

WYNIKI BADAŃ TEKTONICZNYCH

Antoni M. ŻELICHOWSKI

OBRAZ STRUKTURALNY

Otwór wiertniczy Lublin IG 1 jest położony w centralnej części rowu lubelskiego, w niewielkim zapadlisku Kazimierzówki. Od południowego-zachodu ogranicza go zrąb Wilczopola, a od północnego-wschodu zrąb Świdnika (według warwicyjskiego planu strukturalnego). Zapadlisko Kazimierzówki jest ograniczone uskokiemi Minkowic i Majdanka, które zbiegają się ku południowemu wschodowi. W tym kierunku zapadlisko Kazimierzówki jest obcięte poprzecznym uskokiem Piasków, przebiegającym z północnego wschodu na południowy zachód.

Lokalizację otworu Lublin IG 1 na skłonie antykliny zaprojektowano na podstawie profili sejsmicznych z lat 1956–1960. W związku z pogłębieniem otworu i dalszym rozwojem prac sejsmicznych zmianie uległ strukturalny model przestrzenny. Wykonane w latach 1967–1969 prace sejsmiczne wykazały, że otwór Lublin 1 znajduje się w pobliżu linii uskoku nazwanego uskokiem Majdanka, w obrębie bloku obniżonego. W 1967 r. Instytut Geologiczny wystąpił o pogłębienie otworu do 4500 m, a następnie do 5000 m, w celu rozpoznania części przyskokowej bloku.

Wykonana w trakcie głębenia otworu analiza obrazu strukturalnego w interwale 0–4473 m wykazała, że w otworze wiertniczym napotkano szereg stref uskokowych, a otwór jest położony w części bloku przypartego do uskoku Majdanka. Przez otwór wiertniczy przebiega kilka płaszczyzn uskokowych powodujących redukcję bądź powtórzenie serii. Interpretowane były uskoki o nachyleniu płaszczyzn ok. 70°.

W profilu otworu Lublin IG 1, uwzględniając dane otrzymane z pomiarów kątów upadu warstw w rdzeniu oraz wyniki badań inklinometrem (kąt skrzywienia otworu i jego azymut; tab. 36), można wydzielić następujące główne kompleksy strukturalne:

- najwyższy – utwory kredy i jury (1–1053 m),
- górny – górna część karbonu (1053–1200 m),
- środkowy – środkowa część karbonu (1200–1350 m),
- dolny – dolna część karbonu (1350–2158 m),
- najniższy – dewon (2158–4600 m)
(niżej brak pomiarów).

W najwyższej części profilu otworu wiertniczego (kompleks najwyższy i górny), upady warstw wynoszą około 0°. Podobne wartości występują w kompleksie środkowym, którego wydzielenie opierało się o krzywiznę otworu wynoszącą od 0°30' do 1° przy azymucie około 330°. Rozdzielenie tych dwu kompleksów strukturalnych jest słabo udokumentowane.

Pomiędzy głębokościami 1325 i 1350 m przebiega główna granica strukturalna, co jest widoczne jako zasadnicza zmiana azymutu krzywizny otworu z 330–350° w wyższej części profilu na 35–40° w części niższej. W całym pomierzonym interwale (do 4600 m) otwór konsekwentnie ulegał skrzywieniu w jednym azymucie, przy zmieniającej się krzywiznie. Obserwuje się dwie maksymalne krzywizny otworu: pierwszą na głębokości ok. 1800 m (7–8°) i drugą na głębokości ok. 4000–4400 m (13–15°). Z uwagi na jednakowy azymut interpretowany profil podano ze skrzywieniem otworu.

Istnienie krzywizny otworu zmusza do wprowadzenia poprawek do wartości kątów upadu i miąższości warstw. Stosunkowo najmniejszych poprawek wymaga wyższa część karbonu (do 1350 m), gdzie wynoszą one około 2°, ale już na głębokości 1500 m pomierzone wartości upadu są zaniżone o 4°, a co za tym idzie, wychylenie wynosi tam 20°. Największych poprawek, dochodzących do 8°, wymaga profil karbonu w interwale około 1800 m, przy czym niżej ponownie maleją one do 5°. Z uwzględnieniem tych poprawek średnia wartość upadu warstw karbońskich wynosi 15–20°. Pomierzone na rdzeniu upady utworów dewonu są zaniżone o 5–15°, dlatego zinterpretowano je na podstawie pomiarów inklinometrem. Największe poprawki, o ponad 10°, należy wprowadzić w interwale 4000–4600 m – zamiast mierzonych wartości upadu 15–45°, wartości wynoszące 40–60°. Uwzględniając wpływ skrzywienia otworu na rzeczywiste upady można przypuszczać, że obserwowane wartości ok. 90° i „długie” przegięcia mogą być związane jedynie ze skrzywieniem otworu, a nie istnieniem warstw odwróconych.

W wyniku przeprowadzonej analizy zostały wydzielone następujące strefy dyslokacyjne, w których obserwujemy:

- interwał 1200–1250 m – upad warstw do 25°;
- interwał 1325–1350 m – zmiana azymutu krzywizny otworu z 350° na 40°;
- interwał 1350–1360 m – liczne ślizgi i lustra tektoniczne;
- interwał 1575–1635 m – liczne upady do 90°, ślizgi i lustra;
- głęb. ok. 2650 m – liczne ślizgi i zlustrowania, upad do 70°, przy powszechnym 35° (po redukcji);
- interwał 3828–4014 m – kilkukrotne występowanie brekcji tektonicznych (3937–3964 m) oraz zmiana wielkości krzywizny otworu;
- interwał 4600–4800 m – upady ok. 90°, zmienne nachylenie warstw, zlustrowania.

Określenie amplitudy zinterpretowanych uskoków jest trudne, przy braku wyraźnych reperów litologicznych i regionalnych zmianach miąższości. Większość, poza jedną, z wydzielonych powyżej stref uskokowych ma prawdopodobnie charakter uskoków normalnych. Jedynie dyslokacja występująca na głębokości 1575–1635 m jest zapewne uskokiem odwróconym, bowiem miąższość ogniwa Komarowa, w obrębie którego przypada ten uskok, jest zawyżona bardziej niż by to wynikało z ogólnego trendu wzrostu miąższości. Jak wynika z przeprowadzonej interpretacji, uskok Majdanka ma charakter uskoku antytetycznego. Płaszczyzna uskoku głównego obniżającego blok Kazimierzówki jest nachylona pod kątem ok. 60° ku północnemu wschodowi i przecina oś otworu Lublin IG 1 w interwale 4600–4800 m. Jak podano w tabeli 36 wskutek skrzywienia otworu jego oś uległa przesunięciu do 400 m. Po uwzględnieniu redukcji również końcowa głębokość otworu, wynosząca według miary wiertniczej 5028 m, w pionie wynosi 4982 m.

w profilu otworu Lubin IG 1 częściowo rozpoznano dwa elementy strukturalne. Wyższa część karbonu i część dewonu (interwał 1053–4600 m) reprezentuje zapadlisko Kazimierzówki, natomiast niższa część dewonu, poniżej głębokości 4800 m, odpowiada blokowi Wilczopola. W obrębie części profilu należącej do zapadliska Kazimierzówki zaznacza się szereg wyżej wymienionych uskoków, mających charakter uskoków potomnych, związanych z powstaniem zapadliska. Nachylenie ich płaszczyzn jest skierowane przeciwnie niż uskoku głównego. Dlatego upady wyznaczone poziomami refleksyjnymi i przez krzywiznę otworu wskazują na zapadanie warstw ku płaszczyźnie głównego uskoku, czyli w kierunku południowego zachodu, i nie tworzą one podgięcia, jak należałoby się spodziewać przy uskoku normalnym, prostym. Nachylenie warstw w niższym bloku Wilczopola nie jest określone. Odcinek ten przewiercono pełnordzeniowo. Obserwuje się stopniowe zmiany w litologii od strefy uskokowej (4600–4800 m) do niższych części profilu należących do dewonu dolnego. Znaczną diagenезę tych utworów można przypisać regionalnej termodynamometamorfozie związanej z pograżeniem tych skał na głębokości ok. 7000 m w końcu westfalu przed dźwignięciem zrębu Wilczopola. Dla porównania utwory dolnodewońskie z rejonu Trawników i Dorohucz, które znajdowały się pierwotnie w takich samych warunkach, nie zostały tak silnie zmienione.

Przedstawione powyżej wnioski dotyczące obrazu strukturalnego rzutują bezpośrednio na warunki złożowe. W otworze Lublin IG 1 w sąsiedztwie stref uskokowych stwierdzono podwyższone wskazania metanomierza zarówno w obrębie karbonu, jak i dewonu. Ponadto w obrębie utworów famenu notowano liczne wysięki ropy w szczelinach. Najbardziej intensywne przejawy gazu ziemnego zanotowano w utworach dewonu środkowego, na głębokości 4450 m, które były obiektem długotrwałego opróbowania. Opierając się na wykonanych wcześniej badaniach sejsmicznych (do roku 1968 włącznie) założono, że w otworze Lublin IG 1 w strefie przyuskokowej istnieją podgięcia warstw ku płaszczyźnie uskoku, tworzące pułapkę strukturalną. Przeprowadzona analiza strukturalna miała na celu wyjaśnienie przyczyn nieuzyskania

przemysłowego przyływu gazu ziemnego. Wykazała ona, że przypuszczalnie otwór Lublin IG 1 przewiercił poziom gazonośny w jego najniższej, przyuskokowej części. W czasie opróbowania horyzontu ok. 4450 m nie uzyskano przyływów solanek, co w świetle przedstawionych powyżej wywodów należy uznać za objaw pozytywny. Brak przyływu gazu jest natomiast związany z niekorzystnym położeniem strukturalnym otworu w części znacznie obniżonej. Jest to bowiem dolna część złoża, która może rozprzestrzeniać się ku północnemu wschodowi.

Zatem dla wyjaśnienia istnienia złoża gazu, którego przejawy stwierdzono w otworze Lublin IG 1, należy prowadzić rozwiercanie struktury w kierunku północno-zachodnim po wzniosie warstw dewonu do zamknięcia stworzonego przez uskok Minkowic. Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia kwestia zamknięć poprzecznych, co w tych konkretnych warunkach terenowych – zabudowy miast Świdnika i Lublina, może nastroczać wiele kłopotów. Z tych samych powodów nie należy spodziewać się efektów przy opróbowaniu wyższych poziomów dewońskich. Otrzymano niewielkie przyływy ropy z głębokości ok. 2900 m. Biorąc pod uwagę możliwość występowania złoża masywnego odpowiadałyby one jego dolnej partii, co przy braku dopływu solanki jest bardzo pozytywnym zjawiskiem i może wskazywać na złożo o kilkukilometrowej wielkości.

Tabela 36

Skrzywienie i odchylenie otworu wiertniczego Lublin IG 1

Lublin IG 1 borehole deviations

Głębokość [m]	Kąt skrzywienia [°]	Azymut skrzywienia [°]	Odchylenie od punktu otworu na pow. terenu
895	1	160	5,7 m
1175	0		5,7 m
1325	ok. 1	350	3,7 m
1690	3–5 1/2	35	24,0 m
1850	7 do 8		
2300	4	20 do 45	98 m
2800	4	35	133 m
3300	5 do 7	40	197 m
3975	7 do 8	40	273 m
4375	13 do 15	40	352 m
4600	13 do 15	37	399 m
5028*	(założone 10)	?	477 m*, 321 m
pomiar niewykonany			

* założenie konsekwentnej krzywizny azymut 40°

* assumption of consistent deviation azimuth 40°

Marek JAROSIŃSKI

PROFILOWANIE STRUKTUR TEKTONICZNYCH NA RDZENIU WIERTNICZYM

CEL I METODA BADAŃ

Badania mezostruktur tektonicznych na rdzeniu wiertniczym przeprowadzono w celu określenia kinematyki głównych stref dyslokacyjnych, sukcesji zmian reżimu naprężeń oraz następstwa zdarzeń tektonicznych.

Tam gdzie było to możliwe, struktury tektoniczne zorientowano względem kierunku zapadania warstw. W rzadszych przypadkach, orientację warstw wykonano na podstawie technologicznych pęknięć rdzenia (typu *core diskings*), których orientacja jest uwarunkowana kierunkiem największego współczesnego naprężenia poziomego (S_{Hmax}) (Jarosiński, 1994). Zgodnie z wynikami pomiaru struktur *breakouts* na obszarze lubelskim (Jarosiński, 2005), kierunek największego współczesnego naprężenia poziomego jest tu wyjątkowo stabilny i mieści się w przedziale azymutów 4–11°. Tam, gdzie struktury indukowane współczesnym naprężeniem nie występują, przyjmowano bieg warstw zgodny z regionalną rozciągłością struktur w skali kartograficznej. Żadne z powyższych kryteriów nie określa jednak azymutu zapadania warstw, a jedynie kierunek ich biegu, dlatego o kierunku zapadania warstw zdecydowano na podstawie profilu sejsmicznego

(Krzywiec, 2005). Kierunek ten jest problematyczny w dolnym odcinku otworu, gdzie obraz sejsmiczny nie jest jednoznaczny. W ten sposób kinematyka i kierunek biegu uskoku są określone jednoznacznie, natomiast zwrot przemieszczenia jest hipotetyczny.

Profilowanie strukturalne rdzenia przeprowadzono poniżej głęb. 1548 m, tzn. tam, gdzie na podstawie dokumentacji otworowej spodziewano się występowania większej liczby struktur tektonicznych. Otwór jest odchylony od pionu o kąt w przedziale 3–7° na głęb. 1500–4000 m i osiąga maksimum odchylenia do 10° na głęb. 5000 m. Odchylenie to jest systematycznie zorientowane w kierunku NNE, a więc przeciwnie do kierunku zapadania warstw. Dlatego upady warstw w opisie otworu, odnoszone do krawędzi rdzenia, są zaniżone o kilka stopni względem upadów rzeczywistych. Tak nikłe odchylenie nie wpływa istotnie na orientację struktur. Zakłada się, że błąd względnej orientacji struktur na małych próbkach rdzenia wiertniczego jest większy niż przy pomiarach terenowych i może przekraczać 10°.

PROFIL STRUKTURALNY OTWORU WIERTNICZEGO LUBLIN IG 1

Syntetyczny profil strukturalny dla otworu wiertniczego Lublin IG 1 przedstawiono na [figurze 21](#), natomiast jego szczegółową charakterystykę zamieszczono w [tabeli 37](#), wraz z odwołaniami do fotografii struktur przedstawionych na [figurach 22 i 23](#).

Struktury w kompleksach stratygraficznych

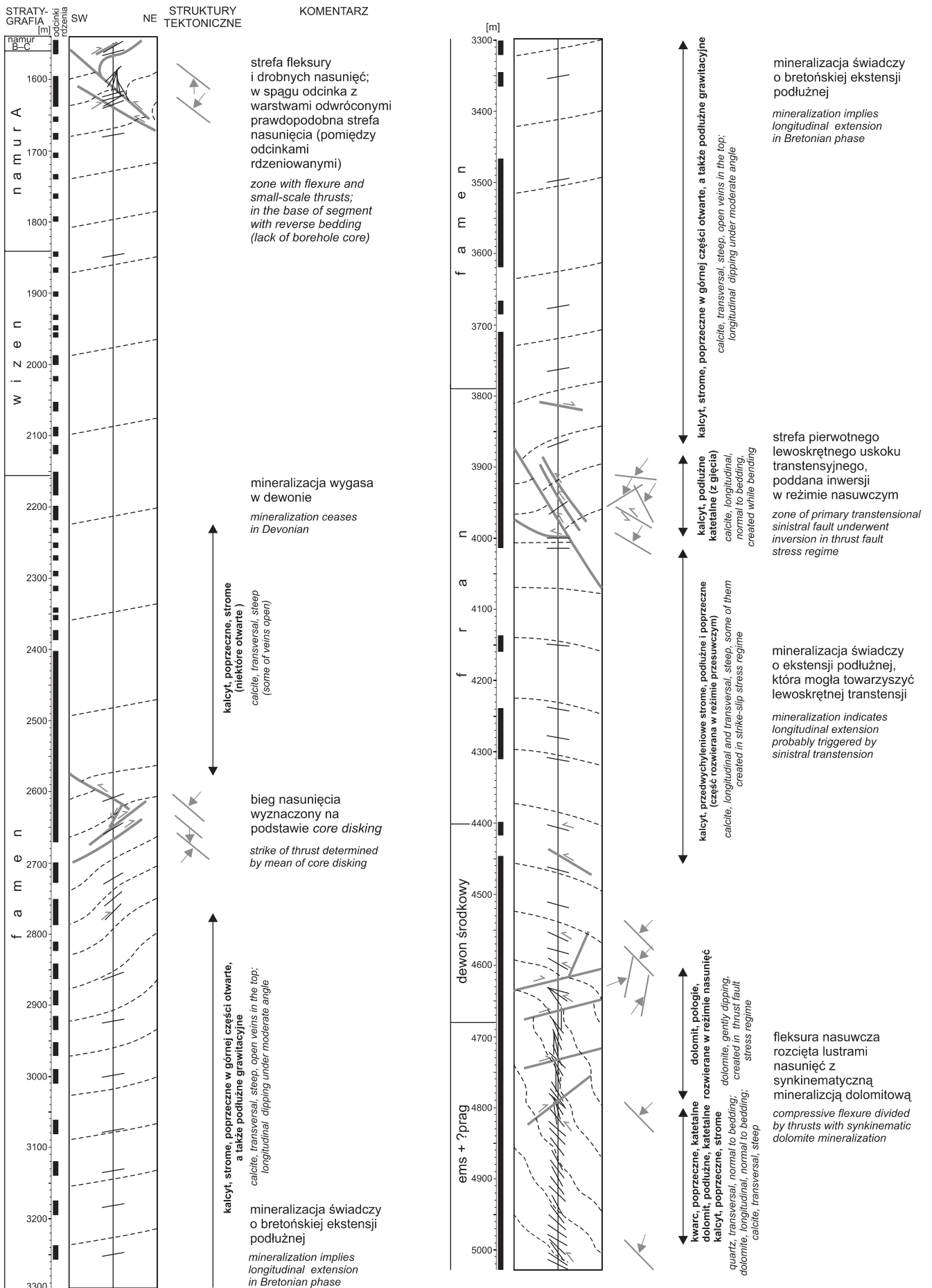
Interwał 1548–2158 m – klastyczny karbon wyróżnia się brakiem mineralizacji żyłowej. Regionalny upad warstw wynosi 10–20°. Większe upady, do 35°, obserwuje się w strefach występowania luster nasuwczych na głęb. ok. 1550 m i 1630 m. Ponadto na odcinku 1600–1607 oraz ok. 1615 m występuje systematyczny wzrost upadu warstw, aż do pionu, w strefie nasunięcia, którego lustra mają upad ok. 45°. Wszystkie lustra tektoniczne, również te na powierzchniach warstw, mają charakter nasuwczy. Niektóre z nich (lustra bardziej nachylone), występujące w górnej części zaburzonego interwału, mają prawoskrętną składową przemieszczenia (?reaktywowane).

Interwał 2158–4401 m – interwał górnodewoński z przewagą węglanów. Na pograniczu dewonu i karbonu (2158 m) nie występują struktury tektoniczne i nie jest widoczna niezgodność kątowna. Warstwy mają regionalny upad 10–20°, który tylko w obrębie pojedynczego zafałdowania na głęb. 2750–2770 m przekracza 30°. Większość luster połączonych i nachylonych oraz rozwiniętych na powierzchniach ławic ma charakter nasuwczy. Lustra o nachyleniu większym niż 50° są nasunięciami skośnymi prawo- i lewoskrętnymi. Przemawia to za reaktywacją starszych uskoku grawitacyjnych w kompresyjnym polu naprężeń. Dwa lustra grawitacyjne, które nie uległy inwersji, mają lewoskrętną składową zrzutu (pierwotna transtensja), a jedno lustro jest czysto przesuwcze – lewoskrętne. W wapieniach gruzłowych występują wiązki stromych (upad 60–90°), falistych powierzchni z rozpuszczania, które są odpowiednikiem kliważu. W wyższej partii tego odcinka, do głębokości 3870 m, przeważają strome żyły kalcytowe, poprzeczne (lub południkowe), z czego część (do głęb. 2820 m) jest rozwarta. Podrzednie występują żyły grawitacyjne oraz strome podłużne lub równoleżnikowe.



Fig. 21. Profil strukturalny dewonu i karbonu z otworu wiertniczego Lublin IG 1

Structural section of Devonian and Carboniferous deposits in the Lublin IG 1 borehole



Syntetyczny profil strukturalny utworów dewonu i karbonu
(por. [fig. 21](#); w tabeli zamieszczono odwołania do fotografii struktur przedstawionych na [fig. 22, 23](#))

Synthetic structural section of Devonian and Carboniferous deposits
(compare with [Fig. 21](#); in the table references to the photos on the [Fig. 22](#) and [Fig. 23](#) can be found)

Głębokość [m]	Struktury tektoniczne	Komentarz
1	2	3
1548–1554	Wa 10–20°, BST; Wa 30° = L3, R upad, nasuw. (gład.) (×2) (fig. 22A); mini rampy łączące powyższe nasunięcia	
nieczytelna	Wa 15–20° = L1, bez R (×2)	
1595–1601	U str. kataklazy 10 cm = L3, up. 50°, nierówne, R upad/skos ?[L 155° R], nasuw. (gład.) (×2); L2, up. 45°, równe i płaskie, R nasuw./skos ?[L 165° R], nasuw. (cienie, gład.) (×2) (fig. 22B); Wa 45°	strefa nasunięcia
1601–1607	Wa 45–60° = L płaskie, R p. nasuw.; Wa 70–80–90°; U nasunięcie 3 cm, up. 45°, ~podłużny do Wa (×2); Wa pion = L2, Rp. upad (×2) (fig. 22C); L3, up. 40–50°, podłużne do Wa zafałdowane, R upad/skos [L 20° R], nasuw. (cienie kalcyt.) (×2); Wa 80–70°; L3, up. 40–50°, zgodny z Wa, R nasuw (×2); Wa 60°; L2, up. 45°, poprzeczne do Wa [Wa 80° L], płaskie, R upad/skos [L 20° L], nasuw. (gład.), po wychyleniu Wa	zafałdowanie przy nasunięciu podrzedne lustra nasunięć wstecznych
nieczytelna	zwierciny	?U
1616–1621	Wa 15°, BST	–
1629	Wa 30–35° = L2, płaskie, R nasuw. (gład.) (×4)	–
1632	Wa 20–30° = L2, płaskie + nierówne, nasuw. (×2)	–
1635	U str. kataklazy 10 cm, nasuw. ~Wa 20°	nasunięcie wzdłuż powierzchni kontrastu mechanicznego
1636	Wa?	–
1678	Wa 0–10° = L1, nasuw. (×X)	–
1848	Wa 0–10° = L1, nasuw. (×X)	–
2225	Ż3, kalcyt, pion. 2–5mm (×2)	–
2525	L3, up. 10°, równe, R. upad, normal. (cienie)	–
2544	Ż3, kalcyt, pionowa, ?poprzeczna, otwarta, szczotka 6 mm	–
2608	Wa 20°; pow. z rozpuszczania, stroma, nierówna, o stałej orientacji	powierzchnie rozpuszczane pod naciskiem tektonicznym
2623	gruzły spłaszczone i wydłużone tektonicznie	–
2624–2630	SS = L2, up. 35°, równe, R upad. nasuw. (cienie) (×2) [L 35° SH max]; CD	–
2630–2638	pow. z rozpuszczania, stroma, nierówna; L2, up. 10°, nierówna, nasuw. (gład.) (×2); gruzły rozciągnięte nasuwczo + gniazda rozwierane nasuwczo (fig. 22D); SS up. 65–70°, nierówna = L2, Rp skos [L130° R], lewo-normal.	–
2642–2644	L3, up. 50°, R nasuw. (cienie) (×2) (fig. 22E)	–

Tabela 37 cd.

1	2	3
2645	Wa 30°; Styl. stromy z lin. połągą (fig. 22F)	–
2665	L2, up. 35°, R nasuw. (gład.)	–
2724	Wa 30° = L2, równe, R nasuw. (gład.)	–
2751–2763	Wa 30–40° = L2, równe, nasuw. (gład.) (×10)	posuw fałdowy przy wzrastającym up. Wa
2770	Wa 45° = L2, R skos. = SS; Ż3, kalcyt, stroma, poprzeczna, 1 cm	–
nieczytelna	Wa 10°, BST	–
3815	L2, up. 15°, równe, przeciwstawne do Wa, R normal. (gład.); L2, połogie, nierówne	–
2820	Ż3, kalcyt, stroma, nierówna otwarta szczotka	–
2860	Wa 20° = L2, płaskie, R upad	–
3825	pow. ścinania i rozpuszczania, up. 60–70°, nierówne oraz poprzeczne do nich: Ż2, kalcyt, up. 50–70°, nierówne, synkinematyczne	struktura skały intensywnie stektonizowana
do 3830	wapień zbrekcyjowany i użylony; pow. strome z rozpuszczania	–
3840	gruzły lekko wydłużone połego; krzyżujące się pod <80° dwa zespoły Ż o jednakowej mineralizacji kalcytu ziarnistego: Ż3, strome, 1–6mm (×3); Ż2, strome, 1–3mm (×2)	–
3868	Wa 20°; Ż2 (=gniazda), kalcyt biały, strome, poprzeczne, ?przedwychyleniowe, rozwierane ?przesuw- czo	poprzeczny zespół główny Ż reżimu przesuwczego
3872	dwa zespoły Ż stromych: południkowy – główny równoleżnikowy – podrzędny (orientacja z CD) (fig. 22G)	–
nieczytelna	południkowe Ż zespołu głównego	–
3921–3924	L2, up. 40°, R upad. nasuw. (cienie); L1, pion. R upad/skos; L2, up. 60°, równe, R skos/upad, lewo-normal. lub prawo-nasuw.	–
3938	L2, up. 60°, równe, R skos. lewo-nasuw. (cienie.) o biegu // do: Ż2. stromej, ?południkowej	w wapieniu masywnym zniszczenia są starsze niż deformacja z R skośnymi
3942	SS = L2, up. 50°, równe, R skos/bieg [L 55° R], lewo-nasuw. (cienie); L2, up. 60–70°, równe, R upad. nasuw. (cienie); Ż2 (= gniazda) kalcyt, up. 50°, rozwierana <i>pull-apart</i> lewoskrętnie	–
3955	?Wa 35°; Ż2, biały kalcyt, nierówne, ?katetalne, podłużne do ?W, 1–3mm (×X); Ż3, strome, nierówne, ?podłużne do Wa, 3–8mm	–
3984	L3, up. 60°, równe, R skos/upad, prawo-nasuw. (cienie)	–
3990–4014	Wa ?połogie; pow. rozpuszczania, up. 70–90°, nierówne o stałej orientacji (×X) (fig. 22H) oraz podłużne do nich: Ż2, kalcyt, strome, nierówne (×2), rozcięte przez młodsze: L3, up. 0–15°, nierówne, R nasuw. (cienie) o biegu N 30° (orientacja z CD) (fig. 22I); Ż kalcyt, strome, poprzeczne do pow. rozpuszczania i ~// do SH max (z CD)	fazy deformacji; ekstensja ~NNE, kompresja ~NNE, ekstensja WNW

Tabela 37 cd.

1	2	3
4134–4159	<p>Ż1, 75–90° [SH max 130° bieg Ż]; Ż3, strome, // do SH max, 1cm (×2); Wa 5–10° lekko zL; Ż3, jw., poprzeczne do Wa (×2); Ż strome [SH max 50° bieg Ż], <i>pull-apart</i> rozwierane prawoskrętnie (fig. 23A – widok pow. spagowej); Ż3, strome jw. [SH max 30° bieg Ż] oraz odchodzące od nich; Ż2, up. 45°, równe, 1mm (×3); L2, połogie, nierówne, Rp.; Ż3, strome, do 2cm (×2); L2 (= ?Wa), up. 15–20°, równe, Rp. upad. nasuw. (gład.) (×3) oraz młodsze: Ż3, strome, do 4cm, poprzeczne do Wa i // do R; br. hydrauliczno–tektoniczna spojona białym kalcytem</p>	najmłodsza mineralizacja – Ż poprzeczne rozwierane w reżimie przesuwczym pod wpływem podwyższonego ciśnienia porowego
4234–4261	<p>Wa ~10°, Ż3, pion, nierówne, poprzeczne, szeregi kulisowe lewoskrętne i prawoskrętne (rozwierane w reżimie przesuwczym) (×X) (fig. 23B); L2, up. 40°, nierówne, ?R, bieg ?lewo. oraz przylegające od L poprzeczne: Ż3, kalcyt biały, strome, 1cm, syn- lub postkinematyczne</p>	poprzeczne przemieszczenia przesuwcze po etapie kompresyjnym
4261–4288	Wa 10°; BST	–
4395–4417	<p>Wa 10–15° L2, połogie nierówne, R nasuw, (cienie) oraz w skrzydle stropowym: pow. z rozpuszczania, strome podłużne do L (fig. 23C); Ż strome, poprzeczne do L (×2)</p>	powierzchnie z rozpuszczania
4446	L3, up. 10–30°, równe, płaskie, R upad. nasuw (gład.);	–
4450	dwa zespoły: Ż1.2, strome, komplementarne (<50°) (×4) + (×2)	–
nieczytelna	Wa 10–20° sporadycznie Wa 30° (w heterolicie) o zmiennym kierunku zapadania	–
4545	Styl obciążeniowe, up. 20–30° (?= Wa) L2, strome, R bieg/skos.	–
4558	Wa 20–30° = L, równe, R [SH 30° R] nasuw. (gład.)	–
4566–4568	Wa 10°; L2 (= Wa ciągnione) up. 40°, równe, R bieg, prawo. (cienie) (×3)	–
nieczytelna	Wa 5–20°	–
4592	Wa 20–35° = L2, równe, R upad/skos, nasuw. (gład.) (×3) oraz przeciwstawne do Wa: Ż połogie rozwierane normalnie (Ri względem L)	nasuwczość prosta z Ri. a nie posuw z podginania warstw
4615	L2, up. 20–30°, nierówne, R bieg. góra–lewo (cienie)	
4617	Wa 10°, lokalnie w str. U, do 25–40°: L2, up. 25° [Wa 70° L], równe, R upad/skos, nasuw. (gład.); L2, up. 70–80° [Wa 160° L], zakrzywione, R skos/bieg, prawo–nasuw. (gład.) (fig. 23D)	L strome, podłużne, transpresja prawoskrętna
4635	Wa 15° – mułowiec, 20–30° – piaskowiec	sedymentacyjny wzrost up. Wa w piaskowcu
4636	Wa 45–60° = L3, równe, R upad. nasuw. (cienie + mineral. dolomitom) (×5) (fig. 23E)	poniżej powszechna min. dolomitowa
nieczytelna	Wa 35–45° = L3, nasuw. (cienie, dolomit biały) (×2)	–
4673	CD w skrzydle stropowym nasunięcia	kumulacja współczesnych naprężeń
4674–4676	U str. 2,5m – okruchy zlustrowanego iłowca; L2, strome, R. upad. (×X); Wa pion. rozciągnięte, poprzerywane	–

Tabela 37 cd.

1	2	3
nieczytelna	Wa 50–60° = L.1, płaskie, Rp. upad. (×X); Wa 70° – sporadycznie.	–
4692	Wa 54–60°	–
nieczytelna	Wa 45–60°; Ż.1, dolomit, połoga, nierówna	–
4710–4717	Wa 65–80 = L.2, równe, nasuw. (fig. 23F)	Wa w położeniu normalnym
nieczytelna	Wa 70–90°, silnie zaciśnięte oraz ścięte przez: L1, up. 20°, Rp. nasuw. (cienie kalcyt) (×3)	nasunięcia pofałdowe
4725	Wa 60–40°	–
4731	Wa 60–70°; L3, up. 20°, równe, R nasuw. (cienie dolomit) Ż3, dolomit, stroma, bieg ⊥ do R rozwierana nasuwczo (fig. 23G)	?równowiekowa mineral. kalcytem i dolomitom
nieczytelna	Wa 70–90°; L2, połogie (lub = Wa), R nasuw (cienie) (×X)	systematyczne nasunięcia pofałdowe
4790	Wa 60–50° = L2, R nasuw (cienie dolomit); L3 (= Wa) up. 45°, R nasuw. (cienie dolomit.) (×2); X0cm czarnego iłowca zL na granicy z piaskowcem białym; Wa 55° [N–S 0° Wa] = stylolity grawitacyjne; Wa 40° = L2, Rp upad.	Wa biegną ~równoleżnikowo
4800	Wa 70–80° = Styl. grawitacyjne przedwychyl.; Ż2, kwarc, kawernista, up. 40° [Wa 250° Ż], katetalna, po Styl. a przed wychyleniem Wa	mineralizacja kwarcem – po odrotowaniu Wa do poziomu Ż stroma o biegu WNW
4805	Wa 70°; Ż3, kalcyt biały, up. 80°, poprzeczna, 5 mm, równa, pofałdowa	–
4807	Wa 70–80°	–
4813	Wa 50–60° = L2, płaskie, nasuw. (cienie.)	–
4853	Wa 40–50° = zL. bez R; 3 zespoły Ż kalcyt: najstarsze – Ż1, up. 45–55° [Wa 225° Ż], równe; młodsze – Ż3, strome [Wa 155° bieg Ż], równe; najmłodsze – Ż2, up. 60° [Wa 245° Ż], równe	wszystkie zespoły Ż o biegu zbliżonym do południkowego
4875	Wa 60°; Ż2.3, kwarc, kawerniste up. 10–20° [Wa 239° Ż], równe, rozwidłone (×4)	Ż kawarcowe po odrotowaniu Wa bieg WNW
nieczytelna	Wa 50–60° Ż1, dolomit, katetalne, podłużne (×3)	Ż dolomitowe z gięcia warstw
4900	Wa 50–60° = zL> bez R. (×X); Ż2, dolomit, połogie, katetalne, podłużne (×2)	Ż dolomitowe reżimu ?nasuw. powychyleniowe
nieczytelna	Wa 45–60–40° = L R nasuw. (×3)	–
2985	Wa 35°; Ż2, dolomit róż. up. 45° zgodny z up. Wa, podłużna, równa; Ż1, dolomit róż. up. 55°, przeciwstawne do Wa, katetalne, równe	systematycznie mineralizacja dolomittem podłużna
5002	Wa 45–55° = L.1. równe, R. skos/upad [Wa 145° R] nasuw. (gład.)	–
nieczytelna	Wa 20–35° bez L	–

Objaśnienia do tabeli 37

Explanations to Table 37

Struktury: L – lustro tektoniczne, L1 – lustro tektoniczne małe, L2 – lustro tektoniczne średnie, L3 – lustro tektoniczne duże, R – rysy ślizgowe na powierzchni luster tektonicznych, Rp – prążki – drobne rysy ślizgowe, Wa – warstwowanie, up. – upad (np. Wa up. – upad warstw), U – uskoki, F – fałdy, Ż – żyły mineralne, St – spękania tektoniczne bez wypełnienia mineralnego, SS – strefa ścinania, Styl. – szew stylolitowy, Lin. – lineacja, P – technologiczne pęknięcia rdzenia, o orientacji uwarunkowanej kierunkiem S_{Hmax} , S_{Hmax} – kierunek współczesnej kompresji tektonicznej, wyznaczony na podstawie charakterystycznych spękań, CD – core diskling, BST – brak struktur tektonicznych, ? – prawdopodobne, (x3) – w przypadku struktur występujących seryjnie – liczba powtórzeń danej struktury; symbole struktur umieszczano na początku wiersza, opisy odrębnych struktur zakończono średnikiem

Relacje pomiędzy strukturami: „+” – współwystępowanie struktur, „=” – jedna struktura jest fragmentem innej

[...] – notacje względnej orientacji struktur planarnych, na pierwszej pozycji rodzaj struktury referencyjnej, na drugiej – struktura orientowana, np.: [Wa 160°L] – kierunek zapadania lustra, odmierzany prawoskrętnie od kierunku zapadania warstw, w zakresie 0–360°; [L 10°Ż] – kierunek zapadania żyły mineralnej, odmierzany prawoskrętnie od kierunku zapadania lustra, w zakresie 0–360°; [L 130°R] – kierunek przebiegu rys tektonicznych, odmierzany na powierzchni lustra, prawoskrętnie od kierunku jego zapadania, w zakresie 0–180°; [pow. Wa 30°Kliw.] – orientacja śladu kliważu na powierzchni warstw względem kierunku upadu warstw, w przypadku warstw ustawionych pionowo alternatywna orientacja [30° lub 150°]

Relacje kierunkowe pomiędzy strukturami: podłużne – bieg struktury zgodny z biegiem warstw, poprzeczne – bieg struktury prostopadły względem biegu warstw, przekątne (diagonalne) – skośne do biegu warstw, przeciwstawne – upad przeciwny do upadu struktury referencyjnej, zgodne – kierunek zapadania zgodny z kierunkiem upadu struktury referencyjnej

Orientacja rys ślizgowych odmierzana w płaszczyźnie lustra od kierunku jego zapadania: upad (0–15°), upad/skos (15–30°), skos (30–60°), skos/upad (30–40°), skos/bieg (50–60°), bieg/skos (60–75°), bieg (75–90°)

Relacje kierunkowe: „//” – równoległe, „^” – prostopadłe, „~” – „w przybliżeniu” np. w przypadku powierzchni nierównych: ~bieg Wa – odbiegający do kilkunastu stopni od biegu warstw; przegub F (<150°) – kąt rozwarcia fałdy

Opis luster tektonicznych: L + wielkość + orientacja + kształt + tektoglify + kierunek przemieszczenia na powierzchni lustra (mierzony prawoskrętnie od kierunku zapadania lustra) + kinematyka przemieszczenia (nasuw., normal., prawoskrętny, lewoskrętny) + w nawiasach podane kryterium określenia zwrotu przemieszczenia

Zastosowane kryteria określania zwrotu przemieszczenia: gład. – kryterium gładkości lustra (najniższy stopień wiarygodności), cienie – cienie krystalizacji na powierzchni lustra (wysoki stopień wiarygodności), Ri oraz Ri’ – spękania Riedla (średni stopień wiarygodności)

Opis żył mineralnych: Ż + skład mineralny + orientacja + kształt + grubość

Structures: L – slickenside, L1 – small slickenside, L2 – intermediate slickenside, L3 – large slickenside, R – striation, Rp – fine striation, Wa – bedding, up. – dip (e.g. Wa up. – dip of bedding), U – fault, F – fold, Ż – mineral vein, St – tectonic fracture without fill, SS – shear zone, Styl. – stylolite suture, Lin. – lineation, P – technological crack with orientation controlled by S_{Hmax} , S_{Hmax} – direction of present-day tectonic compression determined from characteristic cracks, CD – core diskling, BST – lack of tectonic structures, ? – probable, (x3) – number of member structures in a set; symbols of structures are placed in the table at the beginning of row, structures are separated by semicolons

Relations between structures: “+” – co-existence of structures, “=” – one structure is a piece of another

[...] – square brackets contain notation describing structure orientation in respect to reference structure, which comes first, e.g. [Wa 160°L] – relative azimuth between dip direction of bedding and dip direction of slickenside, in a range 0–360°; [L 10°Ż] – relative azimuth between dip direction of slickenside and dip direction of mineral vein, in a range 0–360°; [pow. L 130°R] – angle between dip line of slickenside and striation, measured clockwise at slickenside plane, in a range 0–180°; [pow. Wa 30°Kliw.] – angle between dip line of bedding and cleavage/bedding intersection, measured clockwise at bedding plane, in a case of vertical bedding there are always two alternative orientations (e.g. 30° or 150°).

Angular relations between structures: longitudinal – strike of structure parallel to bedding, transversal – strike of structure normal to bedding trend, diagonal – strike of structure oblique to bedding, opposable – dip of structure opposite to dip of reference structure, conformable – dip of structure compatible to dip of reference structure

Orientation of striation is always given in relation to the dip line of slickenside: upad (0–15°), upad/skos (15–30°), skos (30–60°), skos/upad (30–40°), skos/bieg (50–60°), bieg/skos (60–75°), bieg (75–90°)

Symbols describe relative orientation: “//” – parallel, “^” – orthogonal, “~” – approximate, e.g. in the case of rough surface, the strike of bedding can be determined approximately: ~bieg Wa; przegubF (<150°) – angle between fold’s limbs.

Description of slickensides: L + size + orientation + shape + slickensides relief + direction of motion (measured clockwise from dip line of slickenside) + kinematics (nasuw., normal., prawoskrętny, lewoskrętny – trust-fault, normal fault, dextral, sinistral, respectively) + criteria for sense of slip determination placed in brackets

Criteria for slip sense determination from slickensides: gład. – slickenside smoothness (lower quality), cienie – crystallization shadows (high quality), Ri or Ri’ – Riedel fractures (moderate quality)

Description of mineral veins: Ż + mineral content + orientation + shape + thickness

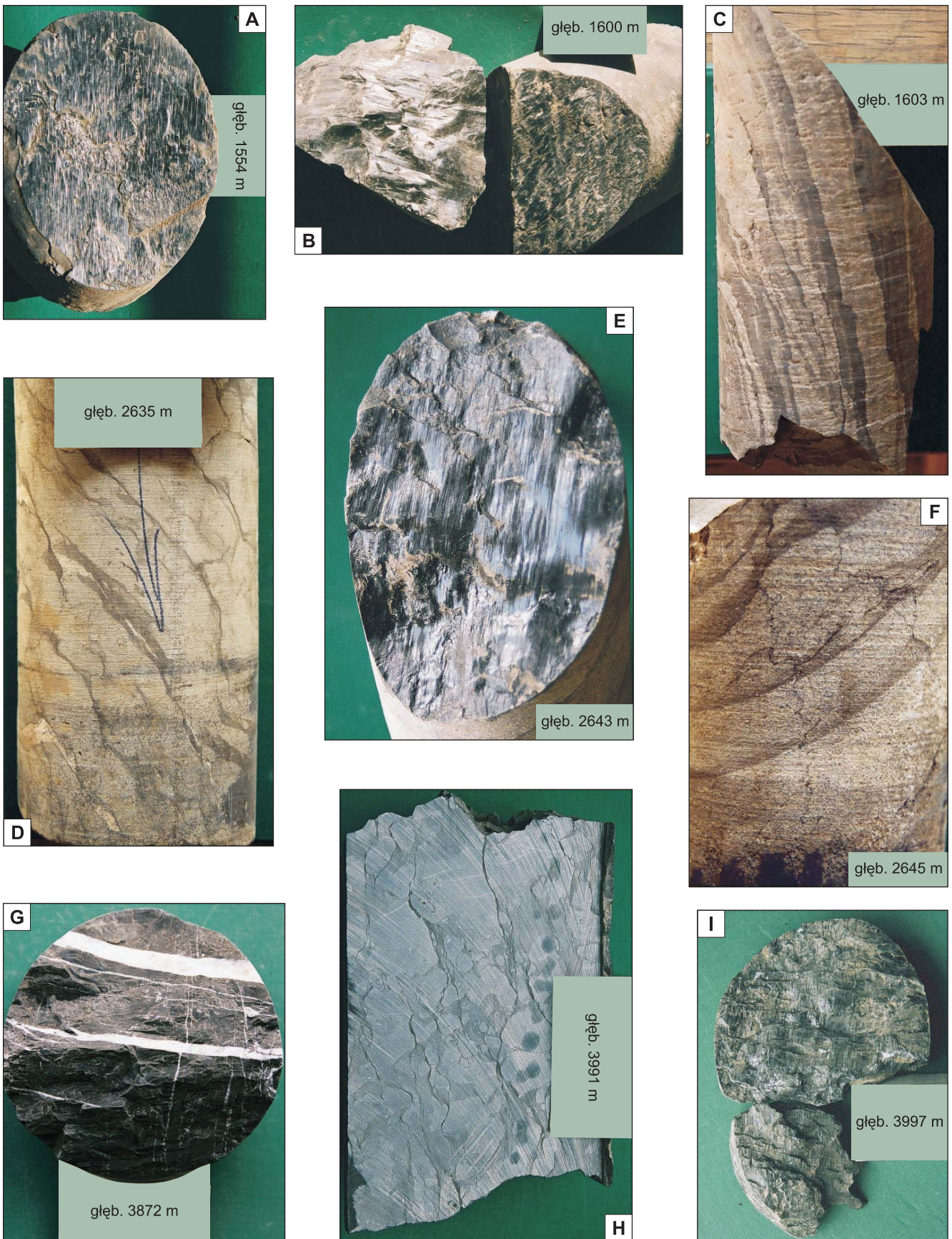


Fig. 22. Struktury tektoniczne występujące w utworach dewonu i karbonu (opis w tabeli 37)

Tectonic structures of Devonian and Carboniferous deposits (for description see Table 37)

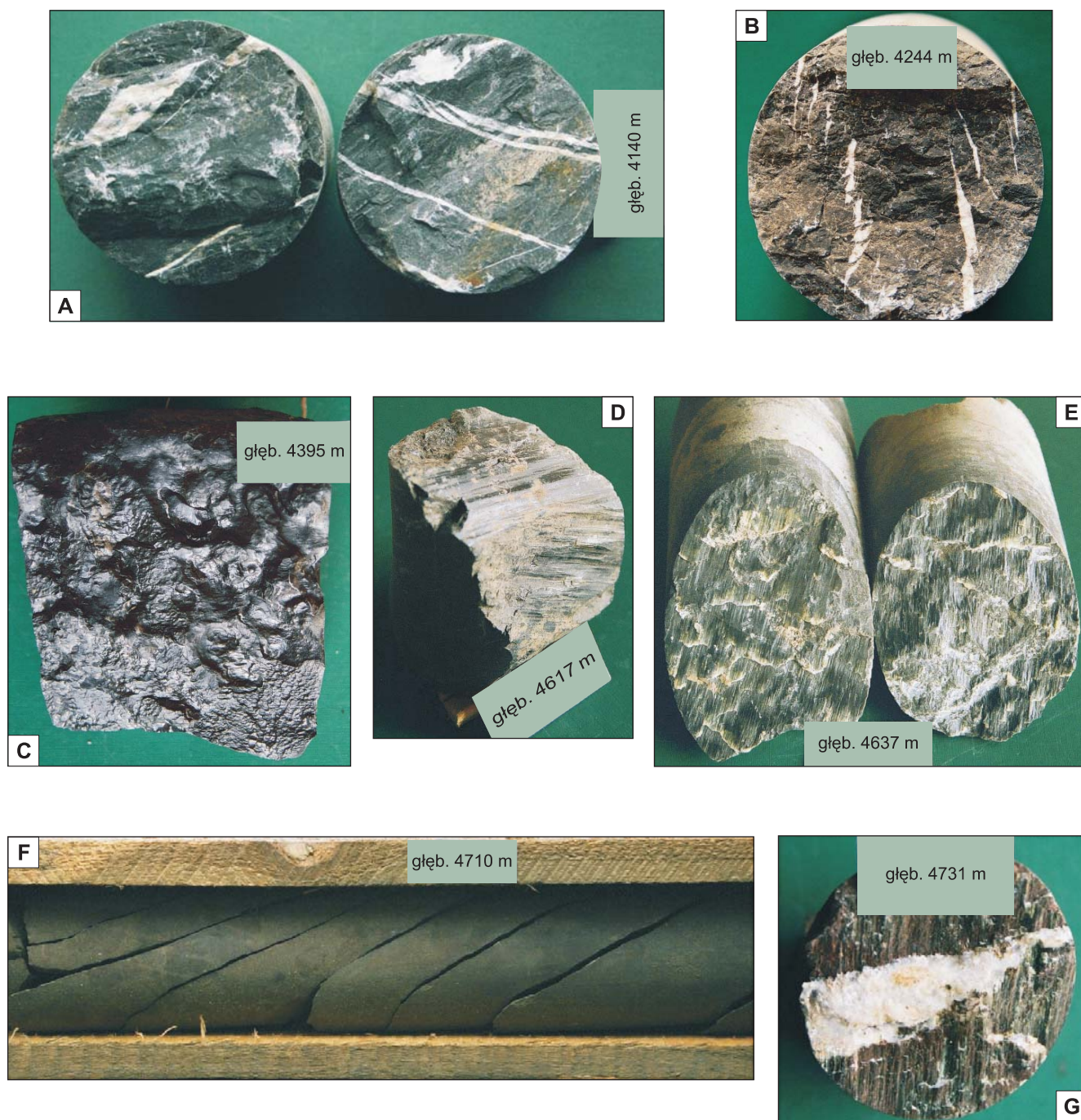


Fig. 23. Struktury tektoniczne w utworach dewonu i karbonu (opis w tabeli 37)

Tectonic structures of Devonian and Carboniferous deposits (for description see Table 37)

Ku dołowi wzrasta udział przedwchyleniowych żył stromych podłużnych i poprzecznych o azymucie $35\text{--}55^\circ$ rozwieranych przesuwco (również ciągi kulisowe), odpowiadających struktrom Ri' oraz Ri względem lewoskrętnej transjencji podłużnej.

Interwał 4401–5020 m – klastyczny dewon środkowy i dolny. Regionalny upad warstw w granicach $10\text{--}20^\circ$ występuje tylko w górnej części odcinka, do głęb. 4635 m.

W sąsiedztwie luster tektonicznych upad wzrasta do 35° . Poniżej wspomnianej głębokości upady warstw są zmienne w granicach $40\text{--}90^\circ$. Ponieważ nie obserwuje się warstw połogich, można stwierdzić, że jest to ugięcie o charakterze fleksuralnym z undulacjami. Dopiero w najniższym interwale otworu o długości 20 m kąt upadu warstw stabilizuje się poniżej 35° . W górnej części tego odcinka (4545–4570 m), występują nieliczne strome i nachylone lustra ze składową prze-

suwczą (prawoskrętną), o nieokreślonej orientacji względem warstw. W obrębie całego interwału najpowszechniej występują lustra nasunięć oraz nasunięcia na powierzchni warstw (posuw fałdowy), z których nieliczne mają podrzędną składową prawoskrętną. Większa strefa uskokowa znajduje się na głęb. ok. 4675 m, poniżej której warstwy są stromo wychylone. W jej sąsiedztwie występuje mineralizacja dolomitem, synkinematyczna względem nasunięć (zwłaszcza w skrzydle spagowym). Komplementarne, kalcytowe żyły strome reżimu uskoków przesuwczych są spotykane w stropie odcinka. Poniżej luster ze składową przesuwczą brak żył stromych, a pojawiają się położe żyły rozwierane w reżimie nasunięć.

MAKROSTRUKTURA

Średni upad warstw w obrębie kompleksu karbońskiego wynosi 15–25°. Większy upad stwierdzono w sąsiedztwie nasunięcia, gdzie jest efektem gięcia fleksuralnego i wleczenia w strefie uskokowej.

Kompresyjnie zaangażowany jest również cały profil dewonu. Największe zaburzenia występują poniżej głęb. 4636 m, w spągu dewonu środkowego i w obrębie całego interwału dewonu dolnego. Odchylone stromo warstwy, poprzecinane licznymi lustrami nasunięć, tworzą fleksurę o genezie nasuwczej. W skrzydle stropowym tej fleksury, w interwale głęb. 3940–4417 m, znajduje się zespół luster i żył kalcytowych, które towarzyszą prawdopodobnie strukturze kwiatowej z lewoskrętnej transtensji. Górna część tej struktury została pod-

dana inwersji w reżimie nasunięć. Do systemu struktury kwiatowej mogą należeć również reaktywowane kompresyjnie skośne uskoki grawitacyjne, zlokalizowane w dewonie górnym na głębokości ok. 2640 m.

Inwentarz struktur tektonicznych zmienia się zasadniczo przy przejściu z dewonu do karbonu. W obrębie dewonu występuje mineralizacja i lustra uskoków grawitacyjnych (w znacznej liczbie reaktywowane kompresyjnie), w ogóle nieobecne w karbonie. To samo dotyczy uskoków ze składową poziomą przemieszczenia i mineralizacji w reżimie przesuwczym, które nie przedłużają się w obręb karbonu. Świadczy to o braku istotnej ekstensji lub transtensji po fazie bretońskiej.

Inwentarz struktur tektonicznych zmienia się zasadniczo przy przejściu z dewonu do karbonu. W obrębie dewonu występuje mineralizacja i lustra uskoków grawitacyjnych (w znacznej liczbie reaktywowane kompresyjnie), w ogóle nieobecne w karbonie. To samo dotyczy uskoków ze składową poziomą przemieszczenia i mineralizacji w reżimie przesuwczym, które nie przedłużają się w obręb karbonu. Świadczy to o braku istotnej ekstensji lub transtensji po fazie bretońskiej.

SUKCESJA DEFORMACJI TEKTONICZNYCH I MINERALIZACJI

Na podstawie analiz strukturalnych rdzenia wiertniczego z otworu Lublin IG 1 można wydzielić następujące fazy deformacji:

1. Fazę ekstensyjną, która prawdopodobnie składa się z dwóch epizodów: transtensyjnego i ekstensyjnego. Nastęstwa tych epizodów nie można określić na podstawie dotychczasowych badań, ale zasięg stratygraficzny struktur wskazuje, że transtensja nastąpiła po franie, zaś ekstensja podłużna po famenie:

– lewoskrętna transtensja doprowadziła do utworzenia struktury kwiatowej z mineralizacją kalcytową w postaci żył stromych, rozwieranych w reżimie przesuwczym;

– powstanie katetalnych żył kwarcowych o biegu południkowym, wypełnionych krzemionką rozpuszczaną w grawitacyjnych szwach stylolitowych w utworach klastycznych dewonu dolnego; ta faza ekstensji podłużnej może odpowiadać fazie bretońskiej, gdyż wówczas kompleks ten znajdował się na głęb. ok. 3 km, co odpowiada typowej głębokości rozpuszczenia kwarcu detrytycznego.

– w stropowym interwale dewonu występują żyły kalcytowe rozwarte – szczoty, które sugerują, że ekstensja następo-

wała w warunkach płytkich (przed przykryciem kompleksu utworami karbonu); mogą być one również świadectwem podłużnej ekstensji bretońskiej.

2. Fazę kompresyjną, której struktury są obecne we wszystkich piętrach badanego profilu. Z dokumentacji otworowej wynika, że występują również w westfalu A:

– faza nasuwcza obejmuje cały kompleks dewoński i karboński, przy czym najbardziej intensywne zaburzenia zaznaczają się w obrębie dewonu dolnego i środkowego; azymut kompresji jest w przybliżeniu zgodny z kierunkiem zapadania warstw;

– w obrębie klastyków dewonu dolnego i środkowego powstała synkinematyczna mineralizacja dolomitem związana z ugięciem fleksury i aktywnością nasunięć; w młodszych węglanach mineralizacja kalcytowa występuje na lustrach nasunięć.

3. Młodsze fazy mineralizacji kalcytem żył o biegu poprzecznym i południkowym w reżimie uskoków przesuwczych i reżimie ekstensyjnym. Mineralizacja ta może zawierać większą liczbę faz, które makroskopowo nie były możliwe do rozróżnienia.