktów šProjektuí ö na podstawie danych ze 130 otworów wiertniczych. Rozpoznanie geologiczne tego obszaru jest bardzo zró nicowane ó Rys. **1.1.3.8**. Jest to g€wnie rozpoznanie otworami wiertniczymi, a tak e badaniami sejsmicznymi. Otwory wiertnicze charakteryzuj si zró nicowanym stopniem wiarygodno ci informacji, obok pe€ordzeniowych otworów, w tym parametrycznych otworów PIG, zlokalizowano tu tak e znaczn ilo bezrdzeniowych otworów naftowych. Najcenniejsze s informacje z parametrycznych otworów Pa stwowego Instytutu Geologicznego, w których wykonano ró nego rodzaju kompleksowe badania. W obr bie wyst powania utworów warstw d bowieckich w oparciu o kryteria geologiczne wst pnie wybrano dwa rejony badawcze:

- š<u>Cieszyn-Skoczów-Czechowice</u>ö ó w po€dniowo-zachodniej cz ci GZW i jego bezpo rednim obrze eniu
- š<u>K ty-Andrychów</u>ö ó w po€dniowej cz ci GZW i jego bezpo rednim obrze eniu.

W zakresie rozpoznania geologicznego zdecydowanie korzystniej wygl da cz zachodnia warstw d bowieckich, w której zosta€ wyznaczony podstawowy obszar bada dla warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice. Dla rejonu K ty-Andrychów praktycznie brak jest informacji geologicznych pozwalaj cych z wi kszym przybli eniem okre li litologi i zmienno facjaln warstw d bowieckich.

Dla rejonu **Cieszyn-Skoczów-Czechowice** zosta€ wykonanych 6 szczegó€wych przekrojów geologicznych pod k tem analizy facjalnej warstw d bowieckich, jako potencjalnego kolektora, oraz utworów nadk€du ó Rys. **1.1.3.9** (3 przekroje o kierunku W-E ó za€cznik DEB/1 i 3 przekroje kierunku N-S ó za€cznik DEB/2; do niniejszego Raportu ze wzgl du na rozmiary, przekroje zosta€ do€czone w 3 grupach po dwa przekroje). / cznie na przekrojach uj to 20 otworów:

przekroje o kierunku W-E

- I-Iø Cieszyn IG-1, Zamarski IG-1, Bielowicko IG-1, Pogórz 1, Jaworze IG-1
- II-IIøOchaby Wielkie 1, Rudzica IG-1, Mi dzyrzecze M1
- III-IIIøZab€cie 1, Ligota IV, Czechowice Ig-1, Ligota d

przekroje o kierunku N-S

- IV ó IV¢ Ogrodzona 1, Bielowicko IG-1, D bowiec IG-1, Ochaby Wielkie 1, Zab€cie 1
- V-Vø Pogórz 2, Pogórz 1, Bielowicko IG-1, Roztropice, Rudzica IG-1, Chybie IG-1

• VI-VIø Jaworze IG-1, Jasienica 2, Bronów I, Ligota IV

	Mi szo warstw d bowieckich [m]			
Otwór	ca€a	cz piaszczysta	cz zlepie cowa	Pod€ e
Drogomy 1 IG-1	44,60	16,10	28,50	karbon ó seria mu€wcowa
Chybie IG-1	83,50	66,90	16,60	karbon ó seria mu€wcowa
D bowiec IG-1	108,85	46,05	62,80	miocen - formacja k€dnicka
Bielowicko IG-1	124,00	25,60	98,40	miocen - ogniwo zamarskie
Rudzica IG-1	49,80	20,00	29,80	karbon ó seria mu€wcowa
Czechowice IG-1	30,10	-	30,10	karbon ó seria mu€wcowa
Cieszyn IG-1	87,00	-	87,00	sp ∲ w grawitacyjny fliszu karpackiego
Zamarski IG-1	85,8	18,00	67,80	miocen - ogniwo zamarskie

Tabela 1.1.3.1. Rozk€d miszo ci warstw d bowieckich w podziale na czpiaszczysti czzlepie cow w otworach parametrycznych PIG

W rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice warstwy d bowieckie tworz utwory gruboklastyczne ó piaskowce i zlepie ce o mi szo ciach zmiennych w przedziale od kilkukilkunastu metrów do 250 m (na ogó€w granicach 70-120 m), które wype€iaj zag€bienia w stropie utworów paleozoicznych i zalegaj na ogó€na utworach karbo skich lub dewo skich (lub te ó rzadziej ó w g€bokich rynnach erozyjnych zalegaj na starszych utworach mioce skich warstw zamarskich lub zebrzydowickich). Przykryte s nieprzepuszczalnymi osadami ilastymi miocenu formacji skawi skiej, b d te , na ograniczonym obszarze, zalegaj bezpo rednio pod nasuni ciem fliszu karpackiego.

Wyró niaj c cech gruboklastystycznych osadów d bowieckich jest wyra na, normalna gradacja uziarnienia w profilu pionowym. W profilach otworów obserwuje si stopniow zmian wielko ci ziarn od najgrubszych w sp gu warstw (g€zowiska, zlepie ce gruboziarniste z blokami ska€o wielko ci do 30-40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce drobno- i rednioziarniste). W profilu wy szej ó piaszczystej ó cz ci warstw d bowieckich przewa aj piaskowce rednio- i gruboziarniste, czasem ró noziarniste. Piaskowce te s s€bo zwi z€, wapniste, lityczno-arkozowe, cz sto o przek tnej laminacji podkre lonej zmian uziarnienia lub muskowitem. Z kolei w ni szej ó zlepie cowej ó cz ci warstw d bowieckich przewa aj zlepie ce drobno- i rednioziarniste, czasem ró noziarniste, na ogó€s€bo zwi z€, o rozproszonym lub zwartym szkielecie ziarnowym, polimiktyczne. Obie te cz ci ó piaszczysta i zlepie cowa ó maj zró nicowan mi szo , na ogó€ ni sza ó zlepie cowa, w niektórych otworach tworzy ona ca€ profil wi ksz mi szo ma cz warstw d bowieckich ó Tabela 1.1.3.1. Jedn z zasadniczych cech warstw d bowieckich s równie lateralne zmiany uziarnienia. Grubsze frakcje dominuj w cz ci po€dniowej omawianego obszaru. ziarn w ca€m kompleksie osadów. W pó€ocnej i pó€ocno-Ku pó€ocy zmniejsza si wielko zachodniej cz ci obszaru najgrubszymi frakcjami osadów d bowieckich s zlepie ce drobnoziarniste, a w profilu przewa aj piaskowce ró noziarniste.



Rys. **1.1.3.8** Rejony bada warstw d bowieckich na mapie mi szo ci tych warstw



Rys. **1.1.3.9.** Rozmieszczenie analizowanych otworów w zachodniej cz ci obszaru wyst powania warstw d bowieckich ó rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice





Legenda - patrz załącznik 7



Legenda - patrz załącznik 7



1.1.4 Analiza stref tektonicznych

Tomasz Urych, Jaros€aw Che ko ó GIG Janusz Jureczka, W€dzimierz Krieger, S€awomir Wilk ó PIG-PIB OG

Zgodnie z za€ eniami Projektu, punkt 1.1.4 šAnaliza stref tektonicznychö dla rejonu Górno l skiego Zag€bia W glowego (GZW) obejmowa€ tak e zagadnienia szczegó€we, realizowane przez G€wny Instytut Górnictwa (GIG) w ramach punktu 1.1.29 šStrefy uskokowe i sie tektoniczna GZWö, przy wspó€dziale Pa stwowego Instytutu Geologicznego ó Pa stwowego Instytutu Badawczego Oddzia€Górno l ski (PIG-PIB OG). W pierwszym etapie prac, którego wyniki s prezentowane w niniejszym raporcie, zosta€ przeanalizowane zagadnienia tektoniczne zwi zane z mo liwo ciami sk€dowania CO2 w poziomach solankowych. Prace obejmowa€ analiz budowy strukturalnej GZW oraz szczegó€w analiz tektoniczn wybranych ó w innych punktach realizacji Projektu ó potencjalnych do sk€dowania CO2 rejonów badawczych. Wybrane rejony dotyczy€ utworów krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej karbonu górnego oraz warstw d bowieckich miocenu. Prezentowana analiza tektoniczna dotyczy g€wnie utworów karbo skich (w utworach miocenu nie stwierdzono zaanga owania tektonicznego).

Prace PIG-PIB OG skupia \mathfrak{G} si g \mathfrak{G} wnie na opracowaniu szczegó \mathfrak{G} wych map strukturalnych wybranych rejonów badawczych. Prace GIG obejmowa \mathfrak{G} opracowanie stopnia zaanga owania tektonicznego GZW, szczegó \mathfrak{G} w analiz rejonów badawczych oraz ich charakterystyk tektoniczn wraz uwzgl dnieniem danych ze znajduj cych si w s siedztwie czynnych kopal, a tak e opracowania modelowe (modele g sto ci powierzchniowej uskoków oraz nieci g \mathfrak{G} ci).

Ponadto PBG opracowa€ materia€ archiwalne ó mapy grawimetryczne, które pozwalaj ledzi nieci g€ ci g sto ci o rodka geologicznego, w tym typu uskoków oraz kontaktów litologicznych.

W nast pnym etapie prac dla GZW zostan przeanalizowane zagadnienia tektoniczne zwi zane z mo liwo ciami sk€dowania CO2 w pok€dach w gla.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BUDOWY TEKTONICZNEJ GZW

Osady karbonu produktywnego buduj ce Górno I skie Zag€bie W glowe charakteryzuj si du ym zró nicowaniem wykszta€enia litologiczno-facjalnego oraz znacznymi zmianami mi szo ci. Doln cz osadów w glono nych karbonu reprezentuj osady paraliczne, a cz górn ó osady I dowe. Mi szo utworów karbonu produktywnego na obszarze GZW maleje od pó€ocnego-zachodu i zachodu w kierunku po€dniowo-wschodnim i wschodnim. W obr bie utworów w glono nych karbonu górnego na obszarze GZW wydzielone zosta€ nast puj ce serie litostratygraficzne:

- c) seria paraliczna (namur A),
- d) górno l ska seria piaskowcowa (namur B i C);
- e) seria mu€wcowa (westfal A i B),
- f) krakowska seria piaskowcowa (westfal C i D).

Szczegó€wo charakterystyka poszczególnych serii litostratygraficznych karbonu produktywnego oraz profil pod€ a i nadk€du s przedstawione w raporcie z zada 1.1.1. i 1.1.20.

Górno l skie Zag€bie W glowe charakteryzuje si skomplikowan budow tektoniczn ze wzgl du na swoj histori geologiczn . Du a ró norodno struktur tektonicznych na tym obszarze jest efektem nak€dania si ró nowiekowych procesów zachodz cych w orogenezie waryscyjskiej i

alpejskiej. Budowa Zag€bia powsta€ w wyniku oddzia€wania napr e poziomych skierowanych z zachodu oraz po€dnia i po€dniowego wschodu. Napr enia te by€ modyfikowane napr eniami spowodowanymi ruchem bloków g€bokiego pod€ a. Efektem oddzia€wania tych napr e by€ powstanie g€wnych struktur Zag€bia i ukszta€owanie si w€sno ci ska€buduj cych górotwór.

Na obszarze GZW mo na wyró ni trzy ró ni ce si stylem strefy tektoniczne: stref fa€ow, dysjunktywn i fa€owo-blokow.

Strefa tektoniki fa€lowej obejmuje struktury o kierunku NNE-SSW, wyst puj ce wzd€ zachodniego obrze enia Zag€bia, od Ostrawy przez Rybnik do Gliwic (Rys. 1.1.4.1.). Wyst puj tu niesymetryczne fa€ly, z zaznaczaj cymi si brachysynklinami (nieckami) i strukturami antyklinalnymi, zwanymi zaburzeniami, które miejscami przechodz w nasuni cia. Na obszarze rybnickim mo na wyró ni kolejno, od zachodu ku wschodowi, nast puj ce struktury: niecka jejkowicka, nasuni cie micha€owickie (rybnickie), niecka chwa€wicka i nasuni cie or€wskie (boguszowickie). Na obszarze Gliwic oba zaburzenia przechodz w stref cie nionych i stromych fa€lów.

Strefa tektoniki fa€lowej graniczy od wschodu ze stref tektoniki dysjunktywnej. Na obszarze rozgraniczaj cym obie strefy, ró ni ce si stylem tektoniki, wyst puje szereg struktur takich jak: synklina i siod 6 Jastrz bia, fa€l So nicy-Knurowa, niecka Concordii.

Najwi kszy obszar w GZW zajmuje **strefa tektoniki dysjunktywnej**. G€wna struktur jest tu niecka g€wna, ukszta€owana na bloku centralnym. Struktura ta jest rozleg€ nieck o upadach warstw do 15°. Ku pó€ocy niecka g€wna przechodzi w struktur antyklinaln ó siod€ g€wne, W siodle g€wnym zaznacza si kilka kopu€ Od zachodu ku wschodowi s to kopu€: Zabrza, Chorzowa, Mys€wic i Sosnowca. Dalej w kierunku pó€ocnym siod€ g€wne przechodzi w struktur synklinaln ó nieck bytomsk.

Strefa tektoniki dysjunktywnej charakteryzuje si wyst powaniem równole nikowych rowów i zr bów tektonicznych o du ej amplitudzie zrzutów, przewa nie w kierunku po€dniowym. Przewa aj uskoki normalno-zrzutowe o du ych k tach nachylenia p€szczyzn uskokowych (65-80°). Elementy strukturalne w centralnej i wschodniej cz ci GZW wykazuj kierunek NW-SE. Wa niejsze z nich tworz uskoki pó nowaryscyjskie, jak uskok Zawada ó Be€ ó O wi cim ó Nowe Dwory o zrzucie do 300-400 m, uskok ory ó Piasek ó Jawiszowice ó Wysoka o zrzucie do 1200 m i uskok Gorzyce ó Bzie Zameckie ó Czechowice ó K ty o zrzucie do 400-500 m. Dyslokacjami pó nomioce skimi s uskoki: k€dnicki, ksi cy, b dzi ski oraz rów Zawady, rów Chrzanów ó Krzeszowice i uskok Czechowice ó Marcypor ba. W czeskiej cz ci zag€bia na obszarze niecki karwi skiej wyst puj uskoki: bludowicki, hrabiowski, rychwa€zki o zrzucie do 450 m, d browski o zrzucie powy ej 500 m, a tak e uskoki: Olzy, stonawski i albrechcicki (Gabzdyl, Gorol, 2008).

Strefa fa€owo-blokowa zaznacza si w skrajnie pó€ocnej cz ci GZW i w pó€ocnowschodnim obrze eniu Zag€bia. Charakteryzuje si ona obecno ci wyd€ onych, niesymetrycznych struktur fa€owych (brachyfa€y, €ski), poprzecinanych uskokami o przebiegu po€dnikowym.

Przedstawiony poni ej szkic tektoniczny GZW ó Rys. **1.1.4.1** (Kotas, 1972) prezentuje wymienione struktury tektoniczne oraz po€ enie wybranych rejonów badawczych w utworach krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej karbonu górnego oraz warstw d bowieckich miocenu.



Rys. 1.1.4.1. Szkic tektoniki GZW (Kotas, 1972) Oznaczenia: 1 ó struktury antyklinalne, 2 ó struktury synklinalne, 3 ó nasuni cia, 4 ó uskoki, 5 ó numery struktur nie opisanych na mapie (5 ó siod€ micha€owickie, 6 ó fa€ or€wski. 7 ó fa€ So nicy-Knurowa, 8 ó niecka Concordii, 9 ó synklina rudzka, 10 ó niecka malinowicka, 11 ó siod€ sarnowskie. 12 ó siod€ Grodkowa. 13 ó kopu€ Maczek, 14 ó synklina d€goszy skowilkoszy ska, 15 ó siod€ Ci kowice-Trzebinia, 16 ó niecka Sierszy, 17 ó antyklina Mi kini, 18 ó niecka Nowej Wsi Szlacheckiej), 6 ó granica GZW; KSP1 ó rejon Polanka-Zator-Spytkowice, KSP2 ó rejon Pszczynawiklice, KSP3 ó rejon Zgon-Kobiór, GSP1 ó rejon Zebrzydowice-Drogomy 1-Chybie, GSP2 ó rejon Paw Swice-Pszczynawiklice, GSP3 ó rejon Piasek-Studzienice, DEB ó subregion w obr bie warstw d bowieckich

SZCZEGÓ/ OWA ANALIZA TEKTONICZNA W WYBRANYCH REJONACH BADAWCZYCH

Krakowska seria piaskowcowa

Krakowska seria piaskowcowa stanowi najm€dsz jednostk litostratygraficzn karbonu produktywnego GZW. Seri buduj g€wnie osady gruboklastyczne, udzia€ piaskowców i zlepie ców w profilu serii przekracza 70 %. Seria dzieli si na dwa ogniwa: warstwy €ziskie (westfal C) i warstwy libi skie (westfal D). Warstwy €ziskie s zbudowane ze ska€gruboklastycznych z €wicami mu€wców i i€wców z pok€dami w gla (pok€dy 201-218). Mi szo tych warstw zawiera si w przedziale od 500 do 900 m i wyst puj w nich 17 pok€dów w gla (Gabzdyl, Gorol, 2008). Warstwy libi skie stanowi kompleks piaskowców arkozowych z cienkimi €wicami mu€wców i i€wców. Profil tych warstw sk€da si z dziewi ciu pok€dów w gla (pok€dy 110-119). Mi szo warstw libi skich dochodzi do 525 m (Gabzdyl, Gorol, 2008).

W utworach krakowskiej serii piaskowcowej na podstawie kryteriów geologicznych wyznaczono trzy potencjalne dla sk€dowania CO2 rejony badawcze, po€ one w centralnej i wschodniej cz ci GZW(pod przykryciem ilastych utworów miocenu):

- d) Zgo -Kobiór
- e) Pszczyna- wiklice
- f) Polanka-Zator-Spytkowice.

Rejon Zgo -Kobiór

Rejon zlokalizowany jest generalnie na po€dniowy-zachód i po€dnie od miasta Tychy, na obszarze nast puj cych z€ rezerwowych w gla kamiennego: Za Rowem Be€kim, ory-Suszec, Kobiór-Pszczyna.

Geologicznie omawiany rejon jest po€ ony cz ciowo w zachodniej cz ci niecki g€wnej (na jej pó€ocnym sk€nie) gdzie zuskokowanie jest wi ksze ni w pozosta€ch jej cz ciach. Obszar ten rozci ga si wzd€ du ej strefy uskokowej Be€-O wi cim, a jego zdecydowanie wi ksza cz znajduje si w skrzydle zrzuconym uskoku be€kiego o amplitudzie zrzutu 300-400 m w kierunku po€dniowym. Ponadto omawiany rejon rozci ty jest przez tzw. rów Zawady o amplitudach zrzutu 200-300 m.

Od pó€ocy wyznaczony rejon Zgo -Kobiór cz ciowo graniczy z obszarem górniczym kopalni Boles€w mia€, gdzie wska nik zuskokowania osi ga warto 91,3 m/ha. Przy wschodniej granicy rejonu znajduj si kopalnie Piast i Ziemowit (wska niki zuskokowania odpowiednio 46,2 m/ha i 48 m/ha). Silnie zuskokowane obszary górnicze, po€ one najbli ej omawianego rejonu, to kopalnia D bie sko na zachodzie oraz kopalnia Krupi ski na po€dniu.

Budow strukturaln i tektoniczn rejonu Zgo -Kobiór przedstawia Rys. 1.1.4.2



Rys. **1.1.4.2.** Mapa tektoniczna rejonu Zgon-Kobiór w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej

Rejon Pszczyna- wiklice

Rejon Pszczyna- wiklice znajduje si na wschód o miejscowo ci Pszczyna i prawie w ca€ ci po€ ony jest na obszarze z€ a rezerwowego w gla kamiennego Kobiór- Pszczyna. Geologicznie zlokalizowany jest w centralnej cz ci niecki g€wnej (w obr bie jej po€dniowego sk€nu), w skrzydle zrzuconym regionalnej strefy uskokowej ory-Jawiszowice. Strefa ta ma zró nicowan amplitud zrzutu si gaj c 1000 m w kierunku po€dniowym.

Zuskokowanie tej cz ci niecki g€wnej, w której znajduje si omawiany rejon badawczy waha si w przedziale 25-65 m/ha. Rejon ten graniczy na po€dniu i na wschodzie z obszarami górniczymi kopalni Brzeszcze-Silesia. We wschodnim obszarze górniczym (Ruch Brzeszcze) wska nik zuskokowania wynosi 33,6 m/ha, a w po€dniowym (Ruch Silesia) ó 47,8m/ha. Budow strukturaln i tektoniczn rejonu przedstawia Rys. **1.1.4.3**.



Rys. **1.1.4.3.** Mapa tektoniczna rejonu Pszczyna- wiklice w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej.

Rejon Polanka-Zator-Spytkowice

Rejon badawczy Polanka-Zator-Spytkowice zlokalizowany jest we wschodniej cz ci GZW, na wschód od miejscowo ci O wi cim, na obszarze nast puj cych z€ rezerwowych w gla kamiennego: O wi cim-Polanka, Zator, Spytkowice, a w niewielkiej cz ci tak e Wis€ I ó Wis€ II i Wis€ Pó€oc.

Rejon Polanka-Zator-Spytkowice zlokalizowany jest we wschodniej cz ci niecki g€wnej, a cz pó€ocno-wschodnia le y w rejonie synkliny Nieporaz-Brod€. W tej cz ci zag€bia zuskokowanie waha si w przedziale 25-65 m/ha. Obszar omawianego rejonu cz ciowo w niewielkiej, pó€ocno-zachodniej cz ci graniczy z obszarem KWK Janina, gdzie wska nik zuskokowania wynosi 31,5 m/ha. Na zachód od omawianego subregionu usytuowane s obszary górnicze kopalni Piast oraz Brzeszcze-Silesia. Warto ci wska nika zuskokowania w rejonie tych kopal wynosz odpowiednio 46,2 m/ha i 33,6 m/ha. Rysunek 1.1.4.4 przedstawia budow strukturaln i tektoniczn w rejonie Polanka-Zator-Spytkowice.



Rys. 1.1.4.4. Mapa tektoniczna rejonu Polanka-Zator-Spytkowice w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej

Górno 1 ska seria piaskowcowa

piaskowcowa **zbudowana** jest g€wnie Górno l ska seria osadów Z gruboklastycznych (piaskowce, zlepie ce). Ska€m tym towarzysz wk€dki ska€ilastomu€wcowych oraz nieliczne pok€dy w gla, przewa nie o znacznej mi szo ci. Mi szo górno 1 skiej serii piaskowcowej w zachodniej cz ci GZW si ga 1000-1100 m. Mi szo ta maleje w kierunku wschodnim, a pok€dy w gla €cz si i wyklinowuj). Zawarto ska€ grubookruchowych w budowie serii zawiera si w przedziale 30-90 %, jednak na ogó€ przekracza 50 %. Utwory fitogeniczne stanowi przewa nie 6-9 %, a w niektórych przypadkach nawet 10 %. Osady GSP rozpoczynaj sedymentacj osadów 1 dowych karbonu produktywnego GZW. Osady te zalegaj bezpo rednio na utworach serii paralicznej. Na znacznym obszarze GZW granica pomi dzy utworami górno 1 skiej serii piaskowcowej a utworami serii paralicznej przebiega w sp gu pok€du 510. Natomiast w zachodniej cz ci granica ta biegnie wzd€ powierzchni rozmycia erozyjnego wyst puj cego w sp gu kompleksu piaszczysto-zlepie cowatego. We cz ci wschodniej wyst puje przerwa sedymentacyjna, która obejmuje kolejne odcinki GSP, jak i wy ej le ce utwory serii mu€wcowej. Seria ta dzieli si na dwa ogniwa litostratygraficzne: warstwy siod€we (namur B) i warstwy rudzkie sensu stricto (namur C).

Warstwy siod€we stanowi kompleks grubych €wic wirowców i szarog€zowych piaskowców oraz mu€wców i i€wców z pok€dami w gla (pok€dy 501-510). Mi szo warstw siod€wych w okolicach Jastrz bia wynosi od 240 do 290 m i maleje w kierunku wschodnim. Górna granica tych warstw zosta€ wyznaczona przez strop pok€du 501. Warstwy rudzkie *s.s.* zbudowane s g€wnie z piaskowców z €wicami wirowców, a tak e mu€wców i i€wców, g€wnie w cz ci stropowej. Mi szo tych warstw si ga 800 m. Pok€dy w gla wyst puj ce w tych warstwach maj zró nicowan mi szo do 6-8 m (pok€dy 408-419). Górna granica warstw rudzkich zosta€ wyznaczona ponad pok€dem 407 w stropie poziomu z faun s€dkowodn .

W utworach górno l skiej serii piaskowcowej na podstawie kryteriów geologicznych wyznaczono trzy potencjalne dla sk€dowania CO2 rejony badawcze, po€ one w centralnej i po€dniowej cz ci GZW(pod przykryciem ilastych utworów miocenu):

- g) Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie
- h) Pszczyna- wiklice
- i) Polamka-Zator-Spytkowice.

Rejon Zebrzydowice-Drogomy I-Chybie

Rejon Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie znajduje si w potedniowej cz ci GZW, generalnie na potednie od regionalnej strefy uskokowej Bzie-Czechowice. W przewa aj cej cz ci rejon ten nie pokrywa si z obszarami zto rezerwowych w gla kamiennego. Jedynie jego zachodnia cz poto ona jest na obszarze zto a rezerwowego Bzie-D bina oraz Zebrzydowice. Ponadto niewielki fragment obszaru w jego potedniowo-zachodniej cz ci wchodzi w obr b zlikwidowanej KWK Morcinek. Omawiany rejon jest stosunkowo stukturaln i tektonicznie. Na rysunku 1.1.4.5. przedstawiono budow strukturaln i tektoniczn omawianego rejonu.



Rys. **1.1.4.5.** Mapa tektoniczna rejonu Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie w obr bie górno l skiej serii piaskowcowej

Rejon Piasek - Studzienice

Rejon Piasek-Studzienice zlokalizowany jest w centralnej cz ci GZW w skrzydle wisz cym regionalnej strefy uskokowej ory-Jawiszowice-Wysoka, której amplitudy zrzutu w omawianym rejonie w utworach górno l skiej serii piaskowcowej si gaj ok. 550 m na po€dnie.

Omawiany rejon prawie w ca€ ci po€ ony jest na obszarze z€ a rezerwowego w gla kamiennego Kobiór ó Pszczyna. Na zachodzie graniczy z obszarem górniczym KWK Krupi ski, a na wschodzie ó z KWK Piast, gdzie wska nik zuskokowania osi ga warto 46,2 m/ha. Rejon ten po€ ony jest w centralnej cz ci niecki g€wnej (na po€dniowym sk€nie), gdzie zuskokowanie waha si w przedziale 25-65 m/ha. Budow strukturaln i tektoniczn rejonu Piasek-Studzienice przedstawia Rys. **1.1.4.6**.

Rejon Paw Swice-Pszczyna- wiklice

Rejon Paw€wice-Pszczyna- wiklice po€ ony jest w obr bie niecki g€wnej (po€dniowy sk€n) pomi dzy dwoma regionalnymi strefami uskokowymi: ory-Jawiszowice i Bzie-Czechowice. Omawiany rejon wchodzi w obr b nast puj cych z€ rezerwowych w gla kamiennego: Kobiór-Pszczyna, wiklice ó Mi dzyrzecze-Bieru, Warszowice-Paw€wice Pó€oc, Paw€wice, Studzionki-Mizerów.

Po€dniowa cz rejonu Paw€wice-Pszczyna- wiklice graniczy ze stref uskokow Bzie-Czechowice. Amplitudy zrzutu w tym rejonie wahaj sie w granicach 400-500 m, na po€dnie. Na zachodzie omawiany rejon graniczy z KWK Pniówek, a przy jego wschodniej granicy zlokalizowana jest kopalnia Brzeszcze-Silesia. Cz obszaru usytuowana jest w zachodniej cz ci niecki g€wnej, a wi c w rejonie dosy znacznie zaanga owanym tektonicznie (wska nik zuskokowania w granicach 75-90 m/ha).

Budow strukturaln i tektoniczn rejonu Paw€wice-Pszczyna- wiklice przedstawia Rys. 1.1.4.6.



Rys. **1.1.4.6.** Mapa tektoniczna rejonów Piasek-Studzienice oraz Paw&wice-Pszczyna- wiklice wytypowanych w obr bie górno l skiej serii piaskowcowej



Rys. 1.1.4.7. Mapa stropu utworów d bowieckich na wytypowanym obszarze.

Warstwy d bowieckie

Warstwy d bowieckie zaliczane s do osadów miocenu (neogen), wyst puj cych w g€bokich rynnach erozyjnych w po€dniowej cz ci GZW i jego obrze eniu. Utwory te wykszta€one s w postaci ska€gruboklastycznych: zlepie ców i piaskowców (sporadycznie przewarstwianych ska€mi drobnoklastycznymi: mu€wcami i i€wcami). Mi szo warstw d bowieckich na ogó€rzadko przekracza 100-120 m, ale miejscami osi ga nawet 250-260 m.

W utworach warstw d bowieckich na podstawie kryteriów geologicznych wyznaczono dwa potencjalne dla skadowania CO2 rejony badawcze:

- Cieszyn-Skoczów-Czechowice
- K ty-Andrychów.

W obu wyznaczonych rejonach nie stwierdzono zaanga owania tektonicznego w utworach mioce skich, w zwi zku z tym nie konstruowano map tektonicznych. Zaanga owanie tektoniczne (stosunkowo s€be) wykazuj tylko utwory zalegaj ce w pod€ u warstw d bowieckich ó karbonu oraz dewonu. Dla rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice w zwi zku z realizacj innych zada Projektu wykonano szereg map geologicznych oraz przekroje geologiczne prezentuj ce budow strukturaln pod€ a (zadania 1.1.20 i 1.1.24.) Jedn z nich, z po€ eniem tego rejonu badawczego przedstawia Rys. **1.1.4.7**.

STOPIE ZAANGA OWANIA TEKTONICZNEGO OBSZARU GZW

W przypadku podziemnego sk€dowania dwutlenku w gla wyst puj problemy szczelno ci struktury przeznaczonej na podziemne sk€dowisko. Obejmuj one zagadnienia zwi zane ze szczelno ci geologiczn i techniczn. Jedne i drugie s bardzo wa ne i wymagaj dok€dnych bada i analiz jeszcze przed rozpocz ciem sk€dowania CO₂. Szczelno struktury geologicznej czy wybranego obiektu jest podstawowym kryterium oceny i wyboru danego obiektu dla celów podziemnego sk€dowania dwutlenku w gla. Nieszczelna struktura geologiczna stwarza zagro enie dla rodowiska naturalnego i ludno ci. Dyskwalifikuje to jej przydatno dla celów unieszkodliwienia antropogenicznej emisji dwutlenku w gla (Tarkowski, Stopa, 2007).

Rozwa aj c mo liwo zat€czania dwutlenku w gla do utworów w glono nych karbonu zalegaj cych poni ej poziomów eksploatacyjnych kopal w gla kamiennego, nale y mie na uwadze fakt, i zat€czany gaz ma tendencj do migracji do po€ onych wy ej wyrobisk górniczych. Drog ucieczki gazu mog stanowi uskoki, towarzysz ce im szczeliny i sp kania, a tak e zlikwidowane otwory. Szczególnie wa ne jest to na obszarze GZW charakteryzuj cym si silnym zaanga owaniem tektonicznym, na co dowodem s liczne uskoki o du ym zasi gu g€boko ciowym, a tak e towarzysz ce im strefy sp ka , szczelin oraz brekcji tektonicznych.

Miar stopnia zaanga owania tektonicznego obszaru jest wska nik zuskokowania. Oblicza si go w oparciu o wska nik g sto ci powierzchniowej uskoków, który okre la stosunek sumarycznej d€go ci uskoków do powierzchni jednostkowej (Chudzicka, 1980). Wska nik g sto ci powierzchniowej uskoków oblicza si wg nast puj cego wzoru:

$$G_p = \frac{L_u}{F}$$

gdzie:

 L_u ó sumaryczna d \mathfrak{G} go wszystkich uskoków w obr bie wydzielonej powierzchni jednostkowej, [m],

 $F \circ$ powierzchnia jednostkowa, [10 000 m²],

przy czym przez d€go uskoku nale y rozumie lini intersekcji p€szczyzny uskoku z powierzchni sp gu pok€du w rzucie poziomym.

Na postawie obliczonej g sto ci powierzchniowej w poszczególnych polach oblicza si wska nik zuskokowania

$$W_{u} = \frac{\sum_{i=1}^{n} G_{pi}}{i} \frac{m}{10000m^{2}}$$

gdzie:

G_{pi}ó wska nik g sto ci powierzchniowej uskoków w polu jednostkowym,

i ó liczba pól jednostkowych.

Stopie zaanga owania tektonicznego obszaru GZW zosta \oplus wyznaczony na postawie sieci dyslokacji nieci g \oplus ch przedstawionych na *Mapie w glozasobno ci dla interwa* \oplus 500 ó 750 m p.p.m. z Atlasu geologicznego GZW w skali 1: 300 000 (Kwarci ski et al., 1999). Usytuowanie wytypowanych rejonów badawczych na tle sieci uskokowej przedstawione zosta \oplus na Rysunkach **1.1.4.266**. Przy obliczaniu wska ników zuskokowania obszarów górniczych przyjmuje si powierzchni jednostkow jako 10 000 m², a wi c 1 ha. Wyznaczaj c w tym zadaniu rejony mniej i bardziej zaanga owane tektonicznie, obszar GZW pokryto siatk obliczeniow , której jednostk elementarn jest kwadrat o boku 1000 m, a wi c powierzchni jednostkow stanowi 1 km². Aby dok \oplus dniej scharakteryzowa stopie zaanga owania tektonicznego obszaru GZW obliczono tak e procentowy udzia \oplus powierzchni w okre lonych przedzia \oplus ci powierzchniowej uskoków wzgl dem obszaru obliczeniowego. Wyniki tych oblicze zamieszczono w Tabeli **1.1.4.1**. Wyniki analizy stopnia zaanga owania tektonicznego poszczególnych subregionów przedstawiono w Tabeli **1.1.4.2** i **3** oraz na Rysunkach **1.1.4.9614**.

Klasa	Przedział wartości	Liczba pól	Udział %
I	$G_p = 0$	5776	75.25
П	$0 < G_p < = 1000$	6973	15.59
ш	$1000 < G_p <=$ 3000	698	9.09
IV	$3000 < G_p <=$ 5000	5	0.07
V	$G_p < 5000$	0	0

Tabela 1.1.4.1 Procentowy udzia€powierzchni w okre lonych przedzia€ch g sto ci powierzchniowej uskoków wzgl dem ca€go obszaru obliczeniowego GZW.

Tabela 1.1.4.2. Wska nik zuskokowania i procentowy udzia€powierzchni w okre lonych przedzia€ch g sto ci powierzchniowej uskoków wzgl dem obszaru obliczeniowego rejonów badawczych w obr bie KSP

Udziaûpowierzchni obszaru o okre lonej g sto ci	Rejony badawcze w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej			
powierzchniowej uskoków [%]	Polanka - Zator - Spytkowice	Pszczyna - wiklice	Zgon - Kobiór	
$G_p = 0$	36	35,8	42	
$0 < G_p < =1000$	38,6	32,8	32,8	
$1000 < G_p <= 3000$	25	31,4	25,2	
$3000 < G_p <= 5000$	0,4	0	0	
$G_{p} < 5000$	0	0	0	
Wu [m/ha]	7,1	7,1 6,9		

Tabela 1.1.4.3. Wska nik zuskokowania i procentowy udzia€powierzchni w okre lonych przedzia€ch g sto ci powierzchniowej uskoków wzgl dem obszaru obliczeniowego rejonów badawczych w obr bie GSP

Udziaûpowierzchni obszaru o okre lonej g sto ci	Rejony badawcze w obr bie górno I skiej serii piaskowcowej			
powierzchniowej uskoków [%]	Piasek -Studzienice	Pawŵwice Ë Pszczyna - wiklice	Zebrzydowice - Drogomy I - Chybie	
$G_p = 0$	42,9	45,6	59,5	
$0 < G_p < =1000$	35,7	34	33,8	
$1000 < G_p <= 3000$	21,4	20,4	6,2	
$3000 < G_p <= 5000$	0	0	0,5	
$G_p < 5000$	0	0	0	
Wu [m/ha]	5,3	6,5	3,7	



Rys. **1.1.4.8**. Wytypowane subregiony w obr bie KSP i GSP na tle mapy dyslokacji nieci g€ch GZW (skala mapy 1 : 500 000)



Rys. **1.1.4.9.** Mapa warto ci wska nika g sto ci powierzchniowej uskoków w rejonie Polanka - Zator - Spytkowice.



Rys. **1.1.4.10.** Mapa warto ci wska nika g sto ci powierzchniowej uskoków w rejonie Pszczyna - wiklice.



Rys. **1.1.4.11.** Mapa warto ci wska nika g sto ci powierzchniowej uskoków w rejonie Zgon ó Kobiór.



Rys. **1.1.4.12.** Mapa warto ci wska nika g sto ci powierzchniowej uskoków w rejonie Zebrzydowice - Drogomy 1 - Chybie.



Rys. **1.1.4.13.** Mapa warto ci wska nika g sto ci powierzchniowej uskoków w rejonie Paw€wice - Pszczyna ó wiklice.



Rys. **1.1.4.14.** Mapa warto ci wska nika g sto ci powierzchniowej uskoków w rejonie Piasek - Studzienice.



Rys. 1.1.4.15. Mapa warto ci wska nika zuskokowania na obszarze GZW.

Wska nik zuskokowania dla ca \in go badanego obszaru, wynosi 2,51 m/ha. Nale y zaznaczy, e podczas oblicze brano pod uwag tylko uskoki g \in wne, co jest zapewne przyczyn stosunkowo niskiej warto ci wska nika zuskokowania. Ponadto, jak wynika z informacji zamieszczonych w Tabeli **1.1.4.1**, 75 % ca \in go badanego obszaru stanowi pola jednostkowe, w których nie wyst powa \in uskoki (G_p=0).

Podczas analizy tektonicznej obszaru GZW (Jurczak-Drabek, Kwarci ski 2001), przeprowadzonej na podstawie mapy geologiczno-strukturalnej karbonu w skali 1:100 000 (Bu €, Kotas 1994), potwierdzono g€wne kierunki biegu uskoków i nasuni (Rys. 1.1.4.16). Obliczenia maj ce na celu uzyskanie warto ci redniego wska nika zuskokowania, wykaza€, e warto tego wska nika dla uskoków i nasuni regionalnych dla ca€go obszaru GZW wynosi $k_p = 7,07$ m/ha. Nale y przy tym zaznaczy , e warto tego wska nika w odniesieniu do uskoków i nasuni o zrzutach mniejszych od 100 m silnie zale y od stopnia rozpoznania geologicznego.



Rys. **1.1.4.16.** Diagram kierunków upadu p€szczyzn regionalnych uskoków i nasuni o wielko ci zrzutu < 100 m wyst puj cych na obszarze tektoniki dysjunktywnej GZW (wg Jurczak-Drabek, Kwarci ski 2001).

Dok€dniejsze dane dotycz ce stopnia zaanga owania tektonicznego uzyskano po przeprowadzeniu szczegó€wej analizy tektonicznej dla obszaru niecki g€wnej (Jurczak-Drabek, Kwarci ski 2001). Wykorzystano w tym celu mapy strukturalne pok€dów w gla dla obszarów górniczych nast puj cych kopal : šKrupi skiö, šSilesiaö, š oryö, šPniówekö. Analizowano wszystkie uskoki i nasuni cia o warto ci zrzutu >= 1 m. W efekcie wykazano znaczne zró nicowanie wska nika zuskokowania dla poszczególnych z€ . rednia warto wska nika zuskokowania w zachodniej cz ci niecki g€wnej GZW zawiera si w przedziale od 75 do 90 m/ha. Natomiast warto ta dla centralnej i wschodniej cz ci niecki g€wnej waha si w granicach od 25 do 65 m/ha.

OGÓLNY OBRAZ SIECI TEKTONICZNEJ GZW (MODEL USKOKOWY 6 FORMAT PETREL)

Opracowanie przestrzennego modelu dyslokacji wyst puj cych na obszarze GZW by€ niezb dne do stworzenia statycznego modelu parametrycznego dla tego rejonu. Modelowanie sieci uskokowej (*fault modeling*) stanowi pierwszy etap tworzenia modelu przestrzennego odzwierciedlaj cego budow strukturaln danego obszaru (*structural modeling*). Modelowanie dyslokacji nieci g€ch na obszarze GZW wykonane zosta€ za pomoc oprogramowania *Petrel* firmy *Schlumberger*.

Tworzenie modelu uskoków w tym programie mo e by przeprowadzone na podstawie danych dotycz cych przebiegu linii uskoków, interpretacji sejsmicznych, map strukturalnych, a tak e przy wykorzystaniu danych opracowanych wcze niej w innych programach. K t upadu powierzchni uskokowej, azymut, d€go i kszta€ uskoków s definiowane przez pionowe linie okre lane w programie Petrel jako Key Pillars. Linie te pe€i funkcj filarów, w oparciu o które budowany jest, w procesie tzw. Pillar griddingu, szkielet pierwotnego modelu 3D. W zale no ci od kszta€u i k ta upadu powierzchni danego uskoku, dla ka dego z nich, a tak e jego cz ci, mo na zadeklarowa typ linii, za pomoc których b dzie kszta€owany przebieg powierzchni uskokowej. Uskoki pionowe modelowane s przy u yciu linii pionowych kszta€uj cych uskok za pomoc dwóch punktów (Vertical Pillar). Uskoki liniowe o nachylonej powierzchni tak e kszta€owane s w oparciu o dwa punkty, ale typ linii o nazwie Linear Pillar daje mo liwo dowolnego sterowania k tem upadu powierzchni uskokowej. Uskoki listryczne (o zmiennym k cie upadu) mog by modelowane za pomoc linii krzywych kszta€uj cych powierzchni uskokow przy wykorzystaniu trzech punktów (Listric Pillar) lub za pomoc pi ciu punktów (Curved Pillar). Modelowane uskoki mog wygasa, wzajemnie si przecina, rozga€zia, czy te ulega pionowemu cinaniu. Na etapie procesu modelowania sieci uskokowej wszystkie uskoki musza by ze sob odpowiednio po€czone.

Skomplikowana budowa geologiczna GZW, charakteryzuj ca si zaawansowan tektonik fa€low i uskokow, sprawi€, e proces modelowania uskoków by€z€ ony i czasoch€nny.

Model uskokowy GZW (Fault model) opracowano w oparciu o dane G€wnego Instytutu Górnictwa oraz o linie dyslokacji nieci g€ch (uskoki, nasuni cia) zawartych na mapach w glozasobno ci z Atlasu geologicznego GZW w skali 1 : 300000 (Kwarci ski et al., 1999). Modelowanie nieci g€ ci na obszarze GZW zosta€ przeprowadzone dla utworów karbonu produktywnego. W efekcie wykonano dwa modele uskokowe. Pierwszy z nich opracowano dla przedzia€ g€boko ciowego od stropu karbonu do 1400 m p.p.m. Modelowany bieg powierzchni poszczególnych uskoków, k ty upadu oraz ich zasi g g€boko ciowy zosta€ ukszta€owany w oparciu o sie uskokow w poszczególnych interwa€ch g€boko ci. Opracowany model sk€da si z 258 uskoków. Ponad po€w z nich stanowi uskoki listryczne (53 %), a wi c posiadaj ce wkl s€ lub wypuk€ powierzchni stanowi uskoki modelowane liniowo z nachylon powierzchni uskokow . Pozosta€ cz uskokow (47 %). Drugi z wykonanych modeli uskokowych opracowano dla przedzia€ g€boko ci od 600 m p.p.m. do 1400 m p.p.m. Model sk€da si z 227 uskoków, z czego 93 % stanowi uskoki modelowane liniowo, a 7 % - uskoki listryczne. W obydwu opracowanych modelach nie wyst puj uskoki pionowe (Rys. 1.1.4.17 i 18).



Rys. 1.1.4.17. Rozmieszczenie modelowanych nieci g€ ci na obszarze GZW (od stropu karbonu do 1400 m ppm)



Rys. **1.1.4.18.** Rozmieszczenie modelowanych nieci g€ ci na obszarze GZW (od 600 do 1400 m p.p.m.).

Opracowanie materia (6) w archiwalnych (1.4.2 ó PBG) Pola potencjalne ó Zdzis (6) w uk, PBG

Dane grawimetryczne zebrano z obszaru w po€dniowej cz ci GZW, le cego pomi dzy miejscowo ciami Bielsko-Bia€ i Cieszyn, na pó€ocy dochodz cego do jez. Gocza€owickiego. Obszar ten zajmuje powierzchni 672 km².

ród€wy materia€pomiarowy z obszaru tego tematu zawarty jest w dwóch archiwalnych dokumentacjach bada grawimetrycznych:

- ◆ šDokumentacja pó€zczegó€wych bada grawimetrycznych, temat: Górno l skie Zag€bie W glowe 1972 r.ö ó J. Reczek, PBG.
- ◆ šDokumentacja szczegó€wych bada grawimetrycznych temat: Kaczyce ó Brzezówka 1978-79 r.ö ó T. Kleszcz, PBG.

Zdj cie pó€zczegó€we charakteryzowa€ si zag szczeniem ok. 4 pkt./km² i dok€dno ci typow dla tego typu prac, mieszcz c si w przedziale: ± 0.041 mgal. Celem bada by€ m. in. dostarczenie informacji o wg€bnych strukturach GZW, w szczególno ci g€boko ci zalegania utworów dewonu i pod€ a krystalicznego.

Zdj cie szczegó€we mia€ zag szczenie ok. 27 pkt./km² i dok€dno pomiarów w przedziale: +/- 0.014 mGal. Celem bada by€ zbadanie tektoniki karbonu i jego nadk€du pod k tem rozpoznania z€ w gli kamiennych.

W latach osiemdziesi tych ub. wieku w ramach tematu šMapa grawimetryczna Polski - ark. Cieszyn" (J. Grzywacz, S. Szczypa) materia€ ród€wy ujednolicono i zakodowano na komputerowe no niki.

W ko cu lat dziewi dziesi tych Przemys€Naftowy zainicjowa€dostosowanie pomiarów grawimetrycznych wykonanych w starym uk€dzie (uk€BG) do uk€du geodezyjnego (uk€42), obowi zuj cego w sejsmice. Ze wzgl du na wymogi interpretacji kompleksowej, dane grawimetryczne zosta€ przeliczone do uk€du 42. Przy okazji udoskonalono wiele elementów przetwarzania danych grawimetrycznych poprzez:

- uaktualnienie formu€ pola normalnego w obliczeniach katalogu anomalii Bouguera,
- znaczne poszerzenie zakresu oblicze poprawki topograficznej,
- zastosowanie nowej, rozszerzonej postaci algorytmu oblicze anomalii Bouguera.

Do opracowania wykorzystano archiwaln map anomalii Bouguera ze zmienn g sto ci redukcji opracowan w dokumentacji pt. šOkre lenie perspektyw poszukiwawczych z€ w glowodorów w rejonie Jastrz bie-Strumie -K työ wykonan przez PBG w 2005 roku.

Dla mapy anomalii Bouguera (Rys. 1.1.4.19) wykonano nast puj ce transformacje i mapy:

- Filtr cz stotliwo ciowy BTWR dla umownego przedzia€ g€boko ci 800-2000m (Rys. 1.1.4.20)
- Map pionowych granic g sto ci (uskoki, pionowe kontakty litologiczne) wyznaczonych przy pomocy zmodyfikowanej metody Linssera i metody špokry wielokrotnychö (Rys. 1.1.4.21)
- Map osi maksymalnego gradientu poziomego (uskoki, kontakty litologiczne) wyznaczonych przy pomocy metody špokry wielokrotnychö (Rys. **1.1.4.22**)

Celem transformacji by€ wydzielenie lokalnych struktur anomalnych a tak e okre lenie charakteru i przebiegu stref tektonicznych w przedziale g€boko ci istotnym dla geologicznej sekwestracji CO2. Na mapach pionowych granic g sto ci i osi gradientu poziomego wyró niono ró nymi kolorami dwa przedzia€ g€boko ci: 0-2000m i 2000-5000m.

Do wykonania zadania PBG wykorzysta€ oprogramowanie komercyjne SURFER, a tak e programy w€sne: GRID, TRANGRID, GENRYS, PLOTVIEW, PIGRLIN, PROFTEKT.



Rys. 1.1.4.19 Mapa anomalii Bouguera dla po€idniowej cz ci GZW.



Rys. **1.1.4.20** Mapa rezydualnych anomalii grawimetrycznych, dla orientacyjnej g€boko ci penetracji 0.8-2 km, dla po€dniowej cz ci GZW.



Rys. **1.1.4.21** Mapa osi maksymalnego gradientu poziomego (grawimetria), dla po€dniowej cz ci GZW.


Rys. **1.1.4.22** Mapa pionowych granic g sto ci wed€g grawimetrii, dla po€dniowej cz ci GZW.

1.1.5 Analizy parametrów petrologicznych i petrofizycznych dla skaûzbiornikowych i uszczelniaj cych

Janusz Jureczka, W 6 dzimierz Krieger, Jan Kwarci ski ó PIG-PIB OG

Pod k tem bezpiecznego sk€dowania CO2 na obszarze Górno l skiego Zag€bia W glowego w I segmencie by€ brane pod uwag poziomy solankowe wyst puj ce w nast puj cych utworach:

- miocen ó warstwy d bowieckie
- karbon górny (w glono ny) ó krakowska seria piaskowcowa
- karbon górny (w glono ny) ó górno l ska seria piaskowcowa seria piaskowcowa
- karbon dolny ó seria w glanowa
- dewon dolny / kambr ó utwory terygeniczne.

Podstawowe znaczenie mia€ utwory miocenu i karbonu górnego, po€ one g€wnie w po€dniowozachodniej, po€dniowej i po€dniowo-wschodniej cz ci GZW. Z przeprowadzonej w innych punktach badawczych projektu analizy budowy geologicznej karbonu i utworów nadk€du w GZW wynika, e potencja€do sk€dowania dwutlenku w gla na obszarze zag€bia i jego bezpo redniego otoczenia wykazuj tylko utwory dwóch karbo skich jednostek litostratygraficznych ó górno l skiej serii piaskowcowej i krakowskiej serii piaskowcowej, a w profilu utworów nadk€du ó kompleks warstw d bowieckich.

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

- litologiczno-facjalnych
- biostratygraficznych (florystyczne, faunistyczne, sporowe, mikrofaunistyczne)
- petrograficzno-mineralogicznych
- jako ciowych i ilo ciowych pok€dów w gla (tak e petrografii w gla)
- diagenetycznych
- tektonicznych
- hydrogeologiczno-gazowych
- geotechnicznych
- geofizycznych.

Badania te dotyczy § g€wnie utworów karbonu, a w mniejszym zakresie tak e utworów nadk €du (m.in. miocenu). Do za€ onych w niniejszym Projekcie celów zosta § wykorzystane wyniki bada z 18 takich otworów: Woszczyce IG-1, Wyry IG-1, Che€nek IG-1, Por ba egoty IG-1, Por ba Wielka IG-1, Krzy owice IG-1, Ruptawa IG-1, Studzionka IG-1, Drogomy I IG-1, / ka IG-1, Piasek IG-1, Chybie IG-1, Czechowice IG-1, Rudzica IG-1, D bowiec IG-1, Bestwina IG-1, Bielowicko IG-1, Zamarski IG-1. Rdzenie z tych otworów, z wyj tkiem cz ci profilu otworu Bielowicko IG-1, s zlikwidowane. Pozosta § próby pomniejszone z utworów karbonu (próby takie by § brane praktycznie z ka dej warstwy litologicznej, niestety cz z nich uleg € zniszczeniu) oraz szlify petrograficzne. Próby na badania petrograficzne by § pobierane z rdzenia na ogó €co 3-4 m, rednio z 1 otworu ó ok. 250-400 prób. Zakres wykonanych ówcze nie bada petrograficznych by € bardzo szeroki. Szeroki by € równie zakres bada innych w€sno ci petrofizycznych ska € wykonany w trakcie pozosta §ch bada , g€wnie hydrogeologicznych i geofizycznych. Szczegó €wo zakresy wykonanych bada przedstawione s poni ej.

Zakres bada petrograficznych w otworach PIG

1. Badania mikroskopowe przy u yciu mikroskopu polaryzacyjnego (Amplival):

• analiza jako ciowa i ilo ciowa na p€tkach cienkich z wszystkich pobranych prób

- wyniki w postaci zestawie tabelarycznych i graficznych oddzielnie dla osadów drobnookruchowych i ilastych oraz dla osadów redniookruchowych.
- sk€d granulometryczny poszczególnych frakcji oraz sk€d mineralny materia€ okruchowego i domieszek, udzia€ spoiwa, a tak e (dla osadów redniookruchowych) badania cech strukturalnych i teksturalnych, obrobienia materia€ klastycznego oraz wska ników petrograficznych i mineralogicznych, analiza obtoczenia ziarn.

2. Analiza planimetryczna sk€du mineralnego przy u yciu stolika integracyjnego (typ šEltinorö z o miokana€wym licznikiem):

- dla osadów redniookruchowych
- procentowy udzia€kwarcu, skaleni potasowych, plagioklazów, okruchów ska€€szczyków (biotyt, muskowit), chlorytu, udzia€spoiwa ilastego i w glanowego, etc
- 3. Analiza rentgenograficzna (aparat produkcji japo skiej typu šGeigerflexö firmy Rigaku):
 - sk€d mineralny substancji ilastej w osadach drobnookruchowych
 - spoiwo osadów redniookruchowych
- 4. Analiza spektrometryczna (aparat produkcji japo skiej typu šGeigerflexö firmy Rigaku):
 - sk€d mineralny substancji ilastej w osadach drobnookruchowych
 - spoiwo osadów redniookruchowych
- 5. Analiza deriwatograficzna (aparat produkcji w gierskiej, typ 1500, system F. Paulik, J. Paulik, L. Erdej)
 - sk ad mineralny substancji ilastej w osadach drobnookruchowych
 - spoiwo osadów redniookruchowych
- 6. Analiza minera€w ci kich
 - dla osadów redniookruchowych

Do okre lenia w sno ci petrofizycznych istotne znaczenie maj tak e wyniki innych bada wykonane w otworach PIG, m.in.:

- stopnia diagenezy, w tym pomiary g sto ci obj to ciowej (próbki pobierane co 25-30 cm)
- parametrów geotechnicznych: pr dko fali pod€ nej, wytrzyma€ na ciskanie i rozci ganie (próby pobierane co 5-10 m)
- parametrów hydrogeologicznych (na podstawie bada laboratoryjnych): m.in.: porowato , przepuszczalno , ods czalno , wspó€zynnik filtracji, tak e g sto obj to ciowa
- oraz kompleksowe badania geofizyczne (otworowe), w tym tak e akustyczne, pr dko ci rednich i termiczne.

Oprócz wyników bada wykonanych w parametrycznych otworach PIG do opracowania zagadnie w sno ci petrofizycznych i petrologicznych wykorzystane zosta sc równie wyniki bada z innych otworów odwierconych w GZW zlokalizowanych w wyznaczonych rejonach badawczych lub w ich bezpo rednim s siedztwie. S to g sc wnie wyniki z laboratoryjnych bada hydrogeologicznych wykonanych w otworach w glowych (w pojedynczych przypadkach tak e otworach naftowych). / cznie wykorzystano wyniki bada z 43 takich otworów, w tym:

- 5 otworów dla rozpoznania warstw d bowieckich: Bzie-D bina 8, 16, 31; Kaczyce 9; Kalembice 1
- 32 otworów dla rozpoznania krakowskiej serii piaskowcowej: wiklice 2, 9; Janina 83, 88, 90, 95, 96, 102; Kobiór 88, 92; Kobiór-Pszczyna 121; Mi dzyrzecze-Bieru 6, 12, 14, 35, 44, 59, 63, 77, 79, 81, 93; Mi dzyrzecze 9; O wi cim Polanka 4, 9, 10; Piast G2, Pszczyna 34, Silesia 9, 24; Studzienice 2, 6;
- 10 otworów dla rozpoznania górno 1 skiej serii piaskowcowej: Bzie-D bina 8, 16, 31; wiklice 2; Mi dzyrzecze-Bieru 10, Pszczyna 34, Paw€wice 1; Silesia 2, 9: Suszec 42

W niniejszej cz ci analizy petrologicznej i petrofizycznej szczegó€wo prezentowane s g€wnie wyniki bada petrograficznych oraz niektórych w€sno ci petrofizycznych (g sto obj to ciowa). Pozosta€ w€sno ci petrofizyczne (porowato , przepuszczalno) prezentowane s w skali ogólnej ó zbiorczej dla wyznaczonych rejonów badawczych, a w skali szczegó€wej w€sno ci te prezentowane s w innych zadaniach projektu ó zw€szcza w zadaniu 1.1.6 šCharakterystyka hydrogeologiczna formacji wodono nych i geochemiczna p€nów z€ owychö.

CHARAKTERYSTYKA PETROLOGICZNA

Karbon górny

Prezentowana poni ej analiza petrograficzna wyznaczonych rejonów badawczych w utworach karbo skich oparta jest o wyniki bada wykonane w otworach parametrycznych PIG (tab. 1). Szczegó €wy zakres wykonanych bada oraz podstawowe informacje metodyczne zosta € podane w przedstawionym wy ej zakresie bada petrograficznych w otworach PIG./ cznie analiz dla utworów karbo skich obj to 17 otworów wiertniczych, w których dla omawianych bada pobrano 1304 prób z utworów krakowskiej serii piaskowcowej i górno l skiej serii piaskowcowej (Tab. 1.1.5.1.). W analizie uj to równie wyniki bada dla serii mu€wcowej, oparte tak e o dok€dne i g ste opróbowanie tych utworów rz du kilkuset prób.

Tabela, 1,1,5,1, 0)próbowanie dla bac	la netrograficznych v	w otworach	parametryczny	vch PIG
	procomanic and out	a periogrameznyen	or or uon	parametri jezh	,

Seria	0	twory wiertnicze		Ilo prób	
litostratygraficzna	ilo	nazwa	redniookruchowe	drobnookruchowe	pozosta€
		Por ba egoty IG-1	202	30	-
		Che€nek IG-1	127	22	1
Imoleonaleo comio		Por ba Wielka IG-1	66	3	1
nieskowska seria	6	Woszczyce IG-1	23	23	-
plaskowcowa		Piasek IG-1	10	2	-
		Wyry IG-1	130	7	-
		razem:	558	87	2
		Krzy owice IG-1	-	-	-
		Studzionka IG-1	78	35	-
		Ruptawa IG-1	33	6	-
		Drogomy 1 IG-1	33	17	-
		Piasek IG-1	46	22	1
		/ ka IG-1	30	18	-
		Rudzica IG-1	35	6	-
górno 1 ska seria	15	D bowiec IG-1	24	10	-
piaskowcowa	15	Zamarski IG-1	33	22	-
		Bestwina IG-1	11	10	-
		Por ba Wielka IG-1	1	4	-
		Wyry IG-1	66	38	-
		Chybie IG-1	34	17	-
		Che€nek IG-1	6	-	-
		Czechowice IG-1	6	15	-
	ļ	razem:	436	220	1

Górno 1 ska seria piaskowcowa (GSP)

W obr bie wyst powania górno 1 skiej serii piaskowcowej w oparciu o kryteria geologiczne

wybrano trzy rejony badawcze w po€dniowej i centralnej cz ci GZW:

- 5. šPiasek-Studzieniceö w centralnej cz ci GZW, w skrzydle wisz cym uskoku jawiszowickiego,
- 6. šPaw€wice-Pszczyna- wikliceö w po€dniowej cz ci GZW, w skrzydle wisz cym uskoku ruptawskiego
- 7. šZebrzydowice-Drogomy l-Chybieö w po€dniowej cz ci GZW

W rejonach tych górno l ska seria piaskowcowa stanowi kompleks ska€ piaskowcowomu€wcowo-i€wcowy, w którym dominuj grubo€wicowe piaskowce osi gaj ce sumaryczne mi szo ci do 50-350 m (mi szo ca€j serii si ga 450 m, przewa nie wynosi w granicach 100-350 m). Strop serii zalega na ogó€na g€boko ciach od 900-1000 m do 1500-1700 m, pod przykryciem serii mu€wcowej o zró nicowanej mi szo ci od kilkudziesi ciu do 1000 metrów, nad któr wyst puj nieprzepuszczalne ilaste osady miocenu. Ze wzgl du na istotne znaczenie serii mu€wcowej, jako kompleks skalnego izoluj cego utwory górno l skiej serii piaskowcowej, poni ej przytoczono równie skrócon charakterystyk tej serii.

Petrologicznie utwory górno l skiej serii piaskowcowej zbadano w otworach: Studzionka IG-1, Drogomy l IG-1, Piasek IG-1, / ka IG-1, Rudzica IG-1, D bowiec IG-1, Zamarski IG-1, Chybie IG-1. Czechowice IG-1, Wyry IG-1, znajduj cych si na wyznaczonych obszarach badawczych oraz w otworach: Krzy owice IG-1, Ruptawa IG-1, Bestwina IG-1, Por ba Wielka IG-1, znajduj cych si w bezpo rednim s siedztwie obszarów badawczych,

Osady redniookruchowe górno l skiej serii piaskowcowej reprezentowane s przez piaskowce grubo i rednioziarniste, rzadziej drobnoziarniste i bardzo gruboziarniste oraz wirowcowe. Tekstura analizowanych piaskowców jest mikrokierunkowa lub bez€dna. Tekstura mikrokierunkowa zaznaczona jest przewa nie przez u€ enie €szczyków, laminarn koncentracj skupie syderytu pelitycznego oraz detrytu w glistego, rzadziej przez laminarne nagromadzenie minera€w ci kich. Stopie obtoczenia i wysortowania materia€ okruchowego jest zmienny. Najcz ciej wyst puj ziarna subowalne, rzadziej owalne i angularne. W niektórych próbkach stwierdzono znaczny udzia€ziarn o charakterze pirogenicznym.

Wed€g klasyfikacji F. J. Pettijohna i in. (1972) wyst puj tu g€wnie waki arkozowe i lityczne, rzadziej arenity sublityczne i subarkozowe. Wed€g klasyfikacji K. / ydki (1955) wyst puj tu g€wnie szarog€zy ni szego rz du i piaskowce polimiktyczne. Materia€okruchowy reprezentowany jest g€wnie przez kwarc, rzadziej wyst puj skalenie i okruchy ska€oraz w niewielkich ilo ciach €szczyki.

<u>Kwarc</u> jest minera€m dominuj cym. Ilo jego waha si w granicach od 24,2-96,2% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 62,1% . Kwarc wykazuje znikanie wiat€ proste lub faliste, rzadziej falisto-plamiste. Sporadycznie wyst puj w nim wrostki cyrkonu, turmalinu i \$szczyków.

<u>Skalenie</u> wyst puj w zró nicowanych ilo ciach i reprezentowane s przez skalenie potasowe, rzadziej plagioklazy. Skalenie potasowe to g€wnie ortoklaz i sporadycznie mikroklin o zbli niaczeniu kratkowym. Ziarna ortoklazu wykazuj objawy wietrzenia. Ilo skaleni potasowych wynosi do 24,6% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 8,1%. Plagioklazy wykazuj zbli niaczenia albitowe, a maksymalny k t wygaszania wiat€ wykazuje, e s kwa nymi oligoklazami o zawarto ci 10-15% anortytu. Ilo plagioklazów waha si w granicach do 18,0% zawarto ci materia€ okruchowego, przy redniej 2,2%. Ziarna plagioklazów równie wykazuj procesy wietrzenia.

<u>/ yszczyki</u> wyst puj w niewielkich ilo ciach i reprezentowane s przez muskowit i biotyt. Muskowit o charakterze do dobrze wykszta€onych €sek wyst puje w ilo ciach do 21,6% zawarto ci materia€ okruchowego, przy redniej 2,5%. Biotyt wyst puje jako minera€lekko zwietrza€ (niekiedy wie y). Ilo biotytu waha si w do 38,1% zawarto ci materia€ okruchowego, przy redniej 2,0%. Chloryt wyst puje sporadycznie w ilo ciach 0,0-3,8% zawarto ci materia€ okruchowego, przy redniej 0,2% i wykazuje przewa nie charakter minera€ pobiotytowego.

<u>Okruchy ska</u>€wyst puj w wyra nie wi kszych ilo ciach ani eli w piaskowcach serii wy ej i ni ej leg th. Reprezentowane s przez okruchy kwarcytów, rzadziej tpki kwarcytowe i okruchy ska€magmowych. W ród okruchów ska€magmowych wyst puj przewa nie okruchy t€ skalnego skaleniowego kwa nych ska€wylewnych, znacznie rzadziej okruchy ska€kryptoziarnistych oraz okruchy ska€g€binowych. Ilo kwarcytów waha si w granicach od 0,0 do 53,4% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 15,6%, a ilo okruchów ska€magmowych wynosi 0,0-12,2% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 2,3%.

<u>Spoiwo</u> piaskowców GSP jest zró nicowane. Wyst puje tu spoiwo mieszane kaolinitowoillitowe z domieszk chlorytu. W niektórych próbkach dominuje spoiwo illitowe przy niewielkim udziale substancji kaolinitowej i kwarcowej. Ilo spoiwa ilastego wynosi od 0,0 do 62,3% przy redniej 17,3%. W pojedynczych próbkach zaobserwowano udzia€spoiwa kwarcowego. Spoiwo w glanowe wyst puje w postaci domieszek i reprezentowane jest przez krystaliczny dolomit oraz pelityczny syderyt. Ilo spoiwa dolomitycznego wynosi od 0,0 do 53,4% przy redniej 1,9%, a ilo spoiwa syderytycznego wynosi od 0,0 do 65,0% przy redniej 1,4%.

<u>Minera & ci</u> kie GSP to w wi kszo ci minera s s bo odporne na wietrzenie, szczególnie szczyki. Z minera w szczykowych dominuje zwietrza biotyt i muskowit. Wyst puj równie : rutyl, turmalin i apatyt.

Osady drobnookruchowe górno l skiej serii piaskowcowej wyst puj w stosunkowo niewielkiej ilo ci i s reprezentowane przez mu&wce i i&wce.

<u>Mu€wce</u> wyst puj ce w GSP to przewa nie ska€ o strukturze mieszanej pelitowopsamitowo-aleurytowej i teksturze mikrorównoleg€j. Udzia€ frakcji pelitowej zamyka si przewa nie w przedziale 10-20% obj to ci masy ska€, sporadycznie dochodzi do 30%. Domieszka frakcji drobnopsamitowej waha si od 12% do 30%. Ziarna s przewa nie angularne, subangularne, rzadziej subowalne. Ziarna o kszta€ach piroklastycznych wyst puj sporadycznie.

W sk€dzie mineralnym materia€ okruchowego dominuje kwarc, którego ilo dochodzi do 90% obj to ci materia€ okruchowego. Skalenie reprezentowane s zarówno przez skale potasowy, jak i skale sodowo-wapniowy. Skale potasowy (ortoklaz) wyst puje rednio w ilo ci oko€ 10%, natomiast skale sodowo-wapniowy ó rednio w ilo ci 0,4%./ yszczyki wyst puj tu w znaczniej ale zmiennej ilo ci do 50%. Reprezentowane s przez biotyt, muskowit i chloryt. Biotyt wyst puje w postaci ró nej wielko ci €sek, zarówno wie ych jak i zwietrza €ch. Muskowit tworzy ró nej wielko ci €ski bezbarwne. Dosy cz sto obserwuje si procesy wietrzenia zachodz ce w kierunku hydromuskowityzacji. Chloryt wyst puje prawie w ka dej próbce w postaci drobnych €sek i jest on najprawdopodobniej produktem po wietrzeniu €sek biotytu. Okruchy ska€ reprezentowane s przewa nie przez kwarcyty i €pki mikowo-kwarcytowe. W masie spajaj cej o charakterze spoiwa kontaktowo-porowego obok minera€w ilastych wyst puje kwarc i skalenie tak potasowe jak i sodowo-wapniowe. Z minera€w ilastych dominuje kaolinit przy zwi kszonym udziale illitu. Zmienne w swej ilo ci domieszki substancji w glanowej to wy€cznie syderyt o strukturze mikrytowej. Substancja w glista wyst puje w postaci okruchów oraz laminarnych skupie .

<u>I€wce</u> charakteryzuj si struktur pelitow, tekstur ó najcz ciej kierunkow. Zbudowane s przewa nie z substancji drobnoziarnistej, cz sto z domieszk drobno€seczkowej substancji. Masa podstawowa i€wców zbudowana jest z substancji kaolinitowej przy sta€j zawarto ci pelitu kwarcowego. Podrz dnie w sk€d minera€w ilastych wchodz illit i chloryt. Cz st domieszk jest tu substancja w glanowa wykszta€ona w postaci pikrytu syderytu. W tej partii osadów wyst puj równie i€wce kryptokrystaliczne o teksturze bez€dnej.

Seria mu@wcowa (SM)

Osady serii mu€wcowej mo na traktowa jako warstw uszczelniaj c dla ni ej zalegaj cej górno l skiej serii piaskowcowej. Seria mu€wcowa wykszta€ona jest monotonnie. Dominuj w niej osady drobnoklastyczne, reprezentowane g€wnie przez mu€wce, a tylko podrz dnie przez i€wce. Petrologicznie utwory serii mu€wcowej zbadano w tych samych otworach, co wy ej wymienionych dla górno l skiej serii piaskowcowej.

<u>Osady redniookruchowe</u> serii mu€wcowej wykszta€one s jako piaskowce drobnoziarniste z do licznymi wk€dkami piaskowców rednioziarnistych. Rzadziej wyst puj piaskowce bardzo drobnoziarniste i gruboziarniste. Tekstura piaskowców jest zró nicowana. Cz ciej pojawia si tekstura bez€dna, rzadziej mikrokierunkowa. Tekstura mikrokierunkowa zaznaczona jest g€wnie przez kierunkowe, cz sto laminarne, nagromadzenie okruchów substancji w glistej oraz skupienia syderytu pelitycznego, rzadziej naprzemianleg€ przewarstwienia mu€wcowi-piaskowcowe i sporadycznie przez frakcjonalny rozdzia€materia€ okruchowego. Wysortowanie i obtoczenie materia€ okruchowego jest do dobre. Przewa aj ziarna subowalne i subangularne. Rzadziej wyst puj piaskowce z dominacj ziarn o charakterze pirogenicznym.

<u>Sktad mineralny</u> materia t ziarnistego w catem profilu serii mutowcowej jest zbli ony do siebie. Wedtag klasyfikacji K. / ydki (1955) piaskowce buduj ce t seri sytuuj si przewa nie w polu piaskowców polimiktycznych, jak równie w polu piaskowców kwarcowych. Wedtag klasyfikacji F. J. Pettijohna i in. (1972) s to zarówno arenity jak i waki. W ród arenitów dominuj arenity sublityczne i lityczne, rzadziej subarkozowe i kwarcowe. W ród wak wyst puj waki arkozowe, lityczne i sporadycznie kwarcowe.

Podstawowym materia€m buduj cym piaskowce jest kwarc wyst puj cy w ilo ciach 46,3-94,0% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 78,5%. Skalenie wyst puj w niewielkich ilo ciach i reprezentowane s g6wnie przez skalenie potasowe, rzadko plagioklazy. Ilo ich waha si w granicach 0,0 27,8% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 8,6%. / yszczyki wyst puj w niewielkich ilo ciach i reprezentowane s g6wnie przez muskowit (0,0- 10,2%, rednio 1,3%), rzadziej biotyt (0,0-9,2%, rednio 0,4%). Podwy szone ilo ci €szczyków wyst puj w piaskowcach z wi ksz zawarto ci materia€ pirogenicznego. Chloryt wyst puje sporadycznie (rednio 0,03 %) wykazuj c cechy minera€ pobiotytowego. Okruchy ska€ wyst puj w zró nicowanych ilo ciach uzale nionych przewa nie od wielko ci ziarn materia€ klastycznego. W piaskowcach drobnych i bardzo drobnoziarnistych ilo jest niewielka, natomiast wzrasta w piaskowcach gruboziarnistych, reprezentowane s przez kwarcyty drobnoziarniste (0,0-34,1%, rednio 7,1%), rzadziej przez okruchy kwa nych ska€magmowych (0,0-8,4%, rednio 1,9%) i €pków kwarcytowych (0,0-9,6%, rednio 1,3%).

<u>Spoiwo</u> piaskowców SM wyst puje najcz ciej w typie masy porowej lub kontaktowoporowej, a mas spajaj c jest substancja niskodwój€mna, kryptoziarnista o sk€dzie kaolinitowym przy do znacznym udziale spoiwa kwarcowego, reaguj cymi z ziarnami. Niekiedy obserwuje si niewielki udzia€spoiwa drobno€seczkowego o redniej dwój€mno ci i sk€dzie illitowym. Substancja w glanowa wyst puj ca jako domieszka w spoiwie reprezentowana jest zarówno przez syderyt pelityczny jak i przez drobnoziarnisty dolomit.

<u>Minera € ci</u> kie w SM reprezentowane s przez cyrkon, nast pnie rutyl, turmalin i apatyt. Biotyt wyst puje w niewielkich ilo ciach, jak i minera €silnie zwietrza €.

<u>Osady drobnookruchowe</u> analizowane z serii mu€wcowej to przewa nie mu€wce i w nieco mniejszej ilo ci i€wce.

<u>Mu€wce</u> charakteryzuj si struktur aleurytow grubo- lub drobnoziarnist, z domieszk materia€ pelitowego oraz drobnopsamitowego. Nieco rzadziej analizowano mu€wce, które charakteryzuj si struktur prawie wy€cznie aleurytow, drobno- lub gruboziarnist, zawieraj c

tylko niewielkie domieszki materia€ pelitowego. Odznaczaj si przewa nie tekstur kierunkow, niekiedy nieci g€, a znacznie rzadziej bez€dn . Materia€ziarnisty zarówno frakcji aleurytowej jak i drobnopsamitowej jest wyra nie kanciasty lub ostrokraw dzisty i dominuj tu ziarna o kszta€ach angularnych, subangularnych, rzadziej subowalnych. Ziarna o kszta€ach piroklastycznych wyst puj sporadycznie.

G€wnym sk€dnikiem materia€ ziarnistego jest kwarc przy niewielkiej zawarto ci skaleni do 20%, minera€w €szczykowych oko€ 15%. W minimalnej ilo ci wyst puj okruchy ska€ó oko€ 6%. Ze <u>skaleni</u> zaobserwowano g€wnie ziarna ortoklazu i tylko w pojedynczych próbkach i w bardzo niewielkiej ilo ci plagioklazy. Skalenie najcz ciej ulegaj procesom wietrzenia id cym w kierunku kaolinityzacji. Z mik_wyst puje przewa nie muskowit oraz biotyt i chloryt. Okruchy ska€ to nieliczne wyst puj ce kwarcyty drobnoziarniste oraz €pki kwarcowe lub mikowo-kwarcowe.

Masa spajaj ca materia€ziarnisty w typie spoiwa porowego lub porowo-kontaktowego jest to substancja wykszta€ona w postaci drobnoziarnistej o obni onej dwój€mno ci, zawieraj ca cz sto domieszk substancji drobno€seczkowej o podwy szonej dwój€mno ci. Prawie sta€ domieszk jest <u>substancja w glanowa</u> wykszta€ona g€wnie w postaci pelitowego lub bardzo drobnoziarnistego syderytu. Dosy cz sto spotyka si wyra ne formy sferolityczne lub oolity syderytyczne. Analizowane mu€wce zanieczyszczone s w ró nym stopniu <u>substancj w glist</u>, która wyst puje w postaci okruchów lub laminarnych skupie .

<u>I€wce</u> wyst puj ce w SM to ska€ o strukturze pelitowej, teksturze kierunkowej. Masa podstawowa zbudowana jest z agregatu silnie zrekrystalizowanego o jednorodnym wygaszaniu wiat€ i obni onej dwój€mno ci, barwy blado brunatnej. G€wnym sk€dnikiem mineralnym tych i€wców jest kaolinit, który dominuje nad illitem, chlorytem, skaleniami i kwarcem. Udzia€ substancji w glistej jest niewielki i wyst puje w postaci bardzo drobnych okruchów lub brunatnego pigmentu.

Drugi typ analizowanych i€wców to ska€ o strukturze aleurytowo-pelitowej, teksturze równoleg€j. Udzia€materia€ detrytycznego zamyka si w przedziale 20 ó 40% obj to ci ska€, co bardzo zbli je do mu€wców. Zdecydowanie przewa aj ziarna kwarcu nad skaleniami, \$szczykami oraz okruchami ska€krzemionkowych. Drobne domieszki w glanów wyst puj cych w tych i€wcach to syderyt wykszta€ony w postaci pikrytu.

Podstawow mas skaln i€wców stanowi kaolinit przy pewnej zawarto ci illitu i chlorytu, który zosta€stwierdzony tylko metod rentgenowsk . W masie tej ponadto tkwi drobne okruchy lub laminki substancji w glistej oraz grudki tlenków elaza a niekiedy tak e krystaliczny piryt.

Krakowska Seria Piaskowcowa (KSP)

W obr bie wyst powania krakowskiej serii piaskowcowej w oparciu o kryteria geologiczne wybrano trzy rejony badawcze w centralnej, po€dniowej i wschodniej cz ci GZW:

- **šZgo** -**Kobiórö** w centralnej cz ci GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku beskiego,
- šPszczyna- wikliceö w po€dniowej cz ci GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku jawiszowickiego,
- šPolanka-Zator-Spytkowiceö we wschodniej cz ci GZW,

Krakowsk seri piaskowcow w wyznaczonych rejonach badawczych tworzy kompleks piaskowcowo-mu€wcowy, osi gaj cy mi szo ci rz du 200-800 m. Wodono ne s kompleksy gruboklastyczne, których udzia€w profilu litologicznym waha si od 75 do 90% ogólnej mi szo ci. Zbiorniki zalegaj na g€boko ciach na ogó€od 250-450 m (strop KSP) do 800-1100 m (maksymalnie ok. 1250 m) ó sp g KSP i s przykryte ilastymi utworami neogenu o mi szo ciach wynosz cych na ogó€200-400 m, maksymalnie do 650 m. Istotne znaczenie ma fakt, e w ka dym z wyznaczonych obszarów, gdzie utwory krakowskiej serii piaskowcowej zalegaj poni ej poziomu 800 m utwory te kontynuuj si powy ej tego poziomu do g€boko ci w granicach na ogó€200-400 m.

Inaczej mówi c w obr bie krakowskiej serii piaskowcowej powy ej g€boko ci 800 m nie mo na wyznaczy adnego nieprzepuszczalnego pakietu ilastego o mi szo ciach rz du 50 m i wi kszych. Wyst puj ce tu prze€wicenia ska€ilasto-mu€wcowych (cz sto z pok€dami w gla) na ogó€nie przekraczaj 15-20 m grubo ci i s bardzo zmienne lateralnie.

Petrologicznie utwory krakowskiej serii piaskowcowej zbadano w otworach: Por ba egoty IG-1, Chetenek IG-1, Por ba Wielka IG-1, Piasek IG-1, Woszczyce IG-1 i Wyry IG-1.

<u>Osady redniookruchowe</u> to piaskowce g€wnie grubo- i rednioziarniste jak równie piaskowce bardzo gruboziarniste. Mniejszy udzia€maj piaskowce drobnoziarniste i wirowcowe. Tekstura piaskowców KSP jest najcz ciej bez€dna, rzadko mikrokierunkowa zaznaczona przez €ski mik lub frakcjonalny rozdzia€nateria€ klastycznego. Wysortowanie materia€ ziarnistego jest s€be; dotyczy to g€wnie piaskowców bardzo gruboziarnistych lub wirowców. Obtoczenie ziarn jest do dobre; dominuj tu ziarna subowalne, subangularne i owalne; w piaskowcach drobnoziarnistych wi kszy udzia€maj ziarna subangularne i angularne. W niektórych próbkach stwierdzono obecno ziarn pirogenicznych.

Wed€g klasyfikacji F. J. Pettijohna i in. (1972) piaskowce krakowskiej serii piaskowcowej to arenity sublityczne i subarkozowe, arenity lityczne oraz waki arkozowe i lityczne. Wed€g klasyfikacji K. / ydki (1955) wyst puj tu szarog€zy wy szego rz du i rzadziej szarog€zy ni szego rz du.

Sk€d mineralny poszczególnych komponentów okruchowych jest nast puj cy: kwarc jest minera€m podstawowym, skalenie i okruchy ska€wyst puj w zmiennych ilo ciach a udzia€ €szczyków najcz ciej jest niewielki. Kwarc wyst puje w ilo ciach 22,2-92,3% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 49,6%. Skalenie reprezentowane s prawie wy€cznie przez skalenie potasowe ó g€wnie ortoklaz i sporadycznie mikroklin. Ilo skaleni wyst puje w granicach 0,0-39,6% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 17,5%. Plagioklazy wyst puj w minimalnych ilo ciach do 5% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 0,03%. / yszczyki reprezentowane s przez biotyt i muskowit. Biotyt wykazuje s€by stopie zwietrzenia. biotytu waha si w granicach 0,0-35,1% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej Ilo biotytu jest zmienna i cz sto uzale niona od wielko ci materia€ ziarnistego. / uski 4,1%. Ilo biotytu spotyka si nawet w piaskowcach gruboziarnistych i wirowcowych. Podwy szone ilo ci biotytu stwierdza si w piaskowcach o znamionach tufitowych. Muskowit wyst puje w postaci €isek, a ilo jego waha si w granicach od 0,0-20% zawarto ci materia€ okruchowego przy redniej 1,6%. Chloryt wyst puje w minimalnych ilo ciach i w nielicznych próbkach wykazuj c cz sto cechy minera€ pobiotytowego. Ilo chlorytu wynosi od 0 do 5% zawarto ci materia€ do okruchowego przy redniej 0,2%. Okruchy ska€wyst puj w ilo ciach znacznie wi kszych ni w serii ni ej leg€j (SM) i reprezentowane s przez okruchy kwarcytów (0,0-61,4%, rednio 14,8%), rzadziej okruchy €pków ó g€wnie kwarcytowych (0,0-25,0%, rednio 4,2%) oraz kwa nych ska€ magmowych (0,0-10,3%, rednio 2,4%).

<u>Spoiwo</u> osadów redniookruchowych KSP wyst puje w niewielkich ilo ciach, niewiele przekraczaj cych 15%. Sk€d mineralny substancji ilastej jest kaolinitowy i jak wykaza€ analizy rentgenostrukturalne o strukturze minera€ do dobrze uporz dkowanego, przy domieszce minera€w mikowych i chlorytu. Domieszka w glanów w spoiwie piaskowców jest niewielka i reprezentowana g€wnie przez sparyt dolomitowy, rzadko przez mikryt syderytowy. Sparyt dolomitowy w nielicznych próbkach stanowi typ spoiwa bazalnego. Ilo spoiwa dolomitycznego w tej serii wynosi 0,0-38,1% przy redniej 2,2%, a zawarto spoiwa syderytycznego wynosi 0,0-10,6% przy redniej 0,2%.

<u>Minera€ ci</u> kie analizowane w osadach krakowskiej serii piaskowcowej to g€wnie biotyt i granat. Pozosta€ minera€ wyst puj w mniejszych ilo ciach.

<u>Osady drobnookruchowe</u> krakowskiej serii piaskowcowej to g€wnie i€wce i mu€wce.

<u>I€wce</u> s to ska€ zarówno o strukturze wy€cznie pelitowej, jak i równie o strukturze

mieszanej, aleurytowo-pelitowej (i€wce mu€wcowe lub pylaste). Charakteryzuj si tekstur s€bo mikrokierunkow lub bez€dn. Tekstur mikrokierunkow zaznaczaj przewa nie kierunkowo u€ one drobne €ski minera€w ilastych, rzadziej laminarne nagromadzenia substancji w glanowej i substancji w glistej.

I€wce o strukturze pelitowej, jak równie o strukturze aleurytowo- pelitowej, zbudowane s z substancji mikroziarnistej o obni onej dwój€mno ci, z niewielkim udzia€m substancji drobno€seczkowej o podwy szonej dwój€mno ci. G€wnym sk€dnikiem mineralnym tych i€wców jest kaolinit, który przewa a nad illitem, chlorytem i kwarcem. Udzia€ substancji w glanowej jest niewielki i wyst puje w postaci pikrytu syderytowego.

Udzia€materia€ detrytycznego w i€wcach mu€wcowych zamyka si w granicach od 10% do sporadycznie 45%. S to prawie wy€cznie ziarna kwarcu oraz drobne €ski jasnej miki i okruchy ska€Substancja w glista wyst puje w postaci drobnych okruchów i lamin.

<u>Mu G wce</u> analizowane z KSP charakteryzuj si struktur mieszan pelitowo-psamitowoaleurytow . Odznaczaj si przewa nie tekstur kierunkow zaznaczon przez kierunkowe uG enie Gsek mik oraz laminki substancji w glistej, jak równie przez smu yste uG enie domieszek substancji w glanowej. W materiale ziarnistym obserwujemy ziarna regularne, subangularne oraz subowalne; sporadycznie wyst puj ziarna piroklastyczne.

W sk€dzie mineralnym materia€ okruchowego dominuje kwarc nad skaleniami, §szczykami i okruchami ska€Kwarc wyst puje w ilo ci do 90% obj to ci masy ziarn, niekiedy tylko w ilo ci oko€ 50%. Skalenie wyst puj c w ilo ci rednio 7,5% to g€wnie skalenie potasowe, na których widoczny jest s€by stopie wietrzenia, zachodz cy w kierunku kaolinityzacji. Plagioklazy wyst puj w niewielkiej ilo ci, rednio oko€ 0,3%./ yszczyki reprezentowane s przez biotyt, muskowit i chloryt. Biotyt wyst puje wy€cznie w postaci €isek prawie niezmienionych. Muskowit tworzy drobne, lekko postrz pione €iski. Chloryt wyst puje w minimalnej ilo ci. Z okruchów ska€ analizowano okruchy drobnoziarnistych kwarcytów i €ipków kwarcytowomikowych. Ilo ich wynosi oko€ 1,7%

Masa spajaj ca o typie spoiwa porowego jest to substancja ilasta o niskiej i redniej dwój€mno ci. W sk€dzie mineralnym substancji ilastej zdecydowanie przewa kaolinit nad illitem. Substancja w glanowa reprezentowana jest tu przewa nie przez syderyt wykszta€ony w postaci pikrytu, sporadycznie sparytu. Substancja w glista wyst puje w postaci nieregularnych lamin, drobnych okruchów lub w postaci brunatnego pigmentu powoduj cego zabarwienie mu€wców.

Miocen ó warstwy d bowieckie

Warstwy d bowieckie tworz równole nikowy pas o szeroko ci do 25 km, zalegaj cy w sp gowej cz ci profilu miocenu, w po€dniowej cz ci GZW i jego po€dniowym obrze eniu. Ich obszar wyst powania wynosi ok. 1750 km². Strop warstw d bowieckich zalega tu na g€boko ciach na ogó€nie mniejszych ni 700-800 m, przewa nie w granicach 850-1100 m, z wyj tkiem cz ci wschodniej i po€dniowo-wschodniej, gdzie zalega na g€boko ciach znacznie wi kszych, nawet do ok. 2400 m. W obr bie wyst powania utworów warstw d bowieckich w oparciu o kryteria geologiczne wybrano dwa rejony badawcze:

8. šCieszyn-Skoczów-Czechowiceö ó w po€dniowo-zachodniej cz ci GZW i jego bezpo rednim obrze eniu

9. šK ty-Andrychówö ó w po€dniowej cz ci GZW i jego bezpo rednim obrze eniu

W rejonach tych warstwy d bowieckie tworz utwory gruboklastyczne ó piaskowce i zlepie ce o mi szo ciach zmiennych w przedziale od kilku-kilkunastu metrów do 250 m (na ogó€w granicach 70-120 m), które wype€iaj zag€bienia w stropie utworów paleozoicznych i zalegaj na ogó€na utworach karbo skich lub dewo skich (lub te ó znacznie rzadziej ó w g€bokich rynnach erozyjnych zalegaj na starszych utworach mioce skich warstw zamarskich lub zebrzydowickich).

Przykryte s nieprzepuszczalnymi osadami ilastymi miocenu formacji skawi skiej, b d te, na ograniczonym obszarze, zalegaj bezpo rednio pod nasuni ciem fliszu karpackiego.

Informacje o wesno ciach utworów buduj cych warstwy d bowieckie, pochodz ce z otworów wiertniczych, w zdecydowanej wi kszo ci s bardzo ubogie i ograniczaj si tylko do podania podstawowego typu litologicznego przewierconych ska€(cz otworów wiercona by€ bezrdzeniowo). Bogatszy zakres informacji pochodzi g€wnie z otworów PIG, w tym zw€szcza z otworów parametrycznych odwierconych w omawianym regionie w latach 1978-1987. Z tej grupy otworów w wyznaczonych rejonach badawczych zlokalizowane s nast puj ce otwory: Bestwina IG-1, Bielowicko IG-1, Chybie IG-1, Cieszyn IG-1, Czechowice IG-1, D bowiec IG-1, Drogomy 1 IG-1, Rudzica IG-1, Zamarski IG-1,. W otworach tych profil warstw d bowieckich by€ rdzeniowany, a uzyskane rdzenie by € poddane szczegó €wym makroskopowym badaniom litologiczno-facjalnym wraz z okre leniem podstawowego sk€du petrograficznego. Niestety z wyj tkiem otworu Zamarski IG-1, nie by€ wykonywane petrograficzne badania mikroskopowe. Badaniom makroskopowym poddane by € równie wyst puj ce nad warstwami d bowieckim ilaste osady miocenu formacji skawi skiej. Co prawda w wi kszo ci otworów profil tych utworów by€ rdzeniowany odcinkowo, ale ze wzgl du na ma€ zmienno litologiczn ska€buduj cych formacj skawi sk, ich opis mo na uzna za wystarczaj cy. Poni ej przedstawiono charakterystyk warstw d bowieckich z elementami petrograficznymi oraz podstawowe dane litologiczn litologiczne formacji skawi skiej oparte o badania wykonane w wymienionych wy ej otworach.

Wyró niaj c cech gruboklastystycznych osadów d bowieckich jest wyra na, normalna gradacja uziarnienia w profilu pionowym. W profilach otworów obserwuje si stopniow zmian wielko ci ziarn od najgrubszych w sp gu warstw (g€zowiska, zlepie ce gruboziarniste z blokami ska€o wielko ci do 30-40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce drobno- i rednioziarniste). W profilu wy szej ó piaszczystej ó cz ci warstw d bowieckich przewa aj jednak piaskowce rednio- i gruboziarniste, czasem ró noziarniste. Piaskowce te s s€bo zwi z€, wapniste, lityczno-arkozowe, cz sto o przek tnej laminacji podkre lonej zmian uziarnienia lub muskowitem. Z kolei w ni szej ó zlepie cowej ó cz ci warstw d bowieckich przewa aj zlepie ce drobno- i rednioziarniste, czasem ró noziarniste, na ogó€s€bo zwi z€, o rozproszonym lub zwartym szkielecie ziarnowym, polimiktyczne.

Jedn z zasadniczych warstw d bowieckich cech s równie lateralne zmiany uziarnienia. Grubsze frakcje dominuj w cz ci po€dniowej omawianego obszaru. Ku pó€ocy zmniejsza si wielko ziarn w ca€m kompleksie osadów. W pó€ocnej i pó€ocno-zachodniej cz ci obszaru najgrubszymi frakcjami osadów d bowieckich s zlepie ce drobnoziarniste, a w profilu przewa aj piaskowce ró noziarniste.

Wyniki bada petrograficznych wykonane na rdzeniach z otworów parametrycznych PIG wskazuj, e wysortowanie materia ziarnowego i stopie obtoczenia s bardzo zmienne; wyst puj tu zarówno ziarna/klasty stabo obtoczone lub nieobtoczone, ostrokraw dziste, pokruszone, jak i pó Stoczone, lub dobrze obtoczone.

Sk€d petrograficzny materia€ ziarnistego jest zró nicowany litologicznie. W piaskowcach wyst puj kwarc i €szczyki (g€wnie muskowit), skalenie i okruchy ska€osadowych, rzadziej magmowych. Zawarto kwarcu i €szczyków si ga 50-60%. Pozosta€ cz to g€wnie okruchy ska€o ró nej wielko ci rz du kilku-kilkunastu milimetrów. S to okruchy ska€karbo skich buduj cych GZW (ska€ ilasto-mu€wcowe, piaskowce, syderyty, nierzadko w gle kamienne), okruchy ska€w glanowych, magmowych, krystalicznych i metamorficznych (kwarcyty, €pki mikowo-chlorytowe). Spoiwo w obr bie tych osadów jest typu kontaktowego lub porowego. Najcz ciej ma ono charakter masy detrytycznej scementowanej grubokrystalicznym kalcytem. Analogiczne okruchy ska€klasty/otoczaki wyst puj w zlepie cach. Zlepie ce charakteryzuj si bardzo zró nicowan zawarto ci spoiwa w granicach 10-80%, na ogó€jest to spoiwo piaszczyste. Przyk€dowy sk€d petrograficzny warstw d bowieckich z otworu Zamarski IG-1 (g€wnie w odniesieniu do cz ci piaszczystej) prezentuje Tabela **1.1.5.2**.

w m				S	k€adı	min	era≉	6 w	pods	tawo	wycł	1				aukonit	S	Stwi obe niel	erdz ecno stóry	ænie ci vch	2				zia	rnisto	W	%			Ob	toc	zenie	e zia	rn	C tel	echy kstu	y 1-	U S	Jdzia poiw	ı€ ′a
Eboko				ska	lenie	:	mik	i			okru	chy s	ska€			gl		min ci	era kio	6w ch																1	ame	-			
G	kwarc	arkozy	szarog@zy	skalenie potasowe	plagioklazy	biotyt	muskowit	chloryt	wapie	mu©wiec i©wiec	piaskowiec	kwarcyty	to be a second s	gnejsy	magmowe		cyrkon	rutyl	turmalin	apaty	granat	aleuryt	h. dr. ziar	dr. ziar	r. ziar	gr. ziar.	b. gr. ziar	wirowiec dr	wirowiec r	wirowiec gr	obtoczone	zaokr glone	kanciaste	ostrokanciaste	piroklastyczne	bez@dna	niewyra nie równoleg a	równoleg@	ilastego	w glanowego	kwarcowego
1079,70	9	19	72	6	13	2	3	х	30	9	3	15	3	2	5	х			х		х			10	20	60	10					х	X			x			4	10	1
1083,70	30	10	60	4	6	4	6	х	25	2	2	15	5	1		х		х		х	x			40	30	20	10						X	х		x			1	5	
1085,95	15	15	70	7	8	3	5	х	30	8	4	8	1	1		х		х			х			5	50	20	20	5					x x	х		х			2	4	1
1088,60	6	7	88	3	4	3	3	х	28	10	16	8	10	5	6	х		х		х	х			5	20	50	10	15					X	х		х			3	6	1
1088,60	7	8	85	4	4	3	4	х	28	10	15	8	9	4	4	х					x			5	5	20	50	20				х	X	х		х			1	3	1
1094,40	26	7	67	3	4	4	5	х	20	8	2	5	4	5	19	х	х			х	х				15	15	20	30	20			х	Х			х			2	1	
1097,40	20	10	70		10	2	4	х	30	10		14	2			х	х		х	х	х					25	25	20	30			х	Х			х				4	
1099,00	30	10	60	4	6	4	6	х	25	2	2	15	5	1		х					x x			5	5	15	25	30	20			х	Х			x			2	5	1
1100,10	2	4	94	1	2		2	х	40	10	10	5	7	6	14	х					х					10	10	20	40	20		х	Х			х			1	1	
1111,00	3	2	95		2		2		40	10	10	5	7	5	15					х	x					15	15	20	40	10		х	X	х		x			1	3	1
1115,20	2	4	94	1	2		2		40	10	10	5	7	6	14	х				х	х					15	15	20	40	10		х	х			х	X		1	1	

Tabela 1.1.5.2. Wyniki bada petrograficznych warstw d bowieckich w otworze Zamarski IG-1

Nadk ad warstw d bowieckich ó neogen (miocen)

W nadk€dzie warstw d bowieckich wyst puje seria ilasto-mu€wcowa, miejscami ze znacznym udzia€m osadów piaszczystych, nale ca do formacji skawi skiej neogenu. Miejscami (g€wnie w po€dniowej cz ci) w nadk€dzie warstw d bowieckich wyst puj utwory fliszu karpackiego o mi szo ciach do 1000 m (otwory: Cieszyn 10, Mi dzy wie H1, oraz po€ one poza rejonami badawczymi Potrójna IG-1,/ odygowice IG-1).

Morskie ilasto-mu€wcowe i mu€wcowo-margliste osady <u>formacji skawi skiej</u> ko cz sedymentacj molasy mioce skiej. Na omawianym obszarze le one na osadach warstw d bowieckich lub bezpo rednio na paleozoiku. W wyniku sedymentacji osadów tej formacji nast puje ca€owite wype€ienie dolin i przykrycie paleogrzbietów. Osady formacji skawi skiej maj bardzo du y zasi g lateralny i przykrywaj ok. 70-80% ca€go obszaru bada . Ich mi szo jest silnie zró nicowana od 0 m w rejonie Cieszyna i Ustronia do 1000 m w rejonie Jawiszowic i 1100 m w rejonie Zebrzydowic. Na formacj skawi sk ko cowej fazie procesów orogenicznych Karpat nasuni te zosta€ jednostki fliszu karpackiego. Pod nasuni ciem karpackim mi szo formacji maleje ku po€dniowi wraz ze wzrostem mi szo ci nasuni cia.

Na wi kszo ci obszaru charakter sedymentacji formacji skawi skiej jest typowy tzn. ilasto-mu€wcowy, z niewielkimi przewarstwieniami piaskowców. Ska€ ilasto-mu€wcowe s lekko margliste lub wapniste, s€bo zwi z€, jednorodne lub laminowane materia€m pylastym b d piaszczystym. Pojedyncze cienkie na ogó€przewarstwienia piaszczyste tworz piaskowce drobno- i rednioziarniste, zwi z€. Wyra ny wzrost udzia€ osadów gruboklastycznych w profilu formacji skawi skiej obserwuje si w rejonie Bielska. Przyk€dem jest profil tych osadów w otworze Bestwina IG-1. Kompleksy piaskowców i zlepie ców poprzedzielane wk€dkami mu€wców osi gaj tu mi szo do 120 m. Na obecnym etapie rozpoznania geologicznego nie mo na jednak prognozowa , jaki jest zasi g lateralny tych osadów i jaka jest ich forma. Mog to by formy soczewkowe piaszczystozlepie cowe obocznie przechodz ce w osady drobnoklastyczne. Poni ej przedstawiony jest przyk€dowy profil warstw d bowieckich i utworów nadk€du w otworze Chybie IG-1.

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

Miocen 31,00-992,50 m

Formacja skawi ska 31,00 ó 909,00 m

- 31,0-180,7 i€wiec pylasty, zwi z€, w stropie do 87,0 m s€abo zwi z€ przechodz cy w i€laminacja równoleg€, podkre lona materia€m pylastym, laminy do 1,0 mm.
- 180,7-396,0 mu€wiec z przej ciami do i€wca pylastego laminowany materia€m piaszczystym i piaskowcem drobnoziarnistym, zwi z€, laminy bardzo cienkie do 1,0 mm, pojedyncze do 1-4 cm.
- 396,0-591,0 mu€wiec s€bo piaszczysty laminowany miejscami piaskowcem drobnoziarnistym, rzadziej materia€m piaszczystym, zwi z€.
- 591,0-592,8 piaskowiec o frakcjonalnym normalno-gradacyjnym uziarnieniu, zwi z€, przewaga ziaren frakcji redniej (do 60%), ziarna s€bo obtoczone, ostrokraw dziste.

• 592,8-909,0 mu€wiec s€bo piaszczysty laminowany rzadko piaskowcem drobnoziarnistym i materia€m piaszczystym, zwi z€, na odcinku 750,00-876,60 z 6 cienkimi przerostami piaskowca drobnoziarnistego.

Formacja d bowiecka ó ogniwo d bowieckie 909,00 ó 992,50 m (83,50 m)

909,00-975,90 ó cz piaszczysta (66,90 m)

- 909,0-909,2 piaskowiec drobnoziarnisty, zwi z€, polimiktyczny ó kwarc, skalenie, muskowit, okruchy ska€nierównoziarnisty.
- 909,2-914,2 piaskowiec rednioziarnisty, laminowany, polimiktyczny ó kwarc, skalenie, okruchy ska€g€wnie osadowych (piaskowce, mu€wce), s€bo zwi z€
- 914,2-920,6 piaskowiec gruboziarnisty, nierównoziarnisty, polimiktyczny ó piaskowce, mu€wce, kwarc, skalenie, s€bo zwi z€.
- 920,6-926,55 piaskowiec rednioziarnisty, od gruboziarnistego w sp gu do drobnoziarnistego w stropie, polimiktyczny ó kwarc, skalenie, muskowit, okruchy ska€
- 926,55-931,55 piaskowiec gruboziarnisty, nierównoziarnisty, w sp gu 1,0 m z domieszk ziarn wi kszych do 8 cm, polimiktyczny ó kwarc, skalenie, muskowit, okruchy skatosadowych.
- 931,55-934,2 piaskowiec rednioziarnisty, z pojedynczymi (do 5 mm) wi kszymi ziarnami, polimiktyczny ó kwarc, skalenie, piaskowiec, mu€wce.
- 934,2-944,5 piaskowiec zlepie cowy, warstwowany, polimiktyczny (piaskowiec, mu€wiec, ska€ w glanowe, kwarc, skalenie), nierównoziarnisty, maks. rednica ziarn 20 mm, rednio 5-4 mm.
- 944,5-951,9 piaskowiec gruboziarnisty, polimiktyczny (piaskowiec, mu€wiec, ska w glanowe, kwarc, skalenie, muskowit), nierównoziarnisty maks. rednica. ziarn 60 mm, rednio 3-4 mm.
- 951,9-953,5 piaskowiec bardzo gruboziarnisty, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mu€wce, w glany), nierównoziarnisty maks. rednica. ziarn 10 mm, rednio 3-4 mm.
- 953,5-953,6 mu€wiec gruboziarnisty z domieszk muskowitu
- 953,6-965,05 piaskowiec bardzo gruboziarnisty, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mu€wce, w glany), nierównoziarnisty maks. rednica. ziarn 15 mm, rednio 3-4 mm.
- 965,05-968,7 piaskowiec zlepie cowy, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mu€wce), nierównoziarnisty maks. rednica. ziarn 20 mm, rednio 5 mm.
- 968,7-972,35 piaskowiec grubo- i bardzo gruboziarnisty, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mu€wce, muskowit), nierównoziarnisty maks. rednica. ziarn 15 mm, rednio 4 mm.

• 972,35-975,9 piaskowiec zlepie cowy, polimiktyczny (kwarc, skalenie, piaskowiec, mu€wce, muskowit), nierównoziarnisty maks. rednica. ziarn 15 mm, rednio 4 mm.

975,90-992,50 ó cz zlepie cowa (16,60 m)

- 975,9-976,1 zlepieniec o rozproszonym szkielecie ziarnowym, polimiktyczny (g&wnie mu&wiec, piaskowiec), maks. 20 mm, r. 4 mm.
- 976,1-977,2 piaskowiec zlepie cowaty z du ilo ci spoiwa (75%), polimiktyczny (g€wnie mu€wiec, piaskowiec, ska€ w glanowe, skalenie), maks. 18 mm, r. 5 mm.
- 977,2-991,5 zlepieniec drobno-, rednio- i gruboziarnisty, polimiktyczny (mu€wiec, piaskowiec, ska€ metamorficzne, magmowe i w glanowe), matriks od 40 do 80%, maks 180 mm, r. 50 mm
- 991,5-992,5 brekcja rumoszowa, ostrokraw dziste fragmenty piaskowców, maks. 90 mm, r. 50 mm.

CHARAKTERYSTYKA PETROFIZYCZNA

W€sno ci pterofizyczne ska€w wyznaczonych rejonach badawczych GZW oparto o wyniki bada wykonanych w parametrycznych otworach PIG (18 otworów) oraz innych wierce, g€wnie w glowych, w pojedynczych przypadkach tak e otworach naftowych (€cznie 43 otwory). Wykaz tych otworów w rozbiciu na poszczególne badane formacje jest przedstawiony w cz ci wst pnej. W niniejszej cz ci analizy petrofizycznej szczegó€wo s prezentowane wyniki oznacze g sto ci obj to ciowej ska€ Natomiast pozosta€ w€sno ci petrofizyczne (porowato , przepuszczalno) prezentowane s w skali ogólnej ó zbiorczej dla wyznaczonych rejonów badawczych, a w skali szczegó€wej w€sno ci te prezentowane s w innych zadaniach projektu ó zw€szcza w zadaniu 1.1.6 šCharakterystyka hydrogeologiczna formacji wodono nych i geochemiczna p€nów z€ owychö.

G sto obj to ciowa ska€karbo skich zosta€ scharakteryzowana w oparciu o wyniki bada diagenetycznych wykonanych w otworach parametrycznych PIG. Badania te cechuj si bardzo du g sto ci opróbowania. W wielu otworach cz stotliwo opróbowania rdzenia wynosi€ rednio co 25-30 cm. W Tabeli 1.1.5.3 podane s przyk€dowe ilo ci prób z kilku otworów wiertniczych w odniesieniu do badanych w niniejszym Projekcie serii litostratygraficznych karbonu oraz ó dla porównania ó mi szo ci tych serii.

Lp.	Nazwa otworu	llo prób	Seria litostratygraficzna	Mi szo serii [m]
1	Dreaseny LIC 1	598	górno 1 ska seria piaskowcowa	182,05
1	Diogonity 110-1	3158	seria mu€wcowa	920,40
2	Crashewise IC 1	111	górno 1 ska seria piaskowcowa	77,05
2	Czechowice IG-1	461	seria mu€wcowa	359,0
3	Chybie IG-1	134	górno 1 ska seria piaskowcowa	150,35

Tabela 1.1.5.3. Przyk€dowe ilo ci oznacze g sto ci obj to ciowej w otworach PIG

		755	seria mu€wcowa	540,30
2	/ Ira IC 1	574	górno 1 ska seria piaskowcowa	126,50
5	/ Ka 10-1	2154	seria mu€wcowa	563,80
5	Woszczyce IG-1	198	krakowska seria piaskowcowa	170,70
6	Wyry IG-1	37	krakowska seria piaskowcowa	410,2-0
7	Por ba egoty IG-1	84	krakowska seria piaskowcowa	792,20

W utworach <u>górno 1 skiej serii piaskowcowej</u> rednie g sto ci poszczególnych typów litologicznych osadów przedstawiaj si nast puj co (g/cm³):

- zlepie ce 2,457-2,627
- piaskowce ró noziarniste 2,419-2,651
- piaskowce gruboziarniste 2,415-2,645
- piaskowce rednioziarniste 2,426-2,658
- piaskowce drobnoziarniste 2,510-2,727
- mu€wce piaszczyste 2,511-2,749
- mu€wce 2,500-2,736
- i€wce pylaste 2,307-2,746
- i€wce 2,341-2,835.

Szczegó€wo rednie g sto ci ska€w poszczególnych otworach w odniesieniu do g€wnych typów litologicznych w GSP przedstawia Tabela **1.1.5.4**. W tabeli tej podano równie redni g sto utworów karbo skich danej serii w profilach poszczególnych otworów wiertniczych.

