

5. Badania geologiczno-strukturalne powierzchniowych wystąpień kruchych stref tektonicznych

5.1. Szczegółowe kartowanie strukturalne w wybranych kamieniołomach w celu opracowania modelu budowy i struktury wewnętrznej typowych dla warunków sudeckich stref kruchych nieciągłości tektonicznych

Marcin Olkowicz, Łukasz Jasiński, Marcin Dąbrowski

5.1.1 Wstęp

W celu bliższego rozpoznania sposobów wykształcenia kruchych struktur tektonicznych, takich jak spękania ciosowe, korytarze spękań, strefy spękań i strefy uskokowe, występujących w rejonie Sudetów i ich przedpola przeprowadzono szczegółowe kartowanie strukturalne w wybranych kamieniołomach. Ze względu na to, że jednym z podstawowych zagadnień rozważanych w ramach realizowanego zadania jest poszukiwanie i określanie możliwości eksploatacji wód z ośrodków *stricte* szczelinowych (tj. masywów skał krystalicznych o pomijalnej porowatości szkieletu ziarnowego, niezwiązanej ze spękaniem czy uskokami), do kartowania strukturalnego wybrano kamieniołomy granitoidów usytuowane w masywach Strzegom-Sobótka oraz Strzelina. Wyniki badań zaprezentowanych w poniższym rozdziale mają na celu wskazanie potencjału pewnych rodzajów stref tektonicznych w kontekście ujmowania wód zarówno płytkiego krążenia jak i wód termalnych. Dodatkowo, zaprezentowano w sposób schematyczny wykształcenie wewnętrzne tych struktur. W rezultacie, spośród udokumentowanych struktur tektonicznych wskazano, jakiego rodzaju struktury powinny, lub mogą być poszukiwane, jako perspektywiczne. Niniejszy rozdział nie stanowi szczegółowej analizy potencjału geotermalnego badanych jednostek geologicznych (w ujęciu stref tektonicznych), zagadnienia te poruszane są wyłącznie podczas budowy modeli wykształcenia struktur tektonicznych dla danych lokalizacji. Z racji skali obserwacji (pojedyncze kamieniołomy), nie powinny być one wprost ekstrapolowane na całą jednostkę geologiczną lub rejon badawczy, w którym się one znajdują.

Obszerny opis teoretyczny różnego typu budowy stref tektonicznych wraz z odniesieniami do literatury światowej jak i krajowej przedstawiono w raporcie z pierwszej części projektu pt. „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap I” w rozdziale „10.3. Budowa i struktura wewnętrzna stref tektonicznych (uskokowych i spękaniowych)” (Olkowicz, Jasiński. 2018). Z tej przyczyny w niniejszym raporcie pomijamy wstęp do zagadnień teoretycznych już wcześniej przez nas opisanych i odsyłamy do powyższego opracowania, skupiamy się natomiast na przedstawieniu wyników analiz przeprowadzonych na obecnym etapie realizacji zadania. W poniższym opisie zastosowano nazewnictwo, jak i hierarchię struktur tożsamą z (Olkowicz, Jasiński. 2018), gdzie zgodnie z rosnącym stopniem zaangażowania tektonicznego wydzielono:

spękanie/spękania – podstawowa krucha struktura tektoniczna zaburzająca ciągłość ośrodka, w niniejszym opracowaniu termin stosowany do określenia spękań charakterystycznych ze względu na rozmiar lub orientację;

spękania ciosowe – zwykle stanowiące tło, spękania o względnie stałym *spacingu* (odległości pomiędzy kolejnymi spękaniami danego zespołu), tworzą systemy spękań ciosowych, w analizowanych przypadkach są to systemy ortogonalne;

korytarze spękań – strefy zagęszczenia spękań (zmniejszonego *spacingu*) zbudowane z równoległych do siebie spękań, które swoją orientacją naśladują orientację korytarza spękań jako całości, zazwyczaj pionowe;

strefy spękań – strefy wykazujące anomalnie duże w stosunku do otoczenia zagęszczenie spękań, spękania w obrębie strefy spękań mogą wykazywać mnogość orientacji i nie muszą odzwierciedlać orientacji strefy spękań;

strefy uskokowe – wykształcone podobnie jak strefy spękań, w ich obrębie widoczne są główne powierzchnie poślizgu (przemieszczenia), w pełni rozwinięta strefa uskokowa posiada strefę głównego ślizgu (nie koniecznie realizującego się na jednej powierzchni) otoczoną silnie spękaną strefą zniszczenia.

Należy również mieć na uwadze, że pomiędzy wymienionymi rodzajami struktur istnieją stopnie pośrednie. Ponadto w obrębie jednego wydzielenia (zwłaszcza stref spękań i stref uskokowych) niejednokrotnie obserwuje się znaczne zróżnicowanie, widoczne zwłaszcza w przypadku stref uskokowych gdzie oprócz stopnia zaangażowania tektonicznego duże znaczenie ma reżim tektoniczny jak i rodzaj ośrodka. Stąd w poniższym tekście w przypadku struktur trudnych do jednoznacznego zaklasyfikowania posłużono się ogólnym określeniem „strefa tektoniczna”, które następnie w miarę możliwości jest uszczegóławiane w ramach analizy i podsumowania danej lokalizacji.

5.1.2 Metodyka kartowania sieci spękań

Do kartowania struktur dysjunktywnych w odsłonięciach zastosowano metodę fotogrametryczną, która pozwala na szybkie i niskokosztowe opracowanie modeli 3d wyposażonych w teksturę (warstwę kolorystyczną). Fotogrametria w swoich założeniach jest metodą pozwalającą na rekonstrukcję kształtu i wzajemnego położenia obiektów w oparciu o zestaw (co najmniej parę) zdjęć wykonanych z różnych pozycji względem modelowanego obiektu (Wenzel et al., 2013). Metoda fotogrametryczna znalazła szerokie zastosowanie w dokumentacji i analizie obiektów geologicznych np. (Bemis et al., 2014; Thiele et al., 2017; Vollgger and Cruden, 2016; Westoby et al., 2012) Bazując na wykonanych zdjęciach fotograficznych, przy użyciu tej metody tworzona jest chmura punktów 3d (CP) zawierająca dodatkowo informacje o kolorze (w surowym produkcie tej metody każdy punkt posiada współrzędne XYZ oraz kolor w formacie RGB). W celu nadania właściwej orientacji i skalowania CP niezbędne jest wyznaczenie kierunku północy oraz położenia pionu/poziomu, a także informacja o odległościach pomiędzy co najmniej dwoma punktami modelu. Alternatywnie wykorzystać można punkty referencyjne naniesione przy pomocy systemu GPS lub informację o położeniu kamery (również wyznaczoną z GPS) w trakcie wykonywania zdjęcia. W tym opracowaniu, dla modeli wykonanych z ziemi, skalowanie i orientację nadano na podstawie wyznaczonych w odsłonięciach położenia pionu/poziomu, północy oraz skali; w przypadku modeli wykonanych z zastosowaniem systemu UAV (drona)

wykorzystano GPS wbudowany w UAV. Wyskalowane i poprawnie zorientowane względem północy oraz pionu i poziomu CP posłużyć mogą bezpośrednio do pomiarów orientacji struktur geologicznych. Pomiary wykonano poprzez zmierzenie orientacji wyeksponowanych powierzchni geologicznych (spękań, warstwowań, foliacji, itp) przy użyciu wirtualnego kompasu lub poprzez analizę intersekcji danej struktury planarnej z powierzchnią terenu/odsłonięcia. Do analiz wykorzystano oprogramowanie CloudCompare (www.danielgm.net/cc/). Bazując na wykonanych CP, stworzono modele fasetkowe (MF) w formie siatek trójkątów i przy ich użyciu dokonano rzutowania zawartości zdjęć wsadowych na powierzchnie MF. Zabieg ten pozwala na stworzenie ortorektyfikowanego obrazu pozbawionego zniekształceń kamery, oraz perspektywy. Zabieg ortorektyfikacji pozwala na zachowanie stałej skali (w osiach X oraz Y) w płaszczyźnie obrazu, niezależnie od odległości do obiektu, (w tym wypadku ściany kamieniołomu), tym samym umożliwiając wykonanie mapy 2d, w profilu skośnym do powierzchni odsłonięcia lub - w przypadku gdy ściany kamieniołomu mają formę „schodków” (pionowych stopni pomiędzy kolejnymi poziomami eksploatacyjnymi i oddzielających je poziomych półek składających się na serie kolejnych załamów ścian kamieniołomu).

5.1.3 Metodyka analizy sieci spękań

Bazując na stworzonych w oparciu o dane fotogrametryczne modelach, obliczono parametry charakteryzujące geometrię sieci spękań/uskoków: 1d wzdłuż linii profilu pomiarowego, 2d na powierzchniach profili pomiarowych (ścianach odsłonięć) oraz 3d - w oparciu o chmury punktów. Za podstawowe mierzone parametry sieci spękań 1d oraz 2d przyjęto intensywność i gęstość sieci spękań (Figura 5.1); na podstawie danych 3d mierzono orientację spękań i powiązanych z nimi struktur.

	0	1	2	3	
0	P₀₀ Length⁰ Number of Fracture Samples per Point Sample of Rock Mass				◀ ◀ POINT MEASURES
1	P₁₀ Length⁻¹ Number of Fractures per Unit Length of Scanline (<i>Frequency or Linear Intensity</i>)	P₁₁ Length⁰ Length of Fracture Intersects per Unit Length of Scanline (<i>Linear Porosity</i>)			◀ ◀ LINEAR MEASURES
2	P₂₀ Length⁻² Number of Trace Centers per Unit Sampling Area (<i>Areal or Trace Density</i>)	P₂₁ Length⁻¹ Length of Fracture Traces per Unit Sampling Area (<i>Areal or Trace Intensity</i>)	P₂₂ Length⁰ Area of Fractures per Unit Sampling Area (<i>Areal Porosity</i>)		◀ ◀ AREAL MEASURES
3	P₃₀ Length⁻³ Number of Fracture Centers per Unit Rock Volume (<i>Volumetric Density</i>)	P₃₁ Length⁻¹	P₃₂ Length⁻¹ Area of Fractures per Unit Volume of Rock Mass (<i>Volumetric Intensity</i>)	P₃₃ Length⁰ Volume of Fractures per Unit Volume of Rock Mass (<i>Fracture Porosity</i>)	◀ ◀ VOLUMETRIC MEASURES

↑ **DENSITY** ↙ **INTENSITY** ↘ **POROSITY**

Figura 5.1. Podstawowe parametry sieci spękań (wg: Dershowitz and Herda, 1992)

Profilowanie 2d odsłoneń (ścian kamieniołomów), w przypadku kamieniołomów Goczałków, Czernica, Wieśnica i Strzelin wykonano w profilach prostopadłych do dominującego kierunku biegu struktur tektonicznych widocznych w badanej ścianie, w przypadku kłm. w Górcie Sobockiej, ze względu na występowanie wielu kierunków stref tektonicznych i spękań, profile wykonano w kierunku prostopadłym do generalnego biegu ściany kamieniołomu. Prezentowane profile przedstawiają rzut od wnętrza kamieniołomu, Na wykonanych profilach ręcznie zdigitalizowano widoczne ślady spękań i obliczono parametry powierzchniowe sieci spękań. Obliczenie powierzchniowej gęstości spękań P_{20} (liczba spękań na jednostkę powierzchni Figura 5.1) wykonano w siatce kwadratowej. W każdym węzle siatki umieszczono okno okrągłe o promieniu równym odległości pomiędzy węzłami siatki. Następnie zliczono spękania w każdym oknie, przy czym za spękania w oknie przyjęto takie spękania których środek znajdował się wewnątrz okna pomiarowego. Do wyznaczenia intensywności powierzchniowej spękań P_{21} (sumaryczna długość śladów spękań na jednostkę powierzchni Figura 5.1) zastosowano identyczną siatkę, jak do obliczenia gęstości, a następnie zliczano długość wszystkich spękań wewnątrz okna pomiarowego.

Profilowanie 1d wykonano w dwóch wersjach. W pierwszej polegającej na uśrednieniu w jednym kierunku (w pionie lub poziomie) pół gęstości i intensywności spękań (P_{20} i P_{21}). W ten sposób obliczono parametry „średniej liniowej gęstości z 2d” (ang. *mean linear density from 2d*, MLD) oraz „średniej liniowej intensywności z 2d” (ang. *mean linear intensity from 2d*, MLI). W wersji drugiej obliczono zmodyfikowaną średnią „linijną gęstość” (ang. *linear density*, LD), spękań w profilu, co stanowi modyfikację parametru P_{10} . Przy obliczaniu LD w profilu poziomym zliczano wszystkie „stromie” spękania/uskoki (kąt nachylenia w zakresie do $\pm 45^\circ$ od pionu) wzdłuż profilu odsłoneńca w oknie kroczącym, przy czym długość okna była równa połowie odległości do środka następnego okna. Następnie, w celu zniwelowania wpływu zmiennej wysokości odsłoneńca, liczbę spękań podzielono przez wysokość profilu (odsłoneńca) w danym oknie. W przypadku wyznaczenia LD w pionie, postępowano analogicznie, z tą różnicą, że zliczano spękania „połogie” (kąt nachylenia $> 45^\circ$ od pionu) w oknie pionowym, po czym zliczone spękania podzielono przez długość odsłoneńca w oknie. W celu prezentacji parametrów 1d, obliczone wartości znormalizowano przez czynniki podane w opisie figur, tak aby wahały się one w zakresie od -5 do 0. Stąd im mniejsza znormalizowana wartość parametru podana jest na profilach, tym większa lokalna intensywność lub gęstość liniowa. Do odczytania rzeczywistej wartości miar liniowych należy pomnożyć wartość odczytaną z wykresu przez odpowiedni czynnik skalujący.

Przeprowadzone analizy 3d, polegały na pomiarze orientacji spękań/uskoków, oraz budowie syntetycznych modeli rozkładu sieci spękań, stref spękań i stref uskokowych w badanych kamieniołomach.

5.1.4 Wybrane lokalizacje badań

Do celów szczegółowej analizy wybrano pięć kamieniołomów (Figura 5.2). Trzy z nich zlokalizowane są w obrębie masywu Strzegom Sobótka (Figura 5.3):

Kłm. granitu w miejscowości Czernica w gminie Dobromierz, gdzie wykonano 3 profile, Cp1–3, oraz jedną mapę (rzut od góry) Cm1 (Figura 5.5),

Kłm. granitu Goczałków w gminie Strzegom, gdzie wykonano 3 profile, GWp1–3. Na linii profilu GWp1 przerywaną linią zaznaczona załamanie ściany (Figura 5.25),

Kłm. Granitu Wieśnica w gminie Strzegom, gdzie wykonano trzy profile, GGp1–3 (Figura 5.39).

Dwa kamieniołomy objęte badaniami zlokalizowane są w obrębie intruzji granitowych w masywie Strzelina (Figura 5.4); są to:

Kłm. granitu w Górcie Sobockiej w gminie Kondratowice, gdzie wykonano 2 profile, Gp1– 2 (Figura 5.45) oraz

Kłm. granitu w Strzelinie, w gminie Strzelin, gdzie wykonano trzy profile, Sp1–3 (Figura 5.58)

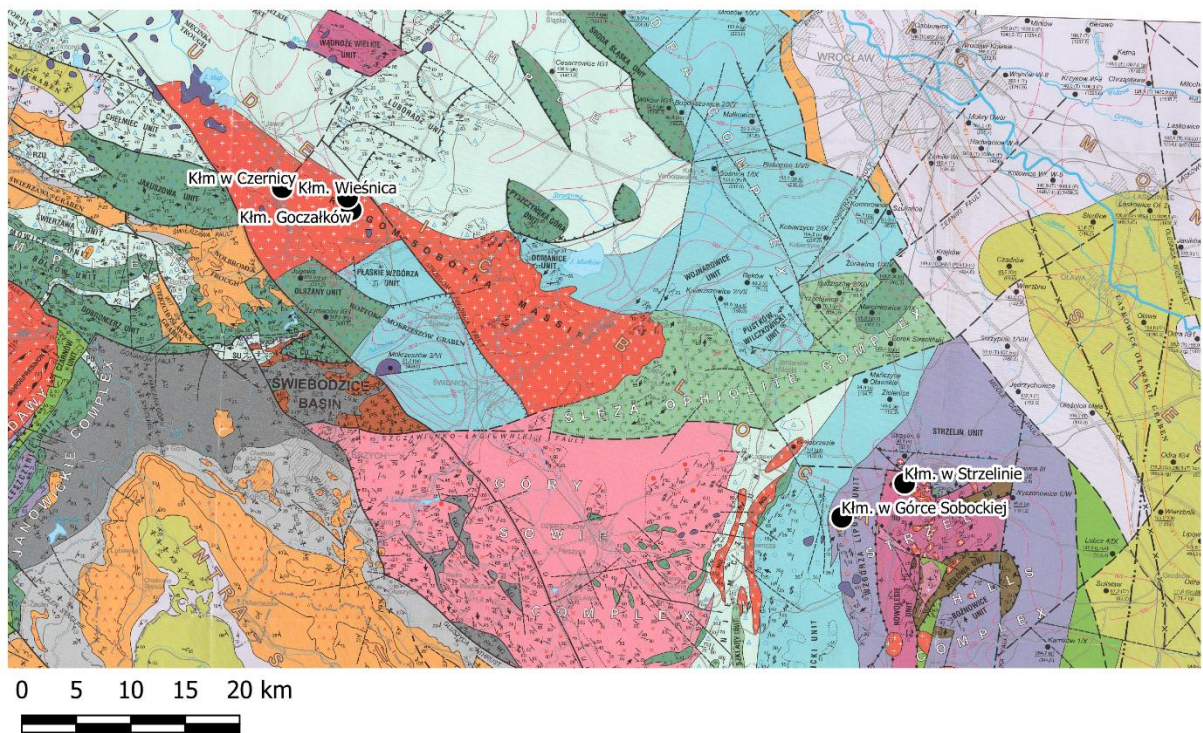


Figura 5.2. Zbiorcza mapa z zaznaczonymi lokalizacjami kamieniołomów w których wykonano szczegółowe prace. Podkład na podstawie mapy (Cymerman, 2010)



Figura 5.3. Mapa lokalizacyjna kamieniołomów Wieśnica, Goczałków oraz w Czernicy na podkładzie topograficznym.

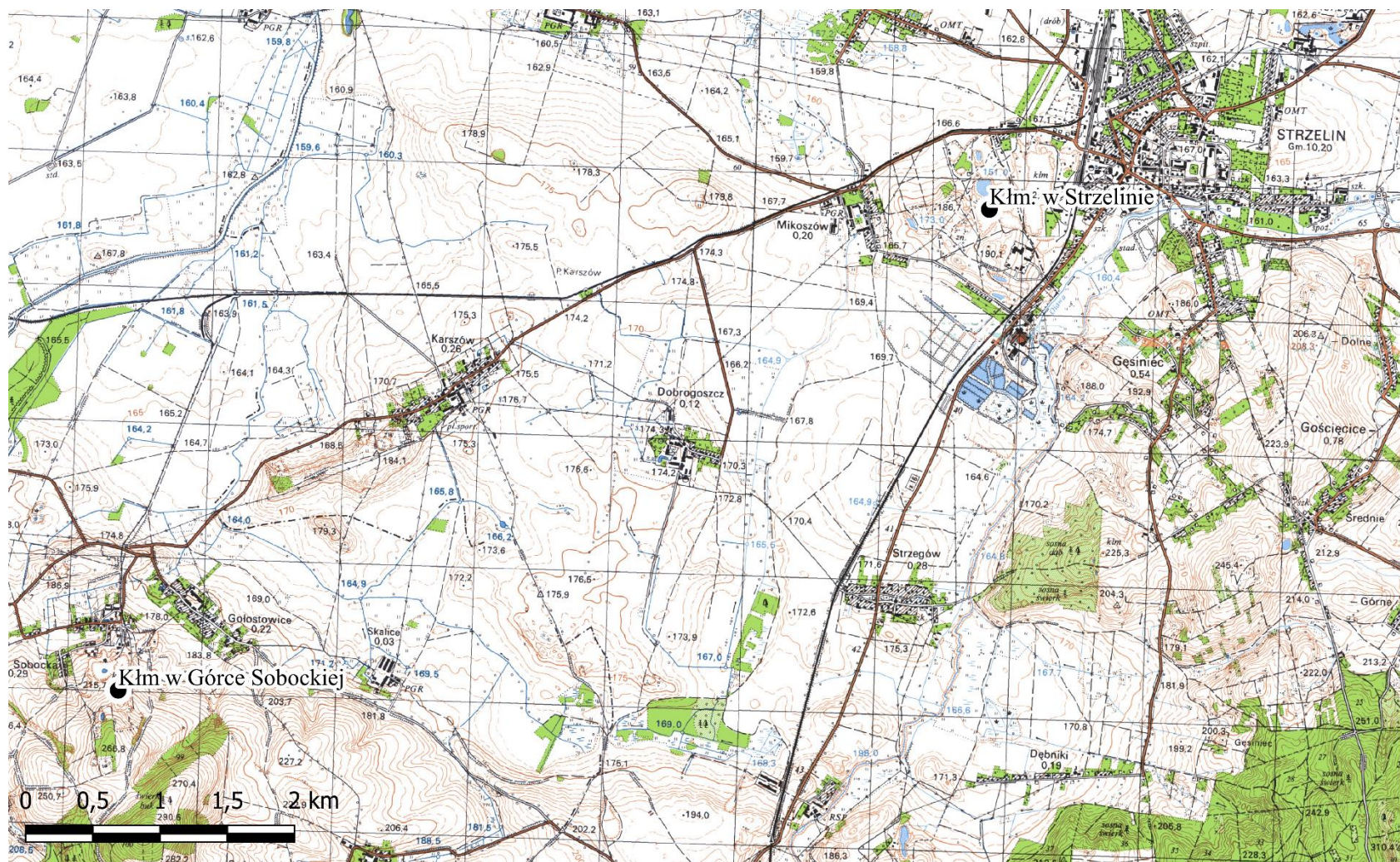


Figura 5.4. Mapa lokalizacyjna kamieniołomów w Strzelinie i Górze Sobockiej na podkładzie topograficznym

5.1.5 Analiza wyników

Wykonane profile charakteryzują się dużą zmiennością badanych parametrów, co w przypadku pojedynczego profilu, lub profili pochodzących z jednego kamieniołomu związane jest głównie z lokalnymi zmianami charakteru sieci spękań. Natomiast przy porównywaniu pomiędzy kamieniołomami, a w niektórych przypadkach również pomiędzy profilami w obrębie tego samego kamieniołomu, wartości parametrów opisujących sieć spękań, należy mieć na uwadze uwzględnione w opisie poszczególnych profili czynniki takie, jak: sposób eksploatacji w danym kamieniołomie (lub jego fragmencie), przeznaczenie eksploatowanego materiału, stan ściany odsłonięcia oraz szczegóły techniczne wykonania profilu.

Kłm. w Czernicy (Figura 5.5):

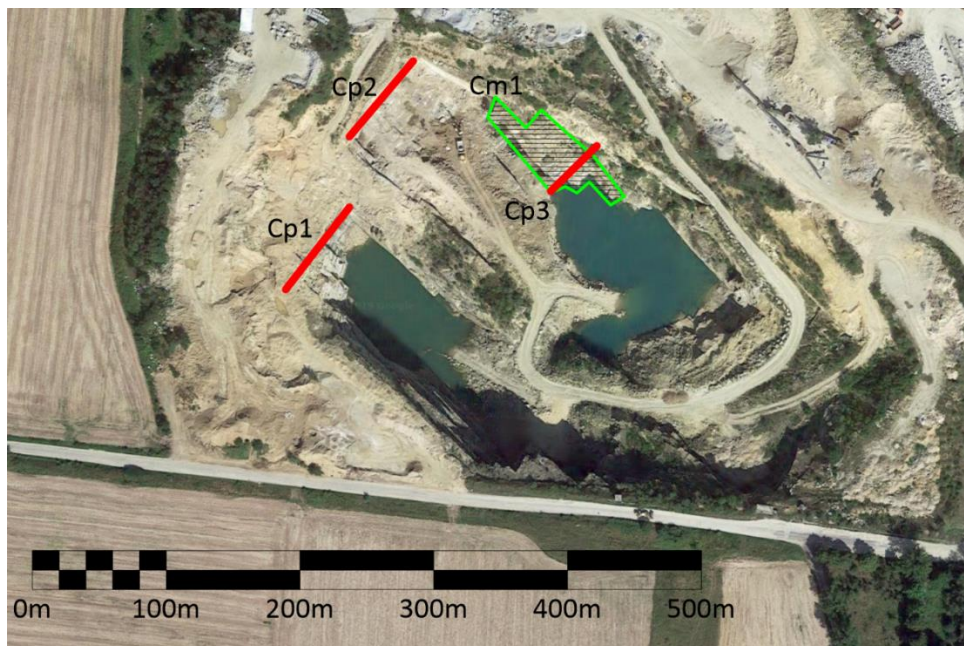


Figura 5.5. Ortofotomapa (źródło: Google Earth) kamieniołomu w Czernicy czerwonymi liniami zaznaczona profile badawcze, zieloną obszar mapy (Cm1)

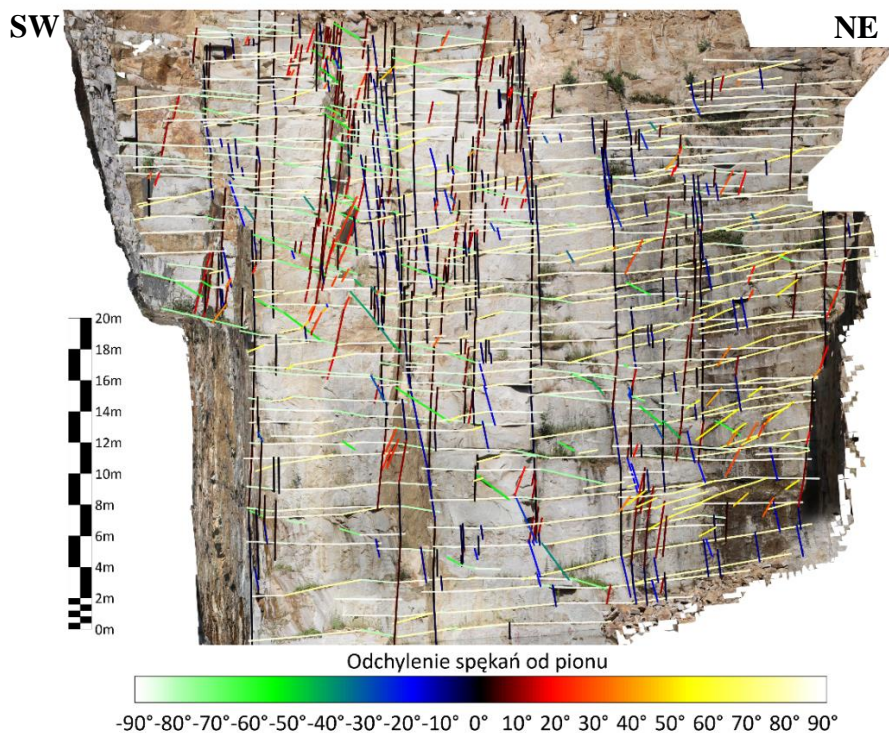


Figura 5.6. Spękania wyznaczone w profilu Cp1 (rzut na płaszczyznę pionową)

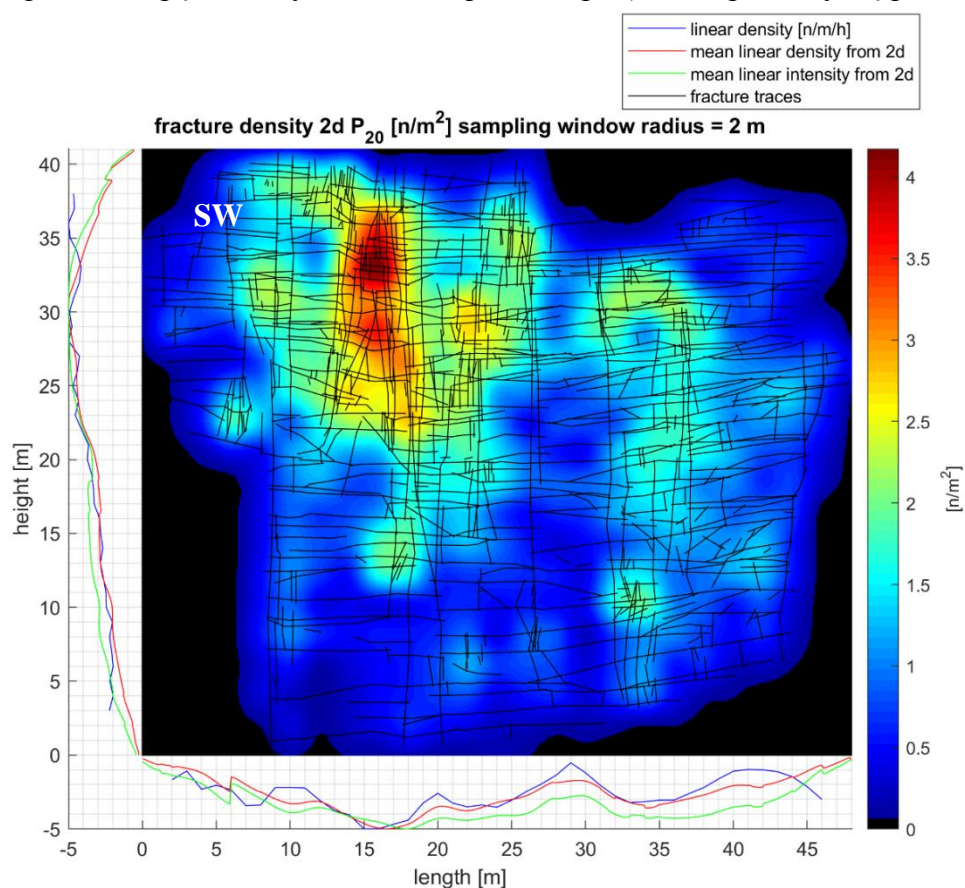


Figura 5.7. Rozkład gęstości spękań w profilu Cp. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,356; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,468; 'linear density poziom' -0,756; 'mean linear density from 2d pion' -0,318; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,463; 'linear density pion' -1,358.

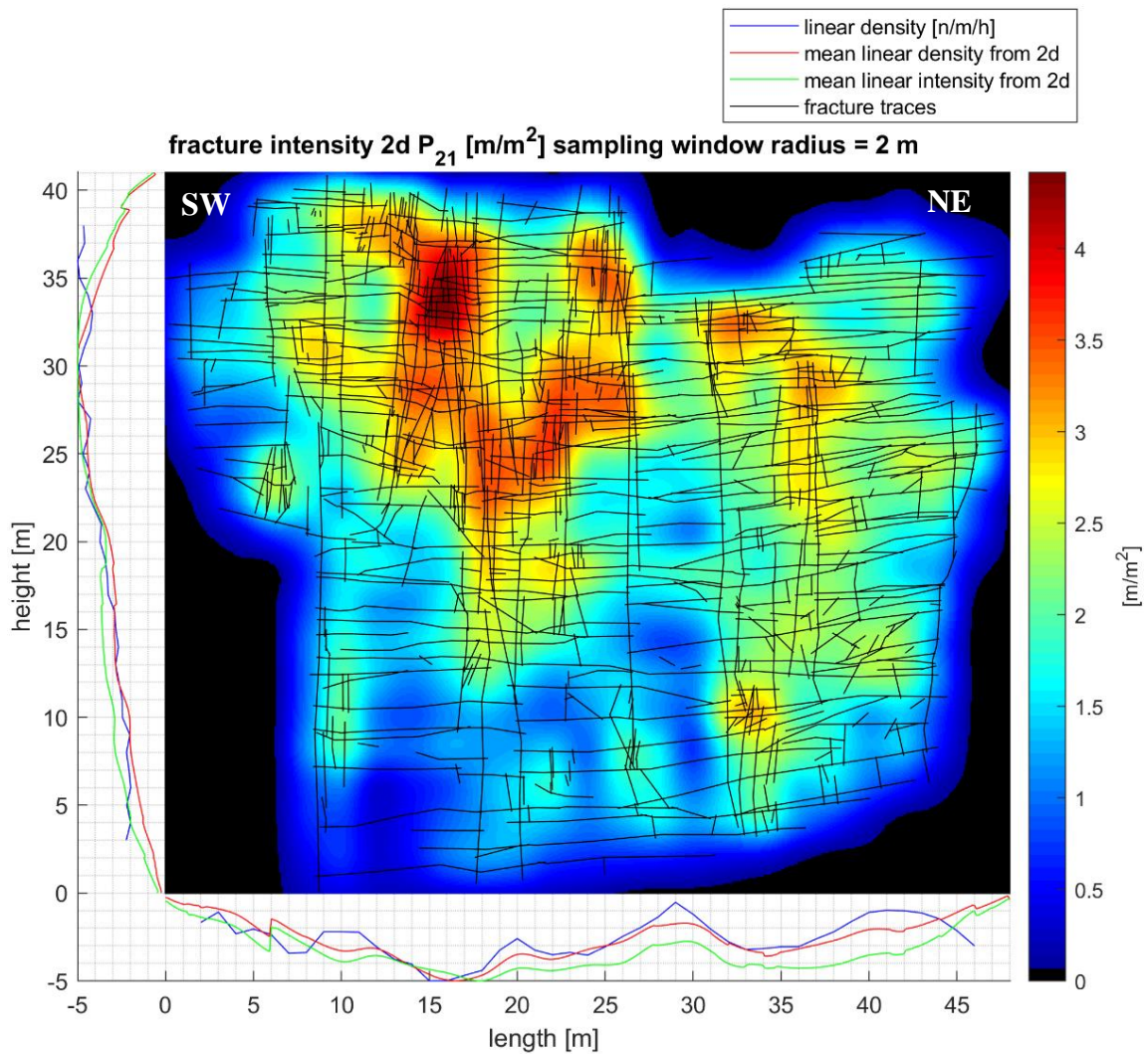


Figura 5.8. Rozkład intensywności spękań w profilu Cp1. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,356; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,468; 'linear density poziom' -0,756; 'mean linear density from 2d pion' -0,318; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,463; 'linear density pion' -1,358.

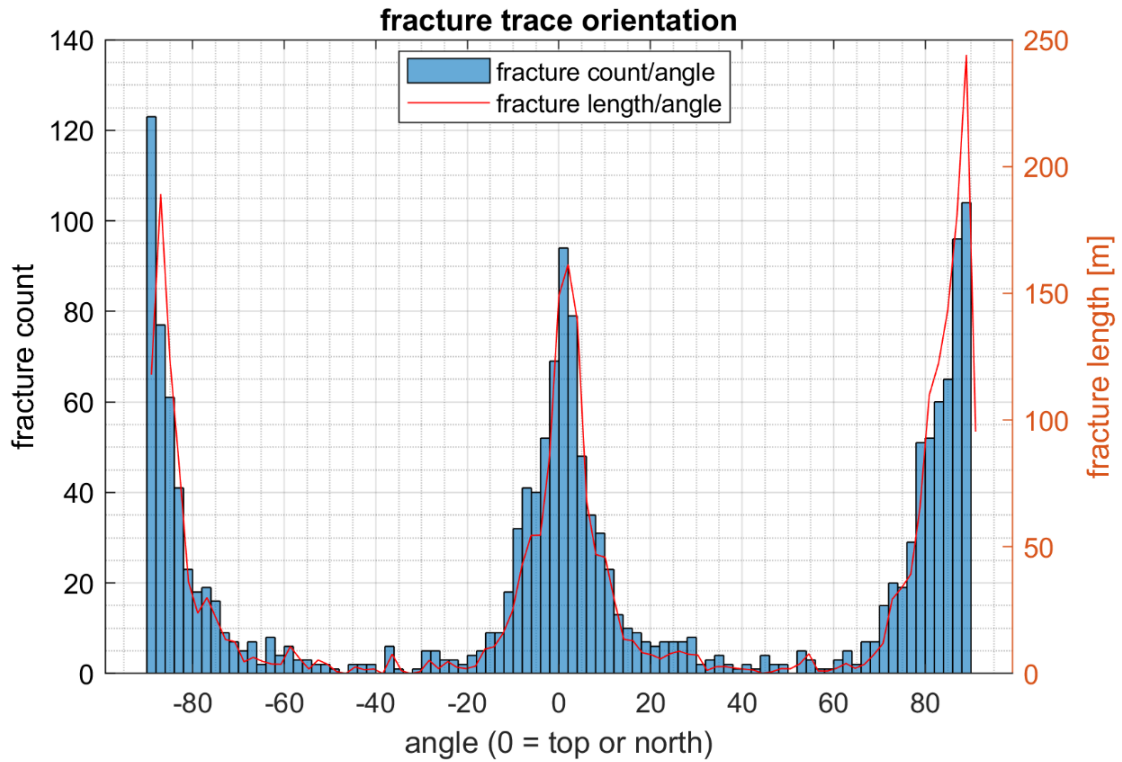


Figura 5.9. Histogram nachylenia spękań w profilu Cp1

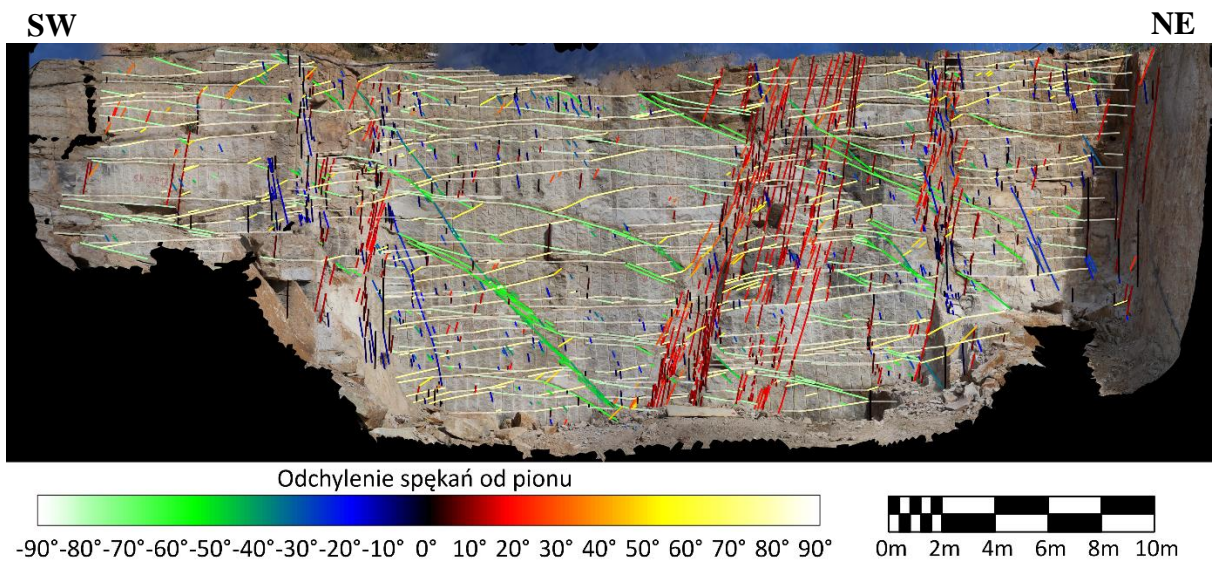


Figura 5.10. Spękania wyznaczone w profilu Cp2 (rzut na płaszczyznę pionową)

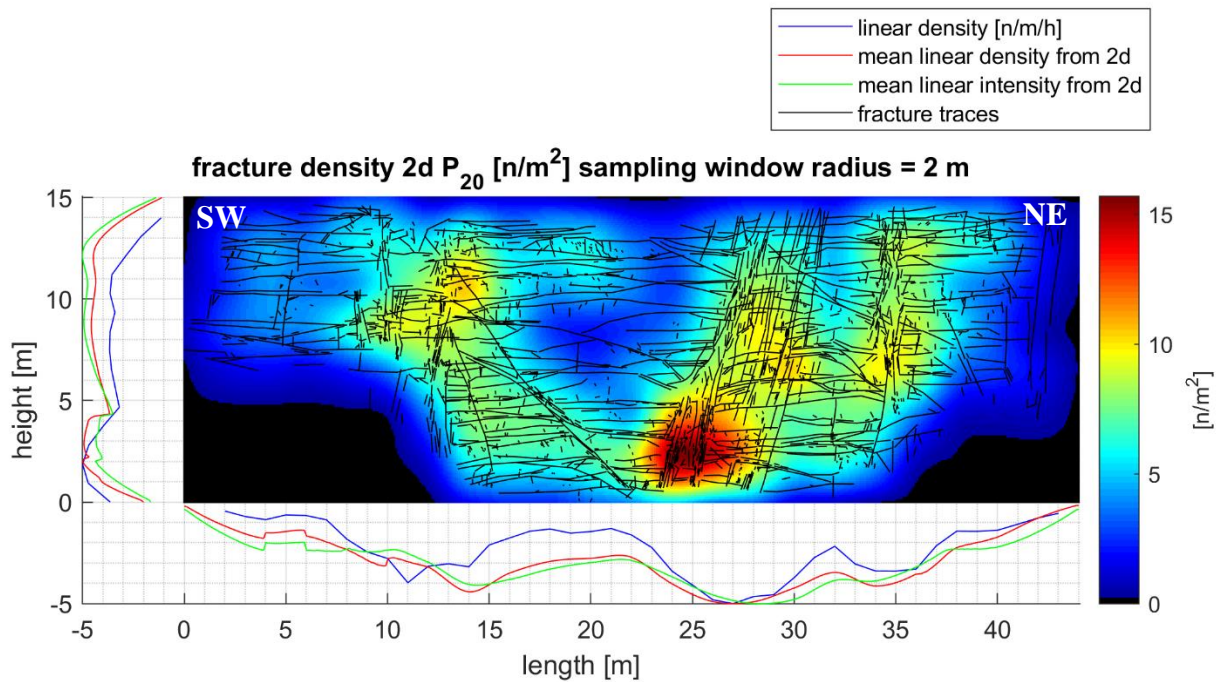


Figura 5.11. Gęstość spękań w profilu Cp2. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -1,626; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,824; 'linear density poziom' - 4,217; 'mean linear density from 2d pion' -1,189; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,608; 'linear density pion' -5,655.

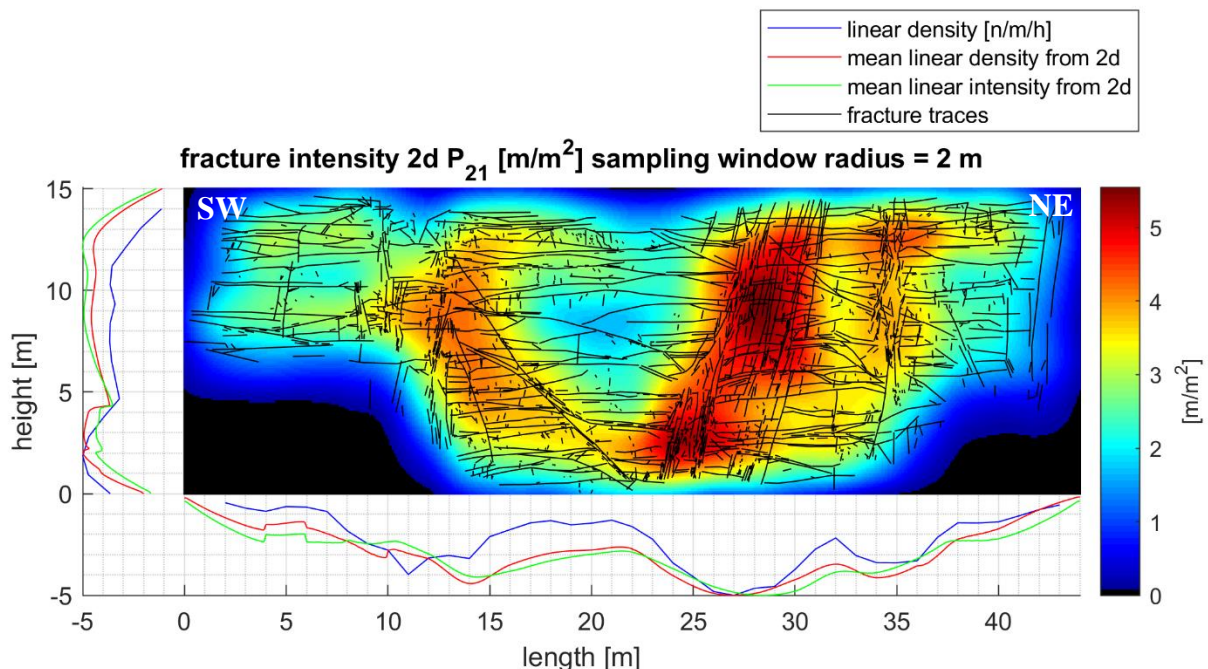


Figura 5.12. Intensywność spękań w profilu Cp2. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -1,626; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,824; 'linear density poziom' -4,217; 'mean linear density from 2d pion' -1,189; 'mean linear intensity from 2d pion'

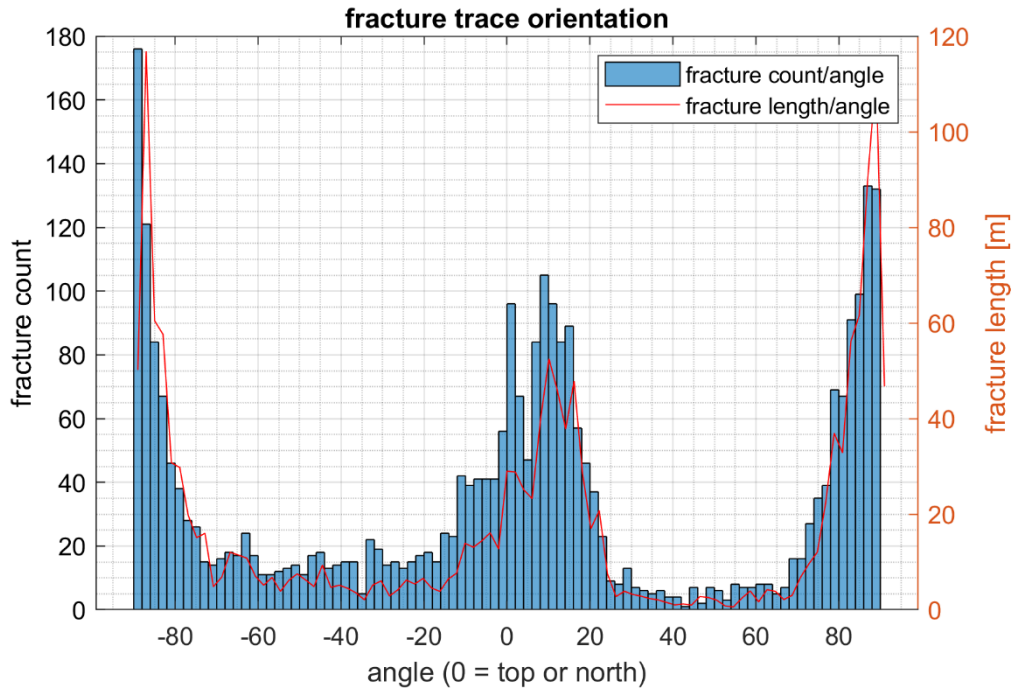


Figura 5.13. Histogram nachylenia spękań w profilu Cp2

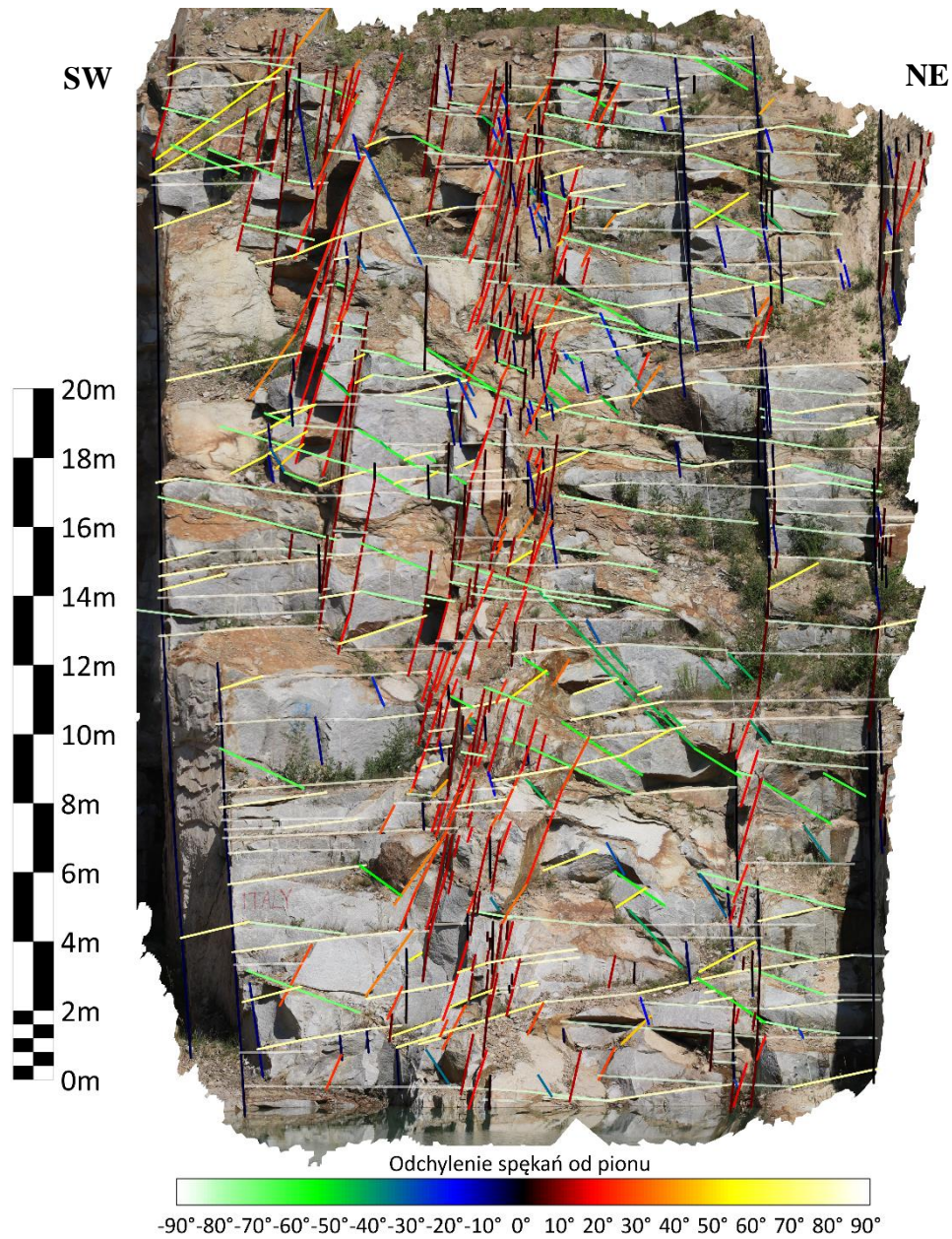


Figura 5.14. Spękania w profilu Cp3 (rzut na płaszczyznę pionową)

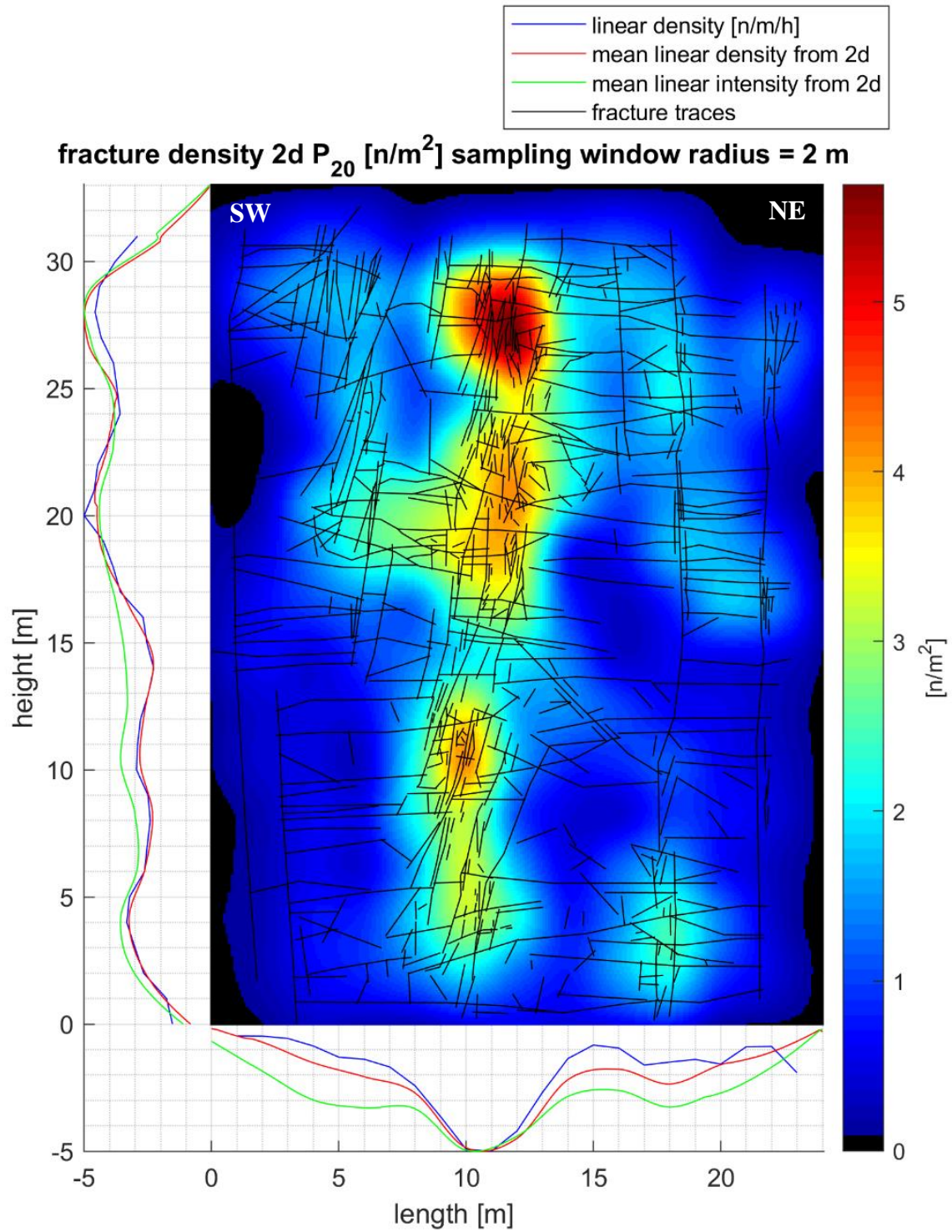


Figura 5.15. Gęstość spękań w profilu Cp3. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,586; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,576; 'linear density poziom' -1,676; 'mean linear density from 2d pion' -0,398; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,476; 'linear density pion' -1,807.

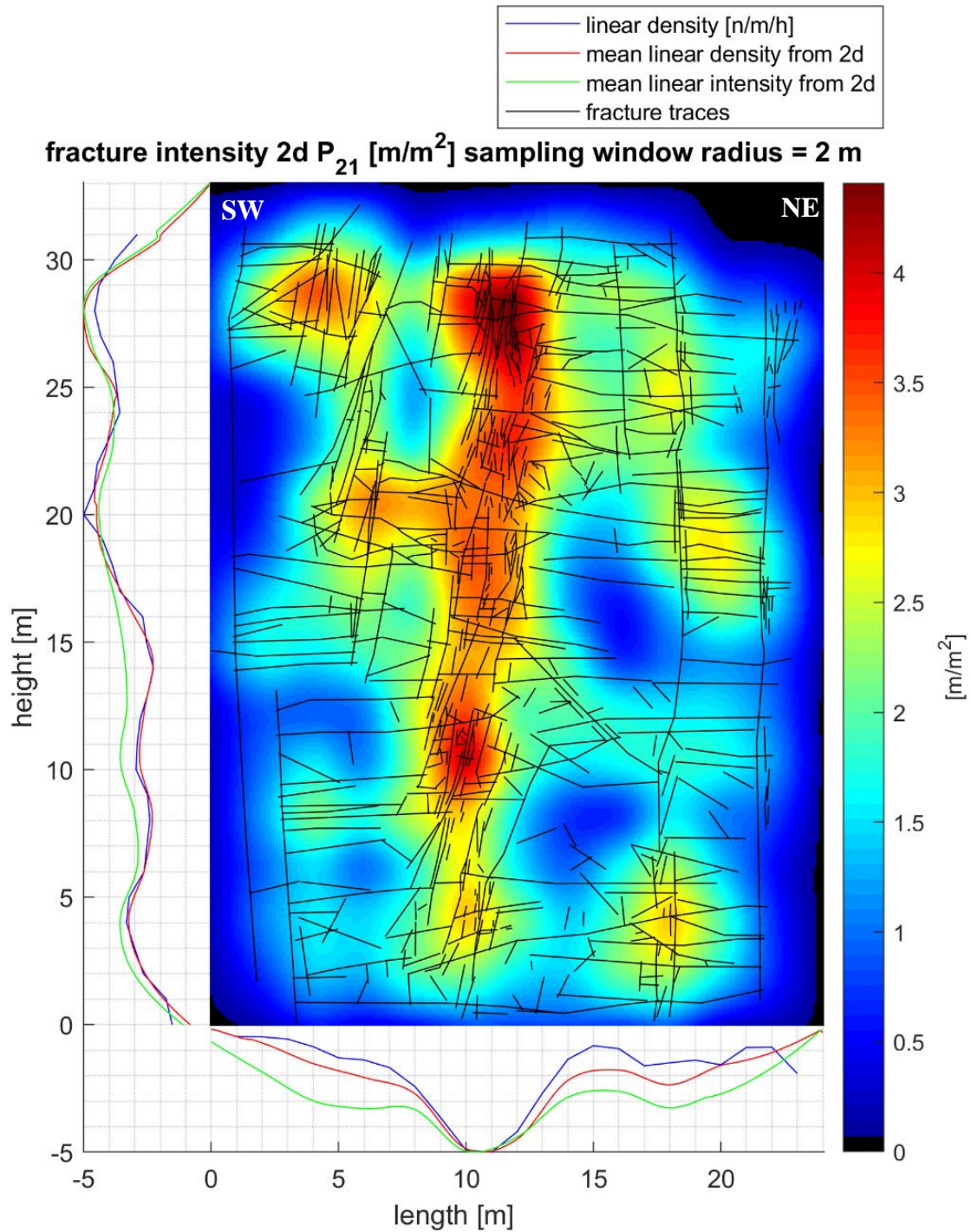


Figura 5.16. Intensywność spękań w profilu Cp3. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,586; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,576; 'linear density poziom' -1,676; 'mean linear density from 2d pion' -0,398; 'mean linear intensity from 2d pion' -1,807.

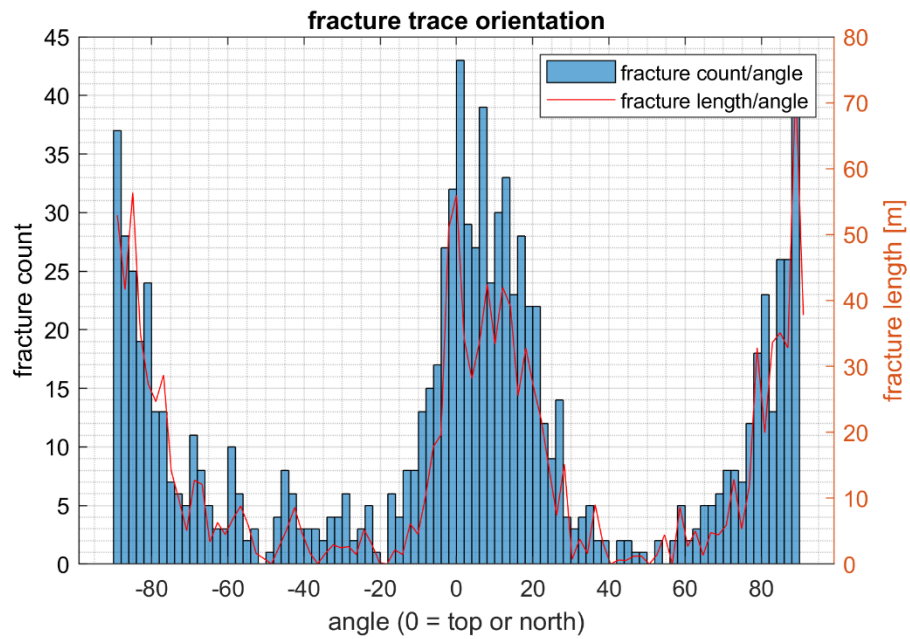


Figura 5.17. Orientacja spękań w profilu Cp3

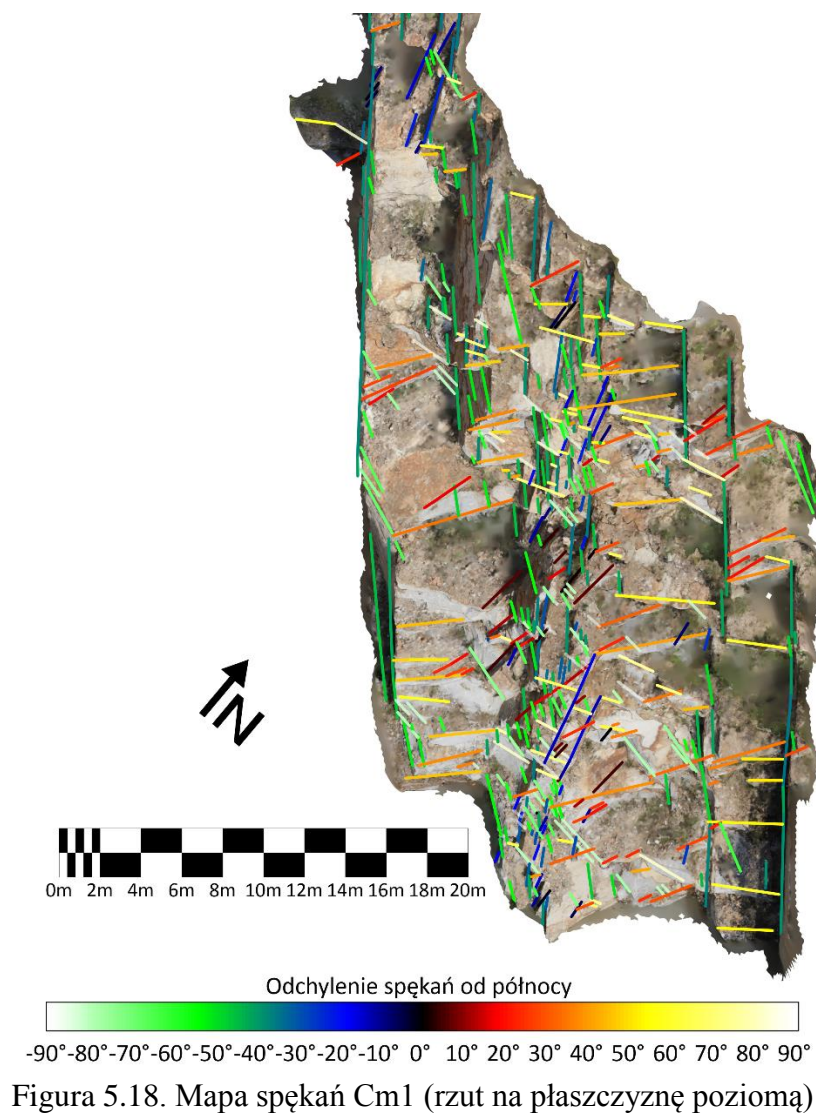


Figura 5.18. Mapa spękań Cm1 (rzut na płaszczyznę poziomą)

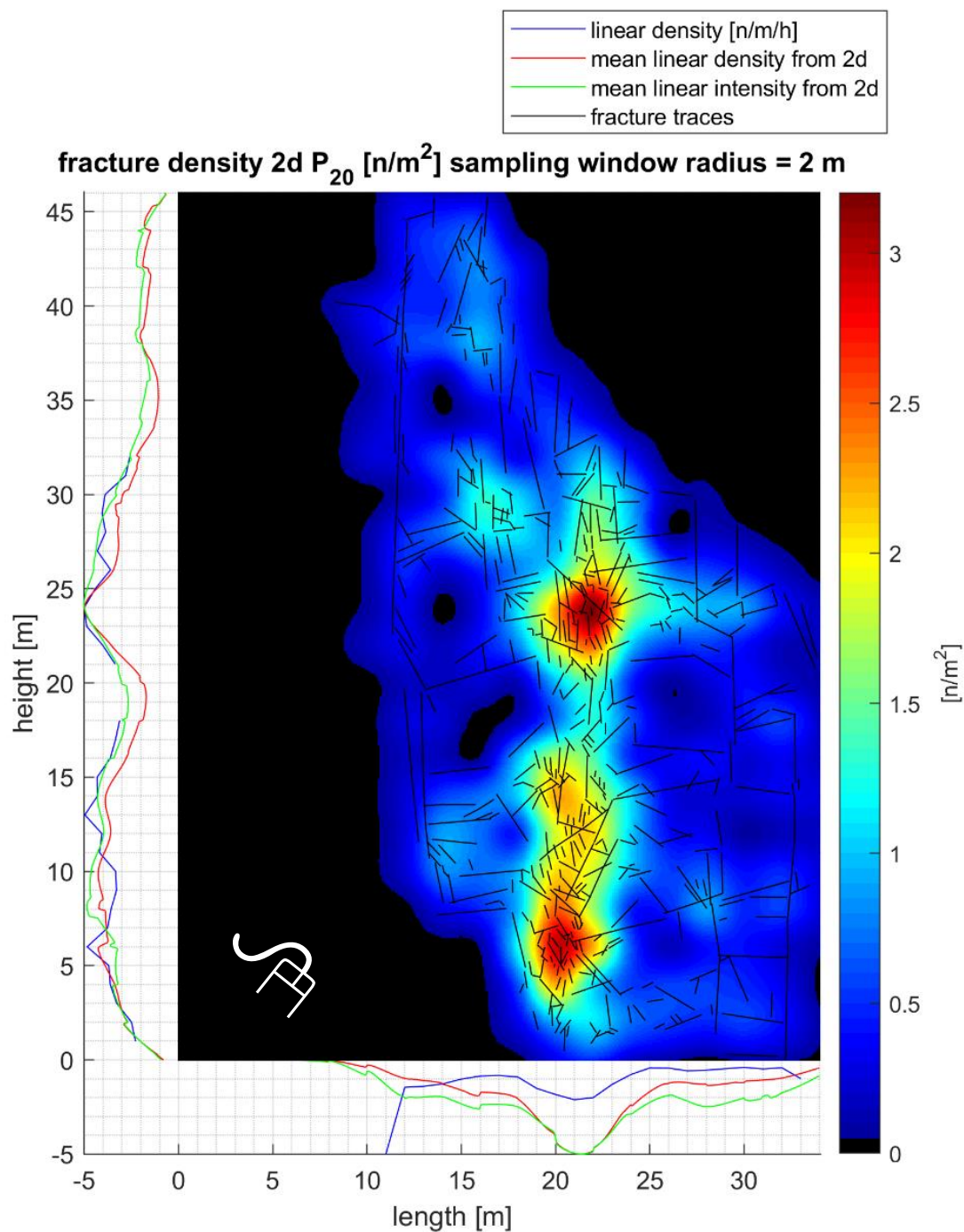


Figura 5.19. Gęstość spękań na mapie Cm1. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,189; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,201; 'linear density poziom' -0,750; 'mean linear density from 2d pion' -0,176; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,164; 'linear density pion' -0,949.

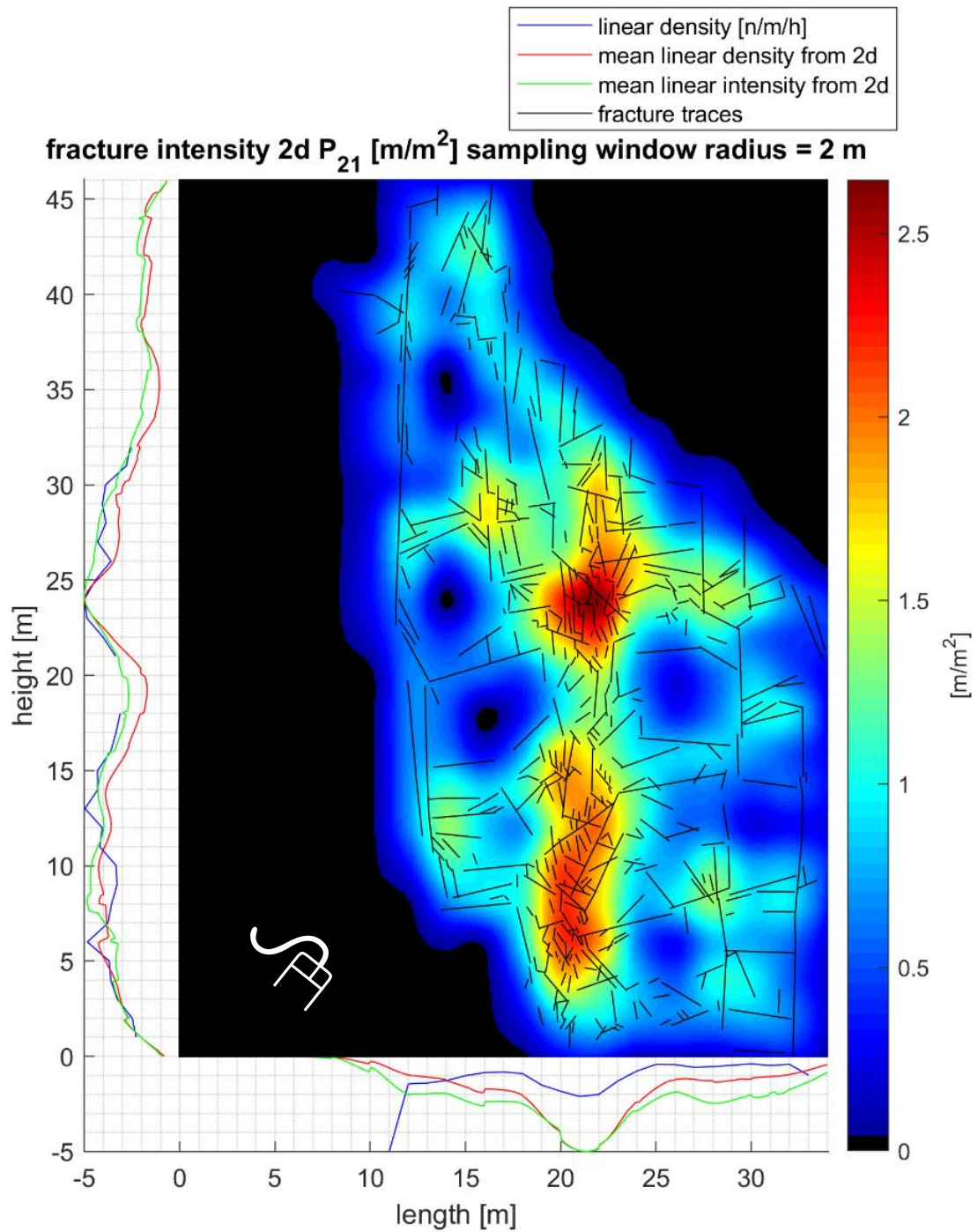


Figura 5.20. Intensywność spękań na mapie Cm1. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,189; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,201; 'linear density poziom' -0,750; 'mean linear density from 2d pion' -0,176; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,164; 'linear density pion' -0,949.

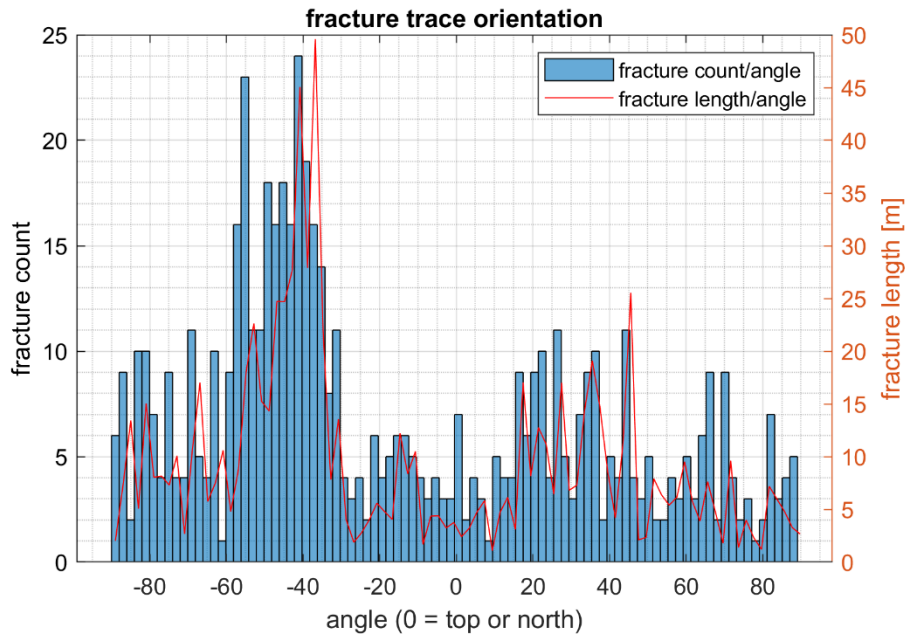


Figura 5.21. Histogram orientacji spękań na mapie Cm1

W kamieniołomie w Czernicy wykonano 3 profile oraz jedną mapę spękań. Podczas wykonywania profili posłużono się fotogrametrią w wariacie naziemnym (tzn. zdjęcia wykonano z poziomu terenu), wykorzystano aparat fotograficzny Canon 5DS R o rozdzielczości 50Mpx. W profilu Cp1 badana ściana znajduje się na końcu wąskiego fragmentu kamieniołomu zalanego wodą. W tym wypadku nie ma możliwości zbliżenia się bezpośrednio do analizowanej ściany. Wszystkie analizy profilu prowadzone były w oparciu o materiał fotograficzny; zdjęcia wykonano z przeciwległego brzegu zbiornika, tj. z odległości około 100 m od badanej ściany kamieniołomu. Omawiana ściana aktualnie znajduje się w nieeksploatowanej od przynajmniej kilku lat części kamieniołomu, dlatego część struktur mogła ulec zatarciu. Z tych przyczyn można spodziewać się też, że w tym profilu niedoszacowane będą pomniejsze struktury. W profilu Cp2 istniała możliwość bezpośredniego podejścia pod ścianę kamieniołomu dodatkowo brak nawisów, oraz zwałów urobku, jak również znaczna przestrzeń przed ścianą, umożliwiały dobranie dogodnych pozycji kamer. Profil ten został więc wykonany najbardziej szczegółowo z opisanych dla tego kamieniołomu. Z tych względów przyjąć należy, że obserwowana w nim duża ilość pomniejszych struktur jest wynikiem relatywnie dużej dokładności tego profilu w stosunku do pozostałych profili. Ściana w profilu Cp3 i mapie Cm1 podobnie jak w profilu Cp1 nie była dostępna do bezpośrednich badań, a model jej bazował na zdjęciach wykonanych ze znacznej odległości. Ściana ta ma charakter schodów opadających w kierunku SE, stąd wykorzystując lokalne położone na wprost tej ściany oraz częściowo ponad nią (z krawędzi wyrobiska), możliwe było wykonanie profilu ukierunkowanego SW-NE oraz mapy (rzutu od góry). W przypadku mapy Cm1 oraz profilu Cp3, podobnie jak w przypadku profilu Cm1, należy zakładać niedoszacowanie drobnych struktur ze względu na zaniechanie eksploatacji tego fragmentu kamieniołomu, oraz dodatkowe maskowanie struktur tektonicznych przez pojawiającą się lokalnie roślinność i drobny gruz.

W profilu oznaczonym jako Cp1 (Figura 5.6, Figura 5.7, Figura 5.8) widoczne są dwie pionowe strefy tektoniczne, jedna bardzo wyraźna strefa spękań około 15 metra profilu oraz

druga nieco mniej wyraźna w okolicach 35 metra. Oprócz tego zaobserwować można duże spękania o wysokości do 30 m (wysokość profilu) występujące w okolicach 8, 17, 20, 25, 32 i 37 metra profilu. Widoczny jest wzrost gęstości i intensywności spękań połączonych wraz z wysokością profilu w interwale 0-35m, co związane jest z odprężeniem ośrodka skalnego podczas eksploatacji. Nie zaobserwowano anastomozujących struktur połączonych, co może być związane nie tyle z ich brakiem, co jakością profilu.

W profilu Cp2 (Figura 5.10) i jego okolicach zaobserwowano lokalnie anastomozujące połogie struktury, które mogą reprezentować niewielkie uskoki lub strefy zmian hydrotermalnych. Lokalnie struktury te przecinane są przez jasne, pionowe utwory żyłowe, kwarcowe lub apłitowe (nie dostępne do badań bezpośrednich). Wskazuje to, że utworzenie się połączonych struktur odbyło się przed całkowitym ustaniem procesów magmowych. Widoczne również są trzy strome strefy tektoniczne zbudowane z pomniejszych struktur (spękań lub niewielkich uskoków) na 15, 26 i 35 metrze profilu (Figura 5.11), Figura 5.12), przy czym pierwsza i trzecia mają mniejszą miąższość ca. 2 m a ich ogólny kąt nachylenia jest prawie pionowy. Z kolei druga strefa o miąższości ca. 5 m jest odchyłona od pionu o około 10-20°. Nie zaobserwowano natomiast jednoznacznych objawów przemieszczeń powierzchni połączonych na powierzchniach pionowych lub na odwrót.

W profilu Cp3 (Figura 5.14 Figura 5.15 Figura 5.16) widoczne są anastomozujące struktury połogie, które tworzą połośnie wychylone stopnie w tej części kamieniołomu, co dobrze widoczne jest w rzucie prostopadłym lub skośnym do linii profilu, widoczna jest również, silnie wykształcona pionowa strefa tektoniczna (Figura 5.22). Cały profil poprowadzony jest przez silnie stektonizowaną strefę o szerokości około 30 m lub więcej (znajduje się ona przy krawędzi wyrobiska) profil zaczyna się od dużego wysokiego na około 30 m spękania w środku profilu około 11 metra widoczna jest pionowa strefa lekko odchylnych od pionu (ok. 10°) spękań. Pomimo niekorzystnych warunków (roślinność, schodkowa forma odsłonięcia, zalegający gruz i nie w pełni optymalne pozycje kamer) w profilu widoczne są anastomozujące struktury subhoryzontalne.

Mapa Cm1 (Figura 5.18, Figura 5.19, Figura 5.20) przedstawia widok „od góry” na strefę tektoniczną widoczną na profilu Cp3. Ze względu na to, że wykonana została na podstawie zdjęć zrobionych z powierzchni terenu, mapa charakteryzuje się znacznie słabszą jakością (struktury widoczne są znacznie słabiej) od profilu Cp3. Na mapie widoczny jest generalny bieg strefy wzdłuż kierunku 320° - 140°, podobnie jak na profilu Cp3 widoczny jest trzon tej strefy składający się ze spękań lekko skośnych do jej biegu oraz z długich pojedynczych spękań zlokalizowanych w jej obrzeżach.



Figura 5.22. Kłm w Czernicy, po lewej: przykład połączonych anastomozujących struktur przeciętych żyłą. Po prawej: widok ukośny na strefę tektoniczną widoczną na profilu Cp3 oraz na mapie Cm1. Powierzchnie połogie widoczne jako stopnie. Po lewej widoczna powierzchnia pionowego spękania o wysokości około 30 m.

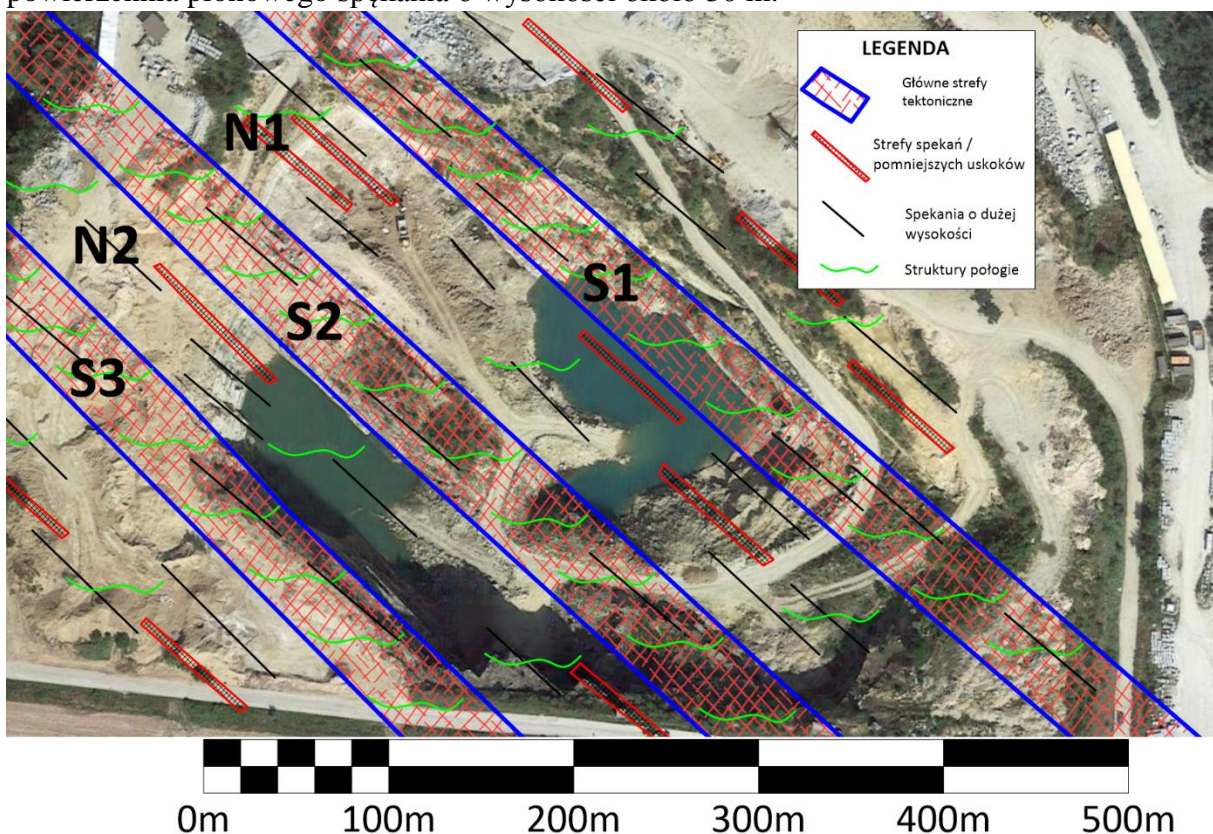


Figura 5.23. Syntetyczny model struktur tektonicznych w kamieniołomie w Czernicy. S1-3 – główne strefy spekań/uskoków, N1-2 strefy słabiej zaangażowane tektonicznie. Strefy S1-3 oraz N1-2 zaznaczone są w swojej rzeczywistej lokalizacji, pozostałe mniejsze struktury naniesiono w sposób schematyczny nie zawsze odpowiadający ich rzeczywistemu położeniu.

Z racji szczątkowego wykształcenia (lub słabej widoczności w profilu) struktur o biegu równoległym do przedstawionych profili, nie wykonano profili prostopadłych do trzech zaprezentowanych dla tego kamieniołomu. W ramach podsumowania zaprezentowano syntetyczny model rozkładu sieci tektonicznej struktur prostopadłych do prezentowanych profili (Figura 5.23). Na podstawie analizy przedstawionych danych dotyczących kamieniołomu w Czernicy oraz dostępnego obrazu satelitarnego, w kamieniołomie tym wydzielić można dwa główne rodzaje elementów tektonicznych: strefy tektoniczne oznaczone jako S1-3 o szerokości 30 – 50 m, oraz strefy słabiej zaangażowane tektonicznie oznaczone jako N1-2 których szerokość sięga 50 – 70 m. Profil i mapa dostępne były tylko dla strefy S1 gdzie stwierdzono znaczną ilość struktur połączonych, gęste spękania, lokalne strefy zwiększonej gęstości spękań, oraz duże spękania o wysokości ponad 30 m i długości ponad 50 m. Strefy S2 i S3 wyznaczono na podstawie interpretacji zdjęcia satelitarnego, strefowość ta odzwierciedla się również w sposobie eksploatacji kamieniołomu. Silnie zaangażowane tektonicznie strefy są zazwyczaj pomijane przy eksploatacji ze względu na gorszą jakość surowca. Generalny bieg stref tektonicznych waha się w zakresie ok. 130°-140°, nie zaobserwowano markerów pozwalających na jednoznaczne określenie nachylenia stref, wobec czego przyjęto, że są one pionowe lub prawie pionowe, przy czym w dużej części składają się ze spękań nachylonych względem orientacji całej strefy. Strefy S1-3 przedzielone są strefami słabiej – w stosunku do otoczenia - zaangażowanymi tektonicznie (N1-2). W tych strefach również występują pojedyncze duże spękania oraz pomniejsze strefy spękań zbudowane z drobnych struktur. W strefie N1 udokumentowano również występowanie struktur połączonych, podobnie jak w przypadku stref S1-3 obserwację tę można z dużym prawdopodobieństwem ekstrapolować na strefę N2, w której wykonany profil z podanych już powodów charakteryzuje się gorszą jakością. W kamieniołomie obserwuje się 4 zespoły spękań ciosowych (Figura 5.24): przewodnie 225/85, prostopadłe 135/90, połogie 120/40, oraz subhoryzontalne X/0 (niezamieszczone na diagramie). Analiza nachylenia powierzchni w profilach (Figura 5.9, Figura 5.13, Figura 5.17) wskazuje na lokalne odchylenie części spękań pionowych do 10° ku NE

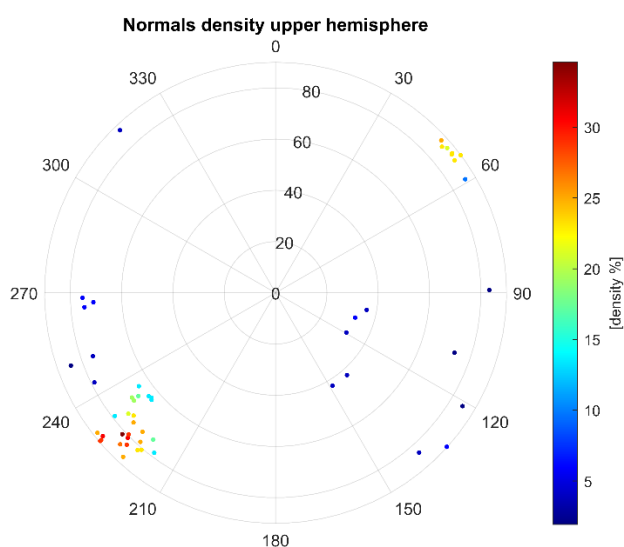


Figura 5.24. pomiary orientacji spękań w kamieniołomie w Czernicy wykonane w oparciu o model 3d.

Kłm. Goczalków (Figura 5.25):

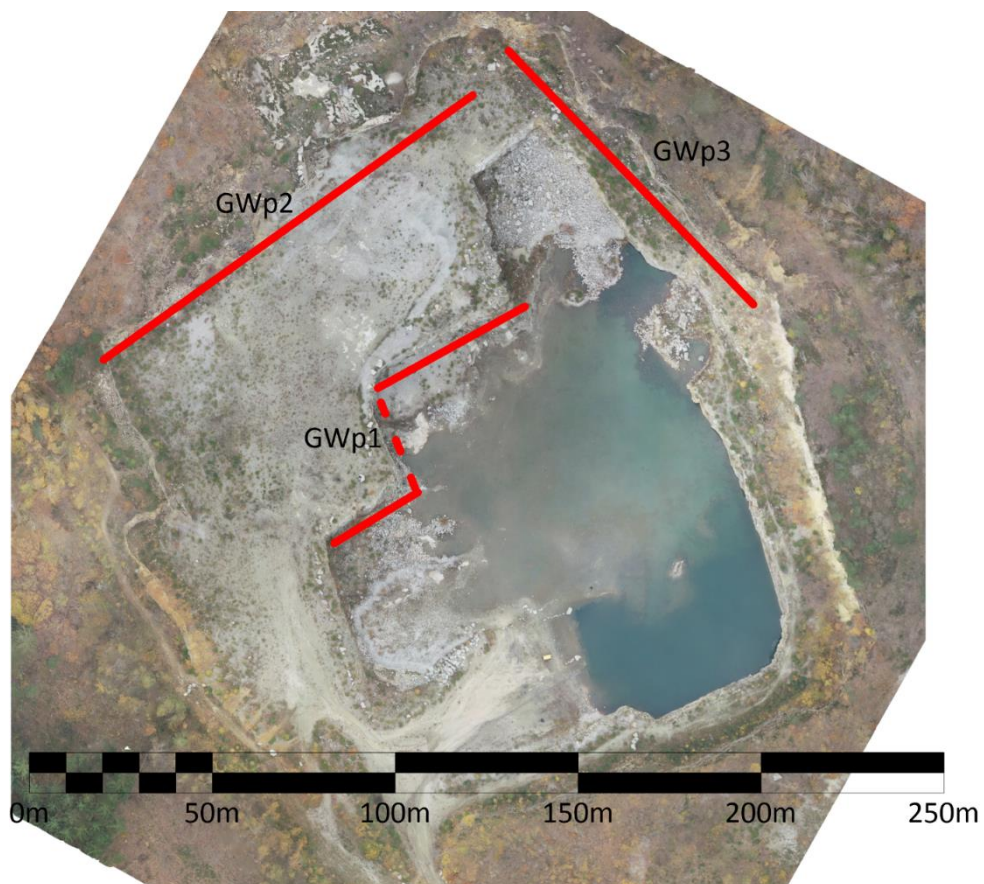


Figura 5.25. Ortofotomapa kamieniołomu Goczalków wykonana przy użyciu UAV, czerwonymi liniami zaznaczono profile badawcze

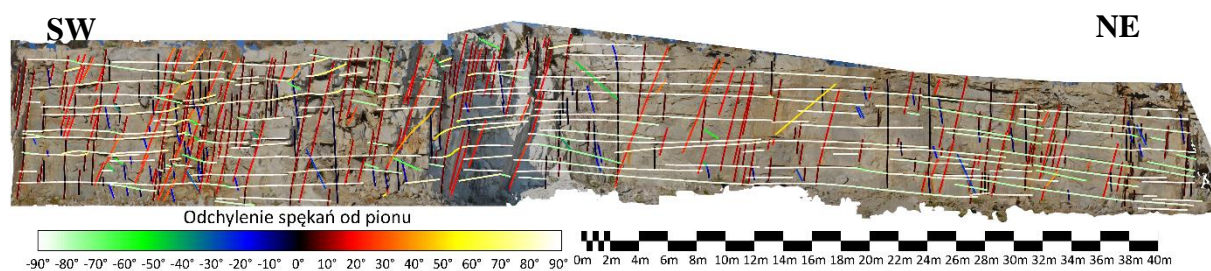


Figura 5.26. Spękania w profilu GWp1 (rzut na płaszczyznę pionową)

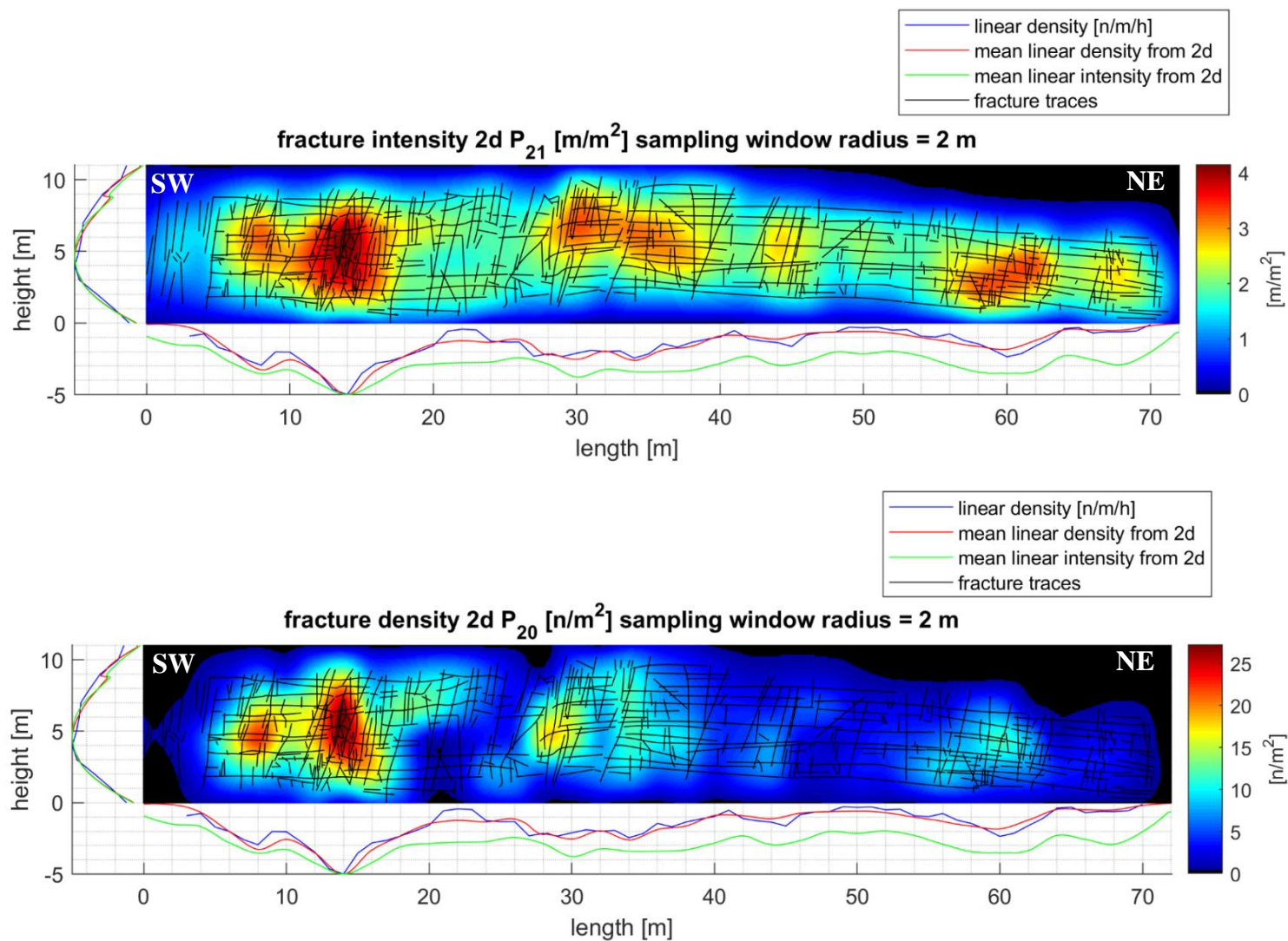


Figura 5.27. Gęstość oraz intensywność spękań w profilu GWp1. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -3,532; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,559; 'linear density poziom' -7,036; 'mean linear density from 2d pion' -1,586; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,460; 'linear density pion' -6,389.

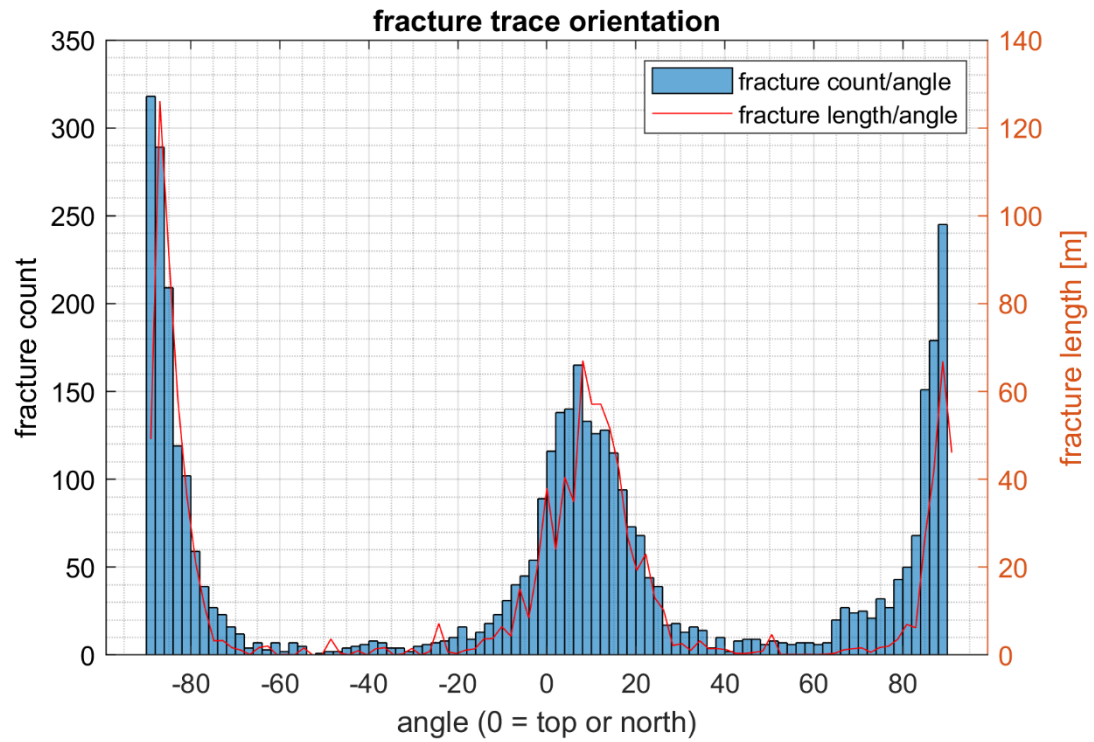


Figura 5.28. Nachylenie spękań w profilu GWp1

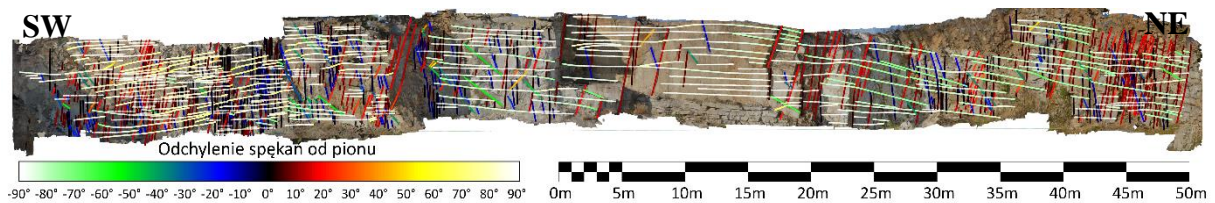


Figura 5.29. Spękania wyznaczone w profilu GWp2 (rzut na płaszczyznę pionową)

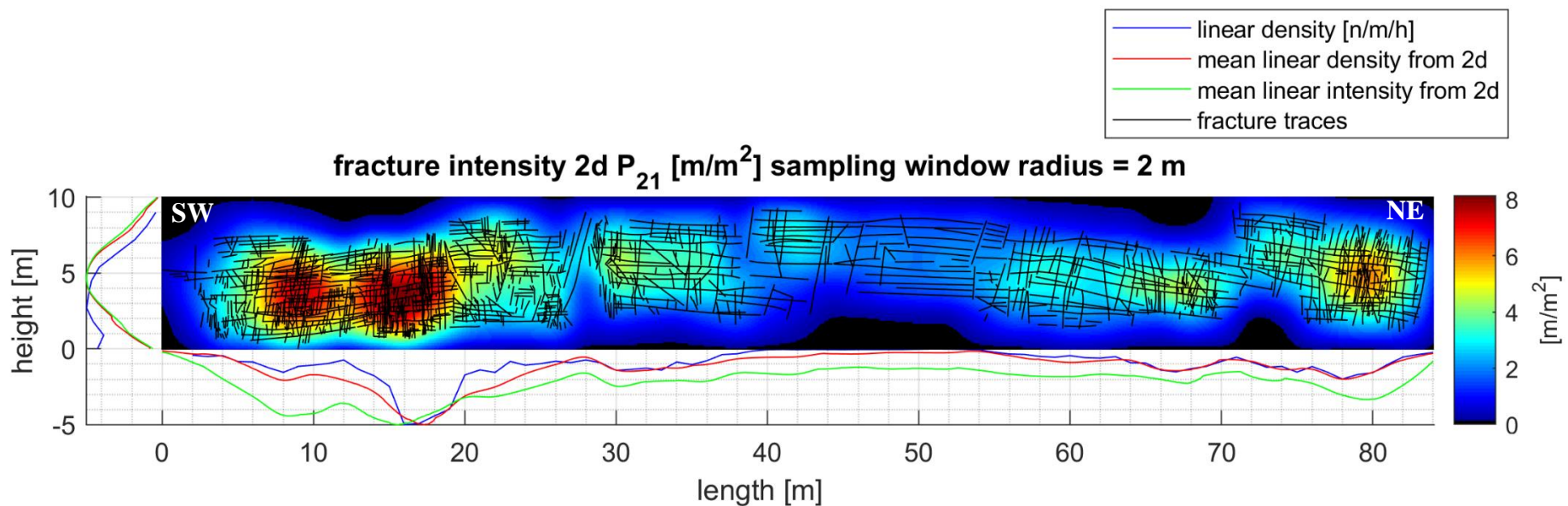
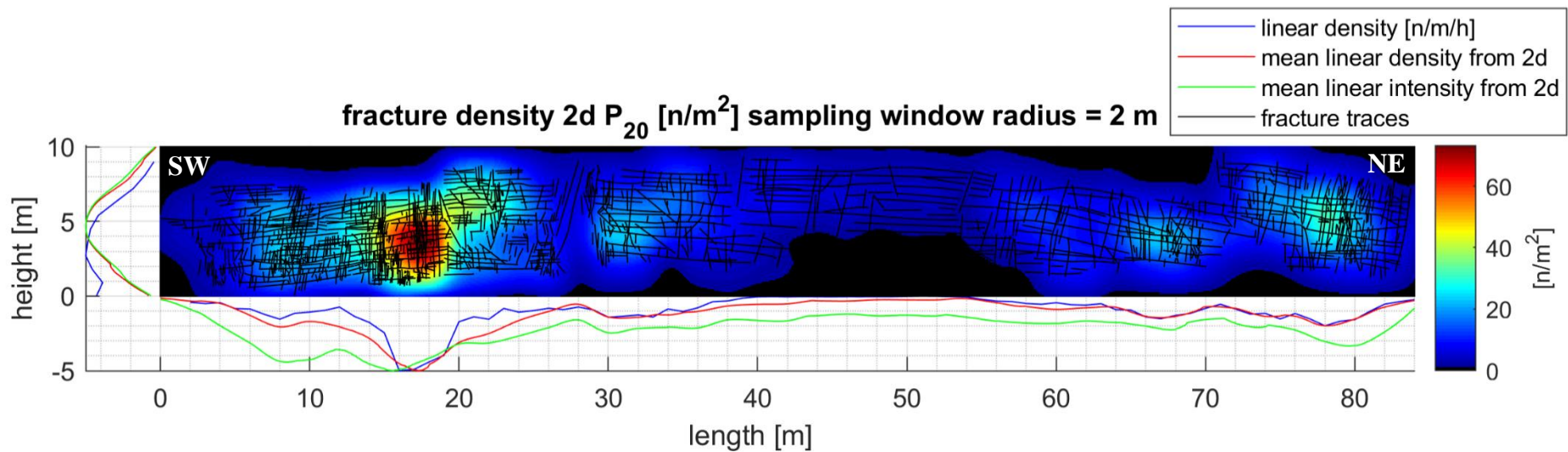


Figura 5.30. Gęstość oraz intensywność spękań w profilu GWp2. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom'; -7,920; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,990; 'linear density poziom' -20,679; 'mean linear density from 2d pion' -3,072; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,706; 'linear density pion' -10,882.

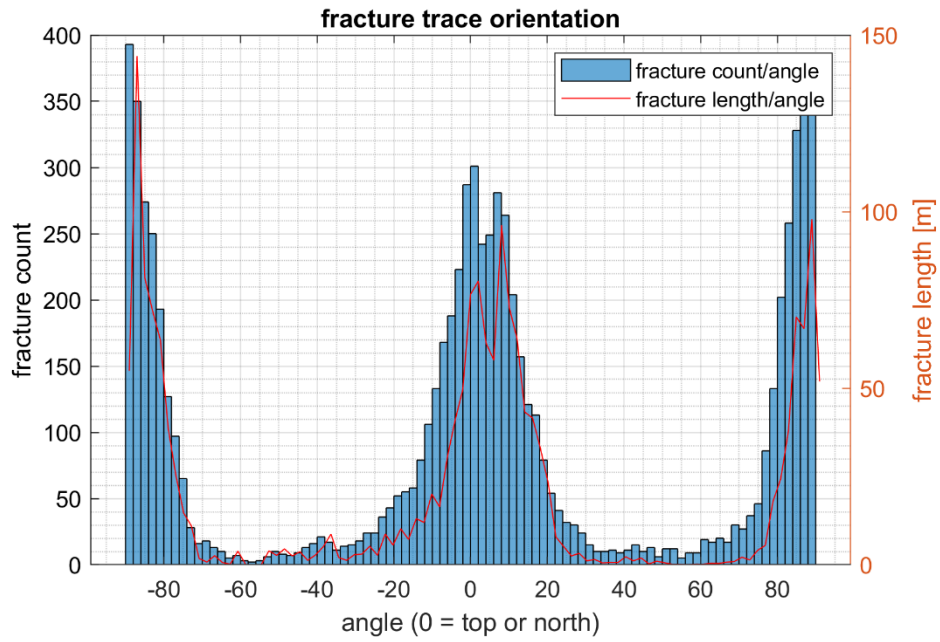


Figura 5.31. Nachylenie spękań w profilu GWp2.

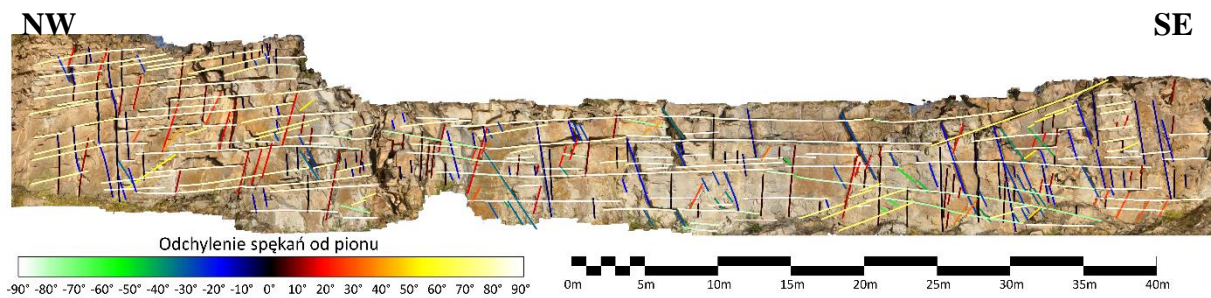


Figura 5.32. Spękania w profilu GWp3 (rzut na płaszczyznę pionową)

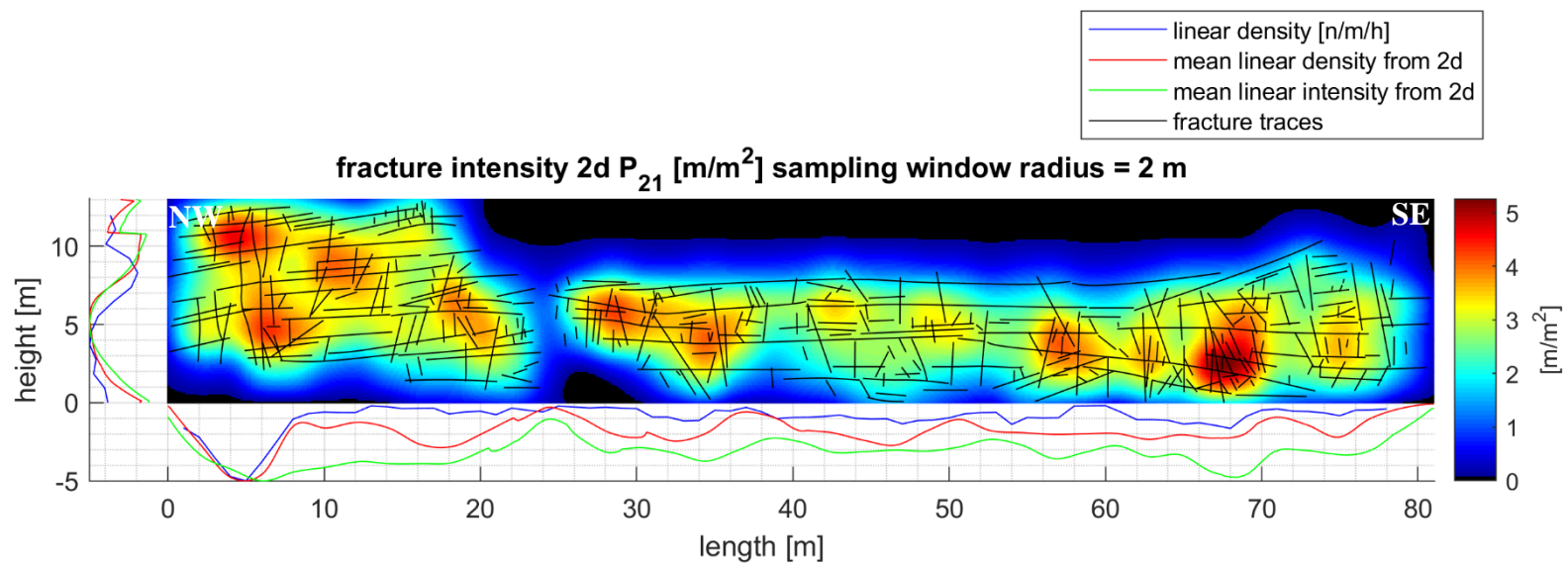
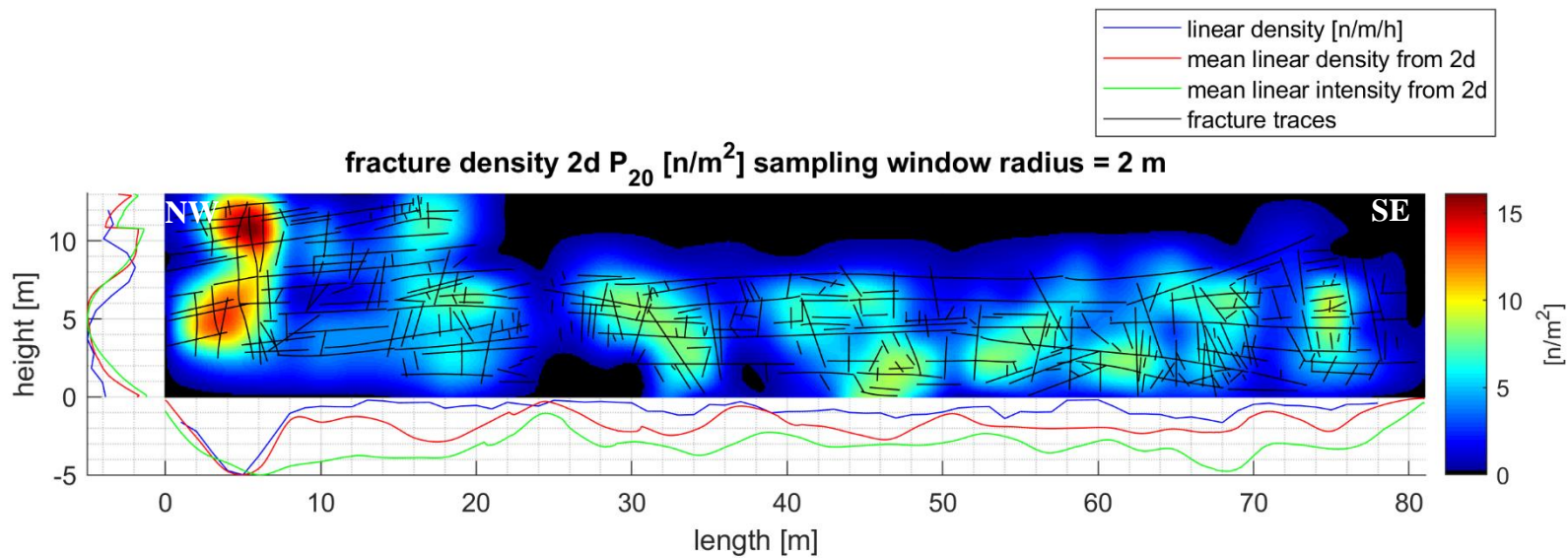


Figura 5.33. Gęstość oraz intensywność spękań w profilu GWp3. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -1,901; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,645; 'linear density poziom' -6,212; 'mean linear density from 2d pion' -0,987; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,613; 'linear density pion' -3,846.

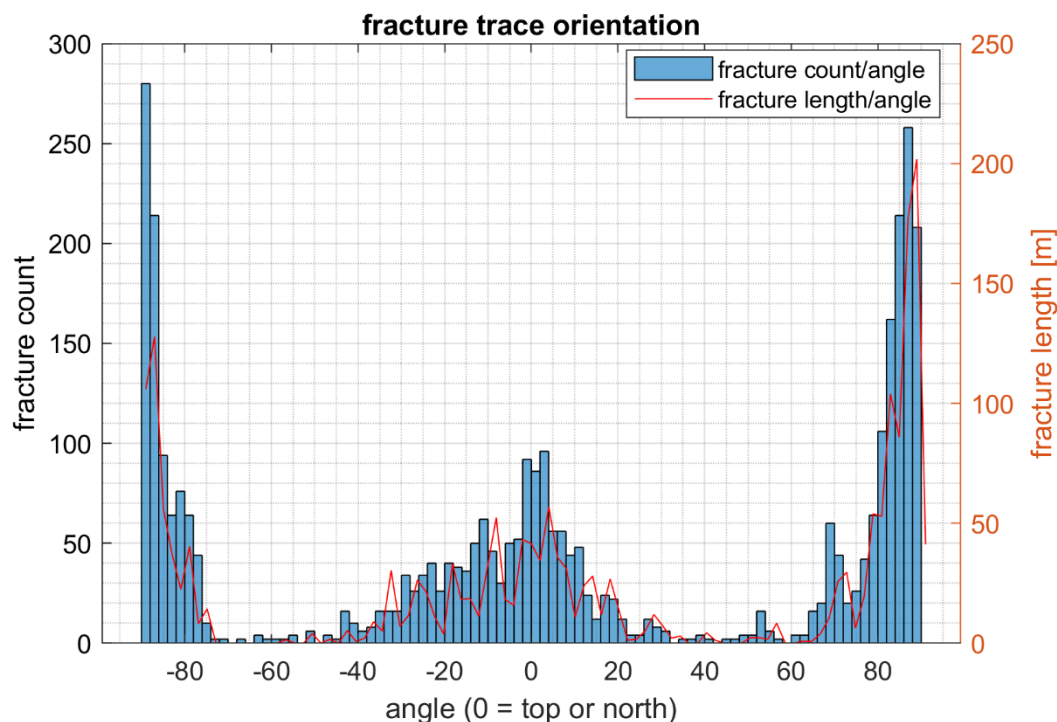


Figura 5.34. Nachylenie spękań w profilu GWp3.

W kamieniołomie Goczaków wykonano 3 profile. Posłużono się przy tym fotogrametrią w wariancie naziemnym (tzn. zdjęcia wykonano z poziomu terenu), wykorzystano aparat fotograficzny Nikon D90 o rozdzielczości 12Mpx. W profilu GWp1 badana ściana jest dobrze wyeksponowana i w znacznej części dostępna do badań bezpośrednich, z wyłączeniem fragmentu przy załamaniu profilu który znajduje się w odległości około 0.5 m od wody. W początkowej części profilu (około 20 m) przy jego załamaniu obserwuje się strefę zniszczoną na skutek odprężania ściany. Bezpośrednio za nią znajduje się załamanie które powoduje że ściana jest prawie prostopadła do profilu. W tych dwóch miejscach badane parametry sieci spękań mogą być obarczone znacznym błędem. W profilu GWp2 również istniała możliwość bezpośredniego podejścia pod ścianę kamieniołomu i w niektórych miejscach ze względu na brak nawisów dostępna była ona do badań bezpośrednich. Nie było też przeszkód do dogodnego wybrania pozycji kamery. Ok. 28 i 38 metra profilu występowały załamania ściany utrudniające obserwacje. Z załamaniem ok. 28 metra związana jest strefa tektoniczna, w której obserwuje się silne zwietrzanie skały co prowadzi do niedoszacowania gęstości oraz intensywności spękań w tym miejscu. W końcowej części profilu zaobserwować można silnie odprężony fragment ściany utrudniający obserwacje i zawyżający ilość obserwowanych struktur. Ściany w profilach GWp1-2 są względnie świeże i zachowane w dobrym stanie, poza wymienionymi przypadkami nie zaobserwowano czynników mogących wpływać na jakość pomiarów. Prostopadły do profili GWp1-2 profil GWp3 zlokalizowany jest wzdłuż znacznie bardziej zwietrziałej ściany. Półka poniżej profilu ma od 7 do 13 m szerokości, co utrudnia dobranie odpowiednich pozycji kamery. Z tych przyczyn profil GWp3 ma gorszą jakość od pozostałych prezentowanych dla tego kamieniołomu i prawdopodobnie wartości gęstości i intensywności są w nim mocno niedoszacowane.

W profilu GWp1 (Figura 5.26, Figura 5.27) na 0 (załamanie ściany), 7, 28, 34, 44, 60 i 68 m notuje się strefy spękań o niewielkiej miąższości (do 1.5 m), często skorelowane z niewielkimi żyłami apłitowymi. Strefy te składają się zazwyczaj z jednego pęknięcia

przewodnego, ciągnącego się przez całą wysokość profilu, oraz kilku pomniejszych spękań towarzyszących. Na 14 m zlokalizowano dużą strefę spękań o szerokości 6 m (Figura 5.35). Strefa ta zbudowana jest z nadrzędnych spękań wychylonych do 15° ku ENE, i wysokości przekraczającej wysokość profilu. Pozostałe spękania w tej strefie są pionowe i wykazują wyraźnie mniejszą wysokość, występują jednak w znacznej ilości. W obrębie tej strefy stwierdzono obecność żył kwarcowych zawierających mineralizację siarczkową.

W profilu GWp2 (Figura 5.29, Figura 5.30) odnotowano strefy zagęszczenia spękań na 8, 17, 26, 58, 68 i 80 m profilu. Najlepiej widoczna z tych stref, znajdująca się na 26 m, składa się z trzech oddalonych od siebie o 1-2 m korytarzy spękań (zbudowanych z równoległych do siebie i przebiegu korytarza, wysokich, pionowych spękań) stowarzyszonych z żyłami aplitowymi (Figura 5.35). Na 28 m znajduje się silnie rozwinięta strefa tektoniczna występująca na załamaniu profilu. Stan i kształt odsłonięcia (silne zwietrzienie, i załamanie profilu) znacząco utrudnia rzetelne wykartowanie spękań w tej strefie. W strefie tej obserwować można przejawy mineralizacji siarczkowej, co wskazuje, że prawdopodobnie jest to kontynuacja strefy z 14 m profilu GWp1. Pozostałe strefy tektoniczne są wąskie (poniżej 2 m); strefa zlokalizowana w okolicach 78 metra mimo swojej niedużej szerokości (2 m) jest znacznie przeszacowana ze względu na występujący w tym miejscu obszar silnego odprężenia ściany kamieniołomu. Pomiędzy 40 a 55 m profilu obserwuje się strefę znacznie słabiej zaangażowaną tektonicznie (charakteryzującą się małą ilością spękań i brakiem stref spękania).



Figura 5.35. Kamieniołom Goczałków, po lewej korytarze spękań widoczne w profilu GWp2, po prawej Strefa spękań widoczna w profilu GWp1

Profil GWp3 (Figura 5.32, Figura 5.33) zlokalizowany został prostopadle do profili GWp1-2. W profilu tym ze względu na zdecydowanie gorszą jakość widoczne są głównie spękania wyższego rzędu, pomniejsze struktury są silnie niedoszacowane, a ich analiza obarczona jest dużym ryzykiem niepewności. Co do detekcji deformacji kruchych domniemywać jedynie można, że na tym kierunku zaangażowanie tektoniczne jest słabsze niż na kierunku prostopadłym. Przejawy występowania stref spękań obserwować można na 5, 34, 58 i 68 m profilu. Stwierdzono niewielkiej miąższości żyły aplitowe.

W kamieniołomie Goczałków zauważyć można dwa rodzaje stref tektonicznych strefy o szerokości kilku metrów (>5 m) oraz niewielkie strefy o małej miąższości (poniżej 2 m). Strefy o biegu NNW charakteryzuje zdecydowanie większa gęstość/intensywność niż struktury o biegu do nich prostopadłym. Na figurze 41 zaznaczono przebieg stref w oparciu o ich lokalizację na profilach. W przypadku strefy S2 ze względu na występującą w niej mineralizację siarczkową można mieć znaczny stopień pewności co do tego, w których miejscach przecina ona profile GWp1 (na 14 m) i GWp2 (na 27 m), a co za tym idzie co do jej biegu. Strefa S1 dobrze widoczna jest w profilu GWp2 (na 16 m profilu) i słabo w profilu GWp1 (na 0 m) ze względu na załamanie ściany w tym miejscu; na profilu GWp1 obserwować można jedynie krawędź strefy S1. Niemniej jednak połączenie tej strefy pomiędzy profilami wydaje się uzasadnione. Odległość pomiędzy wykonanymi profilami wynosi około 90 m, stąd długość tych stref szacować można na minimum 90 m, a prawdopodobnie znacznie więcej. Odminną sytuację zaobserwować można w przypadku strefy S3 którą namierzono jedynie w profilu GWp1, natomiast w profilu GWp2 nie udało się odnaleźć strefy spękań, którą można by z nią jednoznacznie skorelować. Pozwala to domniemywać że strefa ta ma mniejszą długość niż strefy S1 i S2 lub jest to końcowy fragment strefy spękań, której większa część zlokalizowana jest na SSW. Podobnie rzecz ma się z pozostałymi niedużymi strefami spękań oraz żyłami apłitowymi. Na podstawie pomiarów orientacji spękań wykonanych w oparciu o modele 3d (Figura 5.37) wyznaczyć można przewodni zestaw spękań o orientacji około 250/85 (tożsamy z biegiem stref spękań), przy czym w tym zestawie dostrzec można znaczną liczbę spękań o azymucie upadu pomiędzy 240° a 210°, co dowodzi występowania spękań skośnych do wykartowanych stref spękań. Drugim zespołem spękań jest zespół prostopadły o orientacji około 150/90. Pospolicie występują również spękania poziome. W całym kamieniołomie sporadycznie pojawiają się spękania o orientacji 120/60; nie tworzą one jednak żadnych konkretnych stref.

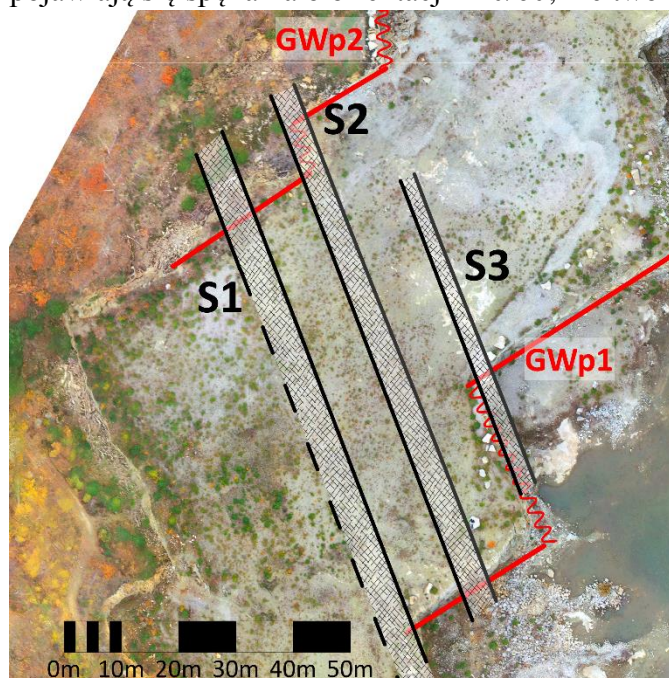


Figura 5.36. Kłm Goczałków, udokumentowane strefy spękań. S1-3 - strefy spękań; GWp1, Gwp2 - profile badawcze; falowaną linią zaznaczono załamania profili,

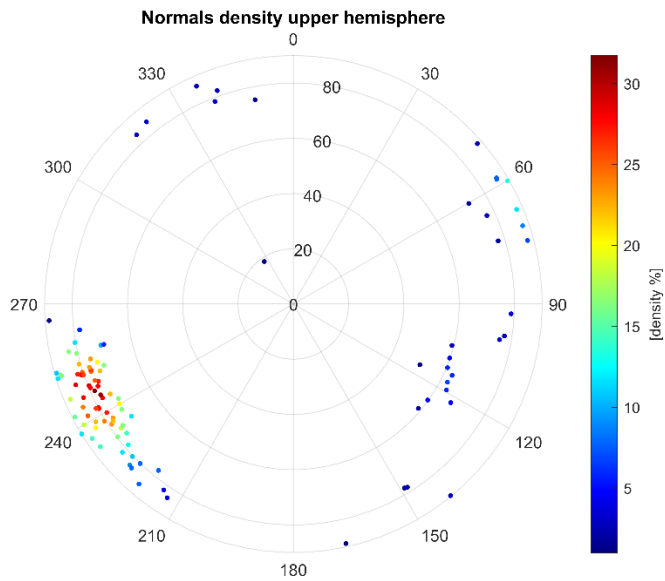


Figura 5.37. Pomiary orientacji spękań w kłm. Goczałków wykonane w oparciu o modele 3D.

Dla zobrazowania schematu rozkładu sieci spękań w tym obszarze wykonano syntetyczny model struktur tektonicznych w kamieniołomie (Figura 5.38). Na modelu przedstawiono gęstość spękań w tle, większą dla spękań i stref spękań o biegu zbliżonym do 340° , występowanie żył aplitowych, oraz spękań skośnych. Zaznaczone struktury nie odpowiadają w szczególności ich rzeczywistemu rozmieszczeniu i skali.

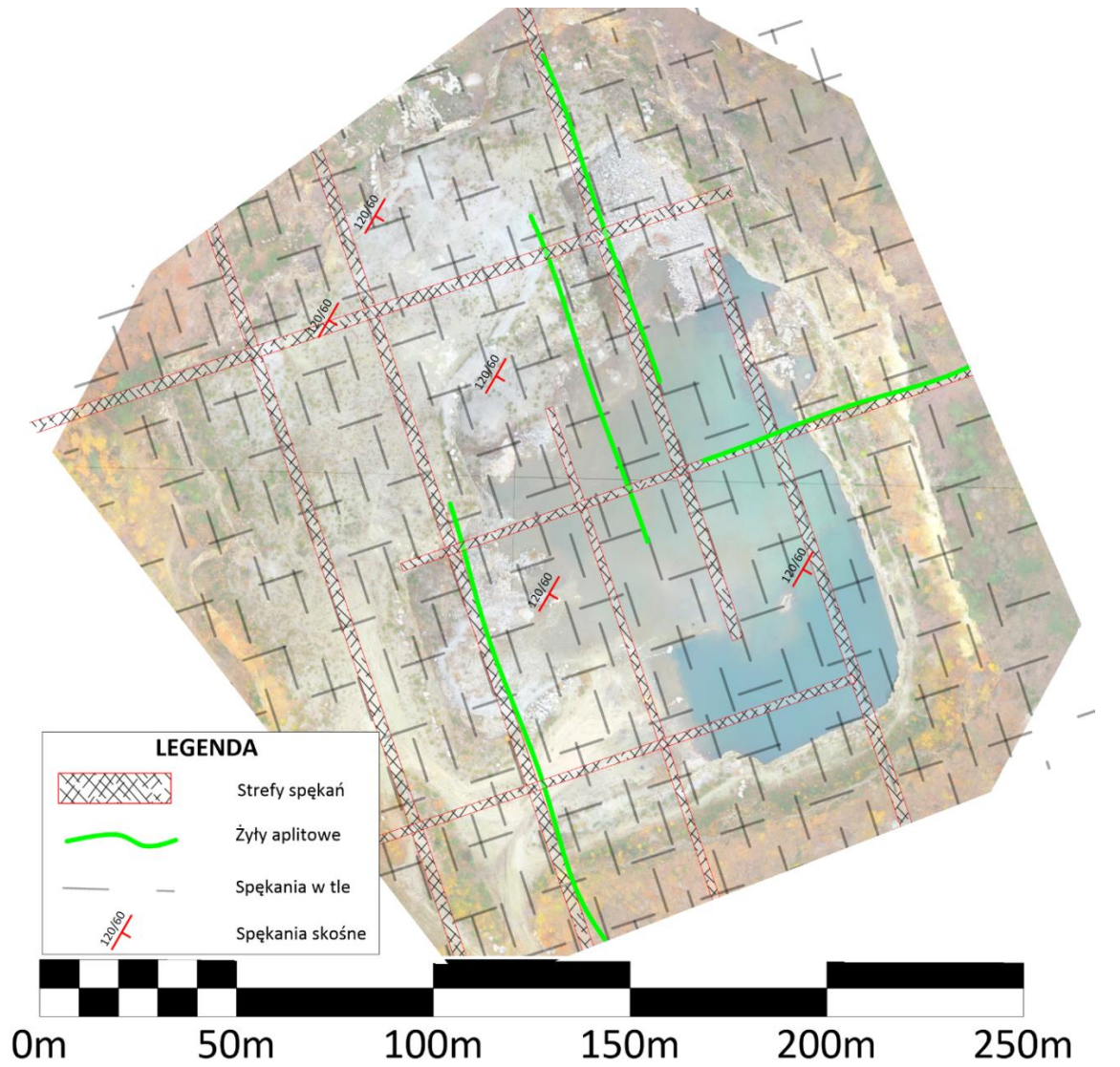


Figura 5.38. Syntetyczny schemat wykształcenia sieci spękań w kamieniołomie Goczalków

Kamieniołom granitu Wieśnica (Figura 5.39)

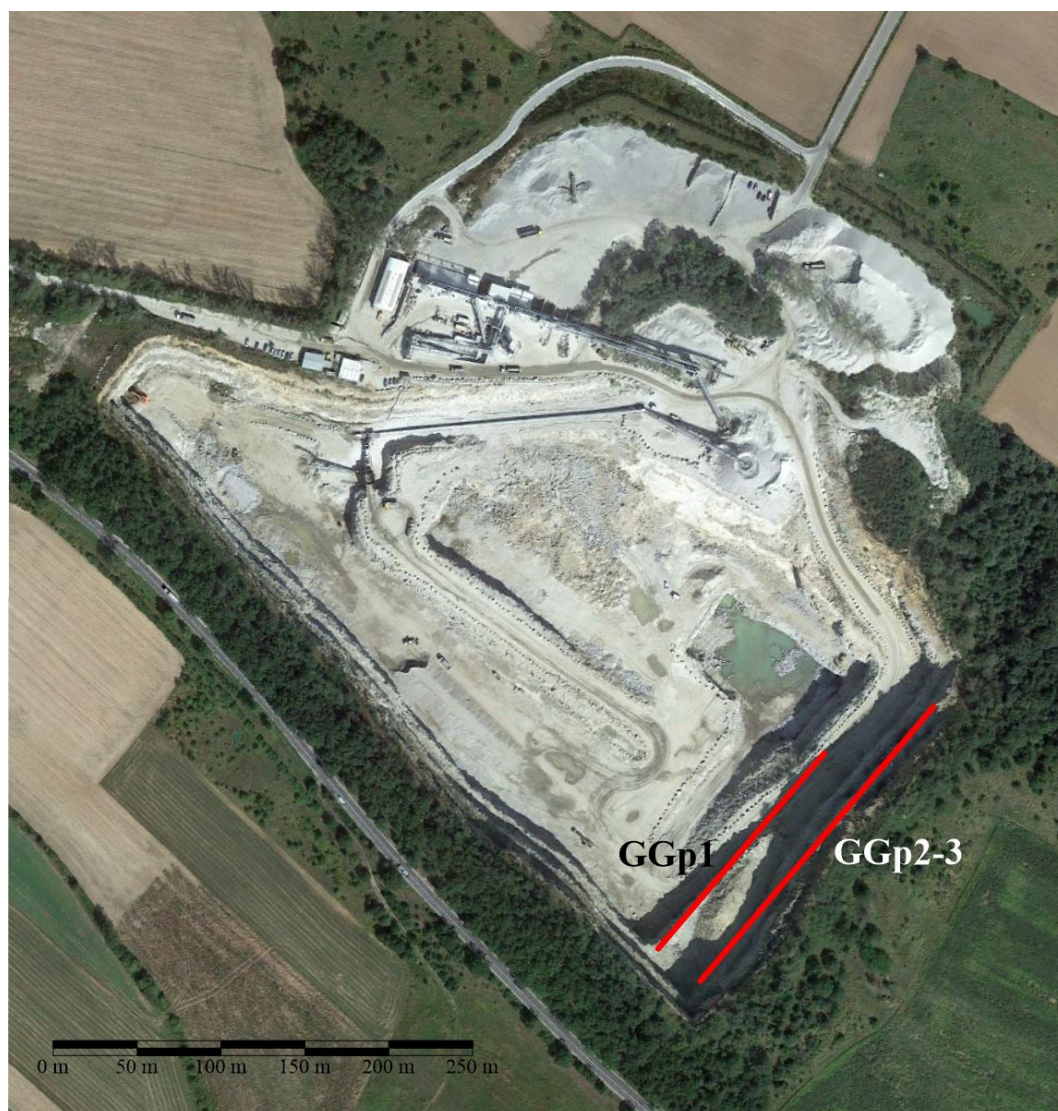


Figura 5.39. Ortofotomapa (źródło: Google Earth) kamieniołomu Wieśnica czerwonymi liniami zaznaczona profile badawcze

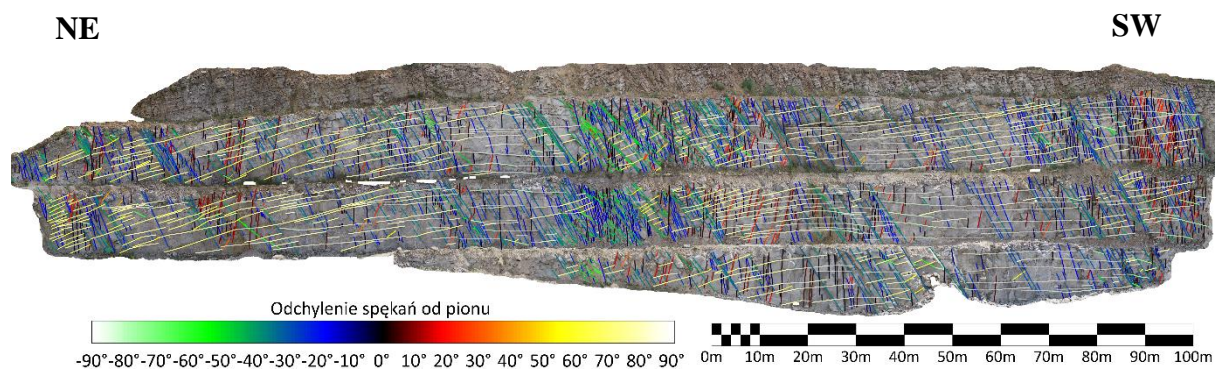


Figura 5.40. Spękania w profilach GGp1-3. (rzut na płaszczyznę pionową)

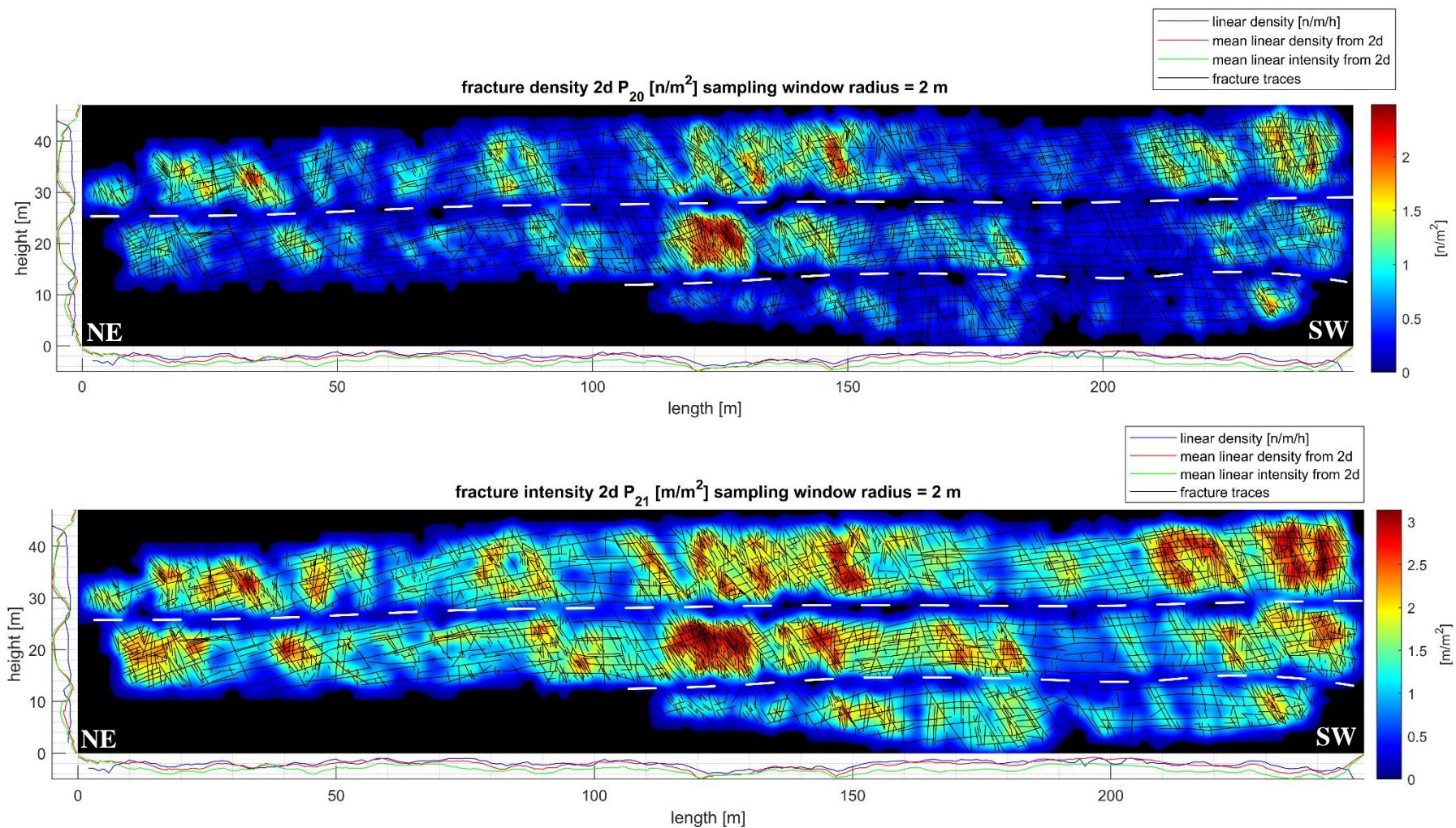


Figura 5.41. Gęstość oraz intensywność spękań w profilach GGp1-3. Białymi przerywanymi liniami rozdzielono poszczególne profile, od dołu GGp1 do GGp3 u góry. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0.209; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0.326; 'linear density poziom' -1.066; 'mean linear density from 2d pion' -0.153; 'mean linear intensity from 2d pion' -0.321; 'linear density pion' -1.805.

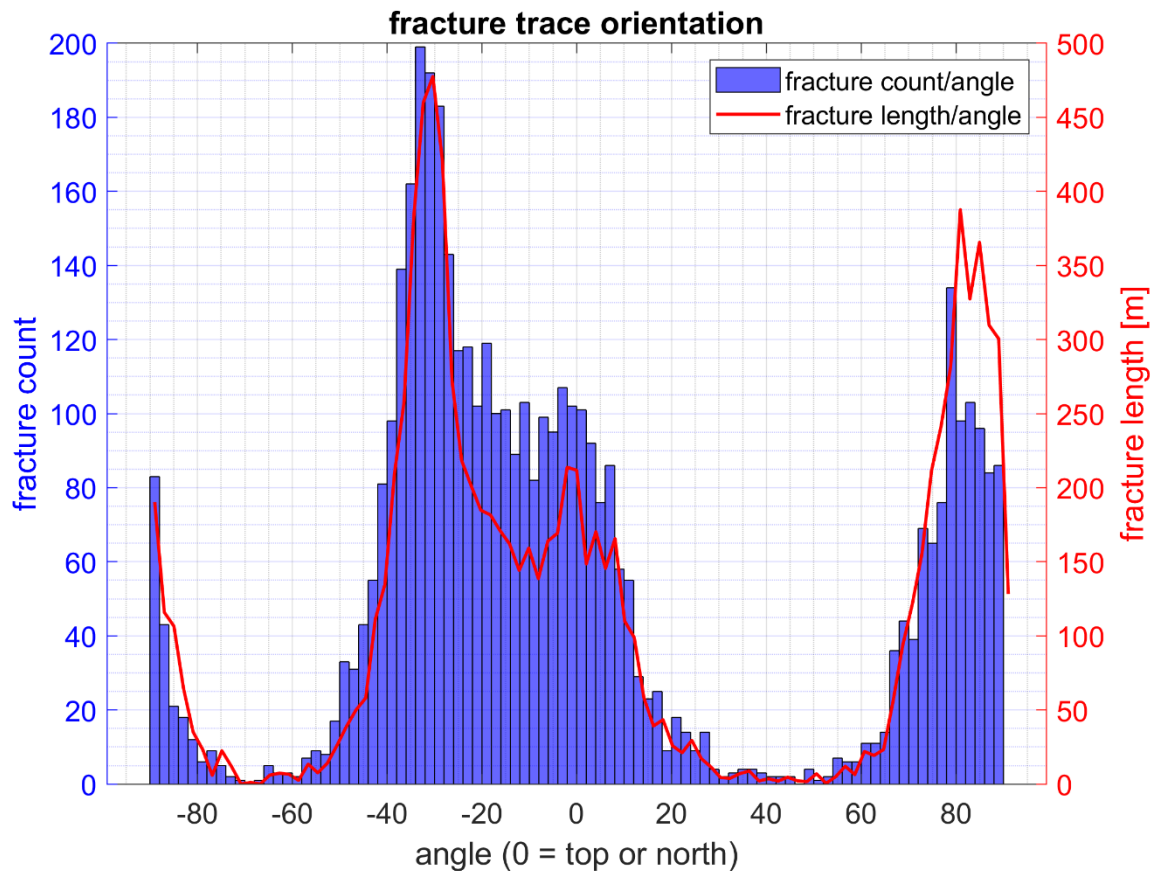


Figura 5.42 Nachylenie spękań w profilach GGp1-3.

W kamieniołomie Wieśnica wykonano trzy profile (GGp1-GGp3) na SW ścianie kamieniołomu. Profile obejmują kolejne trzy poziomy eksploatacyjne poczynając od najniższego nazwanego GGp1. Z powodu ciągłego ruchu maszyn bezpośrednio pod wybranymi do profilowania ścianami kamieniołomu nie istniała możliwości zejścia do kamieniołomu i wykonania bezpośrednich obserwacji. Dlatego całą dokumentację wykonano przy użyciu drona wyposażonego w aparat o rozdzielczości 20 Mpx. Na podstawie dokumentacji z drona wykonano modele 3d oraz profile analizowanego fragmentu kamieniołomu. Eksploatacja w kamieniołomie prowadzona jest metodą strzałową co częściowo zaciera obraz naturalnych spękań zwłaszcza tych mniejszych. W górnych partiach profili obserwuje się strefy odprężenia górotworu objawiające się zwiększoną ilością spękań, zwłaszcza subhoryzontalnych. Podobna sytuacja jest obserwowana w najdawniej eksploatowanych, wysuniętych najbardziej ku NE fragmentach profili pomiarowych GGp2 oraz GGp3. Profile GGp2 oraz GGp3 wykonano wzdłuż, w większości „prostych” ścian nie posiadających znaczących załamań, w profilu GGp1 występuje jedno znaczące złamanie ściany kamieniołomu pomiędzy 185 a 200 metrem profilu (licząc od początku profilu GGp3) (Figura 5.40). Poza wymienionymi powyżej czynnikami mogącymi rzutować na jakość obserwacji profile w tym odsłonięciu cechują się dobrą jakością, co pozwoliło na prowadzenie szczegółowych obserwacji. Ze względu na bardzo zbliżony bieg profilowanych ścian oraz niewielką szerokość pól między nimi (pomiędzy profilem GGp1 a GGp2 około 8 m, a pomiędzy profilami GGp2 a GGp3 około 5 m), przy wykonywaniu profili

gęstości i intensywności spękań nie rozdzielono map spękań (Figura 5.41) na osobne profile; analogicznie postąpiono podczas opisywania profili.

Na podstawie analizowanych danych zaobserwowano ugięcie i wystromienie spękań subhoryzontalnych w NE części profili GGp2 oraz GGp3, które mogą świadczyć o ich odprężeniowym charakterze. Na całej długości analizowanych profili licznie występują „duże”, ciągnące się przez wszystkie trzy profile spękania o orientacji około 225/55. Ze spękaniami tymi często stowarzyszone są wąskie (do 2 m miąższości) korytarze spękań, ujmujące podobnie zorientowane spękania w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Na powierzchniach tych spękań obserwowane jest silne odbarwienie interpretowane jako przejawy wietrzenia związanego z krążeniem wód. Podobnie zorientowane struktury o miąższości do 0.5 m w okolicach 40 i 220 m na profilach GGp2 oraz GGp3 znacząco wyróżniające się barwą od otaczającej skały, interpretować można jako utwory żyłowe lub strefy silnie zmienione na skutek zniszczenia w trakcie uskoku i późniejszego wietrzenia związanego z krążeniem wód podziemnych. W środkowej części analizowanych profili pomiędzy 110 a 170 m z „dużymi” spękaniami o orientacji 225/55 stowarzyszona jest gęsta sieć spękań o orientacji około 75/90. W obszarze tym licznie występują również spękania subhoryzontalne, a całość tej strefy prawdopodobnie nawiązuje swoim biegiem do nadrzędnych spękań o orientacji zbliżonej do 225/55, tworząc szeroką strefę spękań o zróżnicowanej orientacji, co widoczne jest zwłaszcza w profilach GGp2 oraz GGp3. W obrębie tej strefy obserwuje się silne zróżnicowanie zarówno gęstości jak i intensywności spękań (Figura 5.41) związane często z występowaniem dużej ilości pomniejszych spękań zgrupowanych w mniejsze „substrefy”, co może świadczyć o lokalnym silniejszym zaangażowaniu tektonicznym związanym z rozwojem stref uskoku. W najbardziej wysuniętym na SW fragmencie profilowanej ściany, od 220 m do końca profilu (Figura 5.41), zaobserwować można analogiczną sytuację, w której szeroka strefa spękań stowarzyszona jest ze spękaniami o orientacji 225/55 i uzupełniona o pomniejsze spękania, głównie o orientacji 75/90. W obrębie strefy spękań na SW końcu profili GGp1-3 zaczyna się prostopadła do nich ściana kamieniołomu o biegu SE-NW i długości około 500 m. Na całej długości tej ściany obserwuje się liczne spękania o orientacji około 225/55, co świadczy że strefa ta ma znaczną długość, przekraczającą 500 m.

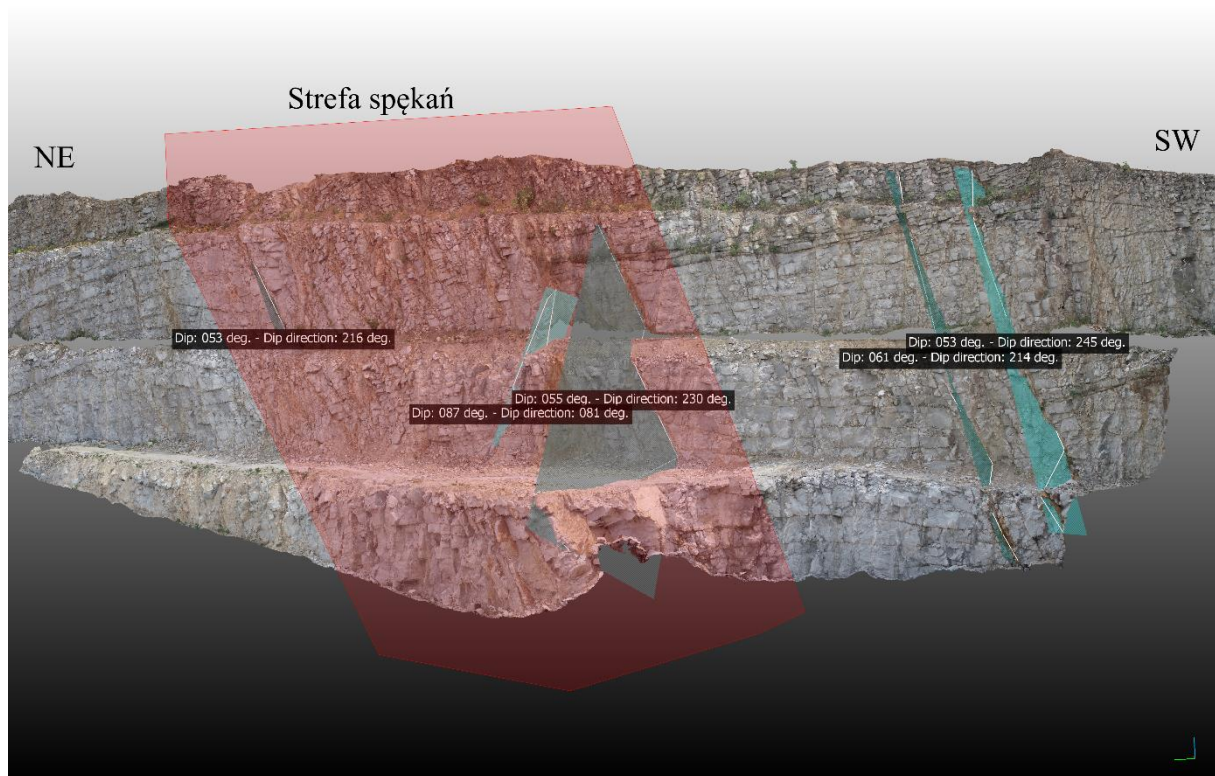


Figura 5.43. Obraz kamieniołomu Wieśnica na podstawie modelu 3d. Strefa spękań oraz „duże” spękania (o orientacji ok. 225/55) ciągnące się przez profile GGp1 do GGp3 oraz mniejsze spękania (ok. 75/90).

W kamieniołomie Wieśnica dominują spękania o orientacji 225/55 oraz 75/90. Podrzędnie wyróżnić można również słabo widoczny zespół spękań o orientacji ok. 160/90, tworzący wraz z zespołem 75/90 system ortogonalny, który - uzupełniony o spękania subhoryzontalne - tworzy typową dla intruzji granitowych sieć spękań (Figura 5.44).

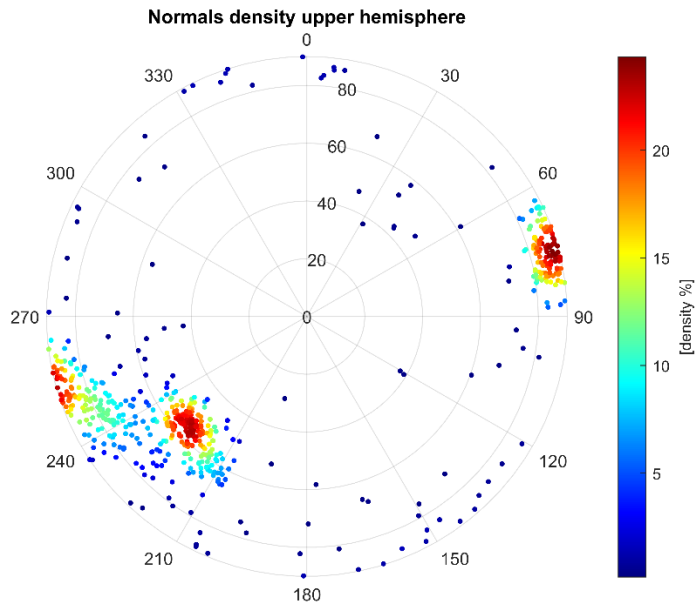


Figura 5.44. Pomiary orientacji spękań w kamieniołomie Wieśnica, wykonane w oparciu o model 3D.

Porównanie obserwacji z kamieniołomu Wieśnica z obserwacjami z oddalonego o około 1 km na SE kamieniołomu Goczałków pokazuje, że główne kierunki spękań tworzące system ortogonalny 160/90 oraz 75/90 pokrywają się w obu kamieniołomach. Jednak zasadniczą różnicę pomiędzy obu kamieniołomami stanowi silnie rozwinięty zespół spękań 225/55 obecny jedynie w kłm. Wieśnica (Figura 5.37, Figura 5.44). Stąd zespół spękań 225/55 interpretowany może być jako lokalna cecha kłm. Wieśnica, związana być może z uskokowaniem. Brak widocznych reperów w zebranym materiale nie pozwala jednak na jednoznaczne określenie wielkości ani kierunku domniemanego przemieszczenia.

Kamieniołom granitu w Górcie Sobockiej (Figura 5.45).

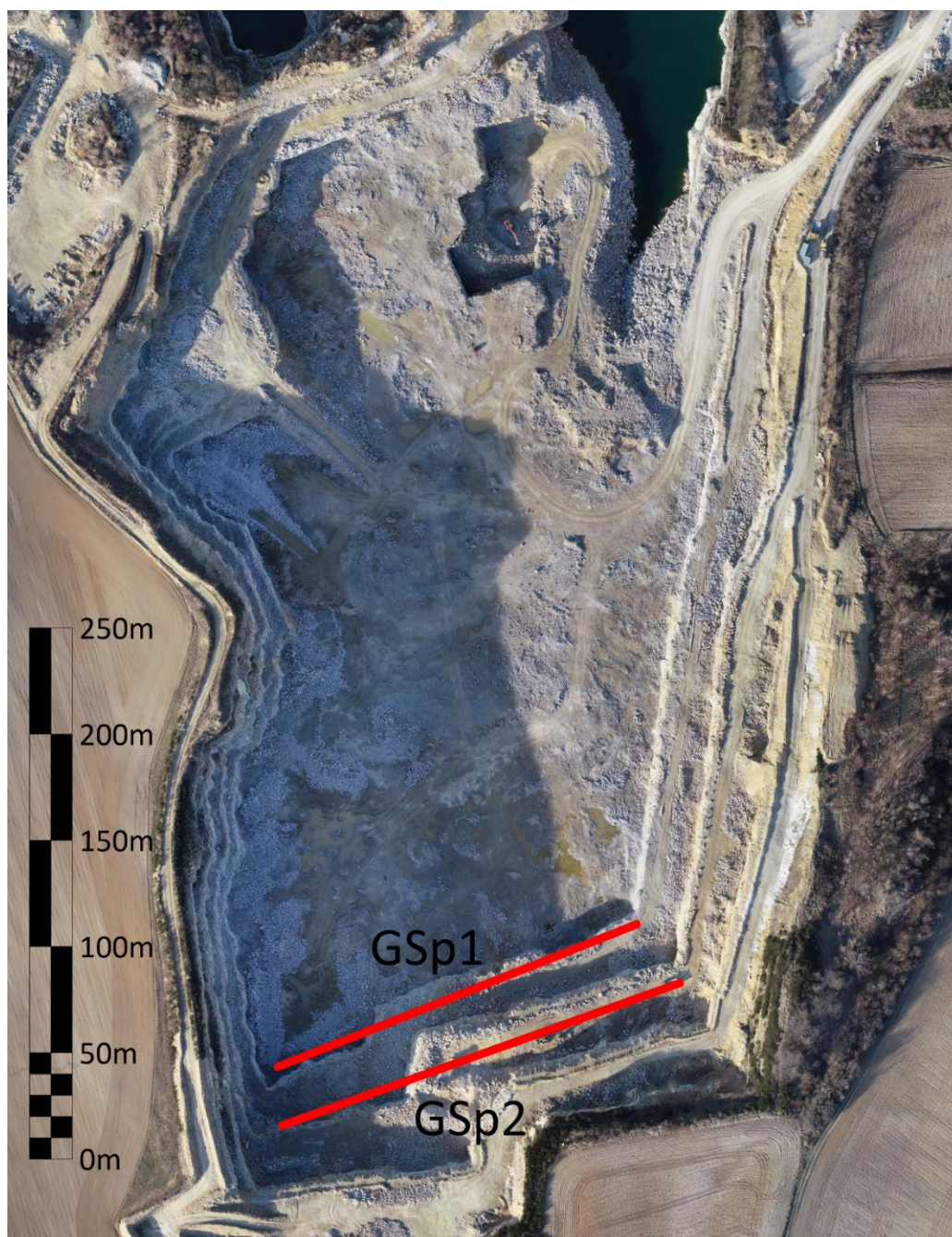


Figura 5.45. Ortofotomapa kamieniołomu w Górcie Sobockiej wykonana przy użyciu UAV, czerwonymi liniami zaznaczono profile badawcze

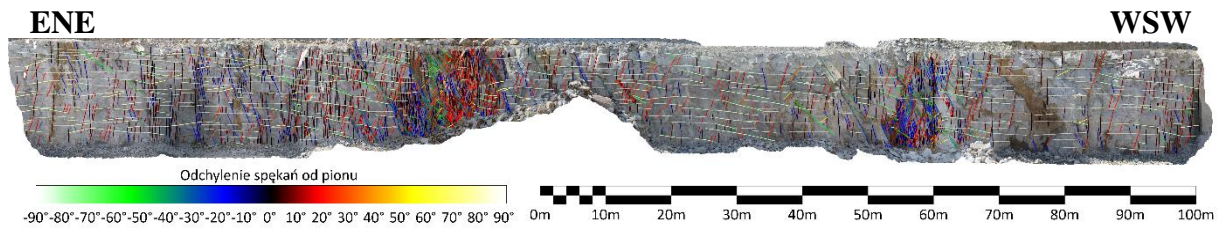


Figura 5.46. Spękania w profilu GSp1 (rzut na płaszczyznę pionową)

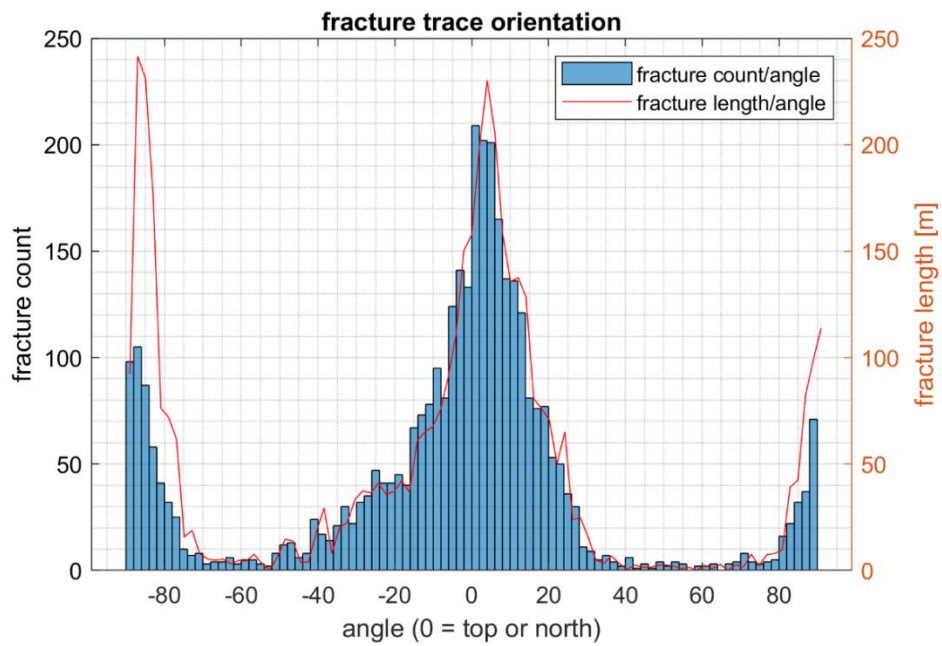


Figura 5.47. Nachylenie spękań w profilu GSp1

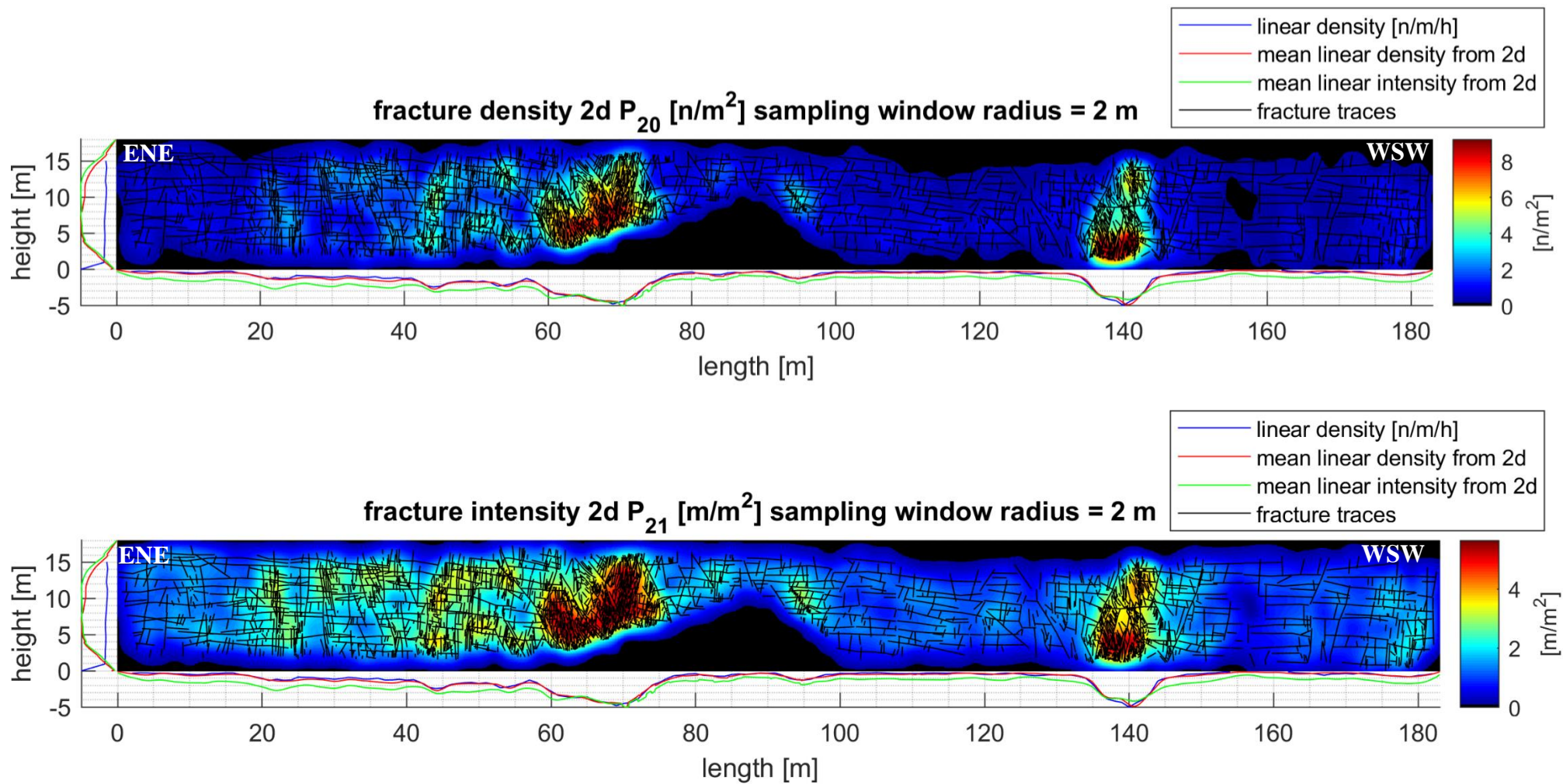


Figura 5.48. Gęstość oraz intensywność spękań w profilu GSpl. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,995; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,741; 'linear density poziom' -3,874; 'mean linear density from 2d pion' -0,335; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,376; 'linear density pion' -4,150.

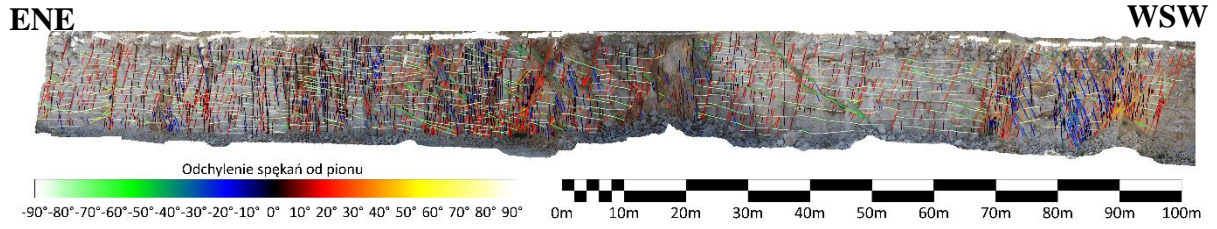


Figura 5.49. Spękania w profilu GSp2 (rzut na płaszczyznę pionową)

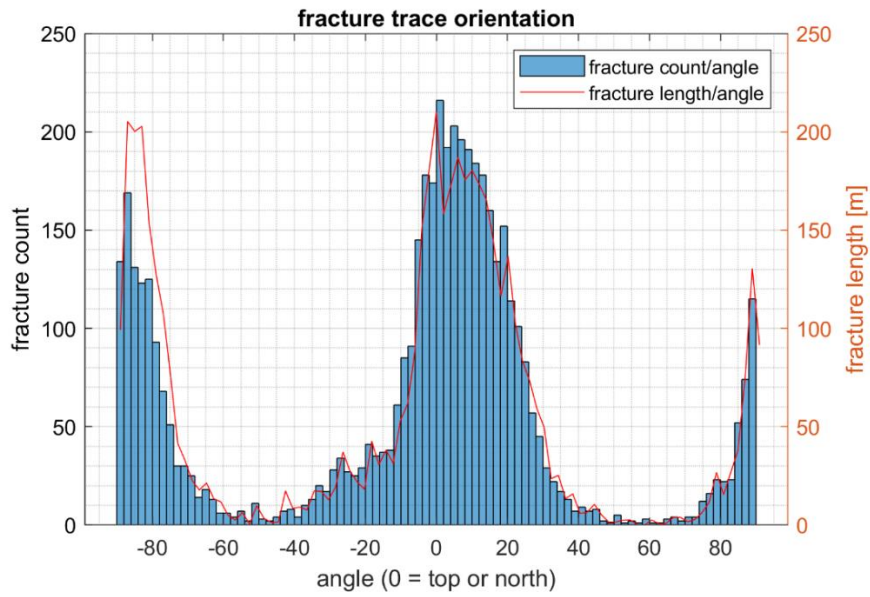


Figura 5.50. Nachylenie spękań w profilu SGp2

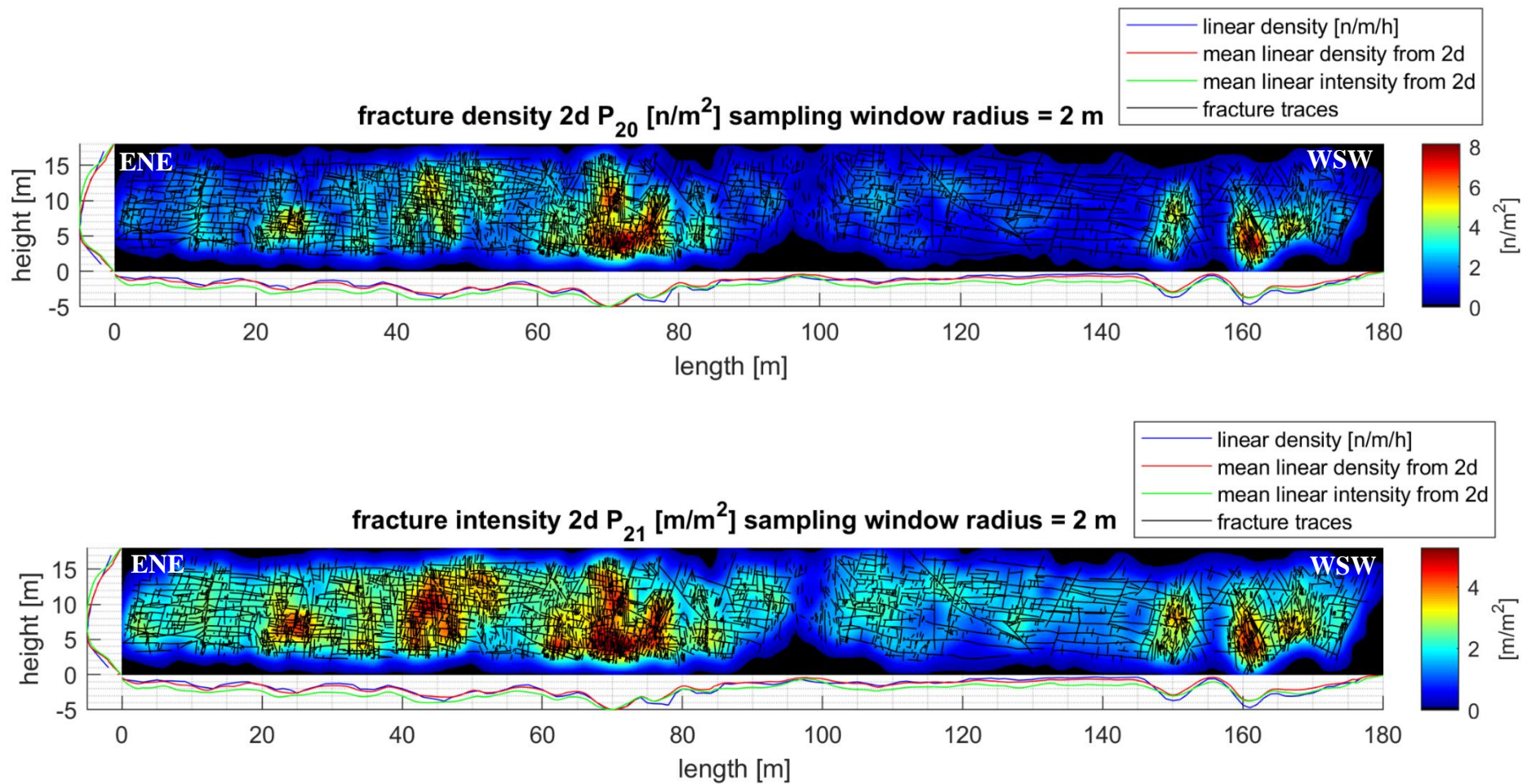


Figura 5.51. Gęstość oraz intensywność spękań w profilu GSp2. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0,898; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0,689; 'linear density poziom' -2,776; 'mean linear density from 2d pion' -0,476; 'mean linear intensity from 2d pion' -0,460; 'linear density pion' -1,936.

W kamieniołomie Górka Sobocka wykonano dwa profile o takim samym przebiegu, na najniższym poziomie (GSp1) oraz na poziomie wyższym (GSp2). Do akwizycji zdjęć wykorzystano zdalnie sterowanego drona wyposażonego w zintegrowaną kamerę o rozdzielczości 20 Mpx. Zastosowanie drona umożliwiło wybranie optymalnych pozycji kamer. Ze względu na sposób prowadzenia eksploatacji i przeznaczenie urobku (kruszywo pozyskiwane metodą strzałową) w obu profilach widoczna jest duża liczba spękań. Można zakładać, że część z nich jest efektem prowadzenia prac strzałowych, co prowadzi do ogólnej nadreprezentacji spękań w profilach. Z drugiej strony, w obrębie stref tektonicznych obserwuje się silnie zwietrzenie, skały prawdopodobnie na skutek przepływu wód. Profil GSp1 ulokowano na aktualnie eksploatowanej ścianie, stąd cechuje go lepsza jakość niż profil GSp2. Ściana, na której ulokowano profil GSp2, jest w nieco gorszym stanie niż poprzednia, co widoczne jest między innymi na 95 m profilu. Przebiegająca tam strefa jest na tyle zwietrzała, że prawie niemożliwe było wykartowanie poszczególnych spękań/uskoków w jej obrębie, przez co na profilach wykazuje anormalnie niską gęstość i intensywność spękań. Oba profile zlokalizowane są na ścianach z załamaniami, w których profil jest prawie prostopadły do ściany kamieniołomu. Załamania te zlokalizowane są profilu GSp1 około 127-133 m, w profilu GSp2 około 85-95 m profilu. W tych interwałach parametry sieci spękań obciążone są zwiększoną niepewnością pomiaru. Ze względu na prowadzone prace strzałowe na ścianach istnieje duże ryzyko obrywu skalnego, stąd obie profilowane ściany nie są dostępne do bezpośrednich badań.

Profil GSp1 (Figura 5.46, Figura 5.48, Figura 5.47) zlokalizowany jest na najniższym poziomie kamieniołomu. W profilu tym widoczne są dwie duże strefy tektoniczne (Sa1 pomiędzy 58 a 73 m profilu oraz Sa2 pomiędzy 135 a 145 m profilu); szerokość tych stref wynosi, odpowiednio, 15 oraz 10 m. W obu strefach zwłaszcza na powierzchniach spękań widoczne jest odbarwienie skały. W strefie Sa1 obserwuje się główne powierzchnie o orientacji 290/60, ciągnące się zazwyczaj przez całą wysokość profilu, podrzędnie występują powierzchnie o orientacjach 95/90 oraz 50/80. Spękania występujące na wszystkich wymienionych kierunkach cechują się dużą zmiennością orientacji w obrębie wydzielonych zespołów (Figura 5.52). Część powierzchni, zwłaszcza związana z kierunkami 290/60 oraz 95/90, przejawia charakter listryczny. W WSW części strefy Sa1 obserwowana jest silnie zniszczona strefa o białym zabarwieniu i miąższości około 0.5 m, prawdopodobnie stanowiąca strefę głównego ślizgu (ang. *fault core*) (Figura 5.53). Spękania o orientacji 105/90 tworzą bardzo gęsty zespół, zwłaszcza w okolicach „strefy głównego ślizgu” oraz w ENE jej części. W strefie Sa1 nie odnotowano widocznych markerów mogących świadczyć o zwrocie przemieszczenia, jakkolwiek w blokach skalnych pod ścianą obserwuje się liczne rysy ślizgowe.

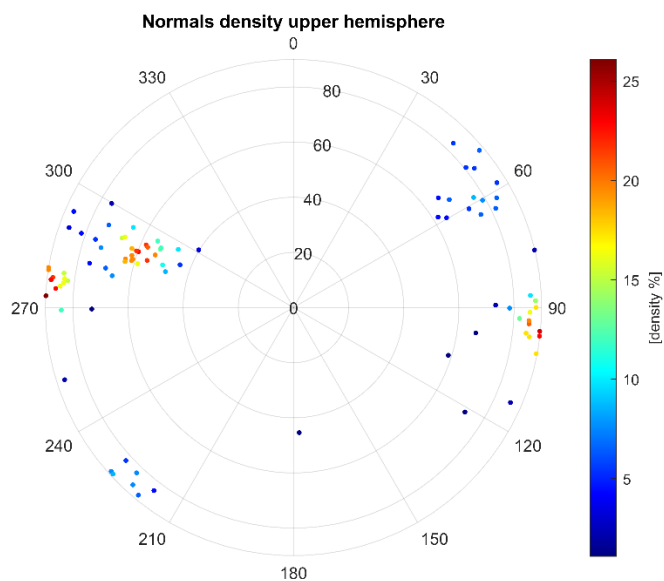


Figura 5.52. Pomiary orientacji spękań w strefie S1 wykonane w oparciu o modele 3D.



Figura 5.53. Kłm w Górze Sobockiej, zdjęcie strefy Sa1. Prawdopodobna strefa głównego przemieszczenia uskoku, zaznaczona na czerwono

W strefie Sa2 poszczególne powierzchnie spękań są gorzej wyeksponowane, przez co pomiar ich orientacji jest utrudniony. Dostrzec można nadrzędne (kontynuujące się przez całą wysokość profilu) powierzchnie spękań o orientacji około 75/60 oraz znacznie gęstsze, ale kończące się na spękaniach poprzedniego zespołu, spękania o orientacji zbliżonej do 290/60. W WSW części strefy Sa2 znajduje się strefa silnego zniszczenia skał, zabarwiona na czerwono (wskazująca na obecność związków żelaza), prawdopodobnie również jest to strefa głównego ślizgu (Figura 5.54). W strefie Sa2 notuje się wypływ wód, co świadczy o jej, zwiększonej względem otoczenia, wodoprzewodności.



Figura 5.54. Kłm w Górcie Sobockiej, strefa Sa2 w profilu GSp1. Z prawej strony strefa silnego zniszczenia (prawdopodobnie strefa głównego ślizgu) o czerwonym zabarwieniu. Ciemny obszar po prawej stronie związany jest z wypływem wód.

Pomiędzy 20 a 55 m profilu obserwowane są pomniejsze strome strefy spękania o niejednoznacznym charakterze, stref spękań lub korytarzy spękań. Zlokalizowane są one około 22, 30, 43 oraz 47 m profilu. Szerokość tych stref nie przekracza 2 m. Około 95 m profilu zaobserwowano niewielkiej miąższości strefę spękań o charakterze kulisowym (ang./fr. *en echelon*); związana jest ona z niewielkim uskokiem o orientacji prawdopodobnie zbliżonej do 290/60 lub dystalnym fragmentem większego spękania i obecnością struktur rąbkowych (ang. *hackle fringe*). Niewielką strefę zagęszczenia spękań odnotowano również w okolicach 180 m profilu. Pomiędzy 30 a 90 m profilu zaobserwowano występowanie dużych spękań o orientacji 290/60; spękania te można śledzić kolejno na przestrzeni 2-3 poziomów kamieniołomu (Figura 5.55).



Figura 5.55. Kłm w Górcie Sobockiej, widok na powierzchnie o orientacji 290/60 (jedna podkreślona na czerwono). Obraz wyrenderowano na podstawie modelu 3d kierunku patrzenie zgodny z biegiem spękań 290/60 (widok skośny do ściany).

Profil GSp2 (Figura 5.49, Figura 5.51) wykonano na tej samej ścianie kamieniołomu co profil GSp1 jednak na jego wyższym poziomie. W profilu widoczne są 4 główne strefy spękań, zlokalizowane pomiędzy: 65 a 80 (Sb1), 94 a 102 (Sb2), 147 a 153 (Sb3) oraz 158 a 170 (Sb4) m profilu. Strefy Sb1 i Sb2 prawdopodobnie reprezentują jedną strefę a ich pozorne rozczłonkowanie związane jest z intersekcją strefy i ściany wyrobiska, oraz obecnym w tym miejscu załamaniem ściany kamieniołomu, ewentualnie rozgałęzieniem strefy spękań. Podobnie rzecz ma się ze strefami Sb3 i Sb4, jakkolwiek trudno znaleźć obserwacje bezsprzecznie potwierdzające lub zaprzeczające tej hipotezie. W strefie Sb2 obserwuje się silne zwietrzenie skał, uniemożliwiające zlokalizowanie poszczególnych spękań na profilu. Podobnie jak na profilu GSp1 w pierwszej części profilu, pomiędzy 10 a 50 m zaobserwować można pomniejsze strefy spękań lub korytarze spękań zlokalizowane na 12, 22, 35 oraz 42 m profilu. Strefa zlokalizowana 42 m jest silnie podkreślona w wyniku występowania dużej ilości spękań interpretowanych jako związane z prowadzonymi robotami strzałowymi, tudzież z lokalnym większym odprężeniem ściany kamieniołomu. W strefach Sb1 i Sb2 występują struktury analogiczne do obserwowanych w strefie Sa1, z kolei zaś strefy Sb3 i Sb4 wykazują podobieństwo do strefy Sa1.

W kamieniołomie stwierdzono występowanie ortogonalnego systemu spękań o orientacji zespołów 60/85 (dominujący) oraz 150/80 (podrzędny). Dodatkowo stwierdzono występowanie zespołów spękań o orientacjach 270/85, 288/65, 240/65, związanych z strefami spękań, podrzędnie występują również spękania o orientacji zbliżonej do 170/80, jednak trudne są do jednoznacznego oddzielenia od spękań zespołu 150/80 (Figura 5.56). Pospolicie występują również spękania subhoryzontalne.

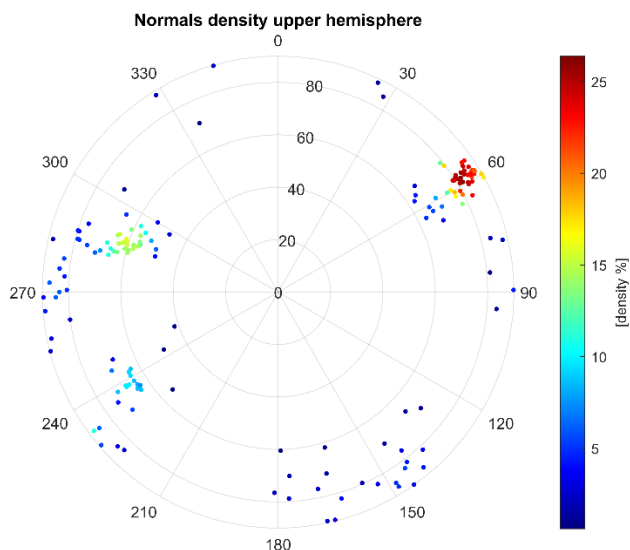


Figura 5.56. Pomiary orientacji spękań w kłm. w Górcie Sobockiej wykonane w oparciu o modele 3D.

W wykonanych profilach występują struktury o dwojakim charakterze: (a) niewielkie strefy lub pojedyncze spękania, które łatwo można śledzić i z dużym prawdopodobieństwem połączyć pomiędzy profilami oraz (b) większe strefy, dla których ze względu na nieoczywisty przebieg granic trudno jest wyznaczyć generalny bieg. W celach interpretacji orientacji wykartowanych struktur wykorzystano model 3d obejmujący ściany objęte profilami GSp1 i GSp2 oraz ścianę na poziomie ponad profilem GSp2 (Figura 5.57). Strefy (sm1 i sm2) o niewielkiej szerokości (poniżej 2 m) zlokalizowane są na 7 i 30 m profilu SGp1 oraz na 22 i 43 m profilu SGp2. Ze względu na niewielką miąższość za punkty reperowe do wyznaczenia orientacji stref przyjęto ich środki. W strefach tych dominują spękania o orientacjach zbliżonych do 288/65 oraz 170/80, a więc w obu przypadkach skośne do wytyczonych orientacji tych stref tektonicznych. Orientacja strefy sm3 została wytyczona na podstawie jej granicy, co skutkuje dużą niedokładnością pomiaru. Strefa ta widoczna jest w profilu GSp2 (na ok. 150 m profilu) oraz na wyższym poziomie kamieniołomu (nieobjętym profilowaniem), jednak w profilu GSp1 brak jej odpowiednika. Prawdopodobnie wyklinowuje się ona lub łączy ze strefą c2 (na, około 140 metrze profilu GSp1) na figurze Figura 5.57 oznaczono to przerywaną linią. W strefie c1 (65 m profilu GSp1 oraz 70 m profilu GSp2) jako reper wykorzystano prawdopodobną powierzchnię głównego ślizgu, w strefie tej występują zespoły spękań o orientacjach 95/90, 50/80 oraz 290/60. Z ostatnim z tych zespołów spękań stowarzyszone są „duże” spękania przecinające nieraz 2 lub 3 poziomy kamieniołomu. Ze względu na dużą niepewność co do przebiegu granic tej strefy, jej orientację określono na podstawie orientacji prawdopodobnej strefy głównego ślizgu (67/76). Wyznaczenie szerokości tej strefy jest problematyczne - częściowo ze względu na załamania ściany kamieniołomu występujące w profilu GSp2 oraz w na ścianie powyżej. Z tej przyczyny, dla omawianej strefy można przedstawić trzy interpretacje: (a) strefa ta wykazuje dużą zmienność szerokości (jej zasięg, byłby wtedy tożsamy z zielonym poligonem na figurze Figura 5.57, (b) zwiększona szerokość strefy c1 na wyższych poziomach kamieniołomu związana jest z jej połączeniem z inną strefą spękań (jej zasięg, byłby wtedy ograniczony do

czerwonej przerywanej linii, a pozostała część stanowiłaby część innej strefy spękań), oraz (c) zwiększona szerokość na wyższych poziomach jest pozorna, związana z efektem intersekcyjnym i występowaniem znacznej ilości „dużych” spękań o orientacji 290/60 (wtedy zasięg tej strefy również był by ograniczony do przerywanej czerwonej linii, jednak pozostała część nie powinna być uznana za strefę spękań. Dla strefy c2 (140 m na profilu GSp1 oraz 160 m na profilu GSp2) za reper przyjęto potencjalną powierzchnię głównego ślizgu ze względu na jej czerwone zabarwienie, Stanowi ona jeden z pewniejszych reperów umożliwiających śledzenie tej struktury. W strefie tej stwierdzono występowanie spękań o orientacjach 75/60 oraz 290/60, czyli skośnych do przebiegu strefy.

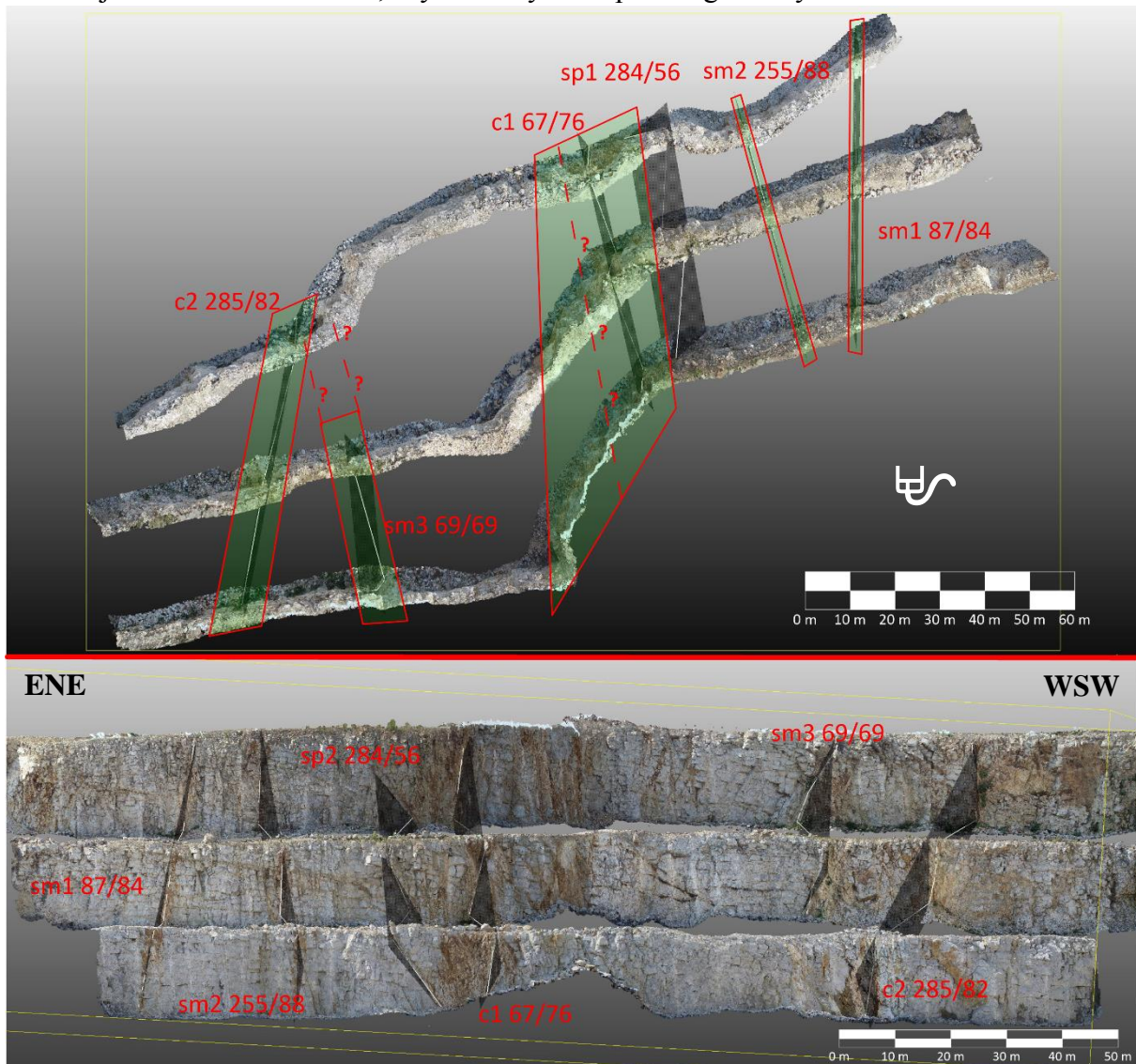


Figura 5.57. Model 3d ścian wykartowanych w kamieniołomie w Górze Sobockiej. U góry rzut od góry, następnie kolejno od góry: ściana profilu GSp1, GSp2, ściana bez szczegółowego profilu. U dołu: rzut od „wnętrza kamieniołomu”, podobny do rzutu w którym wykonano profile. sm1 i sm2 - pomniejsze strefy spękań; sp1 - „duże” spękanie o orientacji 284/56; c1 c2 - prawdopodobne strefy głównego ślizgu; sm3 – strefa spękań o trudnym do zdefiniowania przebiegu. Na czarno zaznaczono wykartowane powierzchnie możliwe do wiarygodnego skorelowania pomiędzy profilami; na zielono strefy spękań; linią przerywaną i znakami zapytania - prawdopodobne granice stref spękań.

Kamieniołom w Strzelinie (Figura 5.58)



Figura 5.58. Ortofotomapa kamieniołomu w Strzelinie wykonana przy użyciu UAV, czerwonymi liniami zaznaczono profile badawcze

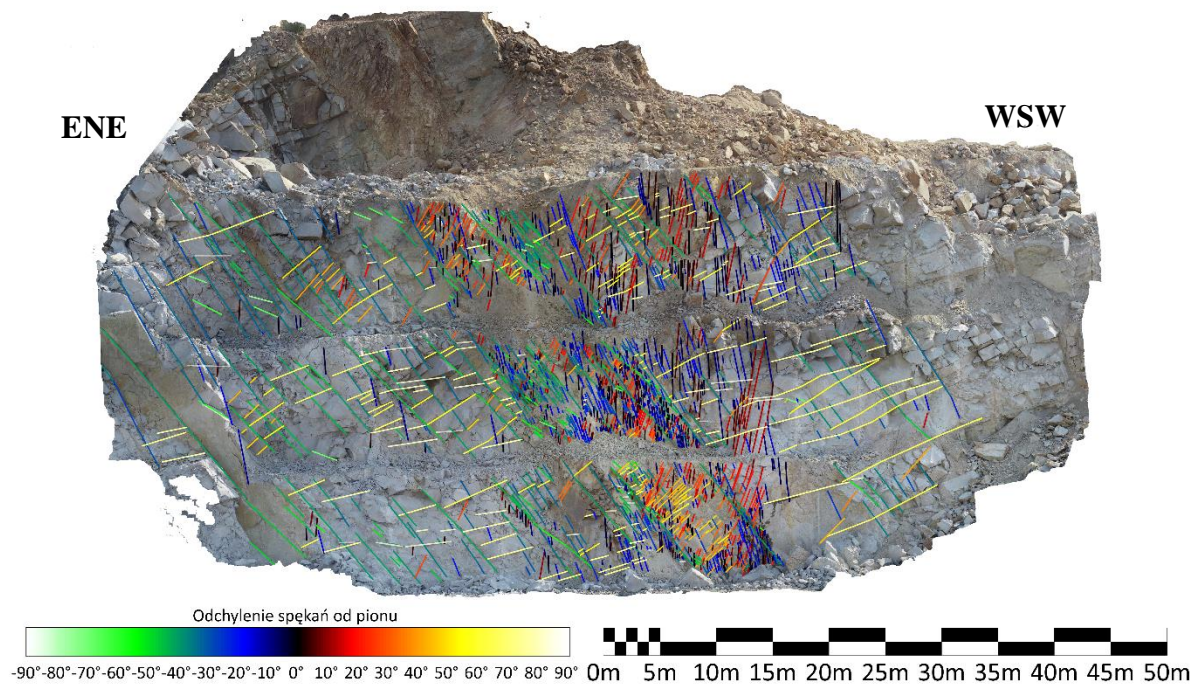


Figura 5.59. Spękania w profilach Sp1-3 (rzut na płaszczyznę pionową)

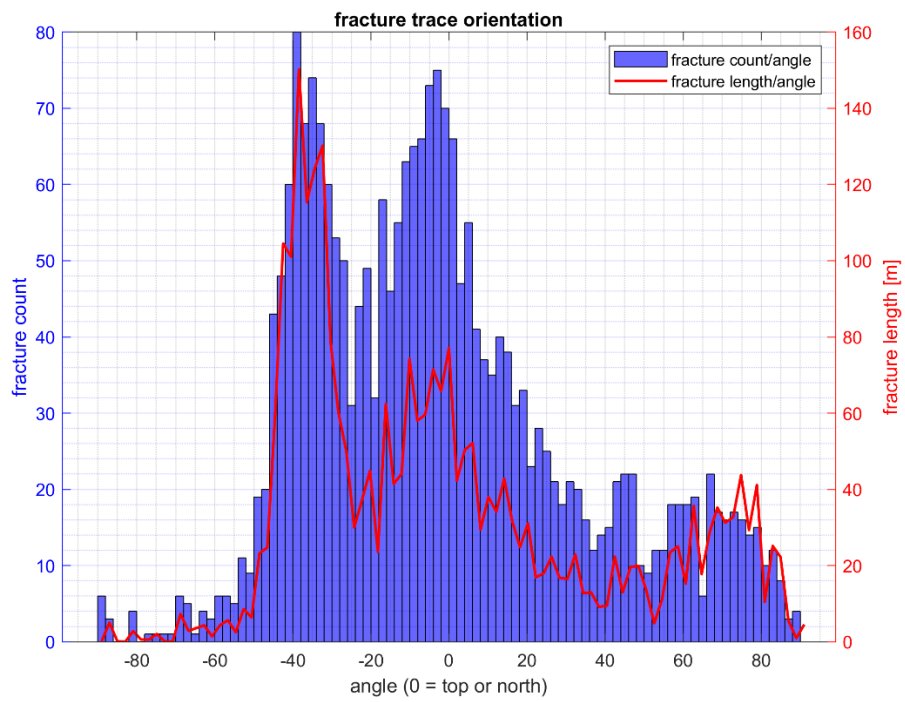
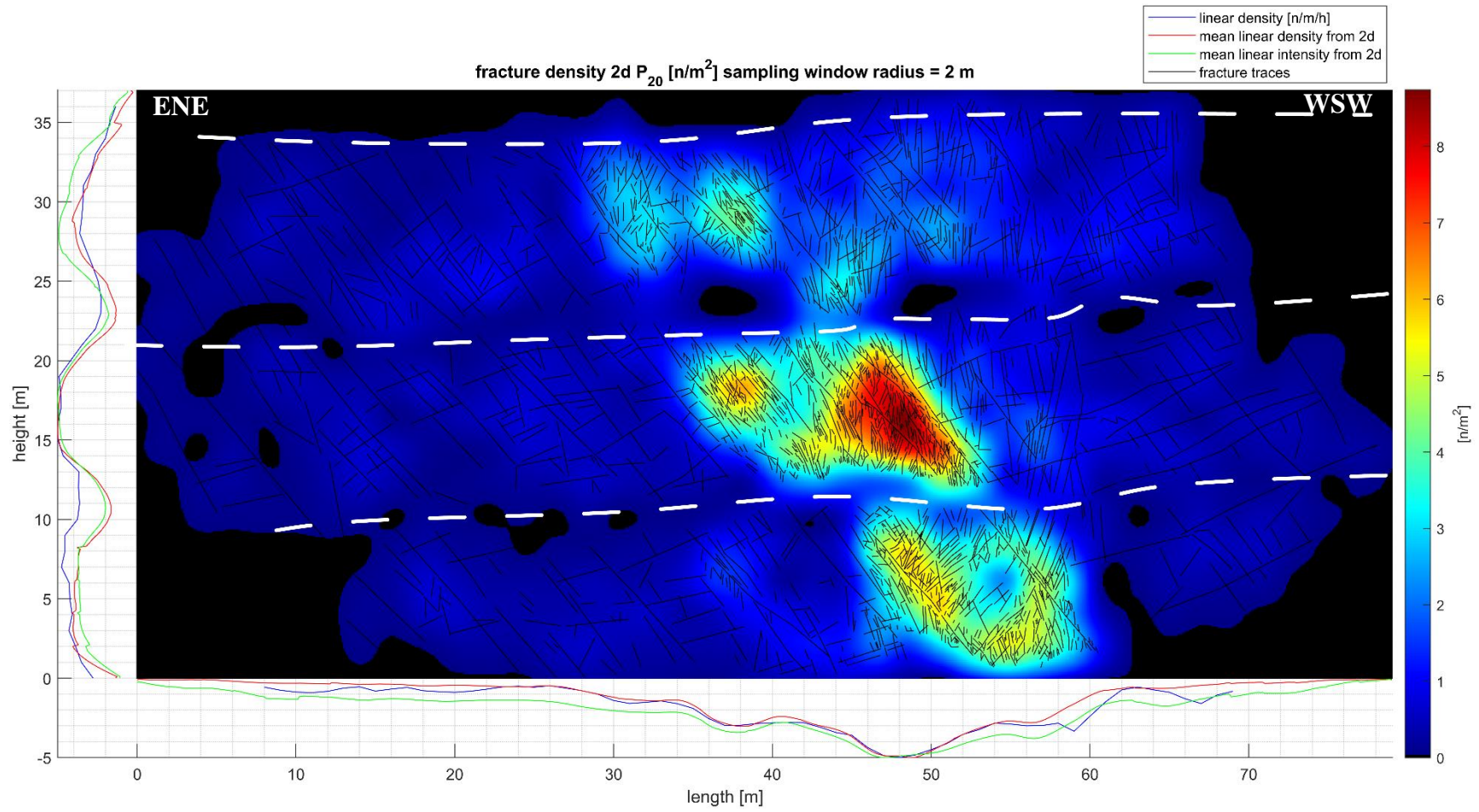


Figura 5.60. Nachylenie spekań w profilach Pp1-3.



- opis na następnej stronie

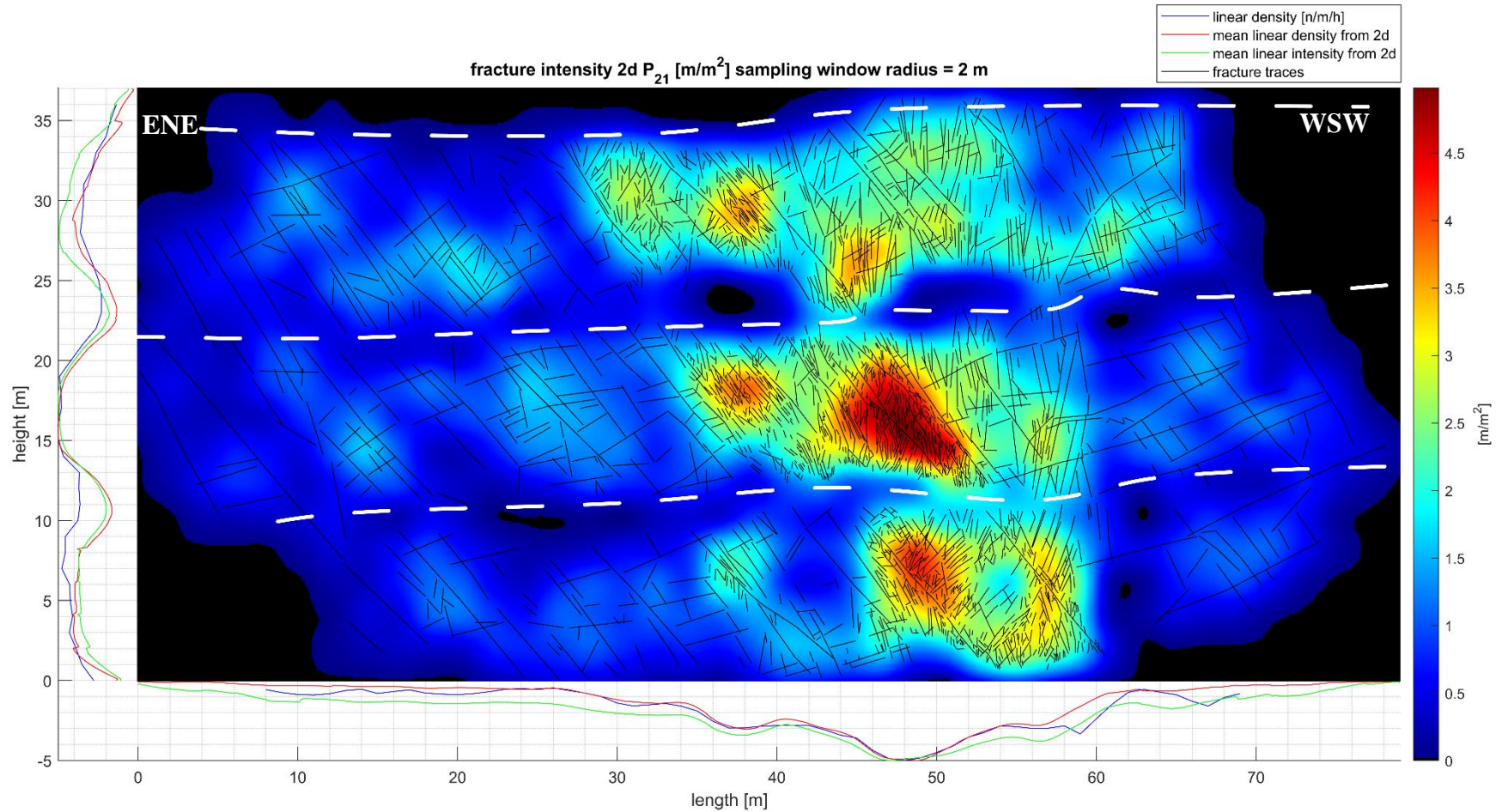


Figura 5.61. Gęstość oraz intensywność spękań w profilach Sp1-3. Białymi przerywanymi liniami rozdzielono poszczególne profile, od dołu Sp1 do Sp3 u góry. Czynniki skalujące: 'mean linear density from 2d poziom' -0.642; 'mean linear intensity from 2d poziom' -0.502; 'linear density poziom' -2.281; 'mean linear density from 2d pion' -0.305; 'mean linear intensity from 2d pion' -0.314; 'linear density pion' -1.700.

W kamieniołomie Strzelin wykonano 3 profile (Sp1-3) (Figura 5.59, Figura 5.60) na wybranej ścianie kamieniołomu. Do wykonania profili wykonano materiały fotograficzne z drona. Profilowana ściana obejmuje trzy poziomy kamieniołomu, jednak szerokość półek pomiędzy nimi jest marginalna (od 0 do 4 m), dlatego podobnie, jak w przypadku kamieniołomu Wieśnica, prezentowane profile są analizowane razem. Profilowana ściana kamieniołomu prezentuje zadowalający stan zachowania odsłonięcia, jednak eksploatacja w tym miejscu prowadzona jest metodą strzałową, co skutkować może przeszacowaniem pomniejszych struktur. Około 15 metrów od wschodniego końca profili analizowana ściana kończy się w miejscu w którym zaczyna się głęboka, nieeksploatowana część kamieniołomu. Jej spąg znajduje się około 25 metrów poniżej podstawy profilu Sp1, co skutkuje znacznym odprężeniem górotworu i związanymi z tym zawyżonymi wartościami intensywności i gęstości spękań we wschodniej części profili. Dominującą strukturą w obrębie wykonanych profili sieci spękań jest silnie zniszczone strefa spękań w ich środkowej części, pomiędzy 30 a 60 m profilu (Figura 5.59), przy miąższości około 10 m. Związana jest ona prawdopodobnie z utworami żyłowymi lub uskokowaniem, co objawia się zwietrzeniem i dobarwieniem skał w jej obrębie. Nadrzędnymi strukturami w tej strefie są wysokie spękania o orientacji ok 270/55, ciągnące się zazwyczaj przez całą wysokość odsłonięcia. Spękania te występują licznie wewnątrz strefy, na zachód od niej (poniżej 30 m profili), jak i na jej obrzeżach, podkreślając tym samym jej granice, co pozwala wyznaczyć jej zgeneralizowaną orientację jako zbliżoną do 270/55. W kilku przypadkach, wewnątrz strefy zaobserwować można silne, w porównaniu z otoczeniem, zniszczenie skały, związane ze spękaniem o orientacji 270/55, które zatem interpretować można jako powierzchnie przemieszczenia (powierzchnie uskokowe), brak jednak wyraźnych reperów mogących potwierdzać przemieszczenia, a stopień zwietrzenia w ich obrębie nie pozwala na obserwację rys ślizgowych. Obserwacje terenowe oraz analiza ortofotomapy (Figura 5.62, Figura 5.63), polegające na próbie wyznaczenia granic tej strefy na przeciwległej ścianie kamieniołomu są niejednoznaczne ze względu na silne jej zniszczenie. Jednak obserwacje te pozwalają przypuszczać, że bieg opisywanej strefy jest nieznacznie odchylony (około 15° ku W) w stosunku do raportowanego na podstawie danych z profili Sp1-3.

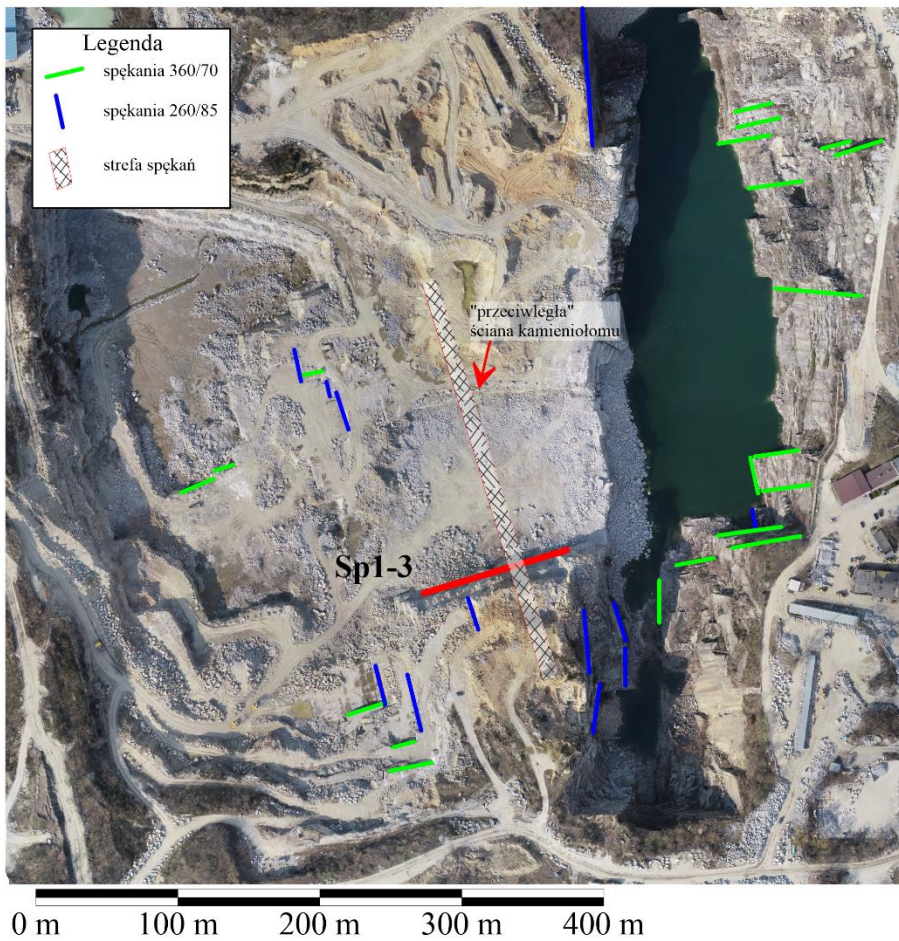


Figura 5.62. Kłm w Strzelinie, położenie analizowanej strefy tektonicznej w stosunku do głównych kierunków spękań.



Figura 5.63. Kłm w Strzelinie, widok na przeciwległą, w stosunku do wykonanych profili, ścianę kamieniołomu. Brak klarownych granic strefy tektonicznej. Widok od południa.

Na wschód od opisywanej strefy, około 50 m w profilach Sp2 – 3, licznie występują spękania o orientacji ok. 100/75, antytetyczne w stosunku do badanej strefy spękań. Wykazują one liryczny charakter, a niekiedy undulacje, spękania te cechuje duża zmienność orientacji sięgająca ok. $\pm 20^\circ$ zarówno pod względem kąta upadu jak i azymutu upadu. Spękania tego zespołu nie tworzą wyraźnego maksimum na stereogramie (Figura 5.64).

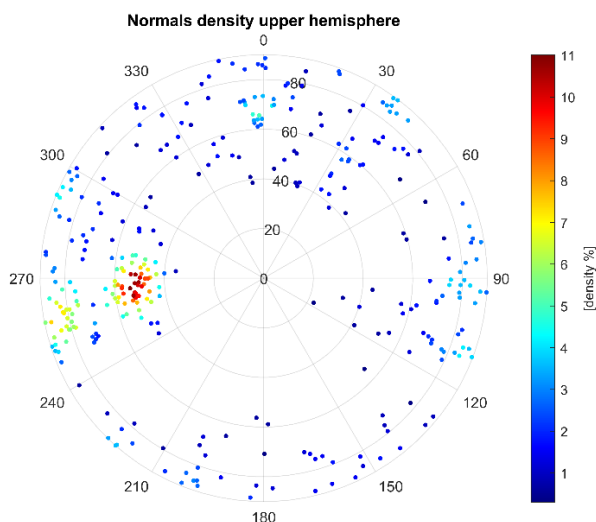


Figura 5.64. Pomiary orientacji spękań w kamieniołomie w Strzelinie, wykonane w oparciu o model 3D.

Spękania tego zespołu obecne są również wewnątrz samej strefy spękań. W opisywanej strefie spękań licznie występują spękania o orientacjach zbliżonych do 40/85, 300/80 i 170/98. Spękania te występują w formie niewielkich stref, i prawdopodobnie są strukturami potomnymi związanymi z konkretnymi powierzchniami przemieszczeń. W profilu Sp1 (na najniższym poziomie) widoczne są wypływy wód świadczące o podwyższonej, względem otoczenia, wodoprzewodności analizowanej struktury. W całym kamieniołomie obserwuje się dominujący zespół spękań o orientacji około 260/85 oraz podrzędny zespół o orientacji 360/70, uzupełnione o spękania subhoryzontalne. Tworzą one razem typowy dla intruzji granitowych układ, gdzie subwertykalne spękania składające się na system ortogonalny, uzupełnione są o spękania subhoryzontalne. Odchylenie od pionu spękań systemu 360/70 może być efektem nieoptymalnego wyboru miejsca, gdzie pomiary te były prowadzone, a mianowicie w bliskim sąsiedztwie opisanej powyżej strefy spękań, na ścianie o orientacji zbliżonej do orientacji samych spękań, co mogło negatywnie wpłynąć na jakość pomiarów. Rozkład przestrzenny struktur tektonicznych w kamieniołomie przedstawia Figura 5.62.

5.1.7 Podsumowanie

Rozdział niniejszy jest podsumowaniem wyników badań przedstawionych w rozdziale powyżej. Ma on na celu przedstawienie wniosków ogólnych, z wykonanych badań, ze szczególnym uwzględnieniem prognozowanego wpływu badanych struktur nieciągłych na krążenie wód w ośrodku szczelinowym.

5.1.7.1 Wnioski i uwagi metodologiczne

Przyjęto metodologię badań struktur kruchych opartą na tworzeniu modeli 3d wybranych odsłoneń i ich późniejszej analizie, tj. jedną z dostępnych metod ilościowych lub pół-ilościowych. Pozwala ona na analizę przestrzennego rozkładu i wykształcenia sieci spękań/uskoków oraz rozpoznanie ich budowy wewnętrznej. Do zalet tej metodyki pracy jest przesunięcie znacznej części pracy do etapu badań kameralnych i ograniczenie czasu prac terenowych oraz możliwość opracowania niedostępnych do badań bezpośrednich fragmentów odsłoneń/kamieniołomów. W przypadku badań prowadzonych w czynnych wyrobiskach górniczych o znacząco utrudnionym dostępie, ma to niebagatelne znaczenie i właściwie determinuje ilość możliwych do przeprowadzenia obserwacji. Prace w terenie prowadziły do stworzenia modeli 3d odsłoneń (fragmentów kamieniołomów), umożliwiając późniejszą analizę materiału źródłowego w warunkach kameralnych. Materiał taki może, ponadto, być ponownie wykorzystany np. do dalszych analiz w miarę postępu frontu eksploatacji w badanych lokalizacjach. Natomiast, do istotnych wad przyjętej metodyki należą przede wszystkim następujące:

- Zmienna jakość pozyskiwanego materiału badawczego. Wynika ona zazwyczaj ze stanu badanych odsłoneń, lub z ich dostępności dla optymalnego rozlokowania kamer (co w dużej mierze kompensowano używając drona), warunków oświetlenia i komplikacji morfologii badanych odsłoneń. Zmienna jakość materiału badawczego generuje problemy z bezpośrednim porównywaniem części obliczonych parametrów (np. gęstości i intensywności spękań) pomiędzy poszczególnymi lokalizacjami. Wspomniany zróżnicowany stan odsłoneń uwarunkowany jest m.in. sposobem prowadzenia prac strzałowych w wyrobiskach górniczych, odprężenie górotworu związanym z eksploatacją kamieniołomów oraz wietrzeniem i pokryciem zwietrzeliną lub gruzem odsłoneń w dawniej eksploatowanych fragmentach kamieniołomów. Z tych przyczyn za słuszne należy uznać zastosowanie podejścia, w którym porównuje się nie tyle konkretne wartości badanych parametrów ilościowych, a raczej ich zmienność w obrębie badanych profili.
- Ograniczona rozdzielczość wykonanych modeli strukturalnych. Tak jak we wszystkich metodach teledetekcyjnych, podstawowymi ograniczeniami wynikającymi z digitalizacji badanych obiektów są rozdzielczość i dokładność obrazowań. O ile przyjęta metoda badawcza w teorii w pozwala na dowolne dobranie parametrów obrazowania (odległość od obiektu, rozdzielczość kamery, ogniskowa, liczba zdjęć itp.), tak aby uzyskać żadaną rozdzielczość od sub-milimetrowej w górę, o tyle w praktyce przy wykonywaniu modeli 3d całych odsłoneń o rozmiarach nierzadko przekraczających 100 metrów, granica realnej rozdzielczości, podyktowana wymaganym nakładem pracy jest znacznie wyższa i oscyluje zazwyczaj w zakresie pojedynczych centymetrów. Dlatego przy realizacji przedstawionych prac nie analizowano najdrobniejszych struktur, takich jak rysy ślizgowe, czy drobne spękania i żyły mineralne, skądinąd umożliwiających wnioski dotyczące genezy badanych struktur tektonicznych. Jednak głównym celem prowadzonych prac było nie tyle określenie genezy badanych struktur, co rozpoznanie cech ich wykształcenia, dlatego informacji o najdrobniejszych strukturach nie uznawano za kluczową, zadowalając się otrzymaną rozdzielczością modeli 3d jako wystarczającą do wyznaczenia i zbadania

rozkładu oraz wykształcenia mezostruktur kruchych. Wymienione kwestie metodologiczne należy stale mieć na uwadze podczas analizy przedstawionych materiałów.

5.1.7.2 Wnioski i uwagi natury geologicznej.

Prace mające na celu zbadanie wykształcenia kruchych stref tektonicznych prowadzone były w wybranych kopalniach (kamieniołomach) granitów w masywie Strzegom-Sobótka oraz masywie strzelińskim. Wybór granitoidów jako obiektów badań podyktowany był:

- pomijalną dla przepływu płynów porowatością szkieletu ziarnowego tych skał, co sprzyja wyjściowym założeniom badań ośrodków szczelinowych, w których przepływy realizują się w wyłącznie obrębie sieci spękań/uskoków.
- izotropowością ośrodka skalnego. Pomijając utwory żyłowe, w obrębie intruzji granitoidowych brak jest zazwyczaj struktur takich, jak, uwarstwienie (laminacja), czy inne struktury kierunkowe mogące wprowadzać niejednorodności mechaniczne w ośrodku, tym samym wpływając na wykształcenie stref tektonicznych.
- dostępnością. Pod względem ilości, jak i wielkości odsłoneń dostępnych w w Sudetach na bloku przedsudeckim, kopalnie granitoidów w których prowadzone były badania występują dość licznie. Jednocześnie ze względu na wieloletnią eksploatację, dają możliwość szczegółowego kartowania na profilach w rozmiarze dziesiątek a niekiedy setek metrów, stwarzając dogodne warunki do badań strukturalnych. Stoi to w kontraście z odsłoneńiami naturalnymi - w znacznej mierze zarośniętymi lub przekształconymi na skutek procesów erozyjnych. Widoczne jest to zwłaszcza w przypadku badań kruchych stref tektonicznych, które ze względu na kruche zniszczenie skał w ich obrębie, silniej podlegają erozji, przez co stan zachowania tych struktur w odsłoneńiach naturalnych rzadko pozwala na prowadzenie szczegółowych badań ich wykształcenia, zwłaszcza w ujęciu ilościowym.

Zlokalizowanie punktów badawczych w obrębie północnozachodniej części masywu granitowego Strzegom-Sobótka, który na potrzeby prowadzonych prac można uznać za jednorodną i spójną jednostkę geologiczną, pozwala łatwo porównywać wyniki pomiędzy poszczególnymi punktami badawczymi, ograniczone jest bowiem ryzyko wpływu innych czynników takich jak lokalna lub regionalna zmiana litologii.

Prace przeprowadzone na prezentowanym materiale pokazują znaczną zmienność inwentarza struktur oraz ich wykształcenia w obrębie badanych lokalizacji jak i pomiędzy nimi, jakkolwiek nie udokumentowano żadnych struktur wymykających się klasyfikacjom przedstawionym przez rozmaitych autorów (*por.* przegląd literaturowy (Olkowicz, Jasiński. 2018)). Pod względem złożoności jak i potencjału dla przewodzenia wód podziemnych, badane struktury tektoniczne dają się sklasyfikować poprzez zaszeregowanie w schemat hierarchiczny, zaczynając od struktur najmniej złożonych, takich jak pojedyncze spękania, zespoły ciosu, poprzez korytarze spękań, i strefy zagęszczenia spękań do rozwiniętych stref uskokuw.

Często obserwuje się przywiązanie stref zniszczenia kruchego do utworów żyłowych, co interpretowane może być w dwojaki sposób:

- jako wykorzystanie stref uskokuw jako naturalnych stref osłabień przez roztwory krążące w późnych etapach formowania batolitu, czy też iniekcje stopu resztkowego.

- silne zniszczenie wcześniej powstałych utworów żyłowych związane z odmienną charakterystyką mechaniczną utworów żyłowych w stosunku do otaczających je skał, co prowadzi do powstania niejednorodności w ośrodku skalnym. Niejednorodności takie są potencjalnymi strefami osłabień, w których może dochodzić do rozładowania naprężeń a co za tym idzie zniszczenia kruchego. Niewykluczony jest również udział obu tych procesów i wieloetapowy rozwój wspomnianych struktur.

Zgodnie ze wspomnianym podziałem hierarchicznym kruchych struktur tektonicznych (Olkowicz, Jasiński. 2018) sklasyfikowano zaobserwowane zestawy współwystępujących struktur, poprzez uszeregowanie ich od najmniej do najbardziej złożonych w postaci zestawienia zbadanych odsłoneń w ciąg typów wykształcenia zestawów struktur kruchych, w którym kolejne człony wykazują coraz większy stopień komplikacji strukturalnych (Fig. 11.2.1). W wyróżnionych poniżej typach zestawów struktur kruchych współwystępują ze sobą w różnych konfiguracjach takie wyróżnione w tym opracowaniu struktury, jak . (A) spękania ciosowe; (B) korytarze spękań (Figura 5.35); (C) strefy spękań (Figura 5.35); (D) nadrzędne („duże”) strefy spękań (Figura 5.22); (E) – „duże” skośne spękania (Figura 5.43, Figura 5.55); (F) korytarze lub strefy spękań stowarzyszone z „dużymi” skośnymi spękaniami (Figura 5.43); (G) silnie spękanne „duże” strefy spękań w obrębie, których występują krzyżujące się spękania (Figura 5.43, Figura 5.53); (H) silnie zniszczone strefy o trudnej do ustalenia geometrii, zbudowane ze spękań o różnych orientacjach (Figura 5.55, Figura 5.57).

Na podstawie przeprowadzonych szczegółowych badań, wyróżniono zatem następujące typy wykształcenia zestawów struktur kruchych, odniesione tu do konkretnych lokalizacji, w których je stwierdzono:

Typ 1. Kamieniołom Goczałków (Figura 5.65 1), najmniej zaangażowany tektonicznie. Dominującymi strukturami są tu spękania ciosowe, oprócz nich występują niewielkie korytarze spękań i strefy koncentracji spękań o szerokości rzędu 2-5 metrów. Struktury te zdają się występować periodycznie. Jakkolwiek nie udało się zebrać wystarczających pod względem ilościowym danych, pozwalających na rzetelne określenie średnich odległości pomiędzy nimi. Swoim biegiem, gęstością jak i rozmiarami, struktury te nawiązują do dominującego w kamieniołomie ortogonalnego systemu ciosu (kierunek przewodni 330° oraz 60° kierunek podrzędny). Struktury o biegu zbliżonym do 330° są generalnie większe, występują częściej i zdają się być wewnątrznie bardziej złożone. Może to przemawiać za genetycznym związkiem z systemem spękań ciosowych.

Typ. 2. Kamieniołom w Czernicy (Figura 5.65, 2), średnio zaangażowany tektonicznie. W obrębie tej lokalizacji, oprócz struktur opisanych w kamieniołomie Goczałków, obserwuje się znacznych rozmiarów (około 30 - 50 metrów szerokości) sub-wertykalne strefy spękań, złożone zazwyczaj z równoległych do siebie spękań, zorientowanych skośnie do zgeneralizowanego biegu całej struktury. W opisywanym kamieniołomie stopień odsłonięcia jest niedostateczny aby dokładnie określić upad tak dużych struktur. W tym przypadku duże strefy spękań również nawiązują swoim biegiem do orientacji spękań przewodnich (bieg około 315°), co może świadczyć o ich genetycznym związku.

Typ 3. Kamieniołom Wieśnica (Figura 5.65, 3), silnie zaangażowany tektonicznie. Oprócz spękań ciosowych, podrzędnych korytarzy oraz stref spękań, dominującą strukturą (bądź strukturami, gdyż druga podobna struktura widoczna jest tylko częściowo, co utrudnia interpretację) jest miąższa na około 60 metrów strefa spękań, której orientacja nawiązuje do orientacji największych udokumentowanych spękań w tym odsłonięciu (około 225/55), nie pokrywając się dokładnie z kierunkami spękań ciosowych 75/90 (przewodni), oraz 160/90 (podrzędny). W samej tej strefie obserwuje się głównie krzyżujące się spękania o orientacjach 225/55 oraz 75/90, co prowadzi do powstania struktury o dużej wodoprzewodności. W obrębie wspomnianej strefy wyraźnie odznaczają się obszary silniej i słabiej spękanymi. Cała struktura prawdopodobnie związana jest z intensywnym zuskokowaniem ośrodka skalnego.

Typ 4. Kamieniołom w Górcie Sobockiej (Figura 5.65, 4), najsilniej zaangażowany tektonicznie. W jego obrębie zaobserwować można system ciosu o orientacji 60/85 (dominujący) oraz 150/80 (podrzędny). Licznie występują niewielkie (o miąższości w zakresie pojedynczych metrów) struktury o charakterze korytarzy spękań lub stref spękań. Wyróżniającym elementem są strefy silnego zniszczenia interpretowane jako efekt uskokowania. Strefy te w szerokościach w przedziale 20-30 metrów (zależnie od interpretacji; lokalnie miąższość ta może być większa) mają skomplikowany przebieg słabo odzwierciedlający się w orientacji obserwowanych w nich spękań bądź drobnych uskoków. Prawdopodobnie jako całość struktury te są częścią większej strefy, lub obserwowany obraz wynika z nakładania się wielu mniejszych struktur. Jednak skala i poziom występowania omawianego odsłonięcia nie pozwalają na weryfikację tych hipotez na tym etapie badań.

Typ 5. Kamieniołom w Strzelinie (Figura 5.65, 5), silne zaangażowanie tektoniczne jest tu związane z konkretną strefą stwierdzoną na profilowanej ścianie kamieniołomu na tle znacznie słabiej spękanego otoczenia. Ta silnie zniszczona strefa prawdopodobnie związana jest z wystąpieniem ciała żyłowego, w jej obrębie obserwuje się liczne powierzchnie o orientacji 270/55, na których prawdopodobnie dochodziło do przemieszczeń. Spękania, o których mowa, uzupełnione są o gęsty zespół listrycznych lub undulujących spękań o orientacjach zbliżonych do 100/75. Spękania te występują licznie również poza wzmiankowaną strefą w jej zachodnim obrzeżeniu. W samej strefie licznie występują również spękania o innych orientacjach tworząc lokalne pomniejsze zespoły w jej obrębie. