

DOKUMENTACJA I ARCHIWIZACJA RDZENI WIERTNICZYCH

Rafał SIKORA, Andrzej PIOTROWSKI

ANALIZA RDZENIA WIERTNICZEGO Z WYKORZYSTANIEM WYSOKOROZDZIELCZEGO SKANINGU OPTYCZNEGO

METODYKA PROWADZENIA ANALIZ Z WYKORZYSTANIEM DMT CORESCAN³ SYSTEM

Obraz rdzeni wiertniczych z otworu Bibiela PIG 1 został zarchiwizowany metodą skaningu optycznego z wykorzystaniem *DMT CoreScan3 system* (Sikora i in., 2015). Skanowanie wykonywano w dwóch trybach, mając na celu jak najlepsze zachowanie pierwotnego obrazu rdzeni wiertniczych, nim zostaną one poddane badaniom ingerującym w strukturę skał. Pierwszym etapem skanowania była dokumentacja rdzeni w skrzynkach (tryb *planar*). Tryb ten jest szczególnie istotny dla właściwej archiwizacji ich stanu, uzysku i sprzyja szybkiemu przeglądowi zgromadzonego materiału. Drugim zastosowanym typem skanowania było udokumentowanie rdzeni w trybie 360° (przy ich obrocie wokół dłuższej osi). W tym etapie prac możliwe było skanowanie jedynie dobrze zachowanych odcinków rdzeni (w odcinkach dłuższych niż 20–25 cm), w przypadku których możliwe było ich wyciągnięcie ze skrzynek i umieszczenie na rolkach skanera. Zastosowanie oprogramowania będącego elementem systemu *DMT CoreScan3* umożliwiło stworzenie bazy danych obrazów rdzeni wiertniczych oraz zestawienia kolejnych odcinków rdzeni w ciągły profil. Utworzono zarówno profil dla rdzeni skanowanych w skrzynkach, jak ich rdzeni skanowanych w trybie 360°, które zestawiono w kartach otworu. Ze względów technicznych, wynikających ze znacznych objętości zajmowanej pamięci komputerowej przez opracowane karty, zostały one podzielone na 3 części odpowiadające kolejnym wydzieleniom stratygraficznym: trias, dewon–ordowik, ediakar. Taki podział dokumentów umożliwia płynne przeglądanie kart na ekranach komputerów o różnych parametrach technicznych.

W kartach zawierających obrazy rdzeni w trybie *planar* zawarte są numery skrzynek oraz syntetyczny profil litologiczny dostosowany do odpowiednich poziomów stratygraficznych w rdzeniu. W osobnym dokumencie zestawiono rozwinięte obrazy rdzenia (zeskanowanych w trybie 360°), które w kolejnym etapie badań podlegały strukturalnym badaniom optycznym. Wykorzystano przede wszystkim wchodzący w skład systemu moduł oprogramowania *Core Structure Analysis*, w którym wyznaczono powierzchnie warstwowania i struktur tektonicznych typu: uskoki, spękania otwarte, spękania z mineralizacją, spękania częściowo zmineralizowane.

Ze względu na zaplanowany pilotażowy zakres, analizy przeprowadzono w zakresie przeglądowym. Analizy te zostały uzupełnione o szczegółowe badania strukturalne (Salwa, Żaba, ten tom). Wyniki analiz zostały zobrazowane w karcie otworu w postaci 3 kolumn. W pierwszej kolumnie zamieszczony jest dwuczłonowy zapis orientacji struktur z umownym znakiem orientującym te struktury względem teoretycznej północy (rdzeń z otworu Bibiela PIG 1 nie był orientowany). Brak orientacji rdzeni nie przeszkadzał w określeniu wzajemnych relacji przestrzennych badanych struktur. W kolumnie drugiej orientacje struktur zestawione są w diagramie „*tadpole*”, a w ostatniej kolumnie ukazane jest położenie struktur w przestrzeni 3D, umożliwiające prześledzenie wzajemnych relacji pomiędzy strukturami w przestrzeni 3D.

WYNIKI PRAC PILOTAŻOWYCH

W zależności od stanu zachowania, do skanowania w trybie 360° nadawało się od 52% rdzeni uzyskanych w utworach triasu dolnego do blisko 90% w skałach ordowiku dolnego (tab. 61). Ostatecznie w tym trybie zeskanowano 1360,1 m rdzeni, co stanowiło 82% rdzenia uzyskanego z otworu. Podczas rejestracji uzyskano wyso-

korozdzielczy (10 pikseli/mm) obraz rdzeni z wiernie oddaną kolorystyką poszczególnych odmian litologicznych oraz wyraźnie widocznymi strukturami sedymentacyjnymi i tektonicznymi.

Tabela 61

Sumaryczna długość rdzenia wiertniczego skanowanego w trybie 360° [m] dla każdego wydzielenia stratygraficznego

The total length of the drill core scanned in 360° mode
for each stratigraphical unit

Poziom stratygraficzny Stratigraphical level	Sumaryczna długość rdzenia wiertniczego skanowanego w trybie 360° [m] The total length of the drill core scanned in 360° mode	% całości rdzenia wiertniczego z poziomu stratygraficznego % of the total length of the drill core from the stratigraphic level
Trias środkowy	64,25	60,2%
Trias dolny	24,80	52,0%
Dewon dolny	71,47	66,8%
Ordowik górny	44,35	76,3%
Ordowik środkowy	93,75	87,0%
Ordowik dolny	232,10	89,9%
Ediakar	829,79	88,4%
Suma	1360,51	–

Trias (24,00–178,3 m p.p.t.)

Obraz uzyskany za pomocą skanera optycznego *DMT CoreScan*³ ukazuje rdzeń w stanie nienaruszonym (przed wykonaniem badań ingerujących w jego strukturę). W wielu interwałach rdzeń był pokruszony i nie było możliwe zastosowania trybu 360°. Problem ten szczególnie dotyczył utworów triasu środkowego i dolnego, gdzie zazwyczaj możliwe było złożenie odcinków krótszych niż 1–1,5 mb.

W utworach tych w miarę pełny profil zarejestrowano jedynie na głęb. 94,00–111,00 m p.p.t. Nienajlepszy stan rdzenia tylko częściowo pozwalał na analizę skał triasowych z wykorzystaniem metod optycznych. Powierzchnie warstwowania są w miarę dobrze rozpoznawalne, szczególnie na granicy zmian w charakterze sedymentacji utworów węglanowych. Odnotowany upad warstw mieści się najczęściej w przedziale 5–15° (fig. 95, 96). Wyższy kąt upadu zarejestrowano w dolnej części profilu (poniżej 149 m p.p.t.), gdzie osiąga nawet 58°. W analizowanym obrazie znacznie lepiej widoczne są powierzchnie spękań równoległych do powierzchni warstwowania lub ustawionych do nich pod niskimi kątami. W strefach uskokowych, kataklazy i brekcji tektonicznych wzrasta liczba spękań wysokokątowych (m.in. w interwale 63,00–63,90 m p.p.t. (fig. 97).

Dewon dolny (178,3–?216,0 m p.p.t.)

Rdzenie skał z dewonu dolnego pozwoliły na zestawienie nieco pełniejszego profilu do skanowania w porównaniu do profilu skał triasowych

Na zarejestrowanym obrazie widoczne są struktury sedymentacyjne, strefy brekcji sedymentacyjnych i tektonicz-

nych, pustki skalne, szwy stylolitowe, spękania, uskoki oraz powierzchnie warstwowania (fig. 98). Te ostatnie są trudno rozpoznawalne w obrębie masywnych skał węglanowych. Warstwowanie najlepiej widoczne jest w interwałach z laminami skał ilastych i piaszczystych oraz na kontaktach między utworami ilastymi a węglanowymi. Kąty nachylenia powierzchni warstwowania z reguły nie przekraczają 30°. Rozrzut azymutów upadu warstw jest mały, co świadczy o ich monoklinalnym zapadaniu. W skale często zaznaczają się powierzchnie spękań skośnych do powierzchni warstwowania, najczęściej nachylonych względem nich pod małymi i średnimi kątami (5–30°), wzdłuż których rdzeń wykazuje oddzielność. Wyraźnie zaznaczają się również spękania, których szczeliny wypełnione są węglanami. Żyłki kalcytowe są często ustawione pod wysokim kątem względem warstwowania. Widoczny jest też rozrzut azymutów kąta zapadania spękań. Liczne są strome spękania świadczące o znacznym zaangażowaniu skał dewonu w procesy związane z tektoniką kruchą. W analizowanym obrazie dobrze zaznaczają się również uskoki ustawione stromo, pod wysokim kątem względem powierzchni warstw. Duża rozdzielczość otrzymanego obrazu pozwala zarejestrować przemieszczenia o nawet o niewielkiej amplitudzie 1–2 mm. Na podstawie wzajemnych relacji przestrzennych uskoków można stwierdzić, że wśród dyslokacji w utworach dewonskich występują zespoły, stromych uskoków komplementarnych (fig. 98, 99). Na obrazie rdzenia dobrze rozpoznawalne są też pionowe strefy skał uskokowych reprezentowanych przez brekcje.

Ordowik (287,0–?710,95 m p.p.t.)

W skałach ordowiku znacznie więcej odcinków rdzeni nadawało się do skanowania w trybie 360°. Na obrazie rdzeni utworów ordowickich bardzo dobrze rozpoznawalne są struktury sedymentacyjne i tektoniczne oraz widoczne są ich relacje przestrzenne (fig. 100). Uwagę zwracają czytelne horyzonty brekcji sedymentacyjnej (m.in. na głębokościach poniżej 395 m p.p.t. – ordowik środkowy, 521, 578 i 613 m p.p.t. – ordowik dolny) oraz strefy gęstych mikrouskoków i żył węglanowych obecnych w całym profilu omawianego poziomu. Niektóre horyzonty brekcji reprezentują typ *block in matrix* (np. poniżej 662 m p.p.t.; fig. 101), które zostały bardzo dobrze zarejestrowane podczas skanowania. Warstwowanie w górnej części profilu (ordowik górny) zapada pod małymi i średnimi kątami (15° do 35°), a w środkowej upad warstw (ordowik środkowy) wzrasta do kątów o wartościach rzędu 60–75°. W stropie ordowiku dolnego kąty zapadania warstw maleją do średnio i niskokątowych. Wartości te tylko miejscowo wzrastają w profilu do wysokich kątów. Okresowa zmiana wartości kąta upadu w profilu ma związek z występowaniem stref uskokowych (np. na głębokości poniżej 615 m p.p.t.). Bardzo dobrze czytelna jest laminacja skał drobnoklastycznych, a rdzeń wykazuje dobrą oddzielność wzdłuż założonych równolegle do niej powierzchni spękań. W obrazie rdzenia rozróżnić można jaśniejsze

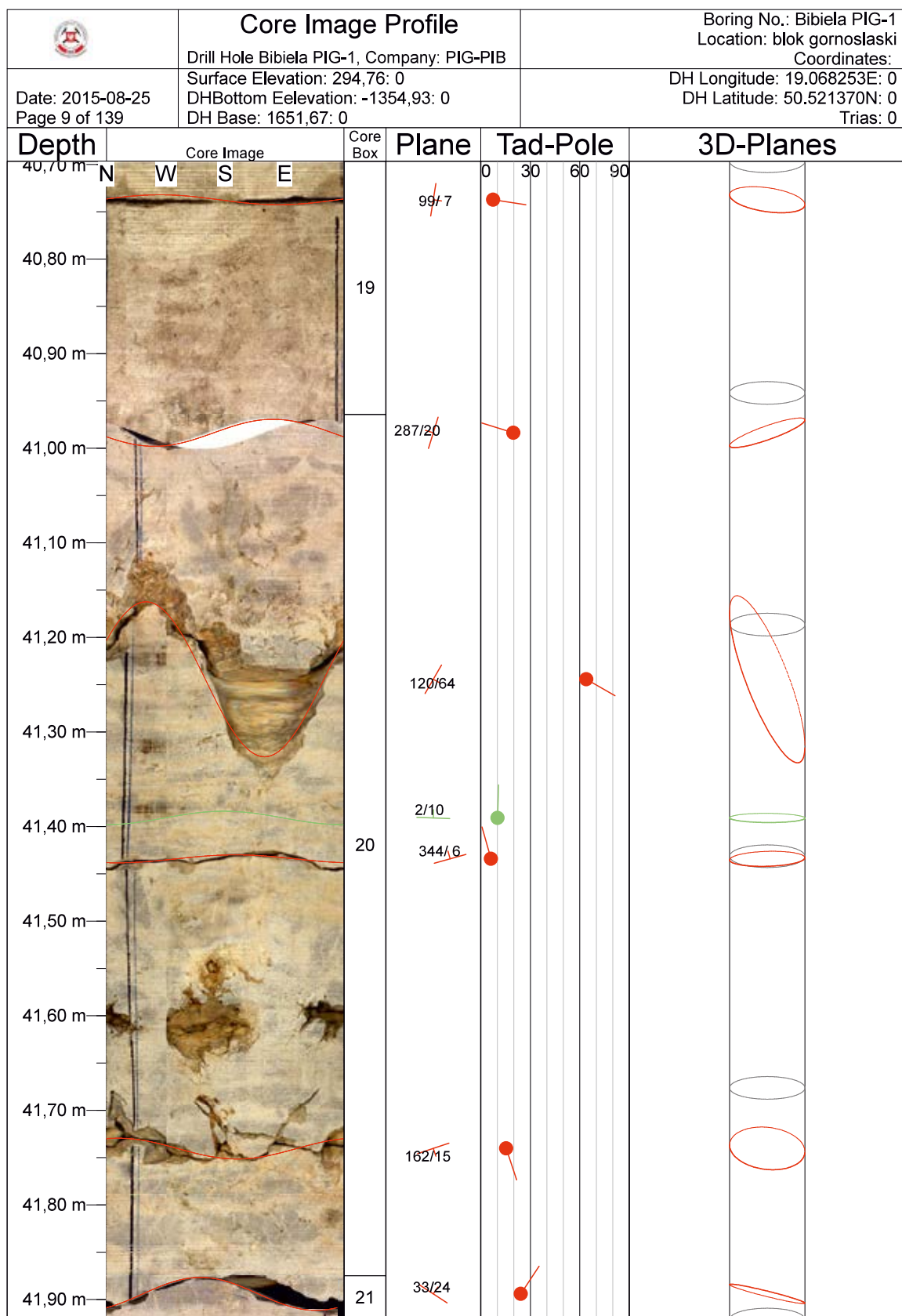


Fig. 95. Karta otworu wiertniczego z rdzeniem z utworów triasu środkowego z widocznymi spękaniami niskokątowymi (oznaczone kolorem czerwonym) w stosunku do powierzchni warstwowania (oznaczone kolorem zielonym)

Sheet of drill hole with the picture of drill core from the Middle Triassic rocks with well visible low angle joints (red coloured) with relation to bedding planes (green coloured)

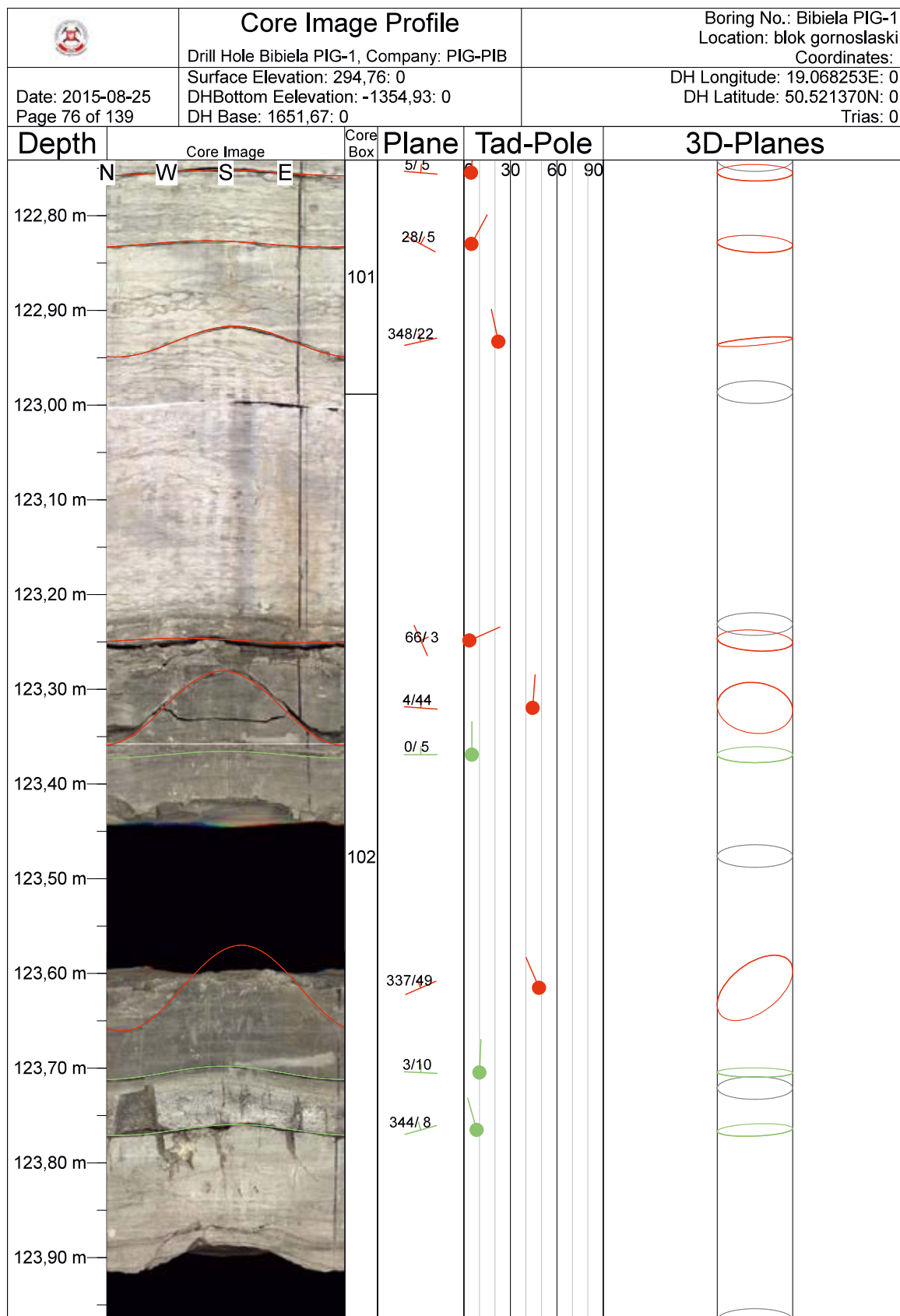


Fig. 96. Karta otworu wiertniczego z rdzeniem z utworów triasu dolnego z widocznymi spękaniami niskokątowymi (oznaczone kolorem czerwonym) w stosunku do powierzchni warstwowania (oznaczone kolorem zielonym)

Sheet of drill hole with the picture of drill core from the Middle Triassic rocks with well visible low angle joints (red coloured) with relation to bedding planes (green coloured)

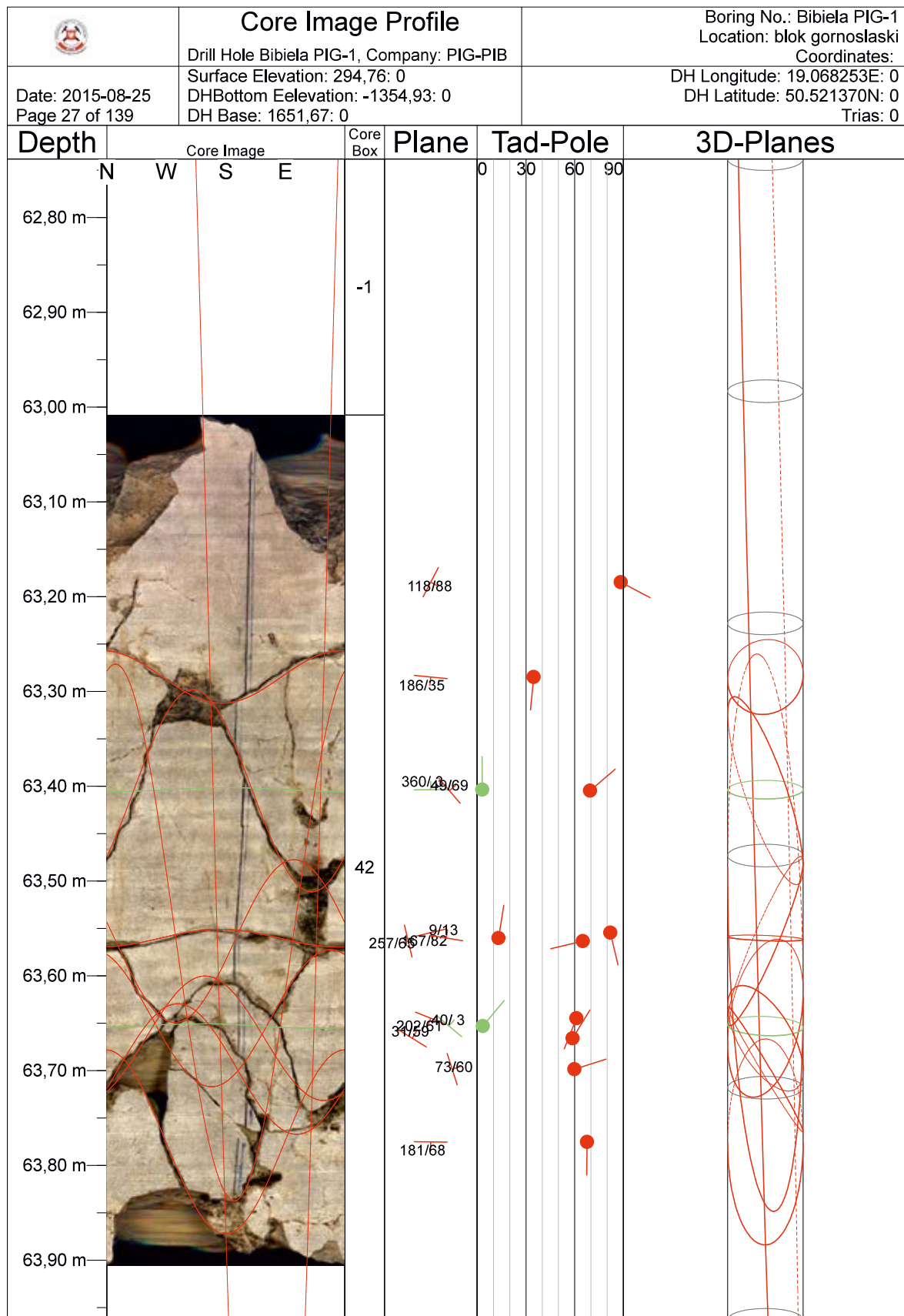


Fig. 97. Karta otworu wiertniczego ze spękanyim rdzeniem z utworów triasu środkowego (oznaczenia kolorów jak na fig. 95)

Sheet of drill hole with the picture of fractured drill core from the Middle Triassic rocks (colour marked like on fig. 95)

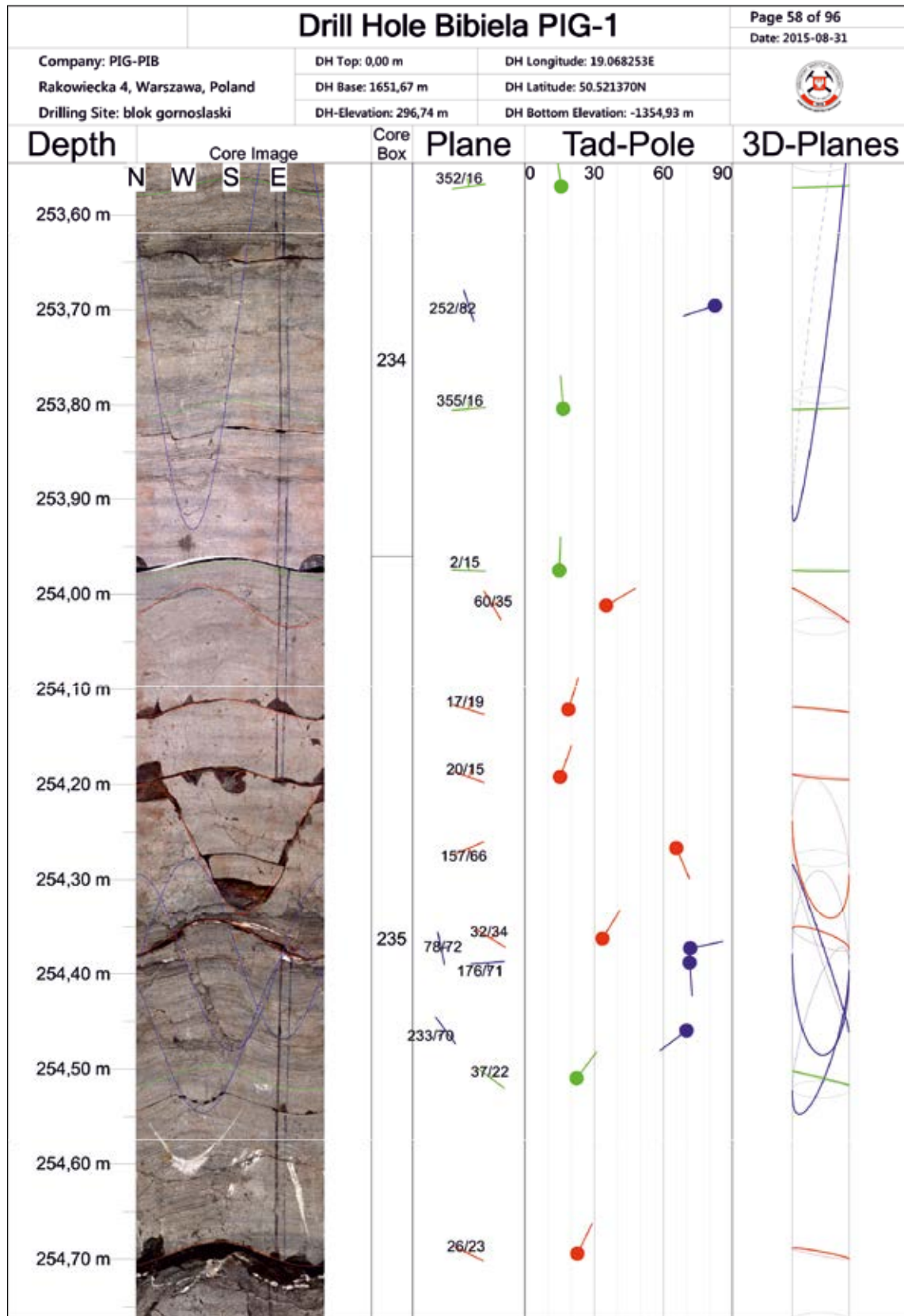


Fig. 98. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia z utworów dewonu dolnego z licznymi spękaniami niskokątowymi i wysokokątowymi w stosunku do powierzchni warstwowania oraz z uskokami komplementarnymi (oznaczone kolorem niebieskim, pozostałe oznaczenia kolorów jak na fig. 95)

Sheet of drill hole with the picture of drill core from the Lower Devonian rocks with number of low angle and high angle joints in relation to bedding planes and with complementary faults (marked by blue colour, other colour marks are the same like on fig. 95)

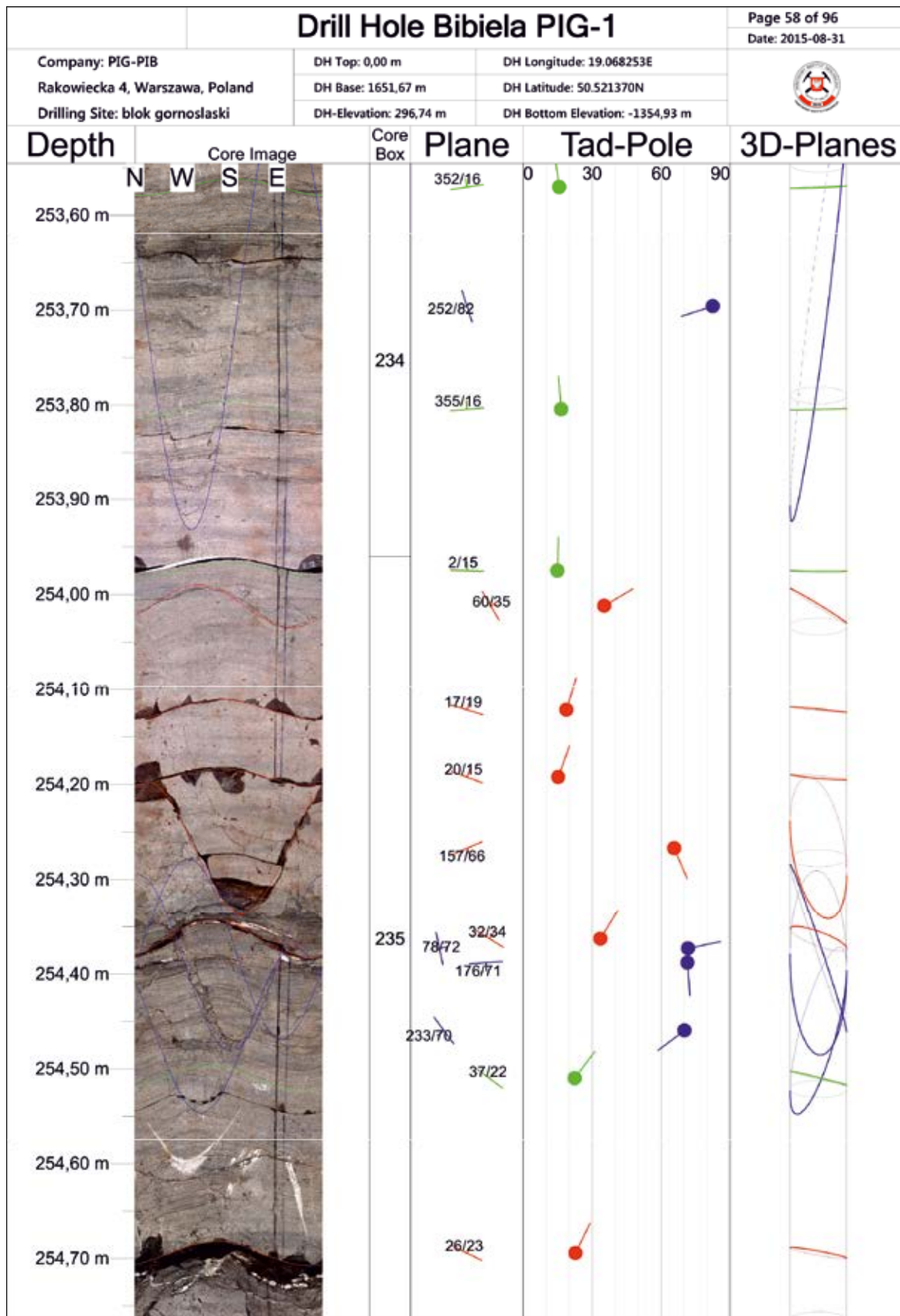


Fig. 99. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia z utworów dewonu dolnego z widocznymi uskokami komplementarnymi i brekcją tektoniczną przy powierzchni uskokowej (oznaczenia kolorów jak na fig. 95)

Sheet of drill hole with the picture of drill core from the Lower Devonian rocks with well visible complementary faults and tectonic breccia along fault surface (colours marking like on fig. 95)

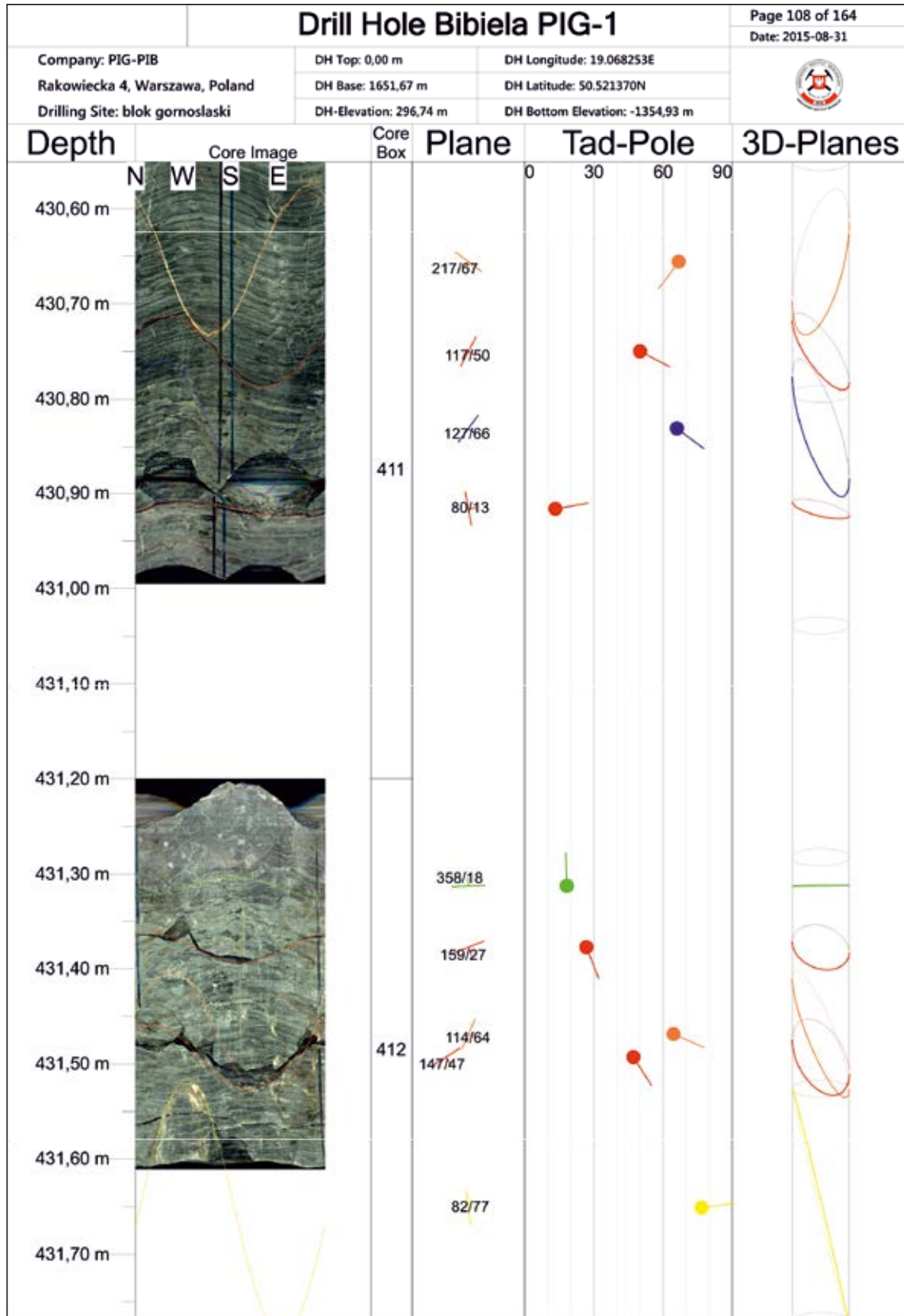


Fig. 100. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia z utworów ordowiku z licznymi powierzchniami laminacji, spękaniami niskokątowymi, wysokokątowo ustawioną powierzchnią uskokową (oznaczenia kolorów jak na fig. 95) oraz przecinającą skałę pod wysokim kątem żyłą kalcytową (kolor pomarańczowy)

Sheet of drill hole with the picture of drill core from the Ordovician rocks with number of lamination surfaces, low angle joints, high angle fault surface (colours like on fig. 95) and high angle calcite vein (orange)

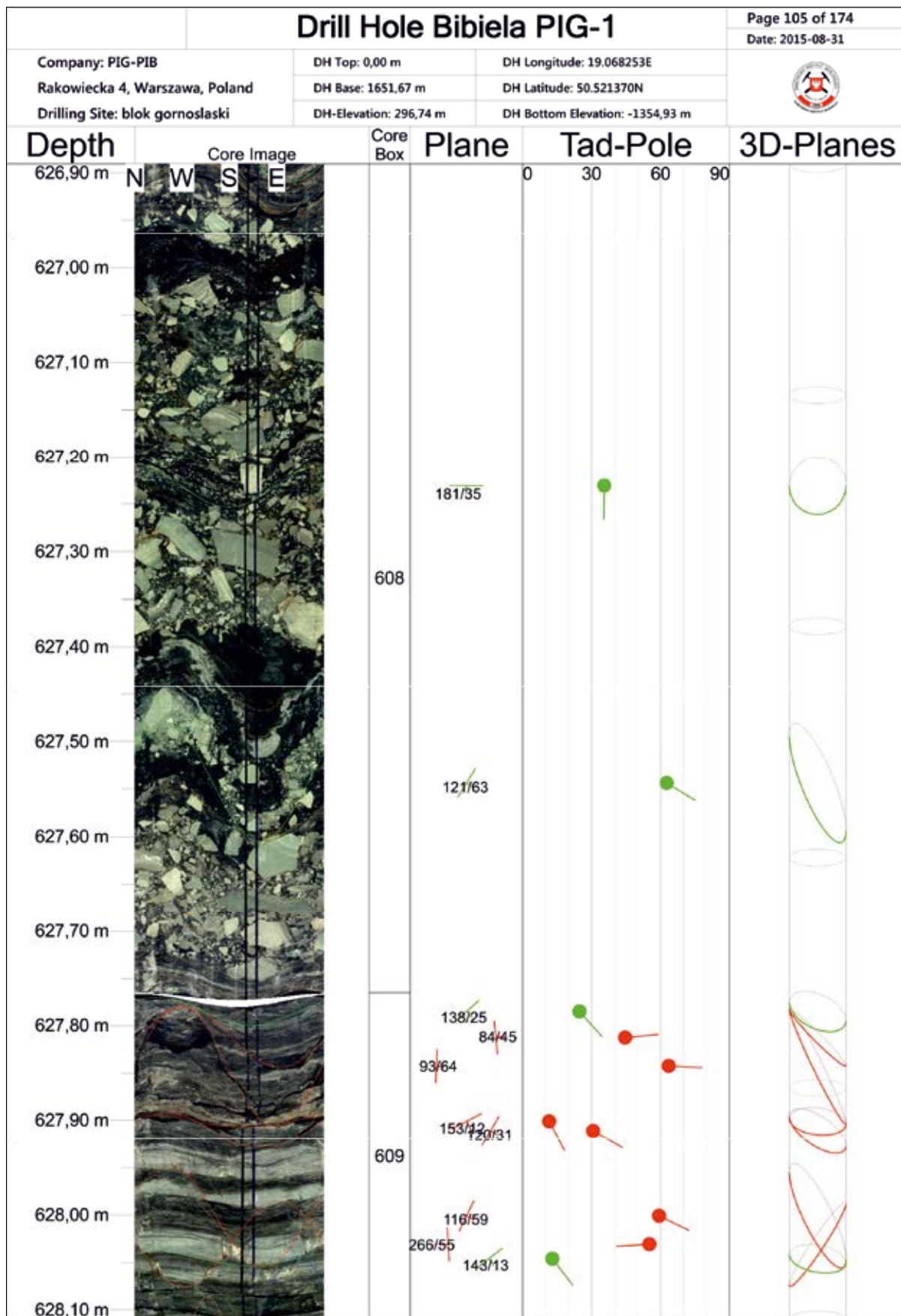


Fig. 101. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia z brekcjami sedimentacyjnymi w obrębie utworów ordowiku

Sheet of drill hole with the picture of drill core with sedimentary breccias within the Ordovician rocks

i ciemniejsze żyły węglanowe. Najczęściej występują żyły kalcytowe, które są zarówno strome, jak i równoległe do powierzchni warstw. Ten drugi rodzaj żył licznie występuje w stropie ordowiku górnego. Niżej w profilu (ordowik środkowy i dolny) dominują żyłki drobne, wysokokątowe (fig. 100). Ich występowanie związane jest z powierzchniami mikrouskoków i spękań bardzo dobrze widocznych w skałach drobnolaminowanych, gdzie układają się w strefy. Z reguły uskoki i towarzyszące niektórym z nich strefy kataklazy oraz brekcji ustawione są pod wysokim kątem do powierzchni warstwowania.

Skały magmowe

W obrazie bardzo dobrze widoczna jest struktura i tekstura skał magmowych występujących w kilku interwałach w obrębie skał ordowickich. Rdzenie skał magmowych charakteryzują się niskim stopniem oddzielności i spękań. Z reguły tworzyły one calizny wygodne do ułożenia na skanerze i skanowania. W analizowanych skałach magmowych spękania i uskoki występują znacznie rzadziej niż w skałach osadowych i z reguły są zabliźnione żyłami z mineralizacją węglanową. Spękania układają się w strefy ustawione pod wysokim kątem, rzadziej występują strefy spękań niskokątowych. Charakterystyczne dla obrazu opisywanych skał jest występowanie żyłek starszej generacji o różowym zabarwie-

niu, które prawdopodobnie wyznaczają strefy zmian metasomatycznych (fig. 102).

Ediakar (710,95–1650,00 m p.p.t.)

Rdzenie uzyskane z utworów ediakaru dały najpełniejszy profil, który został zeskanowany w trybie 360° i tym samym była możliwa najpełniejsza analiza rdzeni z wykorzystaniem metod optycznych. Na uzyskanym obrazie zapisane jest całe spektrum dobrze czytelnych struktur sedimentacyjnych i tektonicznych (fig. 103). W profilu skał ediakarskich zwraca uwagę duża zmienność kąta upadu warstw. Warstwy skalne często są ustawione stromo, a niekiedy pionowo, co świadczy o istnieniu fałdów i znacznym zaangażowaniu tektonicznym skał. Zauważalna jest również oddzielność rdzenia wzdłuż licznych spękań równoległych lub skośnych do powierzchni warstw. Na obrazie rdzenia widoczne są różne generacje uskoków i zaznaczają się strefy kataklazy. W wielu interwałach widoczne są liczne równoległe strefy ścięć tektonicznych (1578–1584 i 1631–1631,7 m p.p.t.) wzdłuż drobnych uskoków (fig. 104) oraz uskoki komplementarne (np. 1602,90 m p.p.t.; fig. 103). Prześledzić można przebieg żył różnej generacji i ich relacje do warstw skalnych i struktur tektonicznych. Wyraźnie zaznaczają się zmiany barwy skał spowodowane ich utlenieniem, gdy skały te w przeszłości były tektonicznie wyniesione i znajdowały się w strefie intensywnego wietrzenia (fig. 105).

WNIOSKI

Zarejestrowany obraz rdzeni z otworu Bibiela PIG 1 stanowi doskonały materiał dokumentacyjny. Jego wysoka rozdzielczość pozwala na określenie stanu rdzeni po ich odwierceniu, co w przyszłości może być wykorzystane w analizach geotechnicznych masywu skalnego. Prace pilotażowe wykonane przy zastosowaniu oprogramowania do optycznej analizy struktury rdzenia wykazały, że otrzymany obraz pozwala na identyfikację szerokiego spektrum struktur sedimentacyjnych i tektonicznych. Możliwa jest szybka identyfikacja i pomiar powierzchni warstwowania, spękań, uskoków, żył mineralnych oraz określenie ich wzajemnych relacji przestrzennych. Bez większych problemów wskazać można strefy kataklazy, brekcji sedimentacyjnych i tektonicznych oraz zmian metasomatycznych. Ważnym elementem rejestracji jest zapis barw skał i możliwa analiza zmian wynikających z oddziaływania na nie procesów hydrotermalnych bądź wietrzeniowych.

Materiał badawczy, zgromadzony w wyniku skanowania optycznego, może być wykorzystywany do szczegółowych analiz geotechnicznych, sedimentologicznych i tektonicz-

nych. Dla jakości tych analiz powinno się uwzględnić kilka uwag metodycznych. Szczególną uwagę należy zwrócić na odbiór rdzenia z wiertni i sposób ułożenia go w skrzynkach tak, aby przy składaniu rdzenia na skanerze nie było wątpliwości, gdzie znajduje się strop otworu. W tym celu linia referencyjna powinna być korelowana marsz do marszu, aby była pomocna w szybkim składaniu obrazu rdzenia w oprogramowaniu komputerowym. Podczas wyznaczania powierzchni z obrazu rdzeni otrzymuje się poprawne dane na temat wzajemnej relacji przestrzennej i kątowej pomiędzy strukturami, jednak wszelkie dane dotyczące kinematyki przemieszczeń powinny być ustalane na drodze oddzielnej analizy strukturalnej przeprowadzonej bezpośrednio na rdzeniu. Dopiero tak przeprowadzone obserwacje pozwalają na właściwe analizy dynamiczne badanych kompleksów skalnych. Ważne jest rozdzielenie spękań tektonicznych od spękań technologicznych powstałych w wyniku wiercenia, które dokonać należy w wyniku bezpośredniej analizy rdzenia i dopiero na tej podstawie możliwe jest wyekstrahowanie odpowiednich powierzchni z obrazu rdzenia.

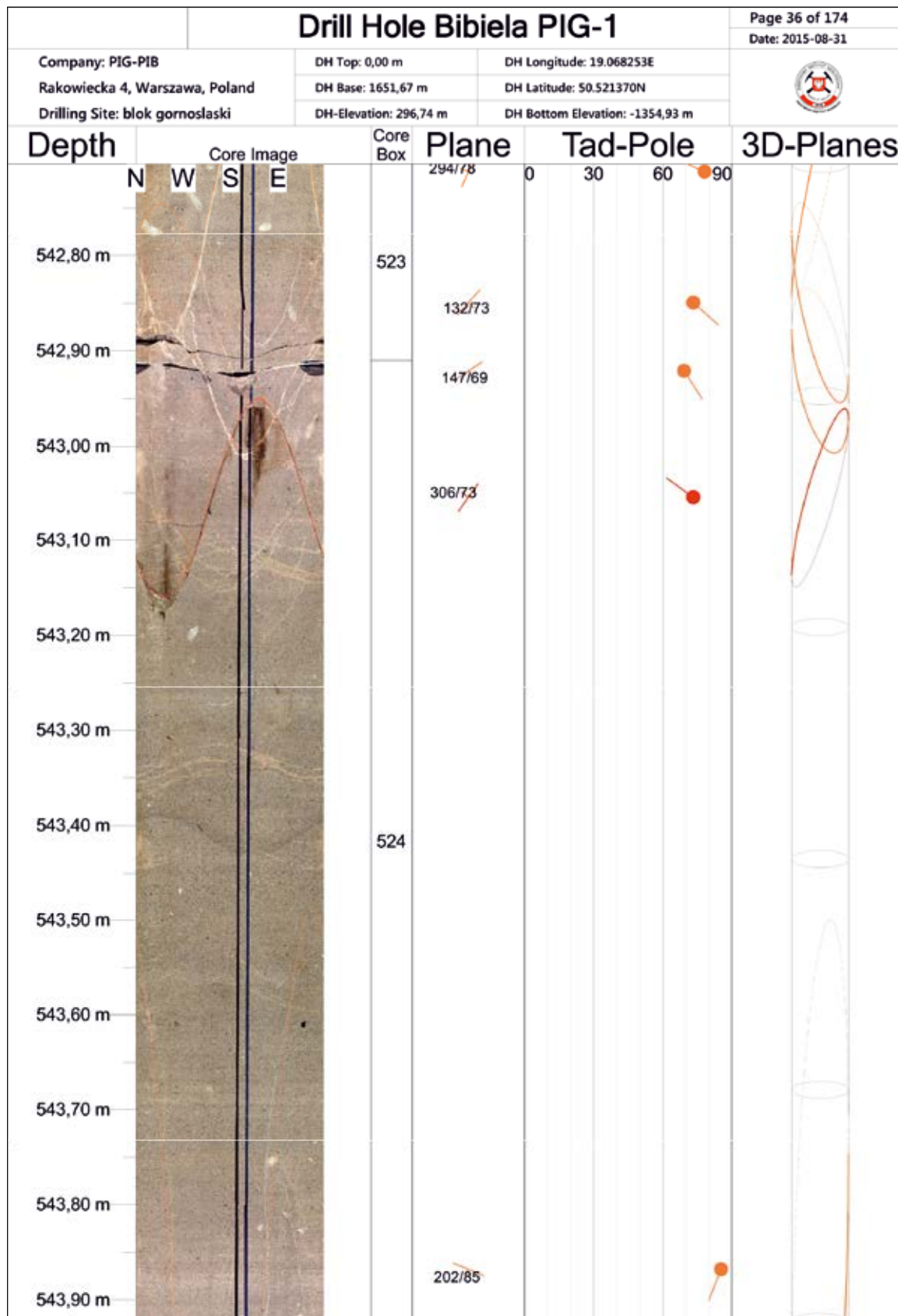


Fig. 102. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia zmienionej metasomatycznie skały magmowej w utworach ordowiku z widocznymi żyłkami starszej generacji (oznaczenia kolorów jak na fig. 100)

Sheet of drill hole with the picture of drill core with the metasomatic magmatic rock within the Ordovician rocks cutted by old generation of veins (colours like on fig. 100)

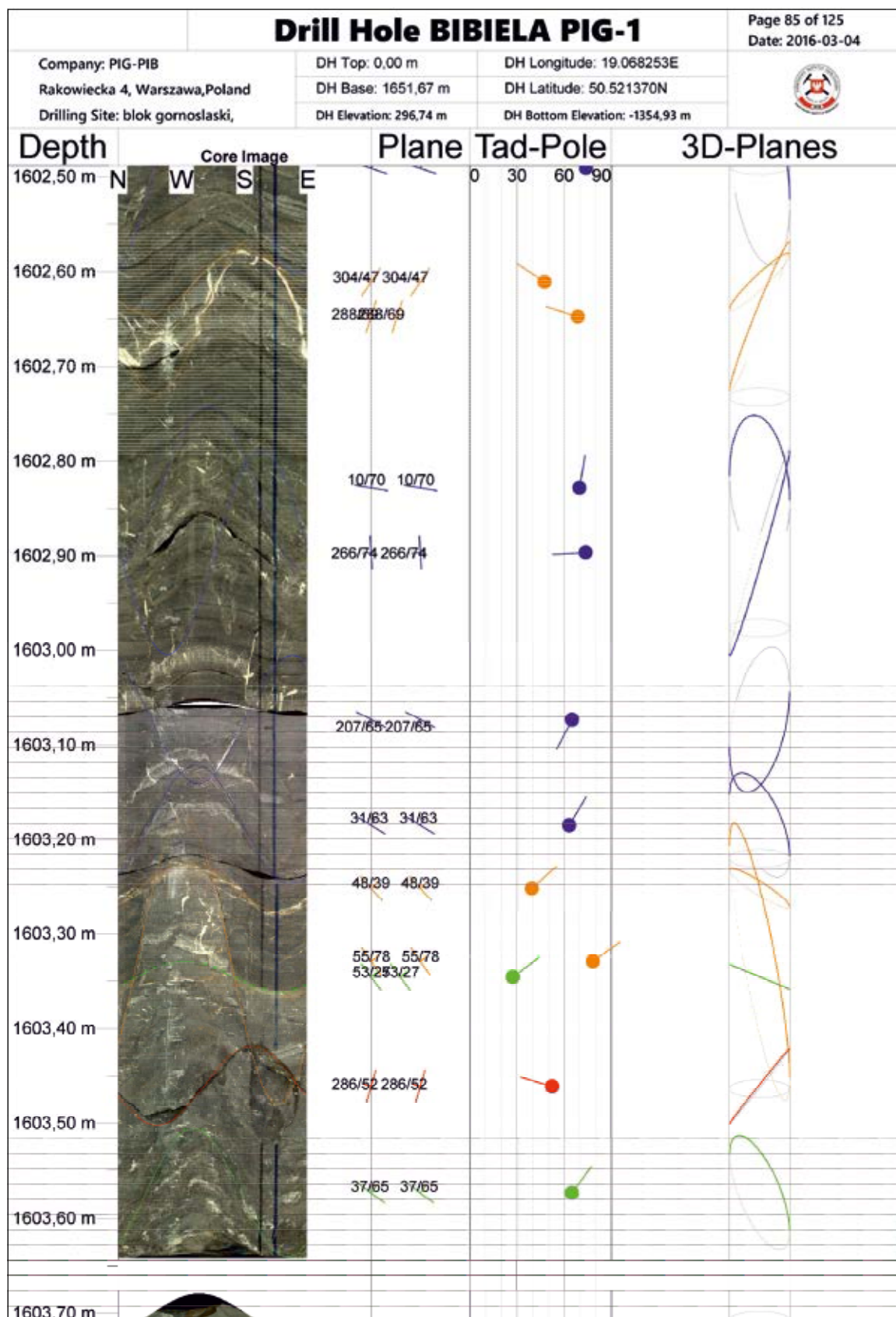


Fig. 103. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia z bogatym spektrum uskoków (w tym komplementarnych) i żył kalcytowych na tle wyraźnej laminacji utworów ediakarskich (oznaczenia kolorów jak na fig. 100)

Sheet of drill hole with the picture of drill core with wide spectrum of faults (e.g. complementary faults) and calcite veins in the laminated Ediacaran rocks (colours like on fig. 100)

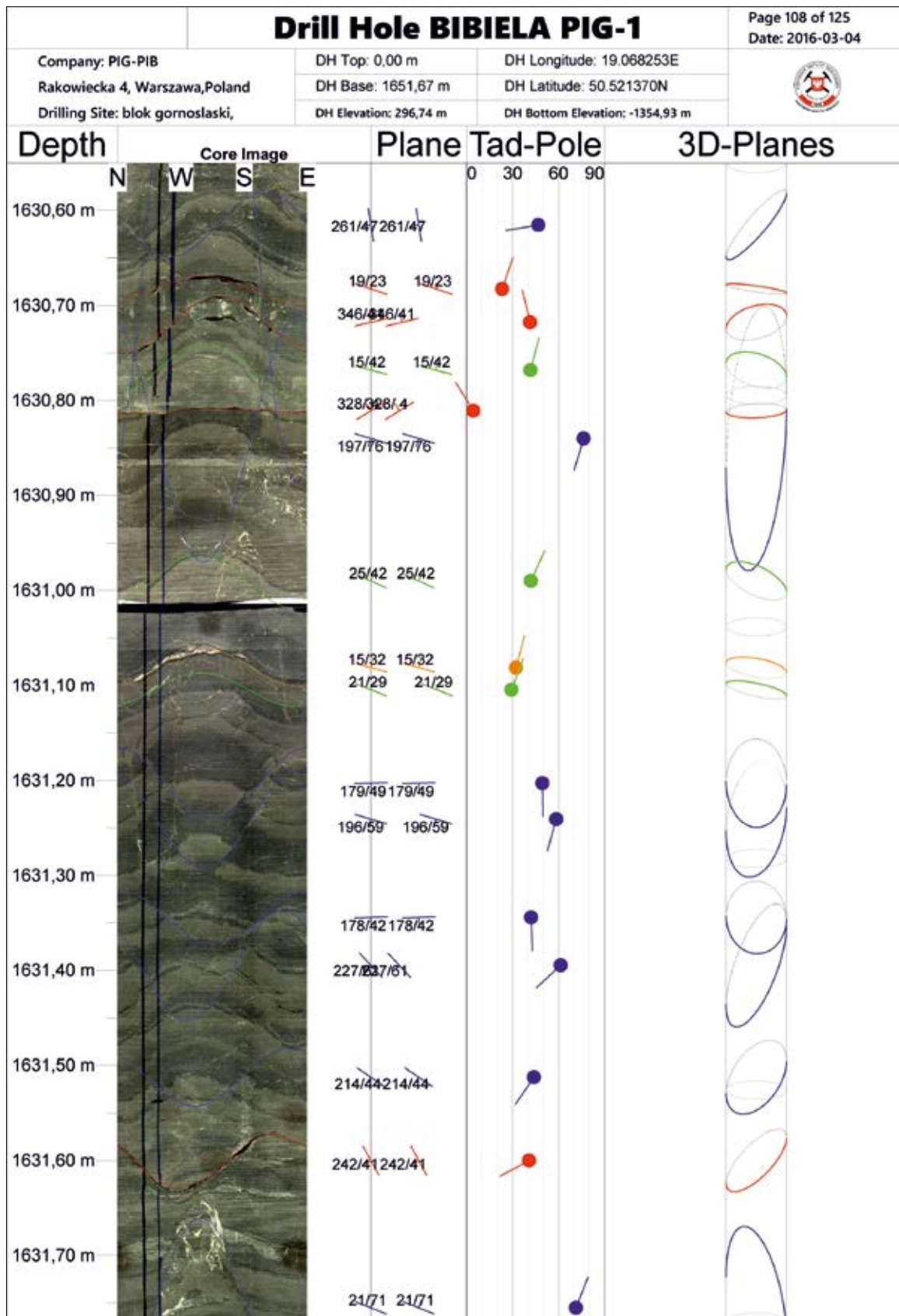


Fig. 104. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia laminowanych utworów ediakarskich z licznymi powierzchniami drobnych uskoków, spękań i żył kalcytowych (oznaczenia kolorów jak na fig. 100)

Sheet of drill hole with the picture of drill core of the laminated Ediacaran rocks with number of faults and joints surfaces and calcite veins (colours like on fig. 100)

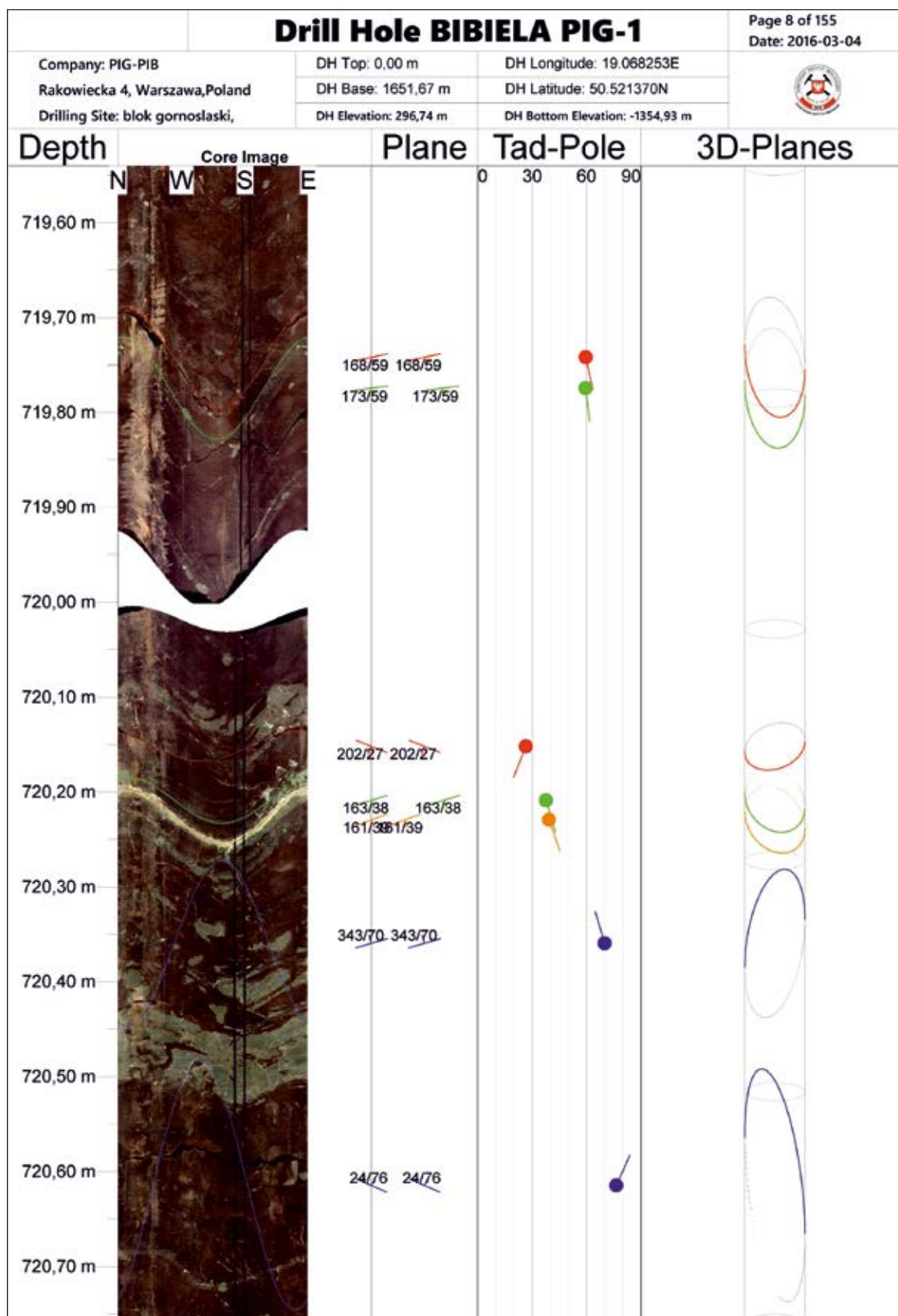


Fig. 105. Karta otworu wiertniczego z obrazem rdzenia stropowej części utworów ediakarskich, zmienionych w wyniku procesów wietrzenia (oznaczenia kolorów jak na fig. 100)

Sheet of drill hole with the picture of drill core from the weathered interval (top part) of the Ediacaran rocks (colours like on fig. 100)