Nazwa otworu	Zlepie- ce	Piaskowce ró no- ziarniste	Piaskowce grubo- ziarniste	Piaskowce rednio- ziarniste	Piaskowce drobno- ziarniste	Mu © wce piaszczyste	Mu €- wce	I€owce pylaste	Itowce	rednia g sto
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
D bowiec IG-1		2,569	2,548	2,606	2,671	2,703	2,652	2,601	2,808	2,574
Drogomy 1 IG-1		2,637	2,596	2,643	2,721	2,717	2,725	2,746	2,656	2,544
Krzy owice IG-1	2,627	2,651	2,645	2,631	2,727	2,749	2,736	2,657	2,560	2,566
∕ka 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

Tabela 1.1.5.4. rednie g sto ci ska€górno l skiej serii piaskowcowej (g/cm³)

W utworach <u>serii mu</u>6wcowej</u> rednie g sto ci poszczególnych typów litologicznych osadów przedstawiaj si nast puj co (g/cm³):

- g) piaskowce rednioziarniste 2,282-2,682
- h) piaskowce drobnoziarniste 2,483-2,650
- i) mu€wce piaszczyste 2,567-2,708
- j) mu€wce 2,571-2,733
- k) i€wce pylaste 2,531-2,708
- l) i€wce 2,430-2,681.

Szczegó€wo rednie g sto ci ska€w poszczególnych otworach w odniesieniu do g€wnych typów litologicznych w GSP przedstawia Tabela **1.1.5.5**. W tabeli tej podano równie redni g sto utworów karbo skich danej serii w profilach poszczególnych otworów wiertniczych.

Piaskowce Piaskowce Mu₆wce Mu**6**wce **I**€wce **I**€wce rednia Nazwa otworu g sto drobnoziarniste pylaste rednioziarniste piaszczyste Chybie IG-1 2.581 2.640 2.641 2.616 2.499 2,468 2.464 Czechowice IG-1 2,397 2,483 2,632 2,636 2,649 2,577 2,464 D bowiec IG-1 2,544 2,557 2,658 2,653 2,637 2,430 2,356 2,615 Drogomy 1 IG-1 2,435 2,681 2,675 2,662 2,630 2,532 Krzy owice IG-1 2,669 2,650 2,681 2,700 2,677 2,640 2,547 2,449 2,478 / ka IG-1 2.517 2.670 2.671 2.664 2.595 2,490 Piasek IG-1 2,452 2,583 2,640 2,640 2,636 2,599 Por ba Wielka IG-1 2,282 2.487 2,567 2,571 2,531 2,431 2,384 2,474 Rudzica IG-1 2,682 2,564 2,615 2,641 2,646 2,601 Studzionka IG-1 2,508 2,625 2,708 2,733 2,708 2,681 2,529 2,508 Woszczyce IG-1 2,470 2,585 2,656 2,665 2,626 2,475 Wyry IG-1 2,396 2.507 2.649 2,632 2,634 2,555 2,477

Tabela 1.1.5.5. rednie g sto ci ska€serii mu€wcowej (g/cm³)

W utworach <u>krakowskiej serii piaskowcowej</u> rednie g sto ci poszczególnych typów litologicznych osadów przedstawiaj si nast puj co (g/cm^3) :

- ◆ zlepie ce 2,267-2,422
- piaskowce ró noziarniste 2,211-2,389
- piaskowce gruboziarniste 2,190-2,379
- piaskowce rednioziarniste 2,214-2,402
- ◆ piaskowce drobnoziarniste 2,307-2,524
- ◆ mu€wce piaszczyste 2,432-2,565
- ◆ mu€wce 2,432-2,552
- ◆ i€wce 2,176-2,350.

Szczegó€wo rednie g sto ci ska€w poszczególnych otworach w odniesieniu do g€wnych typów litologicznych w KSP przedstawia Tabela **1.1.5.6**.

Tabela 1.1.5.6. rednie g sto ci ska€krakowskiej serii piaskowcowej (g/cm³)

Nazwa otworu	Zlepie - ce	Piaskowc e ró no- ziarniste	Piaskowce grubo- ziarniste	Piaskowce rednio- ziarniste	Piaskowce drobno- ziarniste	Mu 6 wce piaszczyst e	Mu 6 -wce	I C wce pylaste	I C wc e	redni a g sto
-----------------	----------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	---------------------	-------------------------------	------------------------	---------------------

Che€nek IG-1	2,267	2,211	2,190	2,214	2,307	2,480	2,484	2,428	2,308	2,197
Por ba Wielka IG- 1	2,315	2,281	2,348	2,332	2,383	2,515	2,541	2,570	2,350	2,301
Por ba egoty 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 powy szych zestawieniach nie uwzgl dniono i€wców w glistych (g sto ci na ogó€ w granicach 1,80-2,10 g/cm³), €pków w glowych (g sto ci na ogó€w granicach 1,50-1,80 g/ cm³) i w gli (g sto ci na ogó€w granicach 1,30-1,50 g/cm³)), a tak e kilku innych sporadycznie wyst puj cych rodzajów ska€(m. in. tufitów, syderytów). Generalnie w profilach otworów wiertniczych obserwuje si wzrost redniej g sto ci obj to ciowej wraz z g€boko ci zalegania serii litostratygraficznych, w zale no ci oczywi cie od typu litologicznego osadu, co jest odzwierciedleniem wzrostu diagenezy ska€karbo skich. Najmniejsze rednie g sto ci wykazuje krakowska seria piaskowcowa, najwi ksze górno l ska seria piaskowcowa.

W utworach <u>warstw d bowieckich</u> g sto obj to ciowa zosta€scharakteryzowana w oparciu o oznaczenia tego parametru wykonane trakcie bada hydrogeologicznych bada laboratoryjnych. Ilo oznacze nie jest zbyt wysoka (Tab. **1.1.5.7**). W tabeli **1.1.5.7** oprócz redniej g sto ci ska€w warstwach d bowieckich podane zosta€ tak e wyniki oznacze tego parametru dla warstw skawi skich (nadk€d warstw d bowieckich) oraz warstw zamarskich (w pod€ u warstw d bowieckich na ograniczonym obszarze).

L.p.	Jednostka	Litologia	G sto	llo prób	Ilo otworów
	stratygraficzna		obj to ciowa		
1	warstwy d bowieckie	piaskowce	2,50	34	8
	-	zlepie ce	2,48	62	13
2	warstwy skawi skie	i€wce	2,50	1	1
		mu€wce	2,57	5	4
		piaskowce	2,50	2	2
3	warstwy zamarskie	piaskowce	2,48	5	1
		zlepie ce	2,63	3	1

Tabela 1.1.5.7. rednie g sto ci ska€utworów miocenu (g/cm³)

Porowato efektywna w utworach górno l skiej serii piaskowcowej i krakowskiej serii piaskowcowej oraz w utworach warstw d bowieckich zosta€ oznaczona na podstawie laboratoryjnych bada próbek z rdzeni otworów wiertniczych. Próby do bada pochodzi€ z utworów gruboklastycznych ó g€wnie piaskowców, a znacznie rzadziej (z wyj tkiem warstw d bowieckich) ó zlepie ców. W pojedynczych przypadkach badano równie utwory drobnoklastyczne ó mu€wce i i€wce.

Dla utworów <u>górno 1 skiej serii piaskowcowej</u> w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpo rednim s siedztwie wykonano 1012 oznacze . Wspó€zynnik porowato ci efektywnej waha si w zakresie 0,001-34,02%, rednio wynosi 6,30%. Jego maksymalna warto jest wysoka, trzeba jednak zauwa y, e warto wi ksz lub równ 10%

stwierdzono tylko w 158 oznaczeniach, a warto wi ksz lub równ 20% ó w 8 oznaczeniach.

Dla utworów <u>krakowskiej serii piaskowcowej</u> w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpo rednim s siedztwie wykonano 1103 oznaczenia. Wspó€zynnik porowato ci efektywnej waha si w zakresie 0,34-36,71%, rednio wynosi 15,98%. W odró nieniu od GSP porowato utworów KSP jest znacznie wy sza. Warto wi ksz lub równ 10% stwierdzono a 951 oznaczeniach, a warto wi ksz lub równ 20% w 180 oznaczeniach.

Dla utworów <u>warstw d bowieckich</u> w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpo rednim s siedztwie wykonano 90 oznacze . Wspó€zynnik porowato ci efektywnej waha si w zakresie 0,12-28,40%, rednio wynosi 10,30%. Warto wi ksz lub równ 10% stwierdzono w 42 oznaczeniach, a warto wi ksz lub równ 20% w 8 oznaczeniach.

Przepuszczalno w utworach górno l skiej serii piaskowcowej, krakowskiej serii piaskowcowej i w utworach warstw d bowieckich zosta€ oznaczona ó analogicznie jak w przypadku porowato ci ó na podstawie laboratoryjnych bada próbek z rdzeni otworów wiertniczych. Próby do bada pochodzi€ z utworów gruboklastycznych ó g€wnie piaskowców, a znacznie rzadziej (z wyj tkiem warstw d bowieckich) ó zlepie ców. W pojedynczych przypadkach badano równie utwory drobnoklastyczne ó mu€wce i i€wce.

Dla utworów <u>górno 1 skiej serii piaskowcowej</u> w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpo rednim s siedztwie wykonano 960 oznacze . Wspó€zynnik przepuszczalno ci waha si w zakresie 0,001-1000 mD, rednio wynosi 4,02 mD. Maksymalna warto wspó€zynnika jest bardzo wysoka, trzeba jednak zauwa y , e warto wi ksz ni 100 mD stwierdzono tylko w 7 oznaczeniach, a warto wi ksz od 200 mD ó w 4 oznaczeniach.

Dla utworów <u>krakowskiej serii piaskowcowej</u> w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpo rednim s siedztwie wykonano 1063 oznaczenia. Wspó€zynnik przepuszczalno ci waha si w zakresie 0,001-1000 mD, rednio wynosi 51,65 mD. Warto wi ksz ni 100 mD stwierdzono w 159 oznaczeniach, wy sz ni 200 mD w 67 oznaczeniach, a wy sz ni 300 mD ó w 26 oznaczeniach.

Dla utworów <u>warstw d bowieckich</u> w wyznaczonych rejonach badawczych i ich bezpo rednim s siedztwie wykonano 70 oznacze . Wspó€zynnik przepuszczalno ci waha si w zakresie 0,003-415 mD, rednio wynosi 39,30 mD. Warto wi ksz ni 100 mD stwierdzono w 8 oznaczeniach, wy sz ni 200 mD w 7 oznaczeniach, a wy sz ni 300 mD ó w 4 oznaczeniach.

1.1.6 Charakterystyka hydrogeologiczna formacji wodono nych i geochemiczna pŷynów zôo owych

Anna Chmura, Jadwiga Wagner, Janusz Jureczka ó PIG-PIB OG

We wst pnej cz ci realizacji niniejszego zadania dokonano inwentaryzacji danych hydrogeologicznych i hydrogeochemicznych z wyznaczonych w innych zadaniach Projektu formacji wodono nych i obszarów bada w rejonie GZW. Nast pnie opracowano charakterystyk hydrogeologiczn wytypowanych formacji wodono nych: z utworów karbonu górnego ó górno l skiej serii piaskowcowej i krakowskiej serii piaskowcowej (Jadwiga Wagner) oraz z utworów miocenu ó warstw d bowieckich (Anna Chmura). Opracowane materia € zosta € przygotowane redakcyjnie i przedstawione w formie niniejszego raportu (Janusz Jureczka).

Karbon górny ó górno 1 ska seria piaskowcowa (GSP) Jadwiga Wagner

Badania hydrogeologiczne w profilu geologicznym GSP, na terenie wyznaczonych rejonów badawczych i w ich s siedztwie prowadzono g \oplus wnie w latach 1958-1989 w otworach wierconych z powierzchni, m.in.: parametrycznych otworach strukturalnych, otworach z \oplus owych wierconych za w glem, otworach wielozadaniowych, otworach badawczych pod szyby. W trakcie wiercenia otworu, z uzyskiwanego rdzenia otworu, pobierano próbki do bada laboratoryjnych. Badania laboratoryjne prowadzono w laboratoriach polowych i stacjonarnych.

Oznaczenie porowato ci n [%] wykonano za pomoc porozymetru metod WZD na rdzenikach wyci tych ze ska \clubsuit . Oznaczenie przepuszczalno ci k [mD] wykonano przy zastosowaniu przepuszczalnomierza i sprz tu pomocniczego typ MZD na przygotowanych próbkach ska \clubsuit . Badania wykonywano metod podci nieniow przy pomocy aparatu typu *Geoservice*. Oznaczenie ods czalno ci wykonano metod odwirowania, na wybranych próbkach. Ponadto wykonywano oznaczenia porowato ci metod elektrooporow w czasie bada geofizycznych dla celów hydrogeologicznych w otworach wiertniczych (tu nie omówione).

Badania polowe w otworach prowadzono w trakcie g€bienia lub/i podczas likwidacji otworu metodami: zapi cia próbnika z€ a i/lub pompowania € k wiertnicz . Wydajno badanych poziomów mierzono g€wnie przy jednej depresji, badanie to zako czono stabilizacj zwierciad€ wody i pobraniem próbki wody, w celu wykonania analizy fizykochemicznej wody. Badania polowe w GZW (interwa€g€boko ci 50-1850 m), wykonano w celu udokumentowania poziomów wodono nych i zagro e dla górnictwa: ich rozprzestrzenienia w o rodku skalnym, parametrów hydrogeologicznych, wi zi hydraulicznej mi dzy poziomami, ustalenia w€sno ci fizykochemicznych wód podziemnych.

Wed€g wyników bada GSP jest kompleksem z€ onym g€wnie z piaskowców, mu€wców i rzadziej i€wców, sporadycznie brekcji. Parametry hydrogeologiczne ska€ zalegaj cych w GSP omówiono szczegó€wo w licznych pracach wykonanych w PIG i U 1 w Sosnowcu (m.in. Jureczka i in., 1994; Wagner, 1997. 1998; Ró kowski, red. 2004). Wyniki bada przedstawiono dla oko€ 1000 próbek ska€klastycznych.

Wspó€zynnik porowato ci efektywnej [%] piaskowców, 944 razy okre lono dla ska€ z obszaru wyst powania GSP w zag€biu, w przedziale warto ci 0,001-4,02 (r. arytm. 6,29;

mediana 5,76; moda 0,001; odchylenie standardowe 4,09). W ród badanych ska€dominuj piaskowce o redniej i niskiej porowato ci do 5%.

Wspó€zynnik ods czalno ci grawitacyjnej [%] piaskowców, 626 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania GSP, w przedziale warto ci 0,10-17,8 (r. arytm. 1,02; mediana 0,68; moda 0,70; odchylenie standardowe 1,35). Wspó€zynnik ods czalno ci przyjmuje warto ci przeci tnie ok. 1%, wiadczy on o ma€j ods czalno ci badanych ska€

Wspó€zynnik przepuszczalno ci [m/s 10⁻⁸] piaskowców, uzyskany w wyniku bada polowych 43 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania GSP, w przedziale warto ci oko€ 0,046-1230 (r. arytm. 44,193; mediana 1,9; moda 0,135; odchylenie standardowe 186,943). Wspó€zynnik przepuszczalno ci [m/s 10⁻⁸] piaskowców, uzyskany w wyniku bada laboratoryjnych 942 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania GSP, w przedziale warto ci oko€ 0,001-966 (r. arytm. 3,935; mediana 0,097; moda 0,097; odchylenie standardowe 44,503).Wspó€zynnik przepuszczalno ci charakterystyczny dla piaskowców kszta€uje si na poziomie od przeci tnie 3,93 m/s 10⁻⁸m/s (wg wyników bada laboratoryjnych) do przeci tnie 44,193 m/s 10⁻⁸ (wg wyników bada polowych).

Ci nienia z6 owe pomierzono w 126 interwa Ch badanych, w obszarze wyst powania GSP. Próbnik z6 a zapi to w interwale 350-1800 m, uzyskuj c ci nienie z6 owe 0,2-20,6 (bez uwzgl dnienia ci aru wody z6 owej rosn cego proporcjonalnie do zasolenia wód). W otworze Drogomy 1 IG 1 stwierdzono ci nienie z6 owe 40 MPa (Jureczka i in., 1994).

Wodono no $[m^3/h]$ oszacowano 39 razy, na podstawie wykonanego sczerpywania \clubsuit k wiertnicz, warto waha si w granicach 0,005-3,102 (r. arytm. 0,914; mediana 0,479; moda 0,012; odchylenie standardowe 0,983).

Sk€ad chemiczny wód, dla obszaru wyst powania GSP, scharakteryzowano na podst. 61 analiz wód zbadanych tylko w interwa€ch GSP, wykonanych w latach 1958-1989. Sucha pozosta€ dla tych wód kszta€uje si w przedziale 0,743- 346,42 mg/m³ (r. arytm. 98; mediana 79; moda 70,5; odchylenie stand.77,7). Wyniki ww. oznacze wskazuj na dominacj w profilu omawianej serii st onych solanek nad wodami s€nymi. Solanki wyst puj najcz ciej poni ej g€boko ci 600 m (Wagner, 1998), pod przykryciem powierzchni stropu karbonu izoluj cym ilastym kompleksem trzeciorz du.

Wieloletni i intensywny drena górniczy wp€n €na osuszenie cz ci górotworu karbo skiego, obni enie zasobów statycznych wód podziemnych i degradacj ich jako ci. Aktualnie podstaw drena u stanowi wyrobiska górnicze odwadniane w GSP. Regionalny lej depresyjny, obszar obni onych ci nie i mieszania si wód o ró nym sk€dzie fizykochemicznym otacza wyrobiska pompuj ce wod w GSP. Pompowanie wód wyrobiskami górniczymi prowadzi do zaburzenia naturalnego niegdy re imu warunków hydrogeologicznych w o rodku skalnym karbonu górnego (Ró kowski, red. 2004). W rejonie zlikwidowanych kopal w gla kamiennego nast puje odbudowa zwierciad€ wody.

Badania hydrogeologiczne w profilu GSP, w interwale g€boko ci poni ej 800 m, wykonano w otworach, które s nierównomiernie rozmieszczone w wyznaczonych rejonach bada : Piasek-Studzienice (brak bada), Paw€wice-Pszczyna- wiklice (brak bada) oraz Zebrzydowice-Drogomy l-Chybie (badania wykonano w otworach Chybie IG-1, D bowiec IG-1, Drogomy l IG-1 Rudzica IG-1, Zebrzydowice 10, w pobli u Zebrzydowice 15 i Kaczyce 25). Otwory w ostatnim rejonie (Tab. **1.1.6.1**) stanowi niewielki procent wszystkich otworów z badaniami w GSP.

Rejon Zebrzydowice-Drogomy I-Chybie

Badania hydrogeologiczne polowe (otwory: Zebrzydowice 10, 15; D bowiec IG-1, Chybie IG-1, Kaczyce 25), w po€dniowym rejonie GSP, wykonano metodami zapi cia hydrogeologicznych próbnika z€ a i € ki wiertniczej. Wyniki uzyskanych bada charakteryzuj o rodek skalny GSP. Badania przeprowadzono g€wnie w mi szych (10-50 m) piaskowcach ró noziarnistych, nawierconych w interwale g€boko ci 1018-1830 m p.p.t. interwa€ oszacowano na poziomie oko€ 0,001-0,02 m³/h odpowiednio przy Wvdaino depresji 400-250 m. Po zako czeniu bada polowych, stabilizowano zwierciad€ wody, które podczas poszczególnych bada podnios€ si do g€boko ci 30-120 m p.p.t. Promie leja depresji obliczony na podstawie wyników bada przyjmuje warto do 115 m. Ci nienie z€ owe, waha si w interwale warto ci 8,2-16,9 MPa (82,28-169 at). Gradient ci nienia z€ owego, obliczony na podstawie pomierzonych ci nie z€ owych, waha si w przedziale 0,0805-0,0980. Wody pozyskane w czasie przeprowadzonych bada polowych to g€wnie solanki silnie zmineralizowane i twarde o mineralizacji ogólnej od oko€ 35 g/dm³ do oko€ 85 g/dm³, reprezentuj ce typ chemiczny Cl-Na i/lub Cl-Na-Ca. Wyniki bada uzyskane wskutek zapi cia próbnika z€ a przedstawiaj si w nast puj cy sposób: wska nik przewodno ci 32,7 mD, wspó€zynnik hydrodynamiczny ok. 5-235mD m/cP, wydajno rednia $0,45-0,69 \text{ m}^3/\text{h}$ i wydajno potencjalna $0,51-1,22 \text{ m}^3/\text{h}$.

Badania hydrogeologiczne laboratoryjne wykonano dla interwa€ poni ej 800 m (otwory: D bowiec IG-1, Drogomy l IG-1, Chybie IG-1, Rudzica IG-1, Cze IG-1), g€wnie w piaskowcach, piaskowcach pylastych, sporadycznie i€wcach i mu€wcach, i uzyskano nast puj ce wyniki dla ró nych litologii: porowato efektywna (piaskowce: ma€ 1,5-4,2%; rednia 5,3-12,97%; brekcja tektoniczna: 19,17 %), ods czalno grawitacyjna (piaskowce: 0,4-1,72%) oraz przepuszczalno (piaskowce: 0,00-2,2 mD, i€wiec 2,4 mD; brekcja tektoniczna: 19 mD).

Symbol otworu	G€b pobrani	oko a próby	Porow	ato [%]	Ods cza	alno	Przepuszczalno [mD]			
-	min	max	min	max	min	max	min	max		
Chybie IG-1	1545,9	1676,2	1,71	8,46	0,004	0,0167	0,1	0,175		
Czechowice IG- 1	1062,3	1112	4,9	16,17	0,0078	0,0472	0,1	5,1		
D bowiec IG-1	1063,4	1110,2	4,2	12,97	0,0056	0,0172	0	0,1		
Drogomy 1 IG-1	1721,8	1860,3	0,54	6,59			0	0,1		
Piasek IG-1	1355	1535,5	0,52	4,9			0,1	0,31		
Rudzica IG-1	868	980,3	5,3	11,87	0,0075	0,0119	0,35	2,4		

Tabela 1.1.6.1. Wyniki bada laboratoryjnych w poszczególnych otworach profilu GSP

Karbon górny ó krakowska seria piaskowcowa (KSP) Jadwiga Wagner

Badania hydrogeologiczne, w profilu geologicznym KSP, na terenie obszaru wyst powania KSP prowadzono w latach 1950-1990 metodami wiertniczymi i górniczymi. Badania wykonano w otworach wierconych z powierzchni, w ród nich: parametrycznych otworach strukturalnych, otworach z 6 owych wierconych za w glem, otworach wielozadaniowych, otworach badawczych pod szyby. W trakcie wiercenia otworu, z

uzyskiwanego rdzenia otworu, pobierano próbki do bada laboratoryjnych. Badania laboratoryjne prowadzono w laboratorium polowym i laboratorium stacjonarnym.

Oznaczenie porowato ci n [%]wykonano za pomoc porozymetru metod WZD na rdzenikach wyci tych ze ska \mathcal{G} . Oznaczenie przepuszczalno ci k [mD] wykonano przy zastosowaniu przepuszczalnomierza i sprz tu pomocniczego typ MZD na przygotowanych próbkach ska \mathcal{G} . Badania wykonywano metod podci nieniow przy pomocy aparatu typu *Geoservice*. Oznaczenie ods czalno ci wykonano metod odwirowania, na wybranych próbkach. Ponadto wykonywano oznaczenia porowato ci metod elektrooporow w czasie bada geofizycznych dla celów hydrogeologicznych w otworach wiertniczych (tu nie omówione).

Badania polowe w otworach prowadzono w trakcie g€bienia lub/i podczas likwidacji otworu metodami: pompowania pomp g€binow , zapi cia próbnika z€ a, pompowania € k wiertnicz i/lub zapi cia próbnika z€ a. Wydajno badanych poziomów mierzono g€wnie przy jednej depresji, badanie to zako czono ustaleniem poziomu hydrostatycznego, a w ko cowej fazie pobraniem próbki wody w celu okre lenia sk€du fizykochemicznego.

Badania polowe wykonano w interwale g€boko ci 50-1200 m, g€wnie w celu udokumentowania wyst puj cych poziomów wodono nych dla górnictwa: ich rozprzestrzenienia w o rodku skalnym, parametrów hydrogeologicznych, wi zi hydraulicznej mi dzy poziomami, ustalenia w€sno ci fizykochemicznych wód podziemnych.

Wed€g wyników wykonanych bada KSP jest kompleksem z€ onym g€wnie z piaskowców, mu€wców i rzadziej i€wców, sporadycznie brekcji. Parametry hydrogeologiczne ska€zalegaj cych w KSP omówiono szczegó€wo w licznych pracach wykonanych w PIG-u i U l w Sosnowcu (m.in. Jureczka i in., 1994; Wagner, 1997, 1998; Ró kowski, red. 2004). Wyniki bada wykonane dla KSP (Jureczka i in. 1994), przedstawiono dla oko€ 1050 próbek ska€klastycznych.

Wspó€zynnik porowato ci efektywnej [%] piaskowców, 1045 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania KSP, w przedziale warto ci 0,34-36,71 (r. arytm. 15,29; mediana 15,38; moda 16,67; odchylenie standardowe 5,11). W ród badanych ska€dominuj piaskowce o redniej, du ej i bardzo du ej porowato ci, z przedzia€ 10-15%.

Wspó€zynnik ods czalno ci grawitacyjnej [%] piaskowców, 547 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania KSP, w przedziale warto ci 0,03-10,5 (r. arytm. 3,66; mediana 3,31; moda 3,0; odchylenie standardowe 2,16). Wspó€zynnik ods czalno ci przyjmuje warto ci powy ej 1% (j.w. 3,0-3,66%).

Wspó€zynnik przepuszczalno ci [m/s 10⁻⁸] piaskowców, uzyskany w wyniku bada laboratoryjnych polowych 1005 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania KSP, w przedziale warto ci oko€ 0,001-966 (r. arytm. 50,21; mediana 14,61; moda 0,001; odchylenie standardowe 95,32). Zgodnie z wynikami (r. arytm. 50.21, mediana 14,61) s to g€wnie ska€ pó€rzepuszczalne, zalegaj ce w ród ska€ nieprzepuszczalnych równie badanych w serii KSP (moda 0,001).

Wspó€zynnik przepuszczalno ci [m/s 10⁻⁸] piaskowców, uzyskany w wyniku bada polowych 192 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania KSP, w przedziale warto ci oko€ 1-32700 (r. arytm. 1198; mediana 46,4; moda 12,5; odchylenie standardowe 4043,34). Zgodnie z wynikami bada (r. arytm. 1198, mediana 46,4; moda 12,5) s to g€wnie ska€ pó€rzepuszczalne, s€boprzepuszczalne i o redniej przepuszczalno ci (wyniki na podst. Jureczka i in., 1994).

Wspó€zynnik przepuszczalno ci [mD] piaskowców, uzyskany w wyniku bada laboratoryjnych 1005 razy okre lono dla ska€z obszaru wyst powania KSP, w przedziale warto ci oko€ 0,001-1000 (r. arytm. 51,974; mediana 15,13; moda 0,001; odchylenie standardowe 98,675).Wspó€zynnik przepuszczalno ci charakterystyczny dla piaskowców kszta€uje si na poziomie przeci tnie 51,97 mD (50,21 m/s 10⁻⁸m/s wg 1005 wyników bada laboratoryjnych) do przeci tnie 1198,53 m/s 10⁻⁸ (192 wyników uzyskanych na podstawie bada polowych wed€g Jureczka i in.; 1994).

Ci nienia z6 owe pomierzono w 73 zapi ciach próbnika z6 a, w licznych interwa Ch g Eboko ci wybranych i badanych, w obszarze wyst powania KSP. Próbnik z6 a zapinano w interwale 350-1200 m, uzyskuj c ci nienie z6 owe z przedzia 0,34-20,51 MPa, przy czym ponad po 6 wa przyjmuje wyniki z przedzia 2,0-4,5 MPa (przy obliczeniu nie uwzgl dniono ci aru wody z6 owej rosn cego proporcjonalnie do zasolenia wód) (Jureczka i in., 1994).

Wodono no , dla obszaru wyst powania KSP oszacowano:

wydajno [m³/h] ó 219 razy, na podstawie sczerpywania ∉ k wiertnicz ; uzyskane warto ci wahaj si w granicach 0,002-132,18 (r. aryt. 8,329; mediana 2,55; moda 5,40; odchylenie standardowe 17,166);

wydatek jednostkowy [m³/h na 1m S] ó uzyskany 209 razy, na podstawie wykonanego sczerpywania € k wiertnicz , zawiera si w przedziale warto ci 0,012-0,75;

wska nik wydajno ci [m³/h na 1m S] ó uzyskany 32 razy na podstawie wykonanego zapi cia próbnika z€ a zawiera si w przedziale warto ci ok. 0,001-0,315.

Piaskowce i wirowce buduj o rodek szczelinowo-porowy do g€boko ci oko€ 600 m p.p.t. Natomiast w interwale g€boko ci poni ej 600 m, gdzie karbon stanowi ju najcz ciej o rodek porowy, wodono no jest poni ej 0,1 [m³/h na 1m S] (Wagner, 1997).

Sk€ad chemiczny wód, dla obszaru wyst powania KSP, scharakteryzowano na podstawie 232 analiz wód (Jureczka i in., 1994). Sucha pozosta€ dla tych wód kszta€uje si w przedziale 0,111-222,190 mg/ m³ (r. arytm. 25,453; mediana 11,517; moda 33,384; odchylenie standardowe 37,768). Wyniki ww. oznacze wskazuj na przewag w profilu omawianej serii wyst powania wód silnie zmineralizowanych albo s€nych i solanek reprezentuj cych typ chemiczny Cl-Na nad typami chemicznymi: Cl-HCO₃-Na, HCO₃-Ca-Na, HCO₃-Ca-Mg i HCO₃-Cl-Na-Ca. Solanki wyst puj na g€boko ci 400-1000, przy czym p€tsze ich wyst powanie obserwowane jest w wietle przeprowadzonych bada , pod przykryciem powierzchni stropu karbonu górnego izoluj cym nadk€dem ska€m€dszych.

Wieloletni i intensywny drena górniczy wp€n €na osuszenie cz ci górotworu karbo skiego, obni enie zasobów statycznych wód podziemnych i degradacj ich jako ci. Aktualnie podstaw drena u stanowi wyrobiska górnicze odwadniane w KSP. Regionalny lej depresyjny, obszar obni onych ci nie i mieszania si wód o ró nym sk€dzie fizykochemicznym otacza wyrobiska pompuj ce wod w KSP. Pompowanie wód wyrobiskami górniczymi doprowadzi€ do zaburzenia naturalnego niegdy re imu warunków hydrogeologicznych w o rodku skalnym karbonu górnego (Ró kowski A., red. 2004). Natomiast w rejonie zlikwidowanych kopal w gla kamiennego nast puje odbudowa zwierciad€ wody, jednak proces ten trwa od czasu zamkni cia kopalni.

Rejony badawcze

Badania hydrogeologiczne w profilu KSP, w interwale g€boko ci poni ej 800 m, wykonano w otworach, które s nierównomiernie rozmieszczone w trzech wyznaczonych rejonach badawczych:

- Zgo -Kobiór (otwory: Woszczyce IG-1, Gosty IG-10, Zgo IG-8, Kobiór 88, 92, Studzienice 2, Mi dzyrzec-Bieru 6, 59; ponadto w pobli u: Kobiór 89, Kobiór-Pszczyna 121, 19, Kobiór IG-13);
- Pszczyna- wiklice (otwory: wiklice 2, 9, Góra IG-29, Mi dzyrzecze-Bieru 81,

Piasek IG-1; ponadto w pobli u Kobiór-Pszczyna 121;

• Polanka-Zator-Spytkowice (otwory: Por ba Wielka IG-1, O wi cim-Polanka 9).

Badania hydrogeologiczne polowe, na g€boko ci oko€ 800 m przewidzianej dla sekwestracji CO2, wykonano tylko w kilku otworach w wyznaczonych rejonach badawczych:

- w rejonie Polanka-Zator-Spytkowice w otworze O wi cim-Polanka 9 (g€695-781 m) jeden próbnik z€ a (ci nienie z€ owe 68,4 at, wydajno rednia 1,36 m³/h, efektywny wspó€zynnik przepuszczalno ci 8,50 mD);
- w rejonie Pszczyna- wiklice w otworze wiklice 9 (796,5-861,0 m) dwa próbniki z€ a (ci nienie z€ owe 75,5-80,7 at, wydajno rednia 1,1-1,30 m³/h, efektywny wspó€zynnik przepuszczalno ci 5-28 mD, zw. stat. 68-70 m)
- w rejonie Zgo -Kobiór, w p€tszych interwa€ch g€boko ci ni 800 m (do 608 m), wykonano badania polowe metod € ki wiertniczej, wykonuj c badanie 19 razy € k pompuj c wybrany poziom (m. in. Q 5,76-244 m³/h dla s 85,3-470 m).

Wody stwierdzone w czasie przeprowadzonych bada polowych to g€wnie wody s€ne i solanki o mineralizacji ogólnej od oko€ 7,854 g/dm³ do oko€ 83,360 g/dm³, reprezentuj ce typ chemiczny Cl-Na lub Cl-Na-Ca.

Badania hydrogeologiczne laboratoryjne wykonane w zakresie: porowato ci efektywnej [%], ods czalno ci [-] i przepuszczalno ci (oznaczenia metod podci nieniow), w otworach poszczególnych rejonów badawczych przedstawiono w tabelach poni ej:

- rejon Polanka-Zator-Spytkowice (Tab. 1.1.6.2),
- rejon Pszczyna- wiklice (Tab. 1.1.6.3),
- rejon Zgo -Kobiór (Tab. 1.1.6.4).

Symbol otworu	G€boko pobrania próby		Porowa	to [%]	Ods	czalno	Przepuszczalno [mD]			
	min	min max		max	min	max	min	max		
O wi cim Polanka 9	334	786	14,94	26,67	0,0111	0,0498	1,319	211,549		
Por ba Wielka IG-1	277,2	277,2 507,6		31,7	0,0073	0,1003	0,55	750		

Tabela 1.1.6.2. Wyniki bada laboratoryjnych w rejonie Polanka-Zator-Spytkowice

Tabela 1.1.6.3 Wyniki bada laboratoryjnych w rejonie Pszczyna- wiklice

Symbol otworu	G€b pobran	ooko ia próby	Porowa	nto [%]	Ods	czalno	Przepuszczalno [mD]			
-	min	max	min	max	min	max	min	max		
wilding 2	262,8	765	6,99	22,04	0,0126	0,0574	0,068	318,77		
WIKIICE 2	807	830,2	13,26	14,13	0,0071	0,0172	0,266	4,474		
mililian 0	377,2	791,2	10,33	20,11	0,0062	0,0533	0,297	183,458		
wikite 9	809,2	1200	5,03	15,38	0,003	0,0524	0,001	171,783		
Mi dzyrzecze-	355	778	2,85	33,05			0,086	196,608		
Bieru 81	810	1345	1,62	18,4			0,004	32,2		
Piasek IG-1	32	28,7	9	,71			4,5	4,5		
Silesia 27	254,2	345,3	19,53	20	0,0537	0,063	41,454	90,716		
Kobiór-Pszczyna 121	205	310	16,58	20,16			15,13	203,12		

Symbol otworu	G€boko pobrania próby		Porowato [%]		Ods czalno [-]		Przepuszczalno [mD]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Kobiór 92	825,8	1180,9	4,62	14,88			0,189	6,73
Mi dzyrzecze- Bieru 59	217	750	2,22	16,03			0,094	413,648
Mi dzyrzecze-	265	780	10,75	17,7			0,82	120,54
Bieru 6	810	956	9,2	13,63			0,13	42,97
Studzienice 2	98	742,9	7,51	16,67	0,0077	0,0652	0,248	340,764
Woszczyce IG-1	719,2	795,5	6,02	13,25	0,0088	0,0247	0,1	2,25
	809	886,1	6,82	13,86	0,0117	0,0459	0,36	28

Tabela 1.1.6.4. Wyniki bada laboratoryjnych w rejonie Zgo -Kobiór

Miocen ó warstwy d bowieckie Anna Chmura

Do geologicznego sk€dowania CO₂ rozpatrywany by€ zbiornik s€nych wód podziemnych zwi zany z warstwami d bowieckimi, nale cymi do sp gowej cz ci profilu miocenu w zapadlisku przedkarpackim. Warstwy te rozci gaj si równole nikowym pasem o szeroko ci do 25 km w po€dniowej cz ci Górno l skiego Zag€bia W glowego i jego po€dniowym obrze eniu (województwo l skie i ma€polskie) (Rys. 1.1.6.1).

Analizowany by€obszar o powierzchni oko€ 1750 km², w którym warstwy solankowe znajduj si generalnie na g€boko ciach 850-1100 m, z wyj tkiem cz ci wschodniej i po€dniowo-wschodniej, gdzie g€boko ci wzrastaj powy ej 1200-1400 m (przy czym s one tu s€bo rozpoznane) oraz skrajnie pó€ocno-zachodniej cz ci, gdzie warstwy d bowieckie wyst puj najp€cej, nie przekraczaj c 700 m.

Poziom wód podziemnych ogniwa d bowieckiego buduj utwory piaszczystozlepie cowe o mi szo ciach zmiennych w przedziale od kilku do 250 m (przewa aj ce warto ci w granicach 70-100 m), które wype€iaj zag€bienia w stropie utworów paleozoicznych. W ich nadk€dzie wyst puje seria ilasto-mu€wcowa, miejscami ze znacznym udzia€m osadów gruboklastycznych, nale ca do formacji skawi skiej neogenu. Utwory te pokrywaj oko€ 70-80 % ca€go obszaru warstw o zmiennej mi szo ci od ich braku do 1100 m. Na znacznych obszarach w nadk€dzie warstw d bowieckich (powy ej formacji skawi skiej) wyst puj utwory fliszu karpackiego o mi szo ciach do 1000 m, miejscami utwory te zalegaj bezpo rednio na warstwach d bowieckich. Pod€ e warstw d bowieckich stanowi utwory nale ce do karbonu, dewonu lub prekambru, które posiadaj przepuszczalno szczelinowo-porow w piaskowcach i wapieniach, co umo liwia kontakty hydrauliczne mi dzy poziomami. Na ograniczonych obszarach w pod€ u warstw d bowieckich wyst puj s€bo przepuszczalne utwory starszego neogenu (miocenu).

Parametry hydrogeologiczne zbiornika s zró nicowane i uwarunkowane litologi ska€ oraz g€boko ci ich zalegania. Cechy przestrzeni porowej, badane laboratoryjnie na próbkach rdzenia, wskazuj na ska€ rednio porowate (0,12-28,4%; r.=10,3%), od s€bo przepuszczalnych do nieprzepuszczalnych (0,003-415 mD, tj. od 2,9 x 10⁻¹² do 4,00 x 10⁻⁶m/s; r.=40,95 mD, tj. 3,9 x 10⁻⁷m/s) i s€bo lub praktycznie nieods czalne (0,1-9,65%; r.= 2,34%). Wodono no zbiornika charakteryzuj parametry okre lone z dop€wu p€nu do otworów (badania próbnikiem z€ a). Otrzymane wydajno ci otworów mieszcz si w przedziale od 0,003 do 32,2 m³/h; wydatki jednostkowe wynosz od 0,0004 do 0,3521 m³/h.1mS; wspó€zynniki filtracji kszta€uj si od 4,15 x 10⁻⁹m/s do 1,9 x 10⁻⁴m/s.



Rys. **1.1.6.1.** Szkic wyst powania warstw d bowieckich (wg Bromek i in., 2009 ze zmianami, geologia wg Jureczka i in. 2005)

Opisywane warstwy d bowieckie tworz porowy, zakryty, s€bo odnawialny i nieodnawialny zbiornik wód podziemnych, drenowany przez podziemne górnictwo w gla kamiennego: w zachodniej jego cz ci przez kopalnie zlokalizowane po stronie czeskiej, w cz ci pó€ocno-zachodniej przez kopalni šPniówekö (Jastrz bska Spó€a W glowa S.A.) ma w cz ci pó€ocno-wschodniej przez kopalni šBrzeszcze-Silesiaö (Kompania W glowa S.A.). Ci nienia piezometryczne kszta€uj si w granicach od 2,9 do 10,4 MPa, zaznacza si tendencja wzrostu warto ci z g€boko ci zalegania zbiornika. Kolektor zawiera wody s€ne i solanki o suchej pozosta€ ci w granicach od 10,6 do 112,0 g/dm³, typu Cl-Na, sporadycznie Cl-Na-Ca i Cl-HCO₃-Na.

Powy sza charakterystyka wskazuje na istniej ce w warstwach d bowieckich zró nicowane warunki geologiczno-hydrogeologiczne (Jureczka i in., 1994; Ró kowski i in., 1995), które miejscami nie spe€iaj podstawowych kryteriów przyjmowanych przy wyznaczaniu sk€dowisk CO₂.

Po wst pnej selekcji danych okre lono dwa rejony, jako najbardziej przydatne tj. o najwi kszym rozprzestrzenieniu kolektora i które spe€iaj kryterium szczelno ci do lokowania CO₂. S to:

- zbiornik warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice
- zbiornik warstw d bowieckich w rejonie K ty-Andrychów

Oba wskazane rejony uwzgl dniaj podstawowe kryteria do typowania sk€dowisk CO₂, oceniana jest w nich mo liwo zat€czania dwutlenku w gla na g€boko 800-1100 m, do utworów piaskowcowo-zlepie cowych o mi szo ci 50-250 m i zawieraj cych solank o mineralizacji w granicach 50-100 g/dm³. Zbiorniki s izolowane od powierzchni utworami nieprzepuszczalnymi o mi szo ci powy ej 100 m. Ponadto oba obszary znajduj si w znacznej odleg€ ci od czynnych wyrobisk kopal w gla kamiennego (Rys. 1.1.6.1).

Inwentaryzacja danych hydrogeologicznych i hydrochemicznych

Do oceny warunków hydrogeologicznych w wytypowanych rejonach wykorzystano wyniki bada wykonanych: w 11 otworach parametrycznych Pa stwowego Instytutu Geologicznego i 13 otworach poszukiwawczych za w glem kamiennym, rop, gazem i wod termaln (Tab. **1.1.6.669**). Rezultatem jest charakterystyka przedmiotowej struktury hydrogeologicznej w zakresie:

- w€sno ci zbiornikowych ska€ tj.: porowato ci efektywnej, ods czalno ci grawitacyjnej i przepuszczalno ci ó wyniki otrzymane z bada laboratoryjnych na próbkach piaskowców i zlepie ców w 10 otworach badawczych (Tab. **1.1.6.6**, **8**);
- parametrów hydrodynamicznych strumienia tj.: ci nienia z€ owego, wydajno ci przy depresji, wspó€zynnika filtracji ó wyniki otrzymano z opróbowa próbnikiem z€ a oraz pomiarów stabilizacji zwierciad€ hydrostatycznego sczerpywa € k wiertnicz w 18 otworach badawczych (Tab. 1.1.6.6, 8);
- mineralizacji i sk€du chemicznego wód ó wyniki otrzymane z bada próbek p€nów dop€waj cych do 16 otworów badawczych (Tab. **1.1.6.7**, **9**).

Stan rozpoznania hydrogeologicznego warstw d bowieckich jest niezadowalaj cy. Otrzymane wyniki w sposób dostateczny, dla wst pnego etapu rozpoznania, charakteryzuj zbiornika (mi szo , g€boko zalegania, rozprzestrzenienie) i litologi geometri przewiercanych warstw. Równie parametry hydrogeologiczne ska€ mo na uzna za wystarczaj ce, ale z uwag , e dotycz jedynie bada na próbkach zwi z€ch ska€przy stwierdzonej w rdzeniu du ej ich rozsypliwo ci. Natomiast wyniki z bada bezpo rednich nale y uzna za ma€ wiarygodne. Pomiary ci nie piezometrycznych, ze wzgl du na stosowan metodyk pomiarów i ró ny czas ich wykonania, nie pozwalaj na przedstawienie wiarygodnego pola hydrodynamicznego. A pomiary rzeczywistej wydajno ci poziomu ogranicza€ techniczne przygotowanie otworu do bada (przedzia€interwa€ badanego nie uto samia ca€owitej mi szo ci warstw d bowieckich; stosowana przy wierceniu p€czka ogranicza dop€w wody do otworu) (Jureczka i in., 1994).

Wszystkie dost pne informacje o parametrach hydrogeologicznych ska \in warstw d bowieckich i geochemicznych p \oint nów z \in owych zawarte s w poni ej przedstawionych tabelach (Tab. **1.1.6.669**). W charakterystyce hydrogeochemicznej kolektora d bowieckiego wykorzystano uproszczone modelowanie za pomoc programu Wateval (Rock source deduction), natomiast obliczone wska niki hydrochemiczne pos \in y \notin do okre lenia stopnia zmetamorfizowania wód podziemnych i szczelno ci kolektora (Tab. **1.1.6.5**).

Тур	Stopie metamorfizmu i izolacji wód	Warunki do lokowania
genetyczny		C02
1	Wska nik Na/Cl >1 i/lub niska mineralizacja (M<3 g/l). Strefa aktywnej wymiany, dobre zasilanie wodami infiltracyjnymi, wody wspó€zesne.	nie mo na lokowa (brak szczelno ci)
2	Wska nik Na/Cl>1, strefa aktywnej wymiany, dobre zasilanie wodami infiltracyjnymi, ale wysoka mineralizacja i typ Cl-Na wiadcz o tigowaniu poktadów soli.	interpretacja niepewna
3	Wska nik Na/Cl 0,85-0,99, wysoka mineralizacja. Kontakt z wodami infiltracyjnymi istnieje, ale jest utrudniony, przep∳w powolny, s€aba wymiana. Kolektor rozszczelniony.	lokowanie warunkowe, po szczegó€wym rozpoznaniu kolektora
4	Wska nik Na/Cl 0,66-0,84, wysoka mineralizacja. Dobra, d€go trwaj ca izolacja, wody reliktowe, przep€yw mo e by, ale znikomy, dobra szczelno kolektora, ale nie zupe€a.	korzystne warunki do lokowania
5	Wska nik Na/Cl <0,65 i Cl/Br 400-1000, bardzo wysoka mineralizacja. Wody reliktowe, bardzo dobra szczelno kolektora, ale s przes€nki wiadcz ce o zmieszaniu wód z wodami m€dszymi (w czasie geologicznym).	bardzo korzystne warunki do lokowania
6	Wska nik Na/Cl <0,65 i Cl/Br <400, bardzo wysoka mineralizacja. Ca€cowita izolacja, wody reliktowe, stagnuj ce, bardzo szczelny kolektor.	najlepsze warunki do lokowania

Tabela. 1.1.6.5 Typy genetyczne wód i warunków do lokowania CO2(wg L. Razowska-Jaworek)

Podstawowym warunkiem do okre lenia korzystnych warunków dla sk€dowania CO₂ jest dobra szczelno wybranej struktury geologicznej. Jednym ze wska ników jej oceny mo e by stopie metamorfizmu wód podziemnych. Dost pnymi wska nikami stopnia wymiany wód w charakteryzowanym obszarze jest sumaryczna mineralizacja wód (oznaczona laboratoryjnie sucha pozosta€) i relacja mi dzy elementami sk€du wód: równowa nikowy wska nik sodowo-chlorkowy (rNa/rCl) i chlorkowo-sodowo-magnezowy (rCl-rNa/rMg) (Bojarski, 1969).

Zbiornik warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice

Wytypowany rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice (powierzchnia ok. 371 km²) administracyjnie nale y do dwóch powiatów: cieszy skiego i bielskiego w województwie l skim. Obszar ten znajduje si poza zasi giem czynnej eksploatacji górniczej pok€dów w gla kamiennego, ale w zasi gu drena u poziomów wodono nych wyrobiskami czynnych kopal zlokalizowanych poza jego granicami. Od strony pó€ocno-wschodniej w odleg€ ci ok. 2 km od granic obszaru bada znajduje si czynna kopalnia w gla kamiennego šBrzeszcze-Silesiaö, šRuch Silesiaö (Kompania W glowa S.A.), a od pó€ocno-zachodniej w odleg€ ci ok. 4 km czynna kopalnia šPniówekö (Jastrz bska Spó€a W glowa S.A.). W odleg€ ci ok. 5,25 km na zachód po€ ony jest obszar górniczy dawnej kopalni šMorcinekö (obecnie zatopionej), która graniczy€ od zachodu z po€ on ju po czeskiej stronie kopalni š SMö (kopalnia nadal czynna).

Warunki geologiczne

Warstwy d bowieckie w opisywanym rejonie tworz utwory gruboklastyczne, które wykazuj zmienno uziarnienia. W profilach otworów obserwuje si stopniow zmian wielko ci ziaren od najgrubszych w sp gu warstw (g€zowiska, zlepie ce gruboziarniste z blokami ska€o wielko ci do 30-40 cm) do drobnych w stropie (piaskowce drobno- i rednioziarniste). Obserwowane s równie lateralne zmiany uziarnienia. Grubsze frakcje dominuj w cz ci po€dniowej omawianego obszaru. Ku pó€ocy zmniejsza si wielko ziaren w ca€m kompleksie osadów. W pó€ocnej i pó€ocno-zachodniej cz ci obszaru najgrubszymi frakcjami osadów d bowieckich s zlepie ce drobnoziarniste. W profilu przewa aj piaskowce ró noziarniste.

W omawianym rejonie mi szo warstw d bowieckich zawiera si przewa nie w granicach 50-150 m, ale parametr ten jest zmienny i nawi zuje do form morfologicznych pod€ a paleozoicznego. Najwi ksze mi szo ci wyst puj w strefach g€bokich dolin stropu paleozoiku przekraczaj c miejscami 250 m, natomiast w obr bie grzbietów ulega ona znacznej redukcji. Generalnie, w ca€m rejonie warstwy d bowieckie zalegaj na g€boko ci poni ej 800 m, wy€czaj c dwa niewielkie jego fragmenty w pó€ocno-zachodniej i pó€ocno-wschodniej cz ci, gdzie wyst puj na g€boko ci poni ej 650-700 m.

Na stropie warstw d bowieckich zalegaj ilaste osady miocenu (formacja skawi ska) o zró nicowanej mi szo ci. Nieprzepuszczalne utwory najwi ksze mi szo ci osi gaj w pó€ocnych cz ci badanego obszaru, przekraczaj c 900 m. Mi szo maleje w kierunku po€dniowym nawet zbli aj c si do zera, ale w tym w€ nie rejonie na utworach warstw d bowieckich zalegaj utwory fliszu karpackiego. Generalnie na ca€m obszarze wytypowanego rejonu bada mi szo nieprzepuszczalnego nadk€du przekracza 100 m.

Na przewa aj cym obszarze rejonu Cieszyn-Skoczów-Czechowice warstwy d bowieckie zalegaj na utworach karbonu produktywnego (seria mu€wcowa: kompleks mu€wcowo-piaskowcowy z pok€dami w gla kamiennego, miejscami tak e górno l ska seria piaskowcowa i seria paraliczna), które w cz ci po€dniowo-zachodniej przykrywaj ilaste osady starszego neogenu. Jedynie niewielki fragment w po€dniowo-wschodniej cz ci rejonu, znajduj cy si poza granic GZW, ma w pod€ u warstw d bowieckich utwory fliszowe dolnego karbonu (kulm) lub seri w glanow dolnego karbonu i dewonu.

Warunki hydrogeologiczne.

W warstwach d bowieckich wyst puj wody o mineralizacji w granicach od 23,7 g/dm³ do 112 g/dm³. S to wody silnie stone i solanki o wysokim stopniu przeobra e chemicznych, przy Na/Cl = 0,65-0,96. Odczyn pH waha si w granicach od 5,2 do 8,2 i wskazuje na wody stob kwa ne, oboj tne i stob zasadowe. Twardo zmienia si w granicach od 10,9 do 155,2 mval/dm³, okre laj c wody o wysokiej twardo ci.

System kr enia wód obejmuje piaskowce, od drobno i rednioziarnistych do gruboziarnistych oraz zlepie ce. S to ska rednio porowate (0,12% do 28,4%), s to i praktycznie nie ods czalne (0,3 do 6,02%) oraz s to przepuszczalne i nieprzepuszczalne (0,1 do 415 mD - przeliczone na warto ci wspó $rednik zynnika 9,6x10^{-10}$ m/s ó 4,0x10⁻⁶ m/s). Otrzymane wyniki s zani one. Ska warstw d bowieckich s rozsypliwe i nie uzyskano z nich reprezentatywnych kszta rednik do bada laboratoryjnych.

Parametry hydrogeologiczne zbiornika d bowieckiego okre laj poziom jako s€bo zawodniony. Otrzymano wydatki jednostkowe w przedziale 0,002-2,467 m³/h 1mS. Natomiast obliczone wspó€zynniki filtracji wynios€ 0,003 i 0,082 m/d (3,5x10⁻⁸ i 9,5x10⁻⁷).

Poziom wodono ny warstw d bowieckich tworzy porowy, zakryty, nieodnawialny i g€boki zbiornik wód podziemnych. Zwierciad€ wody ma charakter subartezyjski i

stabilizuje si na g€boko ciach od 35,7 m do 368,8 m (ci nienia piezometryczne s rz du 5-9 MaP). Zasilanie zbiornika jest utrudnione i wyst puje lokalnie poprzez utwory czwartorz dowe w oknach hydrogeologicznych wyst puj cych na terenie Czech. Rol drenuj c spe€iaj przepuszczalne utwory karbonu, zalegaj ce bezpo rednio w sp gu warstw d bowieckich. Generalnie przep€w wód odbywa si w kierunku rozleg€ch przeg€bie powierzchni stropu karbonu. Uk€d kr enia zosta€zaburzony przez antropopresj . Zbiornik znajduje si pod wp€wem oddzia€wania górnictwa w gla kamiennego.

G€boko wyst powania strefy wymiany (mieszania) si solanek i wód s€dkich

Charakterystyk hydrogeochemiczn kolektora d bowieckiego w wytypowanym rejonie przedstawiono na podstawie analizy sk du chemicznego wód z 14 otworów (Tab. **1.1.6.6**). Do oceny stopnia szczelno ci zastosowano uproszczon metodyk okre laj c 6 typów genetycznych wód wraz z charakterystyk stopnia metamorfizmu wód i strefami mieszania si solanek z wodami sdkimi (Tab. **1.1.6.5**).

W utworach warstw d bowieckich mineralizacja wód waha si w granicach od 23,7 g/ dm^3 do 112 g/dm³ (wyra ona jako sucha pozosta \odot). S to wody silnie s \odot ne i solanki o rednim i wysokim stopniu przeobra e chemicznych, przy Na/Cl = 0,65-0,96. Wg zaproponowanej klasyfikacji typu genetycznego, wody te nale do 3 i 4 kategorii okre laj cej je jako wody zmetamorfizowane, b d ce w kontakcie z wodami infiltracyjnymi w przesz \odot ci, co stwarza generalnie korzystne warunki do lokowania CO₂.

Wg klasyfikacji Sulina-Bojarskiego wody nale do typu wód chlorkowowapniowych, charakteryzuj cych wody sedymentacyjne, pochodz ce ze stref izolowanych od dop \clubsuit wu wód infiltracyjnych. Wyst puj ce zró nicowanie, w dwóch klasach III i II, sktu chemicznego wód (Tab. **1.1.6.6.**) wskazuje na wyst puj c w zbiorniku strefowo hydrochemiczn . Klasa III wiadczy o strefie wystarczaj co odizolowanej od wód s \pounds dkich, natomiast klasa II charakteryzuje stref graniczn pomi dzy ma \pounds stabiln i stabiln , co wskazuje na potrzeb szczegó€wego jej rozpoznania w zakresie przydatno ci do lokowania CO₂ (Bojarski, 1969).

		Badania bezpo rednie Badania laboratoryjne							
Nazwa otworu	interwa€ badany (m)	wydajno (<u>m³/h)</u> depresja (m)	zwierciad ustalone (<u>m p.p.t)</u> ci nienie z o owe (at)	wspó€zynnik <u>filtracji (m/d)</u> promie leja depresji (m)	interwa€ badany (m)	porowato (%)	ods czalno (%)	przepuszczalno (%)	<u>Medium</u> mineralizacja (g/dm³)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bielowicko BiIG-1			nb		1041,0 ó 1111,0	0,12 ó 15,30	0,3 ó 1,02	0,1 ó 1,0	nb
Chybie ChIG-1	909,0 ó 992,7	<u>1,06</u> 19,8	<u>145,2</u> 73,9	<u>0,021</u> 57,9	911,1 ó 986,3	3,80 - 28,40	0,59 - 2,8	0,1 ó 14,3	<u>solanka</u> 76,5
Cieszyn CieIG-1	1091,0 ó 1178,0	<u>1,43</u> 151,2	<u>368,8</u> 72,2	<u>0,057</u> 130,3	1092,7 ó 1142,5	4,80 ó 13,46	1,3 ó 5,8	3,0 ó 415,0	solanka 41,9
Czechowice CzIG-1	653,0 ó 662,0	<u>3,25</u> 70,0	<u>116,0</u> 52,0	<u>0,082</u> 185,1	679,0 ó 684, 0	7,73 ó 21,13	0,7 - 088	0,1 ó 0,165	<u>solanka</u> 79,5
D bowiec DbIG-1			nb		894,0 ó 997,5	2,95 ó 27,74	0,59 ó 6,02	0,1 - 83,0	nb
Drogomy l DrIG-1			nb		710,0 ó 757,6	5,52 ó 8,42	-	0,1 ó 0,42	nb
Drogomy l DrIG-57	803,0 ó 863,0	<u>2,96</u> 1,2	<u>136,8</u> 67,88	<u>bd</u> bd		<u>solanka</u> 47,9			
Jaworze JaeIG-1	1170,0 ó 1216,0	<u>0,9</u> 375,0	<u>126,5</u> 94,15	<u>bd</u> 263			nb		<u>solanka</u> 65,8
Kaczyce Ka-21	837,5 ó 873,2	<u>4,4</u> 508,4	<u>329,0</u> 51,9	<u>0,008</u> -			nb		<u>silnie s€ne</u> 32,4
Kaczyce Ka-25	863,3 ó 951,3	<u>17,6</u> 580,0	<u>320,0</u> 58,5	<u>0,003</u> -			nb		<u>silnie s€ne</u> 23,7
Kaczyce Ka-26	875,3 ó 954,5	<u>0,88</u> 20,0	<u>245,0</u> 63,0	<u>0,054</u> 47,7			nb		<u>solanka</u> 59,8
Kal bice Kal-1			<u>nb</u>		1110,0 ó 1180,0	7,04 ó 12,66	-	0,9 ó 47,0	nb
Mi dzy wie Mie-H2	818,0 ó 1027,0	<u>4,1</u> 550,0	<u>80,0</u> 73,8	bd bd			<u>solanka</u> 112,0		
Ogrodzona Og-1	910,0 ó 1019,5	<u>1,5</u> bd	<u>115,0</u> 69,54	bd bd			nb		solanka 98,0
Rudzica RudIG-1			nb		759,7 ó 764,0	4,0 ó 8,76	0,95 ó 1,19	0,1 ó 0,18	nb

Tabela 1.1.6.6. Parametry hydrodynamiczne i zbiornikowe kolektora d bowieckiego w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice

	Badania bezpo rednie										
Nazwa otworu	interwa€ badany (m)	wydajno (<u>m³/h)</u> depresja (m)	zwierciad ustalone (<u>m p.p.t</u>) ci nienie z o owe (at)	wspó€zynnik <u>filtracji (m/d)</u> promie leja depresji (m)	interwa€ badany (m)	porowato (%)	ods czalno (%)	przepuszczalno (%)	<u>Medium</u> mineralizacja (g/dm³)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Skoczów	864,4 ó	bd	<u>36,7</u>	bd							
Sko-1	908,0	bd	61,44	bd		79,56					
Zamarski	1073,0 ó	3,0	<u>318,0</u>	0,005	1080,0 ó	166130	01633	016435	nh		
ZamIG-1	1158,8	-	70,7	-	1140,5	1,0013,0	0,103,5	0,104,55	110		

Tabela 1.1.6.7. Typ genetyczny wód w g€bokich otworach badawczych w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice

NAZWA OTWORU ods€ni ty interwa€ data	Chybie IG-1 909 - 992 04.05.1984 r.	Czechowice IG-1 653 ó 662 m 04.11.1982 r.	Drogomy €IG-57 803 ó 863 19.07.1967 r.	Jaworze IG-1 1170 ó 1432 17.11.1979 r.	Ogrodzona -1 910 ó 1020 1948 r.	Skoczów-1 864 - 908 27.10.1948 r.			
parametr		warto parametru							
Odczyn Ph	6,6	6,4	7,2	5,2	8,0	6,4			
Sucha pozosta€ (mg/dm ³)	76 500	79 500	47 016	65 780	98 000	79 200			
typ wody*	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na			
typ wody**	chlorkowo-	chlorkowo-	chlorkowo-	chlorkowo-wapniowe/	chlorkowo-	chlorkowo-			
	wapniowe/kl. III	wapniowe/kl. III	wapniowe/kl. II	kl. III	wapniowe/kl. III	wapniowe/kl. III			
Na ⁺	17 954	20 927	15 121	17 400	27 202	26 402			
K ⁺	430	395	94	150	27 302	20 492			
Ca ²⁺	3 924	4 080	1 841	4 758	6 256	4 569			
Mg^{2+}	1 321	1 382	181	1 810	1 281	2			
Fe ³⁺	0	0	0	0,15	-	10			
Cl	40 500	44 000	28 981	40 771	56 779	48 576			
SO_4^{2-}									
HCO ₃	171	73	55	320	-	53			
Br	0	0	16	0	254	0			
J	0	0	57	0	22	0			
Na/Cl	0,684	0,733	0,805	0,658	-	<0,841			
Cl-Na/Mg	3,330	2,910	2,490	2,640	-	-			
typ genetyczny	4	4	4	4	4	4			

stopie metamorfizmu	w. reliktowe					
stopie izolacji	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry
warunki do lokowania CO ₂	korzystne	korzystne	korzystne	korzystne	korzystne	korzystne

* klasyfikacja Szczukariewa-Prik€ skiego; ** klasyfikacja Sulina z modyfikacj Bojarskiego (Bojarski, 1969)

Tabela 1.1.6.7 cd. Typ genetyczny wód w g€bokich otworach badawczych

NAZWA OTWORU ods€ni ty interwa€ data	Cieszyn IG-1 1092 - 1140 13.09.1980 r.	Kaczyce 21 840 ó 870 21.01.1988 r.	Kaczyce 25 900,0 ó 930,0 19.05.1987 r.	Kaczyce 26 890 ó 909 21.04.1978 r.	Mi dzy wie H2
parametr					
Odczyn Ph	-	8,2	8,0	7,9	-
Sucha pozosta€ (mg/dm ³)	41 945	32 428	23 652	59 758	112 000
typ wody*	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na	-
typ wody**	chlorkowo-wapniowe/kl. III	chlorkowo-wapniowe/kl. II	chlorkowo-wapniowe/kl. II	chlorkowo-wapniowe/kl. III	
Na ⁺	13 055,00	7 236,49	6 693,0	19 094,37	-
\mathbf{K}^+	195,48	211,65	147,33	199,20	-
Ca^{2+}	3 294,60	612,50	723,64	2 100,00	-
Mg^{2+}	65,66	175,00	5,00	630,00	-
Fe ³⁺	-	0,90	0,44	6,08	-
Cl	24 750,00	12 056,40	10 815,00	35 105,40	-
SO_4^{2-}	156,16	113,13	208,99	17,69	-
HCO ₃	468,64	1 128,50	1 207,80	106,75	-
Br	-	-	-	-	-
J	-	-	-	-	-
Na/Cl	0,813	0,926	0,955	0,839	-
Cl-Na/Mg	24,12	1,75	33,73	3,08	-
typ genetyczny	4	3	3	4	-
stopie metamorfizmu	w. reliktowe	kontakt z wodami	kontakt z wodami	w. reliktowe	-
		infiltracyjnymi	infiltracyjnymi		
stopie izolacji	dobry	kolektor rozszczelniony	kolektor rozszczelniony	dobry	-
warunki do lokowania CO ₂	korzystne	warunkowe	warunkowe	korzystne	-

* klasyfikacja Szczukariewa-Prik€ skiego; ** klasyfikacja Sulina z modyfikacj Bojarskiego (Bojarski, 1969)

Zbiornik warstw d bowieckich w rejonie K ty-Andrychów

Wytypowany rejon K ty-Andrychów administracyjnie nale y do powiatu bielskiego i ywieckiego w województwie l skim i powiatu wadowickiego w województwie ma€polskim. Obszar ten znajduje si w zasi gu drena u poziomów wodono nych wyrobiskami czynnej kopalni w gla kamiennego šBrzeszcze-Silesiaö(Kompania W glowa S.A.), która znajduje si w odleg€ ci ok. 2 km poza pó€ocn granic .

Wyznaczony rejon o powierzchni ok. 90 km² jest s€bo rozpoznany 9 otworami, najcz ciej wierconych bezrdzeniowo. Najwi cej informacji hydrogeologicznych uzyskano z dwóch otworów Bestwina IG-1 i K ty-11 zlokalizowanych na obrze ach rejonu oraz 3 otworów zlokalizowanych poza jego po€dniow granic (K ty-6, Bielsko-2 i Bielsko-4),

W profilu warstw d bowieckich przewa aj piaskowce ró noziarniste, które w wyznaczonym rejonie wype€iaj struktur dolinn ukszta€owan na powierzchni stropu paleozoiku. W jej granicach mi szo wzrasta od 25 m na górnej cz ci zbocza do ok. 150 m w miejscach jej najwi kszego przeg€bienia.

G€boko zalegania warstw d bowieckich jest zró nicowana w granicach od 700 m do 1100 m. Powierzchnia stropu warstw jest wyrównana i obni a si w kierunku wschodnim.

Na stropie warstw d bowieckich zalegaj ilaste osady miocenu, których mi szo zawiera si w przedziale 550-950 m. Natomiast ich pod€ e stanowi kompleks mu€wcowo-piaskowcowy z pok€dami w gla kamiennego karbonu górnego (seria mu€wcowa), cz ciowo tak e seria paraliczna i starsze formacje karbonu oraz seria w glanowa dolnego karbonu i dewonu.

Warunki hydrogeologiczne.

Omawiany rejon jest bardzo s€bo udokumentowany hydrogeologicznie. Tylko w jednym otworze Bestwina IG-1 wykonano badania laboratoryjne na próbkach rdzenia i tylko w jednym otworze K ty-11 badano przyp€w p€nu (Tab. **1.1.6.8**, **9**). Dodatkowo badania wykonano w ograniczonym zakresie i nie uzyskano wiarygodnych wyników z badania dop€wu p€nu do otworu. Wobec powy szego parametry hydrogeologiczne dla rejonu okre lono z bada regionalnych wykonanych dla pó€ocno-wschodniej cz ci obszaru wyst powania warstw d bowieckich. Nale y jednak zaznaczy, e cytowany rejon charakteryzowany w badaniach regionalnych, nale y do najs€biej rozpoznanych i udokumentowanych geologicznie.

W wyznaczonym rejonie zbiornik d bowiecki zawiera solanki o mineralizacji 65,4 g/dm³ (wyra ona jako sucha pozosta \bullet). Badana woda nale y do s \bullet bo zasadowych (pH 7,5) i bardzo twardych (> 10 mval/dm³).

Kr enie wód odbywa si w systemie porowym piaskowców i zlepie ców. S to ska rednio porowate (od 7,1% do 24,1%), sto ods czalne (od 6,7 do 9,6%) oraz sto przepuszczalne (od 1,2 do 9,8 mD - przeliczone na warto ci wspó $x10^{-8}$ m/s). Parametry hydrogeologiczne zbiornika d bowieckiego okre laj poziom jako sto zawodniony. Otrzymano dop wy solanki do otworu w ilo ci od 0,04 do 1,8 m³/h.

Poziom wodono ny warstw d bowieckich tworzy porowy, zakryty i g€boki zbiornik wód podziemnych. Zwierciad€ wody ma charakter subartezyjski i stabilizuje si na g€boko ciach rz du 100-150 m (ci nienia piezometryczne s rz du 6-9 MaP). Generalnie przep€w wód odbywa si w kierunku rozleg€ch przeg€bie powierzchni stropu karbonu. Uk€d kr enia zosta€zaburzony przez antropopresj . Zbiornik znajduje si pod wp€wem oddzia€wania górnictwa w gla kamiennego.

		Bada	nia bezpo rednie						
Nazwa otworu	interwa€ badany (m)	wydajno (<u>m³/h)</u> depresja (m)	zwierciad 6 ustalone (<u>m p.p.t)</u> ci nienie z6 owe (at)	wspó€zynnik <u>filtracji (m/d)</u> promie leja depresji (m)	interwa€ badany (m)	porowato (%)	ods czalno (%)	przepuszczalno (%)	<u>Medium</u> mineralizacja (g/dm³)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bestwina	nb				742,0 ó	22,31 ó 24,05	6,72 ó 9,65	-	-
BeIG-1					774,9				
K ty	870,0 ó	<u>0,003</u>	-	-	nb				<u>solanka</u>
Kt-11G	976,0	-							65,4
K ty	1009,5 ó	<u>0,004</u>	-	-	nb				-
Kt-6	1012,5	-							
Bielsko	783,5 ó	0,297	<u>98,0</u>	-	nb				<u>woda silnie s€na</u>
B-2 *	793,5	-	68,6						28,9
Bielsko	1255,0 ó	<u>6,5</u>	-	-					<u>woda silnie s€na</u>
B-4*	1355,0	-							31,8
Bielsko	1365,0 ó	1,880	-	-	nh				solanka
B-4 *	1372,0	-			110				51,3

Tabela 1.1.6.8. Parametry hydrodynamiczne i zbiornikowe kolektora d bowieckiego w rejonie K ty-Andrychów

* otwory zlokalizowane w s siedztwie wyznaczonego rejonu
Tabela 1.1.6.9. Typ genetyczny wód w g€bokich otworach badawczychw rejonie K ty-Andrychów

NAZWA OTWORU ods€ni ty interwa€ data	K ty 11 870,0 6 876,0 08.03.1982 r.	Bielsko 2* 785,0 ó 793,0 10.06.1963 r.	Bielsko 4 * 1255,0 6 1335,0 26.07.1963 r.	Bielsko 4* 1365,0 ó 1372,0 15.08.1963 r.
parametr	warto parametru			
Odczyn Ph	7,5	8,0	8,0	7,0
Sucha pozosta€ (mg/dm ³)	65 402	28 922	31 838	51 316
typ wody*	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na	Cl-Na
typ wody**	chlorkowo-	chlorkowo-	chlorkowo-	chlorkowo-
	wapniowe/kl. III	wapniowe/kl. II	wapniowe/kl. II	wapniowe/kl. III
$rac{\mathrm{Na}^{+}}{\mathrm{K}^{+}}$	18 375,5	8 764,1	11 328,4	15 064,8
Ca^{2+}	3 607.2	1 457.4	656.7	3 390.5
Mg ²⁺	1 155.2	522.2	345.3	971.6
Fe ³⁺	3.5	13.3	76.2	14.0
Cl	38 119.5	17 375.4	19 503.0	31 648.0
SO4 ²⁻	8.4	121,1	150,0	503,9
HCO ₃	122.0	292.9	238.0	94.6
Br	-	-	-	-
J	23,0	12,7	76,1	-
Na+K/Cl	0,743	0,778	0,896	0,734
Cl-Na/Mg	11,32	11,41	19,37	11,17
typ genetyczny	4	3	3	4
stopie metamorfizmu	w. reliktowe	kontakt z wodami infiltracyjnymi	kontakt z wodami infiltracyjnymi	w. reliktowe
stopie izolacji	dobry	kolektor rozszczelniony	kolektor rozszczelniony	dobry
warunki do lokowania CO ₂	korzystne	warunkowe	warunkowe	korzystne

* klasyfikacja Szczukariewa-Prik€ skiego

<u>G€boko</u> wyst powania strefy wymiany (mieszania) si solanek i wód s€dkich

Charakterystyk hydrogeochemiczn kolektora d bowieckiego w wytypowanym rejonie przedstawiono na podstawie analizy sk tu chemicznego wód z 1 otworu (Tab. **1.1.6.9**). Do oceny stopnia szczelno ci zastosowano uproszczon metodyk okre laj c 6 typów genetycznych wód wraz z charakterystyk stopnia metamorfizmu wód i strefami mieszania si solanek z wodami stołkimi (Tab. **1.1.6.5**).

Do otworu K ty-11 dopwa solanka o suchej pozosta ci 65,4 g/dm³. Jest to solanka o wysokim stopniu przeobra e chemicznych, przy Na/Cl = 0,74. Wg zaproponowanej klasyfikacji typu genetycznego, wody te nale do 4 kategorii okre laj cej je jako wody zmetamorfizowane, b d ce w kontakcie z wodami infiltracyjnymi w przesz ci, co stwarza generalnie korzystne warunki do lokowania CO₂.

Wg klasyfikacji Sulina-Bojarskiego wody nale do typu wód chlorkowo-wapniowych, charakteryzuj cych wody sedymentacyjne, pochodz ce ze stref izolowanych od dop€wu wód infiltracyjnych (Bojarski, 1969).

1.1.7 Wyznaczenie stref wyû czonych z sekwestracji CO2

O wy€czeniu danego obiektu/strefy z sekwestracji CO2 mo e zadecydowa wyst powanie uj wodnych, g€wnych zbiorników wód podziemnych, a tak e starych zlikwidowanych otworów, co do których zachodzi podejrzenie mo liwo ci ucieczki mediów z€ owych wskutek nieszczelno ci zacementowania. Ostatnie zagadnienie szczegó€wo przeanalizowa€ zespó€ AGH (wybrano najistotniejsze zagadnienia dla tematyki tego rozdzia€) o czym poni ej.

Wyst powanie uj wodnych mo e by przeciwskazaniem do lokalizacji odwiertu zat€czaj cego CO2 (nie mo na prowadzi robót geologicznych w strefie ochronnej uj cia, si gaj cej do kilkunastu-kilkudziesi ciu metrów od studni), jednak e obecno uj w obr bie danej struktury nie wyklucz jej przydatno ci do sekwestracji. Natomiast obecno G€wnych Zbiorników Wód Podziemnych wymaga ostro no ci przy typowaniu struktury na ich obszarze. Wspomniane zagadnienia hydrogeologiczne by € ju analizowane w poprzednim rozdziale (1.1.6) ó generalnie mo na stwierdzi e wybór obszaru najbardziej perspektywicznego (Skoczów ó Czechowice ó Cieszyn) w adnym przypadku nie zagra a GZWP na tym obszarze. Podobnie ma si sprawa z zasi giem eksploatacji górniczej (patrz rozdzia€ 1.1.3, 1.1.4 i 1.1.6), tzn. jednym z najwa niejszych kryteriów by€brak zagro e zwi zanych z pobliska dzia€lno ci górnicz .

Pozostaje sprawa zlikwidowanych otworów, co jest istotne na obszarze (po€dniowej) cz ci GZW, gdzie mamy setki otworów wiertniczych przewiercaj cych potencjalny nadk€d uszczelniaj cy rozpatrywanych kolektorów. Wynika to z faktu e jest to nie tylko obszar wyst powania karbonu w glono nego ale te obszar poszukiwa naftowych (strefa frontu Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego).

Zagadnienia stanu technicznego i szczelno ci otworów Stanis€w Stryczek, Andrzej Gonet, Rafa€Wisniowski - AGH

Zabieg cementowania rur ok adzinowych jest jednym z wa niejszych etapów prac wiertniczych, maj cych na celu m.in. izolacj stref produkcyjnych, poziomów wodnych oraz odcinków ucieczki p€czki wiertniczej. W ostatnim okresie czasu w górnictwie naftowym zwraca si coraz wi ksz na przestrzeganie pewnych zasad, dotycz cych zarówno przygotowania otworu douwag rurowania, techniki i technologii cementowania, jak i czynno ci prowadzonych w otworze po ww. zabiegu, bowiem od jako ci wykonania tych prac cz sto zale y przysz€ eksploatacja z odwiertu. Nie mo na powiedzie, e który z tych etapów jest wa niejszy od drugiego, gdy np. zbagatelizowanie czynno ci w fazie przygotowania otworu do rurowania czy przy zapuszczaniu rur do otworu spowoduje, e niezale nie od jako ci wykonania samego zabiegu ocena skuteczno ci zacementowania rur, przeprowadzona na podstawie profilowa geofizyki wiertniczej, b dzie negatywna. Kompleksowa ocena, analizuj ca tak e przyczyny braku skuteczno ci zwi zania kamienia cementowego z rur, wymaga wiedzy z zakresu ró nych dyscyplin naukowotechnicznych. Coraz cz ciej oceny te s dyskutowane w gronie wiertników, przedstawicieli serwisów cementacyjnych i geofizyków.

Dla rozpoznania trudno ci zwi zanych z uzyskaniem w€ ciwego uszczelnienia kolumn rur ok€dzinowych, które wyst pi€ na obszarze frontu Karpat i Zapadliska (cz zachodnia) przeprowadzono analizy z otworów odwierconych. Z analizy wynika, e jedynie oko€ 15 % w pe€i spe€i € swoje zadania, uzyskuj c przyp€wy gazu o warto ci przemys€wej.

Mo na zauwa y , e przy wierceniu wszystkich otworów napotkano na powa ne trudno ci wiertnicze wynikaj ce z wyst powania z \bullet onych warunków geologicznych na obszarze Zapadliska Przedkarpackiego oraz Karpat. Do utrudnie tych mo na zaliczy wyst powanie zró nicowanych ci nie z \bullet owych i porowych oraz niskich gradientów ci nie szczelinowania. Powa ne trudno ci obserwowano przy doborze receptur p \bullet czek wiertniczych maj cych wp \bullet w na stateczno ciany

otworu wiertniczego. Trudno ci te powodowa€ znaczne przed€ enie czasu wiercenia, liczne przychwytywania przewodu wiertniczego, które niejednokrotnie wymusza€ konieczno zbaczania otworu, a nawet doprowadza€ do konieczno ci likwidacji otworów wiertniczych ze wzgl dów technicznych. Na podstawie analizy raportów wiertniczych oraz wiadomo ci zawartych w licznych publikacjach mo na stwierdzi , e:

- 1. Analiza rozk€du anomalnie wysokich ci nie porowych i z€ owych pozwala stwierdzi , e problem ten nie jest w pe€i poznany i zachodzi potrzeba dalszych bada nad genez tych ci nie , a tak e nad mo liwo ciami prognozowania ci nie w oparciu o pomiary sejsmiczne.
- Znajomo miejsca wyst powania anomalnie wysokich ci nie i ich wielko ci powinna pomóc przy stosowaniu blokatorów przep€wu gazu przez kamie cementowy. By mo e, e jednym z wyj b dzie konieczno stosowania pakerów rurowych nad stref anomalnie wysokich ci nie porowych i z€ owych.
- 3. Rozk€d ci nienia porowego, z€ owego, szczelinowania i geostatycznego powinien by rozpoznany przed przyst pieniem do projektowania otworów wiertniczych w oparciu o wcze niej uzyskane dane z pomiarów sejsmiki oraz dane uzyskiwane z wcze niej wykonanych otworów lub bie cych pomiarów geofizyki wiertniczej i danych wiertniczych.
- 4. Problem braku wi zania cementu na przeciw ska€ilastych przenosz cych anomalnie wysokie ci nienie porowe (AWCP) mo na t€maczy nast puj co: po wyt€czeniu zaczynu cementowego rozpoczyna on wi zanie poprzez tworzenie struktury. W tym czasie, ci nienie panuj ce w nim jest równe ci nieniu wody zarobowej. Je eli ci nienie porowe w ska€ch jest znacznie wi ksze od ci nienia hydrostatycznego cieczy zarobowej nast puje odpr anie ska€ i tworzenie sieci mikrosp ka , którymi gaz znajduj cy si pod anomalnie wysokim ci nieniem przep€wa do tworz cej si struktury cementu, czyni c z niej struktur podobn do pumeksu lub niszcz c j .
- 5. Obserwowane ekshalacje gazu z przestrzeni pozarurowej lub mi dzyrurowej wynikaj prawdopodobnie z tego, i wielko ci nienia porowego jest wi ksza ani eli wytrzyma€ lateksu u ytego jako czynnika zapobiegaj cego migracji gazu przez wi cy kamie cementowy. Zagadnienie to wymaga dalszych bada laboratoryjnych i przemys€wych.
- 6. Zagadnienie anomalnie wysokich ci nie porowych i z€ owych nie jest w pe€i poznane i wymaga dalszych bada, a zw€szcza w zakresie stosowania blokatorów przep€wu gazu przez kamie cementowy. By mo e, e jednym ze rodków b dzie konieczno stosowania pakerów rurowych w Karpatach nad stref anomalnie wysokich ci nie porowych i z€ owych.
- 7. Nale y maksymalnie mo liwie skróci czas kontaktu ska€ilastych z p€czk wiertnicz, której w€ ciwo ci oraz chemizm powinny by szczególnie wnikliwie dobrane w celu niedopuszczenia do zachwiania stateczno ci ciany otworu wiertniczego.
- 8. Najwi kszy wp€w na zachowanie si analizowanych ska€ilastych (mioce skich) ma p cznienie w obecno ci wody s€dkiej, które w pewnych przypadkach przekracza 50%. Drugim parametrem mog cym mie istotny wp€w na stateczno ska€ilastych w ods€ni tej partii otworu jest pole powierzchni aktywnej, które w po€czeniu ze wspó€zynnikiem hydratacji decyduje o wielko ci ci nienia p cznienia.
- 9. Zasadniczym wnioskiem wynikaj cym z wykonanych pomiarów p cznienia jest stwierdzenie, e filtrat z zaczynu cementowego nie wp€wa, lub te wp€wa w minimalnym stopniu na zmiany obj to ci próbek poddanych wcze niej dzia€aniu filtratu z p€czki wiertniczej.
- 10. W odniesieniu do niektórych ska€ilastych, poddanych dzia€iniu filtratu p€czkowego, obserwuje si skurcz ska€ po jej kontakcie z filtratem zaczynu cementowego. Zjawisko to wymaga dalszych bada w celu poznania przyczyn tego stanu rzeczy.
- 11. W wielu przypadkach, gdy ska€ ilaste posiadaj ce wysok podatno na hydratacj i dyspersj s zaburzone tektonicznie oraz wyst puj w nich anomalnie wysokie ci nienia, to

mo na si spodziewa wyst powania powa nych problemów w czasie wiercenia i cementowania otworu wiertniczego.

12. Projektowanie i wykonywanie skomplikowanych przypadków cementowania rur ok€dzinowych powinno by realizowane przez wyspecjalizowane jednostki us€gowe, dysponuj ce zarówno nowoczesnym sprz tem do cementowa , jak te najnowsz technologi wykonywania tych zabiegów (np. Serwis Cementacyjny w Wo€minie).

Zagadnienia wyp€wów (ekshalacji) gazu ziemnego na powierzchni ziemi z przestrzeni mi dzyrurowych otworu, na skutek jego migracji ze z€ a przez wi cy zaczyn cementowy lub po jego zwi zaniu zosta€ šdostrze one" dopiero na pocz tku lat 60-tych Z tego okresu pochodz pierwsze publikacje wskazuj ce na zale no skuteczno ci cementowania rur ok€dzinowych i migracji gazu od takich czynników jak spadek ci nienia w czasie wi zania cementu, mo liwo niepe€e wypieranie p€czki przez zaczyn cementowy w czasie cementowania, nieszczelno ci wyst puj ce na kontakcie zwi zanego cementu z rurami i na kontakcie ze ciana otworu, odkszta€enia rur pod wp€wem zmian ci nienia (próby szczelno ci) i innych W nast pnych dziesi cioleciach zwi ksza si systematycznie liczba publikowanych opracowa i patentów opartych na wynikach ró norodnych bada laboratoryjnych oraz obserwacji i pomiarów w warunkach kopalnianych. Efektem tych prac jest odkrywanie coraz to nowych czynników techniczno-technologicznych i geologicznych, wp€waj cych na wyst powanie migracji i ekshalacji gazu w otworze, które stanowi€ podstaw doskonalenia technologii cementowania oraz potrzebnego do tego celu sprz tu. Pomimo jednak kontynuowanych bada i ró nych opracowa z w€czeniem techniki komputerowej nadal istnieje pewien odsetek cementowa nieskutecznych (nieudanych), czego wyrazem s ekshalacje gazu ziemnego.

Problematyk migracji i ekshalacji gazowych zajmowa€ si wielu ludzi nauki, realizuj c ró ne badania laboratoryjne i przemys€we oraz specjalistów technicznych zwi zanych bezpo rednio z wykonawstwem cementowa . wiadczy o tym wiele dziesi tków publikacji ukazuj cych si zagranic , a tak e w kraju, w których autorzy opisuj mniej lub bardziej szczegó€wo wp€w ró nych czynników geologicznych, technologicznych i organizacyjnych na wyniki cementowania rur ok€dzinowych w otworze gazowym. Podkre la si , e o ile przep€wy (przecieki) pozarurowe ropy naftowej i wody z€ owej wyst puj sporadycznie i s na ogó€€twe do opanowania, to migracje i ekshalacje gazu ziemnego s do cz ste i eliminowanie ich stanowi bardzo z€ ony problem.

Na z€ ono problematyki zapobiegania migracji pozarurowej i wyp€wu gazu wskazuje du a ilo wymienionych przez niektórych autorów czynników i uwarunkowa, od których uzale niona jest w ro nym stopniu skuteczno cementowania rur ok€dzinowych.

Celowe b dzie wyszczególnienie w okre lonym porz dku tych czynników, zarówno obiektywnych jak i subiektywnych, gdy powinny one by brane pod uwag przy wykonywaniu wszelkich analiz nieudanych cementowa a ponadto wskazuj na du y zakres prac zwi zanych z tego rodzaju analiz .

W skrótowej formie wspomniane czynniki mo na uszeregowa nast puj co:

- geologiczne, do których zalicza si temperatur, ci nienie (górotworu i z€ owe), litologiczn i fizyczn charakterystyk ska€ (porowato, szczelinowato, przepuszczalno, wytrzyma€ mechaniczn, gradient szczelinowania itd), tektoniczne zaburzenia, rodzaje p€nów z€ owych, ilo i mi szo warstw przepuszczalnych, odleg€ ci mi dzy warstwami produktywnymi i wodono nymi i inne;
- techniczne, tj jako rur ok€dzinowych (wady materia€we) i stan ich powierzchni zewn trznej, szczelno po€cze gwintowych, uzbrojenie kolumny rur (but, zawór zwrotny, pier cie oporowy, centralizatory, skrobaki, turbulizatory, mufa wielostopniowego cementowania, klocki cementacyjne, pakery rurowe), charakterystyka i sprawno urz dze i sprz tu cementacyjnego, mo liwo ci techniczne i sprawno ci aparatury kontrolno-

pomiarowej itd.;

- technologiczne, do których nale , konstrukcja otworu d€go i rednica kolumn rur, w tym d€go w nieorurowanym odcinku otworu, wielko poprzecznego przekroju przestrzeni pier cieniowej, ewentualne komplikacje w czasie rurowania, stan techniczny i przygotowanie otworu do rurowania i cementowania, koncetryczno kolumny rur w otworze, rodzaje i parametry p€czki wiertniczej, w tym równie charakterystyka osadu filtracyjnego, sk€d, obj to i parametry zaczynu cementowego (zaczynów cementowych), sporz dzanie zaczynów cementowych, wyt€czanie zaczynu poza rury (charakter przep€wu), poruszanie i obracanie kolumn rur w czasie cementowania, ci nienia wywierane w otworze i przestrzeni mi dzyrurowej po uko czeniu cementowania;
- mechaniczne: udary i wibracje widra i przewodu wiertniczego podczas zwiercania korka cementowego, buta i dalszego wiercenia, perforacja rur, zmiany ci nienia w otworze przy wykonywaniu opróbowa i zabiegów stymulacyjnych;
- organizacyjne, obejmuj ce wyposa enie i dyspozycyjno zaplecza laboratoryjnobadawczego, przygotowanie teoretyczne i przygotowanie zawodowe s€ by cementacyjnej. projekty rurowania i cementowania oraz zakres wykorzystywania informacji geofizycznej, geologicznej i wiertniczej przy ich opracowywaniu, zgodno wykonawstwa zabiegu cementacyjnego z projektem i ewentualne komplikacje, czynno ci po cementowaniu.

Do podstawowych kryteriów odporno ci stwardnia §ch zaczynów cementowych na agresj, spowodowan chemicznym oddzia §waniem rodowiska, zaliczy nale y:

- mo liwie najni sz zawarto Ca(OH)₂ (portlandytu),

- obecno w stwardnia€m zaczynie jak najwi kszej ilo ci fazy CSH,

- nisk zawarto fazy C₃A w cemencie,

- mo liwie najni sz porowato ogóln (z maksymalnym udzia€m porów elowych i mo liwie najni szym porów kapilarnych).

Szczegó 6 wy obraz mechanizmu korozji i zmian, zachodz cych pod jej wp wem w mikrostrukturze stwardnia go zaczynu cementowego w konkretnych warunkach z owych, mo na uzyska poprzez przeprowadzenie wieloletnich obserwacji popartych badaniami próbek, poddanych dzia niu roztworów o sk dach, odpowiadaj cych wodom z owym w okre lonych temperaturach. D goletnie badania oddzia wania rodowiska otworu wiertniczego na parametry stwardnia ch zaczynów cementowych mog przyczyni si do oceny przydatno ci ró nych rodzajów zaczynów cementowych do uszczelniania kolumn rur ok dzinowych w danych warunkach geologiczno - z owych.

Obserwowane w praktyce uszkodzenia stwardnia€go zaczynu cementowego wskutek korozji chemicznej s ró norodne i trudne do usystematyzowania ze wzgl du na nak€danie si na siebie ró nych zjawisk. Przy zetkni ciu z wod i rozpuszczonymi w niej sk€dnikami reakcje korozji pomi dzy zaczynem cementowym a czynnikami agresywnymi mo na przedstawi jako zak€cenie stanu równowagi w stwardnia€m zaczynie przez €gowanie i odprowadzanie sk€dników na zewn trz oraz jako reakcje prowadz ce do zniszczenia jego mikrostruktury przez powstawanie zwi zków o niskiej wytrzyma€ ci lub zwi zków p czniej cych. Poznanie ca€ ci zagadnienia korozji stwardnia€go zaczynu cementowego i w€ ciwa ocena konkretnych przypadków jest bardzo trudna ze wzgl du na du ilo wyst puj cych w tym procesie czynników.

Wycieki poprzez uszkodzenia stwardnia€go zaczynu uszczelniaj cego górotwór spowodowane s zachodz c korozj w glanow . Korozja w glanowa lub kwasow glanowa spowodowana jest obecno ci w wodzie lub powietrzu agresywnego CO₂ i polega ona na €gowaniu z cementu wapnia, najpierw wolnego Ca(OH)₂, a w miar jego wymycia tak e z uwodnionych krzemianów i glinianów. Jest to spowodowane tworzeniem kwa nego w glanu wapniowego i odprowadzenia go na zewn trz. Nagromadzenie tylu trudno ci, które mog oddzia €wa w po€czeniu z przedstawion charakterystyk geologiczno-z € ow , wskazuje na z € ono procesów technologii cementowania, dlatego nie jest mo liwe stosowanie standardowych technologii z wykorzystaniem "prostych" zaczynów cementowych, gdy nie ma pewno ci przeprowadzenia skutecznego zabiegu cementowania otworu wiertniczego w d € szej perspektywie.

W praktyce oznacza to e przy ocenie ryzyka geologicznego sk€dowania dla wybranej struktury (obiektu) nale y zawsze uwzgl dnia nieszczelno starych otworów w s siedztwie planowanej lokalizacji otworów zat€czaj cych. Wynika to tak e z faktu e zat€czany dwutlenek w gla mo e teoretycznie oddzia€wa z cementem w starych, zlikwidowanych otworach przez okres wielu dziesi tków a nawet (lecz w coraz mniejszym stopniu) setek lat. Sprawy te b d przedmiotem prac w kolejnym etapie dla rejonu (po€dniowej cz ci) GZW, dla wytypowanego potencjalnego sk€dowiska. Nale y przy tym nadmieni e obecno starych/wcze niej wykonanych otworów na obszarze potencjalnego sk€dowiska jest jednak po dana, gdy to dzi ki nim w€ nie dysponujemy wiarygodna informacj o w€sno ciach górotworu.

1.1.8 Przedstawienie modeli układów sekwestracyjnych w Polsce (rejon GZW) i wskazanie stref oraz wybranych struktur o własno ciach szczególnie korzystnych dla geologicznego składowania CO2

Maciej Tomaszczyk ó PIG-PIB

Przedmiotem zadania jest opracowanie modeli parametrycznych kolektorów i uszczelnie dla wytypowanych obszarów (struktur) w oparciu o u rednione warto ci parametrów petrologicznych, parametrów petrofizycznych z karota u i analiz laboratoryjnych (formaty Petrel/Gocad).

Aby uzyska model przestrzenny w pierwszym etapie konieczne jest stworzenie modelu strukturalnego (*structural modelling*). W jego sk€d wchodzi: przestrzenny model dyslokacji (*fault model*) na obszarze bada , który umo liwia naniesienie zarysu pierwotnego gridu 3D obejmuj cego kolumny (*pillars*) rozci gni tego równolegle do przebiegu dyslokacji mi dzy powierzchni stropow i sp gow modelu mi dzy trzema powierzchniami szkieletowymi (*skeleton*) powi zanymi z przebiegiem uskoków za po rednictwem górnego, rodkowego i dolnego punktu kszta€uj cego. Procedura ta jest okre lana jako, tzw. *pillar gridding*. Utworzone komórki *pillar gridu* maj w p€szczy nie XY nieregularny kszta€ determinowany przebiegiem dyslokacji i ca€owit dost pn przestrzeni modelowania.

Kolejnym krokiem jest wprowadzenie do modelu tzw. horyzontów czyli granic geologicznych powsta€ch z przekszta€enia tzw. powierzchni (*surfaces*), najcz ciej regularnych siatek interpolacyjnych, RSI (=*gridów 2D*), obliczonych w Petrelu lub Gocadzie na podstawie wyników interpretacji sejsmiki i/lub danych otworowych (*well tops*), b d importowanych w formie RSI obliczonych w programach Zmap+, CPS-3, IRAP, EarthVision.

Pomi dzy, tak utworzone horyzonty mo na wprowadza kolejne granice sekwencji stratygraficznych (*zones*), np. obliczane metodami õsuperpozycyjnymiö przez odj cie modeli mi szo ci kolejnych warstw. W obr bie sekwencji mo na wprowadzi tak e sekwencje ni szego rz du (*sub-zones*). Finalny etap budowy osnowy stratygraficznej modelu stanowi wprowadzenie warstw (*layers*).

Model uskokowy

Model uskokowy *Fault Model*, w wi kszo ci programów dedykowanych do tworzenia modeli przestrzennych decyduje o formie osnowy stratygraficznej 3D, kszta€uj c szkielet modelu (skeleton) a tym samym *Pillar grid*. Nieci g€ ci wchodz ce w sk€d modelu uskokowego mo na tworzy na podstawie interpretacji sejsmicznej uskoków lub importu uskoków wyinterpretowanych w programach SeisWorks czy Charisma lub Kingdom (w formacie tzw. *Fault Sticks*).

Precyzyjne opracowanie modelu uskokowego decyduje w du ej stopniu o jako ci osnowy stratygraficznej. Drobne b€dy, np w strefach kontaktu uskoków, wp€waj na powstawanie czasami drastycznych artefaktów w szkielecie modelu i/lub w ukszta€owaniu horyzontów ograniczaj cych sekwencje stratygraficzne modelu.

Uskoki wchodz ce w sk€d modelu mog si krzy owa , dyslokacje ni szej rangi (stowarzyszone) mog wygasa na uskokach g€wnych.

Poszczególne uskoki sk€daj si z linii kszta€uj cych (Key pillars). W zale no ci od zadeklarowanego typu uskoku ka da linia kszta€uj ca mo e zawiera : 2 -5 punktów kszta€uj cych w zale no ci od typu uskoku:

- Pionowy (Vertical ó 2 punkt, bez mo liwo ci zmiany nachylenia),
- Liniowy (Linear 2 punkty z mo liwo ci nachylenia powierzchni uskokowej)

• Listryczny (Listric 3 punkt - mo liwo ukszta€owania wkl s€j lub wypuk€j powierzchni)

• Zakrzywiony (Curved 5 - punktów, daje mo liwo dowolnego modelowania kszta€u powierzchni uskokowej)

W procesie obliczania powierzchni uskokowej mo na te wykorzysta tzw. linie trendu, wyznaczone w kierunkach I, J lub arbitralnym, definiuj ce kierunki przebiegu siatki w pomi dzy dwoma uskokami lub na obrze ach grida3D.

Model przestrzenny

Przedstawiony model uskokowy kszta€uje wewn trzn budow modelu 3D. Dalszy etap jego horyzontalnego podzia€i stanowi procedura tzw. *pillar griddingu*, - obliczenia 3 powierzchni szkieletowych (skeleton) sk€daj cych si z oczek o nieregularnym kszta€ie, uwarunkowanych ukszta€owaniem modelu uskokowego. Oczka trzech powierzchni szkieletowych s ukszta€owane w taki sposób, mo na przez nie przeprowadzi zestaw pionowych komórek modelu (kolumn-*pillars*) równolegle do dyslokacji buduj cych model uskokowy.

W trakcie *pillar griddingu* nast puje zamiana wspó€z dnych geometrycznych (XYZ) na wspó€z dne stratygraficzne I,J, K, zrotowane wzgl dem pó€ocy.

Do podstawowych parametrów deklarowanych podczas obliczania gridu szkieletowego nale :

- okre lenia spacjowania horyzontalnego (I,J);
- okre lenie rotacji siatki wzgl dem pó€ocy;
- okre lenie sposobu modelowania uskoku (linia ci g€ lub €mana);
- technika estymacji gridu szkieletowego (vector field lub local iteration);
- okre lenie sposobu roz€ enia komórek pionowych wzd€ uskoków, ilo uskoków i linii trendów;
- wykorzystanie poligonu ograniczaj cego;
- wyg€dzenie modelu.

Wprowadzenie sekwencji stratygraficznych (zones) i ich wewn trzne warstwowanie (layers)

Po zako czeniu procedury modelowania uskoków i opracowaniu modelu szkieletowego nale y dokona pionowego podzia€ gridu geologicznego na sekwencje stratygraficzne (*zones*). Podstawowy podzia€ na sekwencje jest wykonywany w wyniku wprowadzenia granic strukturalnych sekwencji (*horizons*) w wyniku zastosowania procedury *Make horizons*. Dane wej ciowe do opracowania modelu stanowi :

Interpretowane linie sejsmiczne w formatach Charisma, IESX, Seisworks, GMA, Seismic Micro Technology, Petrel i in.

- Powierzchnie w formie regularnych siatek interpolacyjnych (gridy 2D), np. w formatach
- Zmap+, CPS-3, IRAP, EarthVision, i in.
- Stratygrafia w odwiertach (tzw. *Well tops*)
- Dane punktowe lub otworowe (np. cyfrowane kontury, dane otworowe, itp).

Do modelowania poszczególnych horyzontów mo na stosowa do trzech uzupe€iaj cych zbiorów danych wej ciowych

si zbiorów danych wej ciowych.

Powsta€ horyzonty mo na zdefiniowa jako powierzchnie:

podstawow modelu (*base*) zgodn (*conformable*) erozyjna (*erosional*) nieci g (discontinuos, górna granica jest niezgodno ci erozyjn, dolna k tow)

Obliczane modele horyzontów uwzgl dniaj obecno dyslokacji, pozwalaj c na modelowanie

uskoków normalnych i odwróconych, a tak e uskoków synsedymentacyjnych i zawiasowych. Program umo liwia elastyczne modelowanie ukszta€owania strefy przyuskokowej i wielko ci zrzutów, zmiennej dla poszczególnych dyslokacji. Nawet w przypadku wykorzystania precyzyjnych regularnych modeli powierzchni strukturalnych, proces obliczania horyzontów ponownie oblicza map strukturaln Z wykorzystaniem algorytmu *Convergent Gridder* b d *Minimum Curvature* obliczana jest nieregularna, rozci ta uskokami siatka (*Horizon*). Ponowne przeliczanie oraz zamiana uk€du wspó€z dnych wp€waj na os€bienie precyzji modelu. B€dy tego rodzaju mo na zredukowa poprzez ponowne dowi zanie modelu do danych wej ciowych (*Well tops*). W wyniku obliczenia horyzontów model zostaje podzielony na sekwencje stratygraficzne. Jego dalszej stratyfikacji mo na dokonywa wprowadzaj c w istniej ce sekwencj (zones) kolejne škompleksy stratygraficzneö o mniejszej mi szo ci (sub-zones), z wykorzystaniem procedury make Zones. Kompleksy takie mo na wprowadza w obr bie istniej cej sekwencji (zone) np. wprowadzaj c modele izochorowe nad lub pod horyzont stanowi cy sp g lub strop sekwencji. Dodatkowo powsta€ granice sekwencji ni szego rz du mo na dowi za do danych punktowych (np. mi szo ci pomierzonej w odwiertach).

Procedur *make zones* mo na wprowadzi nast puj ce rodzaje sekwencji:

Constant ó o sta€j mi szo ci;

Isochore ó model mi szo ci (grid 2D);

Conformable ó na podstawie danych punktowych generowany jest strukturalny grid 2D powierzchni stropu (sp gu) kompleksu ni szej rangi;

Percentage ó mi szo kompleksu jest deklarowana jako procent ca€owitej mi szo ci sekwencji;

Rest ó w przypadku wprowadzenia kilku kompleksow ni szego rz du, pozosta€ resztkowa cz pierwotnej sekwencji stanowi sekwencj šresztkow ö;

Wprowadzanie sekwencji ni szego rz du odbywa si w kierunku od stropu do sp gu lub odwrotnie. Dla sekwencji ograniczonych powierzchniami niezgodno ci mo na zadeklarowa procedur rekonstrukcji sp gu lub zerodowanej cz ci warstwy.

Stropy i spagi utworzonych sekwencji mo na finalnie dowi za do otworów za pomoc procedury *well adjustment*. Procedura umo liwia rownie korekt obj to ci powsta€ch kompleksów ni szego rz du.

Dla procedur *Make horizons* i *Make zones* istnieje mo liwo obliczenia wspó€zynnika ryzyka (*uncertinity*).

Warstwowanie (Layering)

Ostatni etap opracowania osnowy stratygraficznej stanowi šuwarstwienieö powsta€ch sekwencji stratygraficznych (Fig. 1.1.8_3). Warstwy w modelu mo na wyznaczy w sposób:

- proporcjonalny (*proportional layering*) ó wyznaczaj c sta€ ilo warstw w ca€j sekwencji (*zone*)
- równolegle do stropu sekwencji, zachowuj c sta€ mi szo warstw (Proportional)
- równolegle do sp gu sekwencji, zachowuj c sta€ mi szo warstw
- stosuj c warstwowanie u€mkowe (wyznaczaj c sta€ proporcj poszczegolnych warstw wzgl dem mi szo ci ca€j sekwencji stratygraficznej.

Mi szo warstw (layers) zawsze stanowi kompromis pomi dzy rozdzielczo ci oraz ilo ci danych wej ciowych, a rozdzielczo ci modelu i jego ca€owit kubatur . Mi szo warstw w poszczególnych sekwencjach mo na ró nicowa, bior c pod uwag mi szo sekwencji, a tak e jej znaczenie dla poszukiwa naftowych czy procesu zat€czania dwutlenku w gla. By unikn nadmiernego rozcz€nkowania modelu mo na zadeklarowa minimaln mi szo rekonstruowanych sekwencji (zones) i warstw (lavers). Standardowo warto minimalna wynosi 1m.

Model danych w otworach (Upscaling/Well model)

Pierwszy etap przekszta€ania osnowy strukturalnej w model litologiczno ó zbiornikowy stanowi utworzenie tzw. modelu otworowego czy inaczej *upscaling* danych otworowych do postaci komorek [cells] rozlokowanych wzd€ trajektorii wierce . W p€szczy nie pionowej ilo komórek modelu otworowego jest uzale niona od g sto ci warstwowania (*layering*) poszczególnych sekwencji (*sequences, zones*) stratygraficznych modelu 3D. Dane wykorzystywane do stworzenia modelu otworowego obejmuj ci g€ krzywe geofizyczne, nieregularnie rozmieszczone w profilu otworu dane laboratoryjne, a tak e dane dyskretne, takie jak zakodowana cyfrowo litologia, zmienno facjalna czy stratygrafia. Importowane do modelu dane maj posta krzywych geofizycznych (format šlasö lub šlisö) b d odpowiednio formatowanych plików tekstowych ASCII.

Standardowe procedury *upscaling¢u* obejmuj szereg technik u redniania. Do najprostszych, cz sto stosowanych technik u redniania nale y metoda redniej arytmetycznej. Jest wykorzystywana szczególnie do przetwarzania zbiorów danych o du ej liczebno ci, wykazuj cych ci g€ zmienno, takich jak np. zailenie czy porowato, a znacznie rzadziej przepuszczalno.

Finalnym efektem jest model strukturalno-parametryczny (litologiczny). W naszym przypadku jest to model uk€du sekwestracyjnego warstw d bowieckich i pod€ a dla rejonu po€dniowej cz ci GZW (Rys. 1.1.8.1 ó 3).



Rys. **1.1.8.1** Mapa stropu warstw d bowieckich w po€dniowej cz ci GZW (dziury oznaczaj brak tego wydzielenia litostratygraficznego)



Rys. 1.1.8.2 Mapa sp gu warstw d bowieckich w po€dniowej cz ci GZW.



Rys. 1.1.8.3 Uk€d sekwestracyjny warstw d bowieckich w po€dniowej cz ci GZW.

1.1.9 Ocena rozprzestrzeniania si zatŵczonego CO2 w mediach zŵ owych dla wytypowanych obszarów

W ramach zadania wykonano wst pn charakterystyk jednego z potencjalnych obszarów do sk€dowania CO2 w poziomie solankowym warstw d bowieckich w utworach miocenu w po€dniowej cz ci GZW i jego obrze eniu. Na podstawie tej charakterystyki opracowano wst pne modele numeryczne w ró nych rejonach wytypowanego obszaru struktury wodono nej miocenu (rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice). Przeprowadzono równie wst pne symulacje rozp€wu zat€czonego CO2. Zbudowano pi ma€ch modeli, które obrazowa€ ró ne parametry warstw zbiornikowych w obszarze warstw d bowieckich, przy u yciu oprogramowania PetraSim (Jaros€w Che ko GIG). Ponadto, dla tego rejonu bada opracowano regionalny model hydrogeologiczny kolektora mioce skiego warstw d bowieckich i wykonano modelowania rozp€wu dwutlenku w gla z wykorzystaniem oprogramowania MODFLOW (Zbigniew Kaczorowski PIG-PIB OG). Opracowane materia€ zosta€ przygotowane redakcyjnie i przedstawione w formie niniejszego raportu (Janusz Jureczka PIG-PIB OG).

Ocena rozprzestrzeniania si zat€czonego CO2 w mediach z€ owych warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice - Jaros€aw Che ko, GIG

Zbiornik warstw d bowieckich (miocen)

Warstwy d bowieckie wyst puj w po€dniowej cz ci GZW, stanowi c pas o szeroko ci do 25 km. Zlokalizowane s w sp gowej cz ci miocenu w postaci utworów piaszczystozlepie cowatych. Zalegaj przewa nie bezpo rednio na utworach karbonu lub starszego miocenu, a tak e lokalnie na utworach serii w glanowej dolnego karbonu i dewonu b d na serii terygenicznej dolnego dewonu i kambru. W profilu pionowym tych warstw obserwuje si zmian wielko ci ziarn od najwi kszych w cz ci sp gowej do drobnych w stropie. G€wnie s to okruchy ska€ karbo skich (ilasto-mu€wcowe i piaskowcowe) oraz okruchy ska€w glanowych, magmowych i metamorficznych.

Mi szo ci opisywanych warstw s zmienne w przedziale od 25 m do 300 m, rednio oko€ 70 m. Zró nicowanie mi szo ci wynika z po€ enia i form morfologicznych pod€ a paleozoicznego. G€boko zalegania warstw d bowieckich waha si przewa nie w przedziale od 500 m do 1300 m ppt. Najp€cej wyst puj w cz ci zachodniej i na pó€oc od Bielska i K t (od 500 m do 900 m), natomiast w obszarze na wschód od Jaworza i na po€dnie od Bielska po Andrychów g€boko ta osi ga od 900 m do 1300 m ppt. Na wschód od Andrychowa warstwy te wyst puj na g€boko ci od 1000 m do prawie 2400 m. Do bada zosta€wyznaczony obszar w zachodniej cz ci wyst powania warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Zbiornik wodono ny warstw d bowieckich przykryty jest mioce skimi osadami formacji skawi skiej, tylko w cz ci po€dniowej wyst puje bezpo rednio pod utworami fliszu karpackiego. Zbiornik ten jest nieodnawialny i zawiera wody paleoinfiltracyjne. Rozpoznanie hydrogeologiczne nie jest równomierne. Najlepiej rozpoznane s cz ci: pó€ocno-zachodnia, po€dniowo-zachodnia i zachodnia omawianego obszaru, które wchodz w obr b wyznaczonego obszaru bada .

Porowato efektywna ska€jest zmienna i zawiera si w przedziale od 0,12% do 28,4% a warto rednia wynosi 10,5%. Wspó€zynnik filtracji kszta€uje si w zakresie od 4,2·10⁻⁹ do 1,9·10⁻⁴ m/s, przyjmuj c warto redni 7·10⁻⁶ m/s. Ci nienia piezometryczne wynosz od 2,9 MPa do 10,4 MPa. Wodono no zlepie ców i piaskowców wyra ona warto ci wydatków jednostkowych wynosi od 0,00038 m³/h·1mS do 0,3521 m³/h·1mS. rednio wydatek wynosi 0,0407 m³/h·1mS.

Ogólna mineralizacja wyra ona warto ciami suchej pozosta€ ci kszta€uje si w przedziale od 10,6 do 98,0 g/dm³. S to wody s€ne i solanki g€wnie typu Cl-Na oraz rzadziej Cl-Na-Ca. Odczyn (pH) waha si w granicach od 5,2 do 9,9.

Zbiornik warstw d bowieckich jest bardzo rozleg€, ma do dobre parametry hydrogeologiczne oraz izolowany jest od góry szczeln i grub seri utworów nieprzepuszczalnych. Ze wzgl du na zró nicowan mi szo utworów, g€boko ich zalegania, stan dotychczasowego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego oraz po€ enie w stosunku do terenów chronionych i wyrobisk górniczych kopal w gla w zbiorniku tym mo na wydzieli kilka obszarów, które mog by rozpatrywane jako miejsca ewentualnego sk€dowania CO₂. Ich lokalizacje b dzie mo na wyznaczy po zebraniu i analizie wszystkich informacji geologicznych, górniczych, hydrogeologicznych, geofizycznych i rodowiskowych. Nie mniej jednak ju na tym etapie bada mo na okre li , ze najwi ksze potencjalne mo liwo ci ma obszar po€ ony w zachodniej cz ci warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Budowa i lokalizacja modeli numerycznych



Rys. **1.1.9.1.** Lokalizacja modelowych obszarów w rejonie warstw d bowieckich; Cieszyn-Skoczów-Czechowice

W celu przeprowadzenia charakterystyki rozp€wu CO2 skonstruowano pi modeli numerycznych przy pomocy oprogramowania PetraSim, który to program posiada koprocesor

TOUGH2 umo liwiaj cy symulacje rozp€wu m. in. CO2. Modele te zlokalizowano w ró nych cz ciach rejonu wyst powania warstw d bowieckich w wytypowanym obszarze bada po€ onym w po€dniowej cz ci GZW (rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice) Wyznaczenie kilku modeli mia€ na celu zobrazowanie zmian parametrów zbiornikowych jak i zalegania warstw potencjalnego sk€dowiska. Lokalizacje wst pnych modeli numerycznych przedstawiono na mapie mi szo ci warstw d bowieckich w rejonie Cieszyn-Skoczów-Czechowice (Rys. 1.1.9.1).

Model nr 1

Model nr 1 zosta€zbudowany w rozdzielczo ci 8x6x10 komórek, a nast pnie zosta€ zag szczony w okolicach otworu iniekcyjnego do rozdzielczo ci 12x7x10, co w sumie da€ 840 komórek. Model zosta€opracowany w przedziale g€boko ciowym od -50 do -1050 m (Rys. **1.1.9.2**). Zbiornik o mi szo ci 100 m zlokalizowano w przedziale od -750 do -850 m. Porowato ska€buduj cych zbiornik okre lono w przedziale od 8,5 do 11,5 % (Rys. **1.1.9.3**). Przepuszczalno tej warstwy zawiera si w przedziale od 10 do 60 mD (Rys. **1.1.9.4**). Wspó€z dne otworu iniekcyjnego to X: 215515, Y: 817160.





Rys. 1.1.9.2. Model nr 1 ó widok ogólny









Z

Model nr 2 zosta€zbudowany w rozdzielczo ci 8x6x20 komórek, a nast pnie zosta€ zag szczony w okolicach otworu iniekcyjnego do rozdzielczo ci 10x8x20, co w sumie da€ 1600 komórek. Model zosta€opracowany w przedziale g€boko ciowym od -250 do -1250 m (Rys. **1.1.9.5**). Zbiornik o mi szo ci 250 m zlokalizowano w przedziale od -700 do -950 m. Porowato ska€uduj cych zbiornik okre lono w przedziale od 12 do 14 % (Rys. **1.1.9.6**). Przepuszczalno tej warstwy zawiera si w przedziale od 40 do 80 mD (Rys. **1.1.9.7**). Wspó€z dne otworu iniekcyjnego to X: 218220, Y: 821400.



Rys. **1.1.9.5.** Model nr 2 ó widok ogólny





Rys. 1.1.9.6. Model nr 2 ó porowato





Model nr 3 zosta€zbudowany w rozdzielczo ci 8x6x20 komórek, a nast pnie zosta€ zag szczony w okolicach otworu iniekcyjnego do rozdzielczo ci 10x8x20, co w sumie da€ 1600 komórek. Model zosta€opracowany w przedziale g€boko ciowym od 0 do -1000 m (Rys. **1.1.9.8**). Zbiornik o mi szo ci 200 m zlokalizowano w przedziale od -650 do -850 m. Porowato ska€ buduj cych zbiornik okre lono w przedziale od 11 do 13,5 % (Rys. **1.1.9.9**). Przepuszczalno tej warstwy zawiera si w przedziale od 40 do 60 mD (Rys. **1.1.9.10**). Wspó€z dne otworu iniekcyjnego to X: 225335, Y: 822350.



Rys. 1.1.9.8. Model nr 3 ó widok ogólny





Rys. 1.1.9.9. Model nr 3 ó porowato





Rys. 1.1.9.10. Model nr 3 ó przepuszczalno

Model nr 4 zosta€zbudowany w rozdzielczo ci 8x6x16 komórek, a nast pnie zosta€ zag szczony w okolicach otworu iniekcyjnego do rozdzielczo ci 10x8x16, co w sumie da€ 1280 komórek. Model zosta€opracowany w przedziale g€boko ciowym od -200 do - 1000 m (Rys. **1.1.9.11**). Zbiornik o mi szo ci 100 m zlokalizowano w przedziale od -650 do -750 m. Porowato ska€uduj cych zbiornik okre lono w przedziale od 10,5 do 13 % (Rys. **1.1.9.12**). Przepuszczalno tej warstwy zawiera si w przedziale od 35 do 60 mD (Rys. **1.1.9.13**). Wspó€z dne otworu iniekcyjnego to X: 227050, Y: 828680.



Rys. 1.1.9.11. Model nr 4 ó widok ogólny



Rys. 1.1.9.12 Model nr 4 ó porowato



Rys. 1.1.9.13. Model nr 4 ó przepuszczalno

Model nr 5 zosta€zbudowany w rozdzielczo ci 8x6x16 komórek, a nast pnie zosta€ zag szczony w okolicach otworu iniekcyjnego do rozdzielczo ci 10x8x16, co w sumie da€ 1280 komórek. Model zosta€opracowany w przedziale g€boko ciowym od -200 do -1000 m. (Rys. **1.1.9.14**) Zbiornik o mi szo ci 150 m zlokalizowano w przedziale od -650 do -800 m. Porowato ska€buduj cych zbiornik okre lono w przedziale od 11 do 13 % (Rys. **1.1.9.15**) Przepuszczalno ca€j warstwy w modelu okre lono na 60 mD (Rys. **1.1.9.16**). Wspó€z dne otworu iniekcyjnego to X: 233880, Y: 823000.



Rys. 1.1.9.15. Model nr 5 ó porowato



Rys. 1.1.9.16. Model nr 5 ó przepuszczalno

Wyniki symulacji rozp€wu CO2

Dla tak skonstruowanych modeli numerycznych przeprowadzono symulacj w dwóch wytypowanych modelach tj. nr 2 i nr 4. Symulacj rozp€wu CO2 dokonano tylko dla dwóch modeli charakteryzuj cych si skrajnymi parametrami tj. maksymaln mi szo ci 250 m warstwy zbiornikowej (model nr 2) i zmienn mi szo ci 125 m (model nr 4). Kolejne symulacje oparte o bardziej szczegó€we dane wykonane zostan w pierwszym pó€oczu 2010 roku.

Za€ ono zat€czanie CO2 na niewielk ilo tj. 0,9 kg/s przez okres 3 miesi cy i okres symulacji na 2,5 roku. Zaobserwowano w modelu nr 4 migracj horyzontaln w kierunku po€dniowym (zasi g 400 m) przy nasyceniu gazowym 17% natomiast w kierunku lateralnym migracja odbywa€ si znacznie wolniej (Rys. **1.1.9.17**, **18**). W modelu nr 2 migracja pionowa wyst powa€ znacznie szybciej, a rozp€w zat€czonego CO2 odbywa€si sferycznie od otworu iniekcyjnego, o nasyceniu wi kszym od 18% po up€wie 2,5 roku. Z krzywych rozk€du ci nie wynika wzrost ci nienia w rejonie iniekcji z 8,8 MPa do 9,4 MPa, po czym nast puje stabilizacja i kolejny wzrost ci nienia o 0,3 MPa przez okres jednego roku. Po tym okresie ci nienie stabilizuje si (Rys. **1.1.9.19**, **20**). Na podstawie wst pnych symulacji w modelu nr 4 zaobserwowano ruch zat€czonego CO2 w kierunku pionowym. Z uwagi na budow modelu w€ ciwego w wytypowanym obszarze (II Segment dla rejonu GZW), dokonane zostan szczegó€we symulacje zat€czonego CO2 w roku 2010.



Rys. 1.1.9.17. Rozp€w CO2 w modelu nr 4 po czasie 2,5 roku



Rys. **1.1.9.18.** Rozp**€**w horyzontalny CO2 w modelu nr 4 po czasie 2,5 roku.



Rys. 1.1.9.19. Przebieg zmian ci nienia dennego w otworze iniekcyjnym modelu nr 2



Rys. **1.1.9.20.** Rozp**∲**w CO2 w modelu nr 2 po czasie 2,5 roku.

Zgeneralizowany model hydrogeologiczny kolektora Ng ó warstwy d bowieckie - na wybranym obszarze w po@dniowo-zachodniej cz ci GZW i jego obrze eniu Zbigniew Kaczorowski

W oparciu o model budowy geologicznej (powierzchnie stropu i sp gu warstw d bowieckich) oraz budowy utworów podleg€ch (starszych osadów miocenu oraz osadów karbonu, g€wnie karbonu produktywnego ó w tym serii mu€wcowej i górno l skiej serii piaskowcowej) wykonano model przep€wu wód podziemnych dla obszaru od granicy pa stwa w rejonie Cieszyna na zachodzie po K ty na wschodzie; od pó€ocy i po€dnia obszar ten by€ ograniczony zasi giem warstw d bowieckich. Generalnie modelowaniem obj to wyznaczony w innych zadaniach Projektu najbardziej perspektywiczny dla sk€dowania CO2 w warstwach d bowieckich rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice.

Modelowanie przeprowadzono przy pomocy pakietu programów Visual Modflow wersja 4. Model podzielono kwadratow siatk dyskretyzacyjn na 180 kolumn, 108 wierszy i 3 warstwy. Krok siatki wynosi dx=dy 250 m. Obszar obj ty modelowaniem wynosi 1269 km². Warstwy modelu przedstawiaj (Rys. **1.1.9.21**, **22**):

I warstwa ó rozprzestrzenienie i mi szo warstw d bowieckich,

II warstwa ó p€ty starszych osadów ilastego neogenu i osady karbonu ó mi szo warstwy do 100 m,

III warstwa ó osady karbonu - rz dna sp gu warstwy wynosi -2000 m n.p.m.



Rys. **1.1.9.21.** Przekrój W-E przez modelowany obszar

blok poza obszarem modelowania



blok poza obszarem modelowania

Rys. 1.1.9.22. Przekrój S-N przez modelowany obszar

Na modelowanym obszarze zadano warunki brzegowe:

- ◆ II rodzaju wydatki otworów zat€czaj cych CO₂,
- I rodzaju GHB ó granica SE, cz granicy E, cz granicy N, cz granicy E.

Warunki pocz tkowe

W celu wykonania symulacji przep€wu wód w warstwie wodono nej programem Modflow, z pakietu Visual Modflow, dokonano sprowadzenia ci nie z€ owych do poziomu 0 m n.p.m. i g sto ci 1 g/l. Po€ enie zwierciad€ piezometrycznej linii ci nie okre lono na podstawie danych zawartych w bazie danych otworów GZW. Dane pochodz z lat 1948-1988. Rz dne zwierciad€ piezometrycznej linii ci nie , na koniec lat 80' (przyj te jako warunki pocz tkowe), na granicach modelowanego obszaru wynosz :

- na granicy S w cz ci W 150 m n.p.m., a w cz ci E 300 m n.p.m.,
- na granicy E od 275 do 300 m n.p.m.;
- na granicy N w cz ci W 150 m n.p.m. i w cz ci E -200 m n.p.m.,
- na granicy E -20 m n.p.m.

Warto ci na granicy N i W s zwi zane z dzia€lno ci górnicz kopal - prowadzeniem odwodnie .

Struktura modelu i parametry warstwy wodono nej zosta \bigcirc oszacowane podczas kalibracji i weryfikacji modelu. Przewodno I warstwy wodono nej po kalibracji modelu wynosi od 0,002 do 0,06 m/d (od 2,3 *10⁻⁸ do 6,9 *10⁻⁷ m/s). a porowato efektywna 0,7-3,5 %. Dla i 6w neoge skich przewodno przyj to 1*10⁻⁹ m/s, a porowato efektywn 0,001 %. Dla utworów karbo skich przewodno wynosi od 0,0002 do 0,012 m/d (od 2,3 *10⁻⁸ do 1,4 *10⁻⁷ m/s), a porowato efektywna 0,1-0,7 %. Wspó6zynnik zasobno ci spr ystej dla wszystkich warstw przyj to b=0,00001.

Na Rysunku **1.1.9.23** przedstawiono rozk€d ci nie w warstwach d bowieckich, na koniec lat 80ø wg bada modelowych. Generalnie przep€w jest ze wschodu na zachód. W cz ci NE obszaru przep€w jest w kierunku pó€ocnym. Kierunki te s zdeterminowane przez odwadnianie kopal . Czas przep€wu przez rozpatrywany obszar wynosi od 500 do 7 000 lat.



Rys. **1.1.9.23.** Rozk€d ci nie piezometrycznych w pierwszej warstwie modelu (warstwy d bowieckie) - warunki pierwotne.

- blok aktywny w modelowanym obszarzeblok poza obszarem modelowania
- linie pr du, strzajki co 500 lat czasu przepijywu
- izolinie ci nie w warstwach d bowieckich blok z warunkami granicznymi I rodzaju GHB

Obliczenia prognostyczne

W celu symulacji zat $czania CO_2$ do warstwy wodono nej za $conto ono, e do osadów warstw d bowieckich zostanie zat <math>czania CO_2$ do W CO₂. Przy g sto ci CO₂ wynosz cej 0,7 Mg/m³ da to 42857142,9 m³ cieczy o g sto ci 1 g/l. Przy zaconto c eniu czasu deponowania wynosz cym 30 lat i 5 otworach zat czaj cych, wydatek ka dego otworu zat czaj cego powinien wynosi 782,78 m³/d (32,62 m³/h). Zaconto c graniczne warunki brzegowe ó ci nienia w bazach drena u zwi zanych z eksploatacj kopal (W i N granica), podczas oblicze nie ulegn zmianie.

Zat€czanie CO₂ do warstwy wodono nej zlokalizowano w rejonie na zachód od Skoczowa, w osiowej cz ci wyniesienia osadów pod€ a. Odleg€ mi dzy otworami wynosi 500-750 m. Mi szo warstw d bowieckich w rejonie lokalizacji otworów zat€czaj cych wynosi 150-200 m. W efekcie zat€czania CO₂ przez 5 otworów z wydatkiem 782,78 m³/d ka dy, przez 30 lat, po€ enie linii ci nie piezometrycznych w modelowanym obszarze podnios€ si do 375-400 m n.p.m. w bloku obliczeniowym, przy czym najwy sze represje ó rz du 275-300 m w bloku obliczeniowym ó wyst powa€ w centralnym obszarze zat€czania (Rys. **1.1.9.24**). W stosunku do pierwotnego ci nienia w warstwie wodono nej stanowi to wzrost ci nienia o oko€ 40 % - wzrost z oko€ 7 Mpa do 10 Mpa. Represje w otworach zat€czaj cych mog by wy sze o oko€ 100 m, ni w bloku obliczeniowym (250 x 250 m). Przep€w wody w rejonie zat€czania zosta€zmieniony w znacznym stopniu. Obszar o represji wi kszej ni 50 m wynosi oko€ 30 km². Zmianie uleg€ kierunki przep€wu ó w rejonie zat€czania, w promieniu oko€ 1,5 km (przy represjach oko€ 100 m) ó ma on znaczn sk€dow pionow ó Rys. **1.1.9.25**.



Rys. **1.1.9.24.** Rozk€d ci nie piezometrycznych i izolinii represji w warstwach d bowieckich po 30 latach zat€czania CO₂

- □ blok aktywny w modelowanym obszarze
- blok poza obszarem modelowania
- linie pr du, strzajki co 500 lat czasu przepijywu
- izolinie ci nie w warstwach d bowieckich
- 💻 blok z warunkami granicznymi I rodzaju GHB
- izolinie represji w warstwach d bowieckich



Rys. **1.1.9.25** Rozk€d ci nie piezometrycznych i izolinii represji w warstwach d bowieckich po 30 latach zat€czania CO₂, w rejonie zat€czania

Po zaprzestaniu zat€czania na skutek przep€wu w warstwie wodono nej w kierunku W nast puje sukcesywny spadek ci nienia w rejonie zat€czania. Rozk€d obni ania si ci nie w centrum zat€czania, w czasie, przedstawia si jak poni ej:

- 0 lat ó represja 300 m,
- 20 lat ó represja 45 m,
- 45 lat ó represja 22 m,
- 70 lat ó represja 17 m,
- 120 lat ó represja 11 m,
- 170 lat ó represja 7 m,
- 350 lat ó represja 3 m,
- 1000 lat ó represja 1 m.

Spadek ci nienia do warunków naturalnych nast pi po oko€ 1500 latach od zaprzestania zat€czania. Czas przep€wu wód z obszaru zat€czania do bazy drena u (na zachodzie obszaru) wynosi od 1500 do 2000 lat.

Podsumowanie

Przedstawiony model hydrogeologiczny jest uproszczeniem struktury geologicznej b d cej przedmiotem modelowania ó g€wnie warstw zalegaj cych poni ej warstw d bowieckich. Po wykonaniu modelu budowy litofacjalnej i zebraniu danych dotycz cych kopal z rejonu modelowania (dane z okresów likwidacji, warunki pierwotne w górotworze) oraz kopal zlokalizowanych za granic Polski (na zachodniej granicy modelu) b dzie mo liwa dalsza weryfikacja modelu hydrogeologicznego i dok€dniejszego okre lenia kontaktów hydraulicznych pomi dzy poszczególnymi warstwami. Ze wzgl du na znaczny przedzia€czasu, z którego pochodz dane hydrogeologiczne (warto ci po€ enia zwierciad€ wody i ci nie z€ owych) mo liwe s odchylenia od obecnie uzyskanych kierunków przep€wu.

Niniejsze rozwa ania modelowe przeprowadzono przy za€ eniu, e CO₂ jest ciecz . Przy zat€czaniu, ze wzgl du na niewielk pr dko filtracji, nisk porowato efektywn (ods czalno ska€ i s€be przewodnictwo wodne, wprowadzany CO₂ b dzie tworzy€zasoby spr yste warstwy wodono nej. B dzie to powodowa wzrost ci nie w rejonie sk€dowania.

Po zaprzestaniu zat€czania nast pi sukcesywny spadek ci nie w rejonie zat€czania. Przy za€ eniu ci g€go depresjonowania warstw d bowieckich przez dzia€lno górnicz, po okresie do 1500 lat nast pi powrót ci nie do warunków naturalnych, czyli CO₂ zostanie rozprowadzone po warstwie wodono nej. Przy czasie przep€wu 1500-2000 lat do bazy drena u oznacza to, e zat€czony CO₂ zostanie šodebranyö w bazie drena u.

1.1.10 Budowa wielodost pnej bazy danych

Jacek Chetni ski, Piotr Matyjasik ó PIG PIB

W ramach projektu przewidziano budow bazy danych, której zasoby b d wykorzystane m.in. do konstrukcji przestrzennych modeli strukturalno-parametrycznych. Podczas prac projektowych przy budowie bazy danych przyj to e zestaw danych przechowywanych w bazie powinien umo liwi dokonanie:

• charakterystyki formacji i struktur odpowiednich do geologicznego sk€dowania CO₂,

• analizy danych petrologicznych z zakresu zawarto ci w glanów i minera€w ilastych w próbkach rdzeni,

• analizy danych petrofizycznych na podstawie parametrów filtracyjnych ska zbiornikowych oraz uszczelniaj cych,

• analizy danych hydrogeologicznych dla formacji wodono nych oraz danych geochemicznych p€nów

• efektem ko cowym powinno by wykonanie modeli przestrzennych 3D regionalnych i szczegó wych dla potencjalnych poziomów zbiornikowych i ekranuj cych.



Rys. 1.1.10.1 Struktura bazy danych projektu šSekwestracja CO2ö

Utworzona baza danych šSekwestracja CO2ö (Rys. **1.1.10.1**) by€ sukcesywnie uzupe€iana o nowe dane. W przypadku rejonu GZW polega€ to na uzupe€ieniu bazy o **70 otworów**, dla których wprowadzono informacje o wynikach archiwalnych analiz petrofizycznych, petrograficznych, hydrogeologicznych, hydrogeochemicznych i geofizyki wiertniczej.

Podczas prac analitycznych i projektowych oraz licznych konsultacji z u ytkownikami opracowano tak struktur bazy danych, która uwzgl dnia specyfik konstrukcji modeli przestrzennych. Umo liwiono operatorom bazy danych rozdzielanie poszczególnych warstw nadaj c im status kolektora lub uszczelniacza warstw zbiornikowych. Dodatkowym aspektem jest to, e poszczególne raporty mog by generowane do postaci ASCII lub txt wg aktualnych potrzeb u ytkownika. Opracowano i przeprowadzono szkolenia u ytkowników o cz zwi zan z metodyk importu danych do bazy wykorzystuj c mo liwo ci narz dzi MS Excel. Poszczególne parametry zosta€ tak zorganizowane, e u ytkownicy rednio zaawansowani w technikach cyfrowych s w stanie przeprowadzi procedur importu danych, których s w€ cicielami. Proces importu odbywa si wg nast puj cego schematu:

- Posiadane dane s wczytywane do arkusza kalkulacyjnego MS Excel
- Zostaje wstawiona kolumna której znajduje si identyfikator systemowy
- Nadawane s nazwy kolumn w Excel zgodne z nazwami kolumn tablic bazy danych
- Nast puje import do bazy
- Tworzona jest tymczasowa tablica z danymi importowanymi
- ◆ Przy pomocy kwerendy zostaj do€czane dane do odpowiedniej tablicy bazodanowej.

Utworzona baza danych posiada m. in. tablic zawieraj c niezb dne do projektu dane hydrogeologiczne i hydrogeochemiczne (Tab. **1.1.10.1**), okre laj ce sk€ad fizyko-chemiczny wód podziemnych jak i solanek.

Tabela **1.1.10.1** Parametry hydrodynamiczne i hydrogeochemiczne kolektorów.



Baza zosta€ stworzona w PIG-PIB Warszawa. W celu umo liwienia korzystania z zasobów bazy danych šSekwestracjaö przez Oddzia€ Górno l ski PIG-PIB i wszystkich pozosta€ch konsorcjantów projektu (w tym GIG ó najbardziej zaanga owany, poza PIG-PIB, w realizacj niniejszej pracy), wykorzystano mo liwo ci platformy systemowej Jetro CockpIT jako generatora trójwarstwowych aplikacji (Rys. **1.1.10.2**).

Jetro CockpIT jest rozwi zaniem z rodziny centralnego przetwarzania danych opartym o us€gi terminalowe Microsoft Technologia ta umo liwia zdalny dost p do aplikacji w taki sposób, e po stronie klienta ka da aplikacja wy wietlana jest w niezale nym oknie. W przeciwie stwie do šzwyk€chö us€g terminalowych Microsoft pozwala to u ytkownikowi na jednoczesn prac na lokalnych jak i zdalnych aplikacjach, bez potrzeby prze€czania mi dzy lokalnym a zdalnym pulpitem W porozumieniu z administratorami poszczególnych cz€nków konsorcjum nadano im uprawnienia do korzystania z zasobów bazy danych oraz zainstalowano na komputerach klienckich oprogramowania umo liwiaj ce komunikacj po sieci Internetu z baza danych "Sekwestracja" zainstalowanej na serwerach PIG

W celu zwi kszenia bezpiecze stwa wykorzystano zaimplementowane w bazie Access mechanizmy ochrony danych. W przypadku bazy danych šSekwestracja CO2ö utworzono Grupy

u ytkowników przydzielaj c im odpowiednie role i przywileje.

U ytkowników bazy danych podzielono na grupy wed€g nast puj cych zasad:

- ka dy z konsorcjantów zosta€ nazwany unikaln nazw np GIG (G€wny Instytut Górnictwa)
- Ka dy zarejestrowany u ytkownik otrzyma€swój log i has€ do bazy
- Standardowo ka dy u ytkownik otrzyma€mo liwo ó odczytu danych z bazy, mo liwo wyboru okre lonych danych, i mo liwo wpisu nowych danych.



Rys. 1.1.10.2 Dost p do bazy danych projektu šSekwestracja CO2ö

1.1.11 Okre lenie obszarów, na których mo na b dzie lokalizowa skûadowiska CO2 (Podsumowanie)





Z punktu widzenia analiz przeprowadzonych w ramach niniejszego raportu (rozdzia 1.1.1 ó 1.1.9) najbardziej odpowiedni do geologicznego sk dowania wydaje si rejon Cieszyn-Skoczów-Czechowice (Rys. **1.1.1.11**) i b dzie on przedmiotem analiz w ramach II Segmentu dla rejonu GZW. Z uwagi na nieporównywalno innych formacji zbiornikowych i obiektów w rejonie bada nie prezentujemy rankingu formacji i struktur a jedynie podajemy wynik ko cowy analiz (opartych o za enia scharakteryzowane poni ej).

Kompleksowe za€ enia metodyczne odno nie ustalenia i stosowania kryteriów wyboru potencjalnego sk€adowiska opracowa€zespó€GIG (Robert Warzecha, Eleonora Solik-Heliasz).

Ranking miejsc sk€dowania CO₂ zosta€wykonany w formie zestawienia poszczególnych struktur wytypowanych do geologicznego sk€dowania dwutlenku w gla. Jego celem by€ jak najwierniejsze odzwierciedlenie przydatno ci wybranych struktur w oparciu o przyj te kryteria oceny. W doborze kryteriów oceny zosta€ uwzgl dnione nast puj ce zagadnienia:

• warunki geologiczne (m.in. parametry zbiornikowe, szczelno nadk€du);

- bezpiecze stwo sk€dowania;
- efektywno sk€dowania (m.in. odleg€ od emitenta, pojemno wybranej struktury i ywotno sk€dowiska);
- oddzia swanie na rodowisko (m.in. kolizyjno inwestycji z otaczaj cym je rodowiskiem).

Ka dej z wy ej wymienionych kwestii zosta€ przyporz dkowana odpowiednia warto liczbowa b d ca šwag ö oceny. Zastawienie wszystkich cech danego miejsca sk€dowania z uwzgl dnieniem przyj tych šwagö ustala kolejno w rankingu, a tym samym u yteczno poszczególnych miejsc lokowania dwutlenku w gla.

Podstaw wytypowania zbiornika do geologicznego sk€adowania s ogólnie przyj te kryteria, którym przyporz dkowane s odpowiednie warto ci dla poszczególnych parametrów.

Obejmuj one nast puj ce cechy lub czynniki t.j.:

- ca€owit pojemno sk€dowania;
- g€boko zalegania ska€zbiornikowych;
- mi szo warstwy zbiornikowej;
- porowato efektywn ;
- przepuszczalno ;
- mineralizacj ;
- tektonik warstw zbiornikowych i nieprzepuszczalnego nadk @du;
- mi szo nadk€du.

Nie mo na traktowa wy ej wymienionych cech w sposób jednoznaczny na tym samym poziomie np. szczelno ci warstwy izolacyjnej z odleg€ ci od emitenta. Dlatego kolejny etap prac b dzie dotyczy m.in. opracowania odpowiednich wspó€zynników wagowych, które pozwol na przeprowadzenie rankingu opracowanych zbiorników. Poza rankingiem rozwa ony zostanie stan bezpiecze stwa sk€dowania.

Uwarunkowania geologiczne okre laj ce mo liwo podziemnego sk@dowania CO2

Wyniki dotychczasowych prac wskazuj (m.in. Solik-Heliasz, Kubica 2007a,b,c, 2008, Solik-Heliasz i in. 2008, Solik-Heliasz, Warzecha 2008, Solik-Heliasz 2009, Tarkowski red. 2005, Tarkowski, Stopa 2007), e mo liwo ci podziemnego sk€dowania zale od 3 grup czynników:

- ▷ bezpiecze stwa sk€dowania,
- ✓ oddzia€wania / školizyjno ciö sk€dowiska,
- ➢ efektywno ci sk€dowania.

W cytowanych powy ej przepisach prawnych dotycz cych podziemnego sk€dowania dwutlenku w gla (CCS) po€ ono silny nacisk na zagadnienia zwi zane z bezpiecze stwem sk€dowania CO₂. Kwestie te s istotne zarówno na etapie eksploatacji sk€dowiska, jak i po jego zamkni ciu. Takie podej cie nak€da du e wymagania wzgl dem projektantów, którzy dokonuj analizy warunków geologicznych i kwalifikuj miejsca nadaj ce si do geologicznego sk€dowania CO₂.

Drugim czynnikiem jest kwestia oddzia Swania / školizyjno ciö (tj. ewentualne konflikty interesów) podziemnego sk dowiska z innymi przedsi wzi ciami gospodarczymi oraz uwarunkowaniami rodowiskowymi. W uj ciu szczegó Swym dotyczy to szerokiej palety zagadnie , które s charakterystyczne dla miejsca sk dowania oraz w zasi gu jego oddzia wania (Bachu i in. 1994, Bradshaw i in. 2007, Chadwick i in. 2008).

Obowi zuj ce przepisy prawne nie odnosz si do efektywno ci podziemnego sk dowania, ale jest to czynnik priorytetowy dla przedsi biorców i operatorów sk dowiska. W ród interesuj cych zagadnie s kwestie pojemno ci sk dowania, nat enia zat czania, d go ci transportu CO_2 i in., które rzutuj na ekonomik ca go przedsi wzi cia CCS.

W literaturze cz sto wykorzystuje si termin šryzyko geologicznego skadowaniaö. Pod t

nazw na ogó€ rozumie si zespó€ czynników z zakresu bezpiecze stwa sk€dowania, oddzia€wania / školizyjno ciö sk€dowiska oraz efektywno ci sk€dowania. Poni ej rozwini to i zanalizowano poszczególne kategorie czynników.

Bezpiecze stwo sk@dowania CO2

Przepisy Dyrektywy (2009) nakazuj, aby podziemne sk & dowisko zapewni \mathfrak{S} šhermetyczne magazynowanie CO_2 š w okresie wielolecia. W praktyce oznacza to trwa \mathfrak{E} uwi zienie dwutlenku w gla w strukturach geologicznych. Miejsce do sk dowania musi by szczelne tak, aby nie istnia \mathfrak{S} šznacz ce ryzyko wyciekuö. Jest to rygorystyczne wymaganie ó rzadko stosowane w innych przedsi wzi ciach gospodarczych (za wyj tkiem by mo e podziemnego sk dowania materia \mathfrak{S} w niebezpiecznych, w tym promieniotwórczych).

Aby zapewni bezpiecze stwo sk€dowania CO₂ nale y zagwarantowa szczelno podziemnego sk€dowiska ze strony (Dubi ski, Solik-Heliasz 2007, Tarkowski, Stopa 2007):

- Utworów zalegaj cych w stropie sk€dowiska;
- Utworów zalegaj cych w sp gu sk€dowiska;
- Utworów zalegaj cych w bocznych partiach sk dowiska;
- Uskoków przebiegaj cych w utworach sk €dowiska, w jego stropie i w sp gu;
- Starych otworów wiertniczych wyst puj cych w obszarze sk€dowiska i w zasi gu jego wp€wów.

Przepisy nie precyzuj, jakie parametry nale y analizowa przy typowaniu miejsc pod sk€dowiska oraz czy dane wielko ci s korzystne z punktu widzenia procesu sk€dowania. Z do wiadcze wynika, e przedmiotem analizy musz by wszystkie parametry okre laj ce warunki geologiczne, hydrogeologiczne, hydrochemiczne, in ynierskie, wytrzyma€ ciowe oraz parametry charakteryzuj ce termik górotworu (Solik-Heliasz, Dubi ski 2008, Solik-Heliasz 2008, 2009a).

Ocen szczelno ci dokonuje hydrogeolog na podstawie dost pnych danych, wyników symulacji oraz posiadanego do wiadczenia. Istotne jest, aby w przypadku braku danych lub ich niejednoznaczno ci, okre li€on ryzyko przedstawionego wnioskowania geologicznego.

Oddzia€wanie / šKolizyjno ö podziemnego sk€dowiska

Projektowane podziemne sk€dowisko CO₂ nie mo e negatywnie oddzia€wa na obecne i planowane przedsi wzi cia gospodarcze lub uwarunkowania rodowiskowe. Oddzia€wanie to okre lono w skrócie mianem školizyjno ciö podziemnego sk€dowania lub sk€dowiska. Wed€g Dyrektywy (2009) zadaniem pa stw cz€nkowskich UE jest, aby šnie dopuszcza do sprzecznych ze sob sposobów u ytkowania danego kompleksu skalnego w danym czasieö

šKolizyjno ö procesu sk€dowania dotyczy zarówno obszaru sk€dowiska CO₂, jak i obszaru przewidywanego oddzia€wania procesu sk€dowania. Mo na wyró ni elementy bardziej i mniej kolizyjne. Aby oceni školizyjno ö danego miejsca pod sk€dowisko nale y przeprowadzi badania w zakresie:

- Zgodno ci parametrów utworów zbiornikowych przysz€go sk€dowiska (mi szo ci, g€boko ci zalegania, przepuszczalno ci i porowato ci i in.) z wielko ciami zalecanymi, wynikaj cymi z dotychczasowego stanu wiedzy;
- Mo liwo ci reakcji danego o rodka skalnego i wód podziemnych z zat€czanym CO₂;
- Oddzia€wania podziemnego sk€dowania na obecne i projektowane przedsi wzi cia gospodarcze (uj cia wód pitnych i termalnych, podziemne wyrobiska górnicze, wyrobiska kopal odkrywkowych, planowan eksploatacj z€, otwory drena owe i in.);
- Oddzia€wania inwestycji CCS na uwarunkowania rodowiskowe: zabudow na powierzchni terenu (miasta, koleje, drogi, obiekty przemys€we i obiekty u yteczno ci publicznej), obecno elementów prawnie chronionych (obszarów Natura 2000, parków narodowych, rezerwatów, cieków powierzchniowych, jezior ó zw€szcza
zagospodarowanych turystycznie, i in.).

Nale y okre li skal zjawisk oraz obszar przewidywanego oddzia⊕wania procesu sk€dowania. Niektóre zmiany b d zachodzi nie tylko w obszarze podziemnego sk€dowiska CO₂, ale i poza nim. W ród spodziewanych zmian nale y podda badaniom:

- ó zmiany kierunku przep€wu wód podziemnych,
- ó zmiany w polu ci nie,
- ó zmiany wielko ci dop**∲**wów i/lub przep**∲**wów wód podziemnych, i ich reperkusje fizyczne.

Ogóln zasad jest, aby miejsce pod sk€dowisko by€ w jak najmniejszym stopniu školizyjneö z innymi przedsi wzi ciami technicznymi oraz uwarunkowaniami naturalnymi. Analizuj c zagadnienie školizyjno ciö sk€dowiska nale y kierowa si : bezpiecze stwem (dla ludzi, rodowiska oraz istniej cych i planowanych inwestycji) oraz czynnikiem ekonomicznym (to jest mo liwymi stratami, kosztami wprowadzenia dodatkowych zabezpiecze i in.).

Efektywno sk@dowania CO2

Podziemne sk€dowanie dwutlenku w gla musi by efektywne. Musi go charakteryzowa zespó€cech fizycznych, technicznych i ekonomicznych, pozwalaj cych osi gn za€ ony efekt finalny. Sk€da si na ni wiele czynników, w tym:

- trafno rozpoznania geologicznego
- zgodna z oczekiwaniami wydajno zat€czania CO₂
- zgodna z rozpoznaniem ywotno sk adowiska.
- brak znacz cych utrudnie w trakcie eksploatacji sk€dowiska
- zgodna z za€ eniami ilo i jako zat€czanego CO₂
- zgodny z projektem przebieg i d€go ruroci gu t€cznego.

Trafno rozpoznania geologicznego jest podstaw sukcesu dotycz cego podziemnego sk€dowania CO₂. Instalacja do zat€czania jest projektowana pod k tem parametrów konkretnego o rodka skalnego ó jego ch€nno ci i pojemno ci oraz ich zmienno ci przestrzennych, warunków ci nieniowych i in. Je li jaki element warunków geologicznych zosta€ le oceniony, wówczas pojawiaj si rozbie no ci mi dzy parametrami technicznymi instalacji CCS a warunkami naturalnymi panuj cymi w sk€dowisku. Efektem rozbie no ci s awarie i ró nego typu utrudnienia w trakcie eksploatacji sk€dowiska, które generuj koszty.

Bodaj najbardziej kosztownym b€dem mo e by z€ ocena ch€nno ci utworów sk€dowiska oraz pojemno ci sk€dowania CO₂. Skutkiem mniejszej od oczekiwanej, ch€nno ci utworów, jest potrzeba odwiercenia dodatkowych otworów iniekcyjnych, a to jest ród€m wzrostu nak€dów finansowych. Równie mniejsza od spodziewanej pojemno sk€dowania CO₂ pogarsza wynik ekonomiczny ca€j inwestycji; skraca bowiem ywotno sk€dowiska.

Trudno ci w trakcie eksploatacji sk€dowiska mog by efektem zarówno z€go lub niepe**€i**ego rozpoznania parametrów utworów tworz cych sk€dowisko, iak i mog by natury technicznej. Zw szcza konstrukcja otworu iniekcyjnego jest tym elementem, który mo e znacz co wp€wa na wydajno zat€czania CO₂. Dotyczy to rednicy otworu, u ytych materia€w, zastosowanych zabezpiecze w otworze i in. Nie bez wp€wu mo e by równie jako zat€czanego CO₂ ó je li odbiega od za€ e ó oraz fluktuacje w jego dostawie (np. przerwy w zat€czaniu), które mog generowa inne od zak€danych zjawiska i w efekcie powodowa wzrost kosztów eksploatacji sk€dowiska.

Na efektywno sk€dowania rzutuje równie dobra praca ruroci gu t€cznego, a na etapie jego realizacji, zgodna z za€ eniami d€go i trasa przebiegu ruroci gu. Ruroci gi t€czne s kosztownym elementem instalacji CCS. Wzrost d€go ci przesy€ CO₂ przyczynia si do podwy szenia kosztów ca€go przedsi wzi cia. Z kolei niezbyt odpowiednia trasa przebiegu ruroci gu mo e generowa dodatkowe koszty, np. z tytu€ op€t za korzystanie ze rodowiska naturalnego.

Ranking cech, okre laj cych mo liwo geologicznego sk@dowania CO2

Wyniki dotychczasowych do wiadcze wskazuj, e o wyborze danego miejsca na podziemne sk \pounds dowisko decyduje szereg czynników. Usystematyzowano je tworz c ranking cech warunkuj cych geologiczne sk \pounds dowanie CO₂. S to:

- Dobre rozpoznanie parametrów zbiornikowych rejonu skadowiska z bada *in situ* i laboratoryjnych
- Optymalne warto ci parametrów zbiornikowych skadowiska CO2
- Dobra szczelno sk@dowiska
- Zadawalaj ca (inwestora) pojemno sk@dowania CO2
- Optymalna odleg 6 sk 6 dowiska do ród 6 emisji CO2
- Brak lub umiarkowana kolizyjno skadowiska
- Brak lub umiarkowany zakres zjawisk i reakcji, które b d zachodzi w trakcie sktadowania CO₂.

Podstawow zasad przy wyborze miejsc pod sk€dowisko CO₂ jest, aby dany rejon by€ rozpoznany otworami wiertniczymi z wykonanymi badaniami polowymi (geologicznymi i geofizycznymi) oraz laboratoryjnymi. Przy wyznaczaniu miejsca pod sk dowisko trzeba dvsponowa du liczb konkretnych danych, z tego wzgl du bazowanie jedynie na metodzie analogii hydrogeologicznej rejonu potencjalnego sk€dowiska, do rejonów ju rozpoznanych jest niewystarczaj ce. Mo e to by jednak metoda uzupe€iaj ca. Powodem jest fakt, e wodono ce zmienno ci wykszta€enia litologicznego oraz zmienno ci parametrów cechuj si na ogó€du zbiornikowych. Zadawalaj ce parametry w jednej partii, nie oznaczaj podobnych w innej. Tak brak otworów badawczych i wyników bada parametrów zbiornikowych (zw feszcza in wi c situ), lub ich ma€ ilo ewentualnie s€ba jako , dyskwalifikuj dany rejon do sk€dowania CO₂. Ten stan mo na zmieni tylko poprzez odwiercenie nowych otworów badawczych i wykonanie niezb dnego zakresu bada .

Utwory zbiornikowe projektowanego sktowiska CO_2 musz równie wykazywa optymalne warto ci parametrów geologicznych (g toko ci, mi szo ci poziomu, jego rozci g ci, ci nienia, temperatury i in.). Obecnie zalecane warto ci parametrów powinny wynosi (Chadwick i in. 2008): g boko sktowiska >800 m, mi szo >20 m, porowato >10%, przepuszczalno >200 mD. Jednak praktyka innych o rodków naukowych, np. BRGM dopuszcza porowato ju od 8%, a do wiadczenia polskie wskazuj, e mi szo wodono ca powinna wynosi >50 m (Solik-Heliasz, Kubica 2007c). Tak wi c nie ma regut dotycz cej warto ci poszczególnych parametrów. Naczeln zasad jest, aby zatteczanie CO_2 by prowadzone do przepuszczalnego kolektora skalnego w warunkach nadkrytycznych.

Maj c na uwadze przepisy Dyrektywy (2009), przysz€ sk€dowisko CO₂ musi by szczelne. Szczelno musz zapewni zarówno utwory zalegaj ce w nadk€dzie sk€dowiska, jak i w jego sp gu, i bocznych partiach, oraz uskoki. Musz by ponadto szczelne istniej ce otwory wiertnicze, zlokalizowane na obszarze sk€dowiska. Je li warunek ten nie jest spe€iony, wówczas nale y przeprowadzi uszczelnienie otworów. Od wyników uszczelnienia zale y mo liwo uruchomienia sk€dowiska.

Podziemne sk€dowisko CO₂ musi równie mie zadawalaj c pojemno sk€dowania. Na ogó€sk€dowiska o wi kszej pojemno ci s korzystniejsze, ni mniejsze ó ale nie ma na to regu€. Dla ma€go zak€du przemys€wego wystarczaj ce mo e by ma€, ale za to blisko po€ one sk€dowisko. Na etapie poszukiwania miejsca pod sk€dowisko inwestor powinien wi c przedstawi za€ enia do przysz€j inwestycji, to jest: okre li minimaln pojemno sk€dowiska, przewidywany okres sk€dowania (w latach) oraz nat enie zat€czania (co b dzie wp€wa€ na liczb otworów iniekcyjnych). Dane te b d rzutowa€ na koszty przysz€j inwestycji. Natomiast mo liwo osi gni cia za€ onych danych wyj ciowych powinna zosta potwierdzona w toku bada symulacyjnych o rodka skalnego. Sk dowisko powinno si znajdowa w optymalnej odleg \bullet ci od emitenta CO₂. Du a odleg \bullet b dzie wymaga \bullet d \bullet giej drogi transportu CO₂. Wp \bullet nie to na koszty inwestycji oraz mo e przes dzi o celowo ci wyboru danego sk \bullet dowiska. Wyniki dotych zasowych do wiadcze wskazuj (Chadwick i in. 2008, Solik-Heliasz, Kubica 2007), e w Polsce optymalna odleg \bullet od zak \bullet du przemys \bullet wego do sk \bullet dowiska wynosi do oko \bullet 120 km.

Optymalne jest, aby projektowane sktadowisko CO_2 nie by 6 kolizyjne z obecnymi lub projektowanymi przedsi wzi ciami gospodarczymi i uwarunkowaniami rodowiskowymi, to jest zabudow na powierzchni, obszarami chronionymi i in. W praktyce jest to trudne do zrealizowania. Nale y wi c dokona oceny wp wu zataczania CO_2 i wynikaj cego z tego zagro enia, oraz zadecydowa o lokalizacji danego sktadowiska.

W sposób zdecydowany nie kwalifikuj si do sk€dowania CO₂ (mimo korzystnych parametrów ó jak powy ej) rodowiska skalne, w których badania symulacyjne wskazuj na mo liwo intensywnego przebiegu zjawisk i reakcji fizykochemicznych, uniemo liwiaj cych d€goletnie zat€czanie CO₂. Najwi ksze zagro enie mo e pochodzi ze strony kolmatacji utworów sk€dowiska, jak równie wstrz sów górotworu (zw€szcza wi kszych), oraz intensywnie przebiegaj cych zjawisk termicznych. Przypuszcza si , e zjawisk tych nie mo na ca€owicie unikn - jednak ich skala nie mo e by przyczyn ryzyka ekonomicznego i/lub grozi szybkim zamkni ciem sk€dowiska.

Przy wyborze lub ocenie podziemnych sk€dowisk dwutlenku w gla, nale y si g€wnie kierowa nast puj cymi kryteriami:

- Zakresem i wiarygodno ci rozpoznania geologicznego rejonu projektowanego sk@dowiska CO₂
- Szczelno ci sk@dowiska
- Pojemno ci sktadowiska
- Odleg 6 ci od sk 6 dowiska do ród 6 emisji CO2
- šKolizyjno ci ö sk@adowiska (z innymi elementami rodowiskowymi i przedsi wzi ciami gospodarczymi).

Literatura

Bachu S., Gunter W.D., Perkins E.H., 1994 ó Aquifer disposal of CO₂, hydrodynamic and mineral trapping. Energ. Conv. and Manag., 35 (4);

Bilans í , 1990 ó Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.1998. Praca zbiorowa pod redakcj S. Przenios€. Wyd. Pa stwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.

Bilans í , 2008 ó Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.2007. Praca zbiorowa pod redakcj S. Przenios€. Wyd. Pa stwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.

Bojarski L., 1969 ó Zastosowanie klasyfikacji hydrochemicznej przy poszukiwaniach naftowych. Przegl. Geol., 3: 112-114.

Bojkowski K., Porzycki J., 1983 ó Geological problems of coal basins in Poland. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

Bradshaw J., Bachu S., Bonijoly D., Burruss R., Holloway S., Christensen N.P., Matiassen O.M., 2007 ó CO_2 storage capacity estimation: Issues and development of standards. International Journal of Greenhaus Gas Control, 1 (1);

Bromek T., 1977 - Nowe metody ustalania wspó€zynnika ods czalno ci i wspó€zynnika ci liwo ci obj to ciowej ska€karbo skich. Praca doktorska. GIG Katowice (niepublikowana).

Bromek T., Che ko J., Jureczka J., 2009 ó Wst pna ocena mo liwo ci lokalizacji sk€dowisk CO₂ w warstwach solankowych w rejonie Górno 1 skiego Zag€bia W glowego. GIG, Katowice.

Bu€ Z. & aba J. 2005 ó Pozycja tektoniczna Górno l skiego Zag€bia W glowego na tle prekambryjskiego i dolnopaleozoicznego pod€ a [W]: Geologia i zagadnienia ochrony rodowiska w regionie górno l skim, red. J. Jureczka, Z. Bu€, J. aba. Mat LXXVI Zjazdu PTG, Rudy k/Rybnika, 14-16.09.2005.

Bu€ Z., 2000 - Dolny paleozoik Górnego l ska i zachodniej ma€polski. Pr. Pa stw. Inst. Geol. 171. Warszawa.

Bu€ Z., Chmura A., Jureczka J., Ró kowski A., Wagner J., 1994 ó Ocena mo liwo ci wt€czania s€nych wód kopalnianych do zbiornika warstw d bowieckich (trzeciorz d) w po€dniowej cz ci regionu górno l skiego [W]: V Konferencja pt. šProblemy geologii i ekologii w górnictwie podziemnymö. Szczyrk, 12-14 pa dziernika 1994. Wyd. GIG: 229-241.

Bu€ Z., Jachowicz M., Prichystal A., 1997 - Lower Paleozoic deposits of the Brunivistulicum. W: EUROPROBE: Trans-European Suture Zone-Meeting, 3-5 November 1997, Podsdam, Germany. Terra Nostra 11.

Bu€ Z., Jachowicz M., aba J. 1997 ó Principal characteristics of the Upper Silesian Block and Ma€polska Block border zone (southern Poland). Geol. Mag. 133 (7), Cambridge. Bu€ Z., Jura D., 1983 - Uwagi o rozwoju molasy rowu przedgórskiego Karpat na 1 sku Cieszy skim. Przegl. geol. Nr 11.

Bu€ Z., Jura D., 1983a - Litostratygrafia osadów rowu przedgórskiego Karpat w rejonie 1 ska Cieszy skiego. Zesz. Nauk. AGH, t.9, z.1.

Bu€ Z., M. Jachowicz., 1996 - The Lower Paleozoic sediments in the Upper Silesian Block. Kwart. Geol. 40, 3.

Bu€ Z., Kotas A. 1994 ó Mapa geologiczno-strukturalna utworów karbonu produktywnego. 1:100000. W: Atlas Geologiczny GZW. Cz III. PIG. Warszawa.

Chadwick A., Arts R., Bernstone C., May F., Thibeau S., Zwigel R. (red.), 2006 ó Best practice for the storage of CO_2 in Saline Aquifers, observations and guidelines CO2STORE, dost pny na stronie: www.co2store.org.

Chadwick A., Arts R., Bernstone C., May F., Thibeau S., Zweigl P., 2008 ó Best practice for the storage of CO_2 in saline aquifers. Keyworth, Nottingham, British Geological Survey.

Chowaniec J., Freiwald P., / opusza ska M., Patorski R., Witek K., 2006 ó Mo liwo ci uzyskania zwyk €ch wód podziemnych w zachodniej cz ci polskich karpat fliszowych. [W]: HydrogeochemiaØ6. X Mi dzynarodowa konferencja naukowa pt. õAktualne problemy hydrogeochemiiö. Sosnowiec-Z€ty Potok, 23.06-24.06.2006. Sosnowiec.

Chudzicka B., 1980 ó Próba klasyfikacji stopnia zuskokowania z€ kopal w gla kamiennego Górno l skiego Zag€bia W glowego, Przegl d górniczy 1980, nr 11.

CO2CRC, 2008 ó Storage Capacity Estimation, Site Selection and Characterisation for CO2 Storage Projects. Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, Canberra. CO2CRC Report No. RPT08-1001, s. 52.

CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum), 2005 ó A taskforce for review and development of standards with regards to storage capacity measurement; CSLF-T-2005-9 15, August 2005.

CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum), 2008 ó Comparison between Methodologies Recommended for Estimation of CO2 Storage Capacity in Geological Media by the CSLF Task Force on CO2 Storage Capacity Estimation and the USDOE Capacity and Fairways Subgroup of the Regional Carbon Sequestration Partnerships Program; CSLF-T-2008-04, 21 April 2008.

Dembowski Z., 1972 ó Ogólne dane o Górno 1 skim Zag€biu W glowym. Pr. Inst. Geol., 61.

Demirmen F., 2007 ó Reserves Estimation: The Challenge for the Industry. Journal of Petroleum Technology, May 2007, s. 80689.

Doktor M., Gradzi ski R., 1999 ó rodowiska depozycyjne rozpoznane w serii paralicznej Górno l skiego Zag€bia W glowego. Documenta Geonica. Peres Publishers, Praque: 35-40.

Doktorowicz-Hrebnicki S., 1935 ó Mapa szczegó€wa Polskiego Zag€bia W glowego. Arkusz Grodziec. Obja nienia z. 2. Pa stw. Inst. Geol. Warszawa. Doktorowicz-Hrebnicki S., Boche ski T., 1952 ó Podstawy i niektóre wyniki paralelizacji pok€dów w gla w Zag€biu Górno 1 skim. Geol. Biul. Inf. 1: 13-14.

Dubi ski J., Solik-Heliasz E., 2007 ó Uwarunkowania geologiczne dla sk€dowania dwutlenku w gla. W: Uwarunkowania wdro enia zero-emisyjnych technologii w glowych w energetyce. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki W gla. Zabrze.

Dudek A., 1980 - The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Bruno-Vistulicum. Rozpr. CS. Akad. Ved. R. Mat. Prir. Ved. 90, 8.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE w sprawie geologicznego sk€dowania dwutlenku w gla z dnia 23 kwietnia 2009 roku.

Gabzdyl W., Gorol M., 2008 ó Geologia i bogactwa mineralne Górnego l ska i obszarów przyleg€ch. Wyd. Politechniki l skiej, Gliwice.

Gajowiec B., Ga∉a M., Jureczka J., Ró kowski A., Wagner J., 1994 ó Budowa geologiczna i parametry zbiornikowe krakowskiej serii piaskowcowej GZW w aspekcie mo liwo ci wt€czania s€nych wód kopalnianych [W:] Problemy geologii i ekologii w górnictwie podziemnym, GIG, KNG, SITG. Szczyrk.

Garecka M., Marciniec P., Olszewska B., Wójcik A., 1996 ó Nowe dane biostratygraficzne oraz próba korelacji utworów mioce skich w pod 6 u Karpat Zachodnich. Przegl d Geologiczny, vol. 44, nr 5.

Heflik W., Konior K., 1974 - Obecny stan rozpoznania pod€ a krystalicznego w obszarze Cieszyn-Rzeszotary. Biul. Inst. Geol., 273.

Holloway S., 1996 ó An overview of the Joule II project õThe underground disposal of carbon dioxide Energy Conversion and Managementö, 37 (6-8): 1149-1154.

Holloway S., 2002 ó Underground sequestration of carbon dioxide ó a viable greenhouse gas migration [In]: Proceedings of the 5th International Conference on Greenhouse Gas Control Technology (GHGT-5), Williams D. J., Durie R. A., McMullan P., Paulson C. A. J., Smith A., (eds.), 13-16 Aug. 2000, Cairns, Australia, CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia: 373-380.

Holt J., Jensen J.T., Lindeberg E., 1995 ó Underground storage of CO₂ in aquifers and oil reserved. Energy Conversion and Management, 36 (6-9), s. 519-522.

Jura D., 2001 ó Morfotektonika i ewolucja ró nowiekowej niezgodno ci w stropie utworów karbonu Górno l skiego Zag€bia W glowego. Prace naukowe U nr 1952.

Jureczka J., 1988 ó Nowe dane o charakterystyce litostratygraficznej kontaktu serii paralicznej i górno l skiej serii piaskowcowej karbonu zachodniej cz ci Górno l skiego Zag€bia W glowego. Materia ¥XI Sympozjum Geologia Formacji W glono nych Polski. Wyd. AGH, Kraków.

Jureczka J., Aust J., Bu€ Z., Dopita M., Zdanowski A., 1995 ó Geological map of the Upper Silesian Coal Basin (Carboniferous subcrop) 1:200 000. Pa stw. Inst. Geol. Warszawa.

Jureczka J., Bu€ Z., Chmura A., Ró kowski A., Wagner J., 1994 ó Ocena mo liwo ci wt€czania

senych wód kopalnianych w klastyczne osady ogniwa d bowieckiego w SW cz ci GZW. Maszynopis. Arch. OG PIG Sosnowiec.

Jureczka J., Chmura A., Ga€a M., Krieger W., Ró kowski A., Wagner J., 1994 ó Geologiczne mo liwo ci zat€czania s€nych wód w górotwór w regionie górno l skim. Cz II/1 Karbon produktywny - Krakowska Seria Piaskowcowa; Cz II/2 Karbon produktywny - Górno l ska Seria Piaskowcowa.

Jureczka J., Dopita M., Ga€a M., Krieger W., Kwarci ski J., Martinec P., 2005 ó Atlas geologiczno-z€ owy polskiej i czeskiej cz ci Górno l skiego Zag€bia W glowego. Pa stwowy Instytut Geologiczny, Ministerstwo rodowiska, Warszawa.

Jureczka J., Kotas A. 1995 ó Coal deposits Upper Silesian Coal Basin. [In]: The Carboniferous System in Poland. Prace PIG, 148: 164-173.

Jureczka J., Krieger W., Wilk S., 2009 ó Zasoby perspektywiczne w gla kamiennego w Górno l skim Zag€biu W glowym. [w] XIX Konferencja z cyklu šAktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymiö, 4-6.11.2009, PAN Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energi , Kraków.

Karwasiecka M., Kwarci ski J., 1994 ó Zestawienie wyników bada laboratoryjnych dotycz cych gazono no ci w gli kamiennych GZW wraz z weryfikacj i wst pn analiz przestrzennej zmienno ci. PIG OG, Sosnowiec. Mat. Niepublikowane.

Kleczkowski A. S. (red.), 1966 ó Podczwartorz dowe pod€ e Kotliny Górnej Odry oraz jej wodono no . [W]: Prace Geol. PAN, 25. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

Kondracki J., 2000 ó Geografia regionalna Polski. Wyd. Naukowe PWN.

Kotarba M., P ka€ Z., Daniel J., Wi c€w D., Smolarski L., 1995 ó Rozk€d g€boko ciowy zawarto ci metanu i w glowodorów wy szych w utworach w glono nych górnego karbonu GZW [W]: Ney. R, Kotarba M. (red.) - Opracowanie modeli oraz bilansu generowania... Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.

Kotas A. (1972) - Wa niejsze cechy budowy geologicznej Górno 1 skiego Zag€bia W glowego na tle pozycji tektonicznej i budowy g€bokiego pod€ a utworów produktywnych. Prob. geodyn. i t pa . t.1. Kom. Górn. PAN. Kraków.

Kotas A. (red.) 1994 ó Coal-bed methane potential of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. Prace Pa stw. Inst. Geol. 142. Warszawa.

Kotas A. 1972 ó Wa niejsze cechy budowy geologicznej Górno 1 skiego Zag€bia W glowego na tle pozycji tektonicznej i budowy g€bokiego pod€ a utworów produktywnych. Komitet Górnictwa PAN, Problemy geodynamiki i t pa , t. I, Kraków.

Kotas A. 1985a ó Uwagi o ewolucji strukturalnej Górno l skiego Zag€bia W glowego. [W:] J. Trzepierczy ski (red) ó Tektonika Górno l skiego Zag€bia W glowego. Mat. Konf. Nauk., Sosnowiec. Wyd. Uniw. 1, Katowice: 17-46.

Kotas A. 1985b ó Structural evolution of the Upper Silesian Coal Basin (Poland). 10 Congr. Int.

Strat. Geol. Carb., Madrid 1983, Compt. Rend., 3: 459-469.

Kotas A., 1982 - Zarys budowy geologicznej Górno I skiego Zag€bia W glowego. Przew. 54 Zjazdu Pol. Tow. Geol. w Sosnowcu. Wyd. Geol. Warszawa.

Kotas A., 1995 ó Lithostratigraphy and sedimentologic ó paleogeographic development. Upper Silesian Coal Basin. [In]: The Carboniferous system in Poland (ed. Zdanowski A., akowa H.). Prace Pa stw. Inst. Geol. 118.

Kotas A., Bu€ Z., Jureczka J., 1988 ó Problematyka podzia€ litostratygraficznego górno l skiej serii piaskowcowej karbonu Górno l skiego Zag€bia W glowego w wietle zasad kodeksu stratygraficznego. Materia€ XI Sympozjum Geologia Formacji W glono nych Polski, Formacja karbo ska. Wyd. AGH. Kraków.

Kwarci ski J., Krieger W., Buga€ J., Strzemi ska K., 1999 - Atlas geologiczny Górno 1 skiego Zag€bia W glowego - skala 1 : 300000. Wyd. MO, PIG, Warszawa.

Larsen M., Bidstrup T., Dalhoff F., 2003 ó Mapping of deep saline aquifers in Denmark with potential for future storage, GESTCO final report, GEUS, Copenhagen.

Lipiarski I., 1997 ó Wp€w procesów wietrzeniowych na w glono ne utwory westfalu we wschodniej cz ci Górno l skiego Zag€bia W glowego. Mat. XX Sympozjum pt. šGeologia formacji w glono nych Polskiö: 47-52. Wyd. AGH, Kraków.

Lipiarski I., 2001 ó Pstre utwory jako wynik fosylnego wietrzenia termicznego przeobra enia utworów górnego karbonu w Górno l skim Zag€biu W glowym. Mat. XXIV Sympozjum pt. šGeologia formacji w glono nych Polskiö: 53-58. Wyd. AGH, Kraków.

Mc C a b e P.J., 1998 ó Energy resources ó Cornucopia or empty barrel? American Association of Petroleum Geologists Bulletin 82 (11), s. 2110ó2134.

Moryc W., 2005 ó Rozwój bada utworów miocenu w Karpatach Zachodnich na obszarze Bielsko-Kraków. Geologia, Kwartalnik AGH, t. 31, z. 1.

Moryc W., Heflik W., 1998 - Metamorphic rocks in the basement of the Carpathian between Bielsko-Bia€ and Cracow. Kwart. Geol. 42, 1.

Nie M., 2006 ó Problemy klasyfikacji zasobów z€ kopalin. Przegl d Górniczy 4, s. 21ó27.

Or€wski S., 1975 - Lower Cambrian Trilobites from Upper Silesia (Gocza€owice borehole). Acta Geol. Pol. 25, 3.

Oszczypko N., 1999 ó Przebieg mioce skiej subsydencji w polskiej cz ci zapadliska przedkarpackiego. Prace PIG t. 168.

Reserves and Resources Classification, definitions, and Guidelines: Defining the Standard, 2007. Journal of Petroleum Technology, December 2007, s. 63667.

Ró kowski A., 2008 ó Historia bada i stan rozpoznania hydrogeologicznego Górno l skiego Zag€bia W glowego i obszarów przyleg€ch.

Ró kowski A., Chmura A., Gajowiec B., Jureczka J., Wagner J., 1995 ó Ocena mo liwo ci wt€czania s€nych wód w górotwór w Górno l skim Zag€biu W glowym i jego po€dniowym obrze eniu. Wspó€zesne Problemy Hydrogeologii; T. VII, cz.2. Kraków-Krynica.

Ró kowski A., red. 2004 ó rodowisko hydrogeochemiczne karbonu produktywnego Górno l skiego Zag€bia W glowego. Wyd. U l. Katowice 2004.

Rudzi ska-Zapa nik T., 1997 ó Poziomy wodono ne trzeciorz du. [W]: Ró kowski A., Chmura A., Siemi ski A. (red.), 1997 - U ytkowe wody podziemne Górno 1 skiego Zag€bia W glowego i jego obrze enia.

Scholtz P., Falus G., Georgiev G., Saftic B., Goricnik B., Hladik V., Larsen M., Christensen N. P., Bentham M., Smith N., Wójcicki A., Sava C. S., Kucharic L., Car M. 2006 ó Integration of CO2 emission and geological storage data from Eastern Europe ó CASTOR WP1.2. Konferencja GHGT-8 [8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies], Trondheim, 19-22 czerwca 2006.

Siedlecka A., 1964 ó Osady permu w pó€ocno-wschodnim obrze eniu Zag€bia Górno 1 skiego. Rocz. PTG, 34, 3.

Solik-Heliasz E., 1986 - Warstwy d bowieckie jako ród€ zagro enia wodnego w wyrobiskach górniczych. Politechnika l ska, "Górnictwo" z 149. Gliwice.

Solik-Heliasz E. (2004ó2006): Okre lenie poziomów wodono nych nadaj cych si do sekwestracji i potencja€ sekwestracji. W: Innovative in-situ CO2 Capture Technology for Solid Fuel Gasification (Innowacyjna technologia do poch€niania CO2 in-situ w wysokotemperaturowym procesie gazyfikacji paliw sta€ch). Projekt STREP.

Solik-Heliasz E., Kubica J., Kura K., 2007a ó Badania szczelno ci projektowanych zbiorników CO₂ w obszarze GZW. Dokum. GIG.

Solik-Heliasz E., Kubica J., 2007b ó W ytypowanie miejsc do podziemnego sk€dowania, kosztów sk€dowania oraz okre lenie potencja€ sekwestracji. W: Wst pna koncepcja INSTALACJI DEMONSTRACYJNEJ USUWANIA, TRANSPORTU I SK/ ADOWANIA CO₂ dla Po€dniowego Koncernu Energetycznego S.A. w Katowicach. Dokum. IChPW Zabrze.

Solik-Heliasz E., Kubica J. 2007c ó Wytypowanie miejsc do podziemnego sk€dowania, kosztów sk€dowania oraz okre lenie potencja€ sekwestracji W: Wst pna koncepcja INSTALACJI DEMONSTRACYJNEJ USUWANIA, TRANSPORTU I SK⁄ ADOWANIA CO₂ dla Vattenfall Warszawa, Dokum. IChPW Zabrze.

Solik-Heliasz E., Kubica J., 2008 ó Wytypowanie miejsc do podziemnego sk€dowania, kosztów sk€dowania oraz okre lenie potencja€ sekwestracji. W: Instalacja demonstracyjna usuwania, transportu i sk€dowania dwutlenku w gla dla BOT, Elektrowni Be€hatówö. Dokum. IChPW Zabrze.

Solik-Heliasz E., Warzecha R., Bromek T., 2008 ó Szczegó €wy zakres prac geologicznych (Mapa drogowa) dla PGE Elektrowni Be€hatów S.A. celem przysz€j realizacji zadania w zakresie podziemnego sk€dowania CO₂. Dokumentacja GIG.

Solik-Heliasz E., Warzecha R. 2008 ó Analiza geologiczna mo liwo ci sekwestracji CO₂ w rejonie Elektrowni Dolna Odra z bloków 800 MW_{el} na parametry nadkrytyczne. Dokumentacja GIG.

Solik-Heliasz E., Dubi ski J. 2008 ó Osi gni cia polskie i wiatowe w zakresie geologicznego sk€dowania CO₂. Mat. Konferencji PKE šCzyste technologie w gloweö Sosnowiec-Katowice 1-2 pa dziernika.

Solik-Heliasz E., 2008 - Czynniki geologiczne okre laj ce mo liwo podziemnego sk€dowania CO₂. Przegl d Górniczy, 11-12.

Solik-Heliasz E., 2009a ó Uwarunkowania geologiczne i górnicze podziemnego sk€dowania CO₂ w regionie górno 1 skim. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i rodowisko. Kwartalnik Nr 4/1.

Solik-Heliasz E., 2009 ó Projekt Inicjatywa Technologiczna I: Opracowanie potencjalnej pojemno ci sk€dowania CO₂ w g€boko po€ onych formacjach solankowych. Dokum. GIG.

Solik-Heliasz E. 2009B ó Osi gni cia polskie i wiatowe w zakresie geologicznego sk€adowania CO₂. Mat. IV Konferencji naukowo-technicznej šOchrona rodowiska w energetyceö. Jaworzno 12-13 luty.

Solik-Heliasz E. (red.), 2009 ó Atlas zasobów energii geotermalnej w regionie górno l skim. Utwory neogenu, karbonu i dewonu. Wydawnictwo GIG, Katowice.

l czka A., 1976 - Profil geologiczny otworu wiertniczego Sucha IG-1. Sprawozd. z pos. nauk. Inst. Geol. Kwart. Geol. 21/2.

l czka A., 1982 - Profil utworów kambru w otworach po€ onych na po€dniowy wschód od Gocza€owic. Przew. 54 Zjazdu Pol. Tow. Geol. w Sosnowcu. Wyd. Geol. Warszawa.

Tarkowski R., 2005 ó Geologiczna sekwestracja CO₂. Studia, Rozprawy, Monografie, 132, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 106 s.

Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2005 ó Emisja dwutlenku w gla w Polsce. [W:] Podziemne sk€dowanie CO₂ w Polsce w g€bokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodono nych), R. Tarkowski (red.), Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, s. 13-35.

Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2005a ó Struktury geologiczne (poziomy wodono ne i z€ a w glowodorów) dla podziemnego sk€dowania CO₂ w Polsce. [W:] Podziemne sk€dowanie CO₂ w Polsce w g€bokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodono nych), R. Tarkowski (red.), Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, s. 69-111.

Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2006 - Possibilities of CO_2 sequestration by storage in geological media of major deep aquifers in Poland. Chemical Engineering Research and Design, 84(A9), p. 776-780.

Tarkowski R., Stopa J., 2007 ó Szczelno struktury geologicznej przeznaczonej do podziemnego sk€dowania dwutlenku w gla. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 23, z. 1, s. 129-137

To tinski A., 1950 - Brzeg Karpat. Acta Geol. Pol. 1/1.

Toma A., Zaj c R., 1996 - Utwory m€dszego paleozoiku w pod€ u polskich Karpat Zachodnich. Prz. Geol. 44, 5.

Turnau E., 1974 - Microflora from core samples of some Paleozoic sediments from boneath the Flysch Carpathians (Bielsko-Wadowice area, Southern Poland). Rocz. Pol. Tow. Geol. 44, 2/3.

Uliasz-Misiak B., 2008 ó Pojemno podziemnego sk€adowania CO2 dla wybranych mezozoicznych poziomów wodono nych oraz z€ w glowodorów w Polsce. Studia Rozprawy Monografie nr 142, Kraków, s. 114.

Wagner J., 1997 ó Wybrane parametry hydrogeologiczne poziomów wodono nych karbonu górnego niecki g€wnej w Górno l skim Zag€biu W glowym. W: (Górski J. i Liszkowska E., red.) Wspó€zesne problemy hydrogeologii Tom VII. Kiekrz k/Poznania 4-6 wrze nia 1997.

Wagner J., 1998 ó Charakterystyka hydrogeologiczna karbonu produktywnego niecki g€wnej Górno l skiego Zag€bia W glowego. Biuletyn PIG 383, 1998 r: str. 55- 96.

Wilk Z. (red.), 2003 ó Hydrogeologia polskich z€ kopalin i problemy wodne górnictwa. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków.

Wójcicki A., 2008 ó CO2 Storage Potential in Poland (after CASTOR WP1.2), First EAGE CO2 Geological Storage Workshop, Budapest 29-30th September (referat).

Wójcicki A., 2009 (red.) - Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego sk€dowania CO2 wraz z ich programem monitorowania, Raport merytoryczny nr 1: Segment I, rejon Be€hatów. Strona projektu: <u>http://skladowanie.pgi.gov.pl</u>

Vangkilde-Pedersen T., Anthonsen K. L., Smith N., Kirk K., Neele F., van der Meer B., Le Gallo Y., Bossie-Codreanu D., Wojcicki A., Le Nindre Y.-M., Hendriks C., Dalhoff F., Peter Christensen N. P., 2008 ó GHGT-9 Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide ó the EU GeoCapacity project, energy Procedia ó Elsevier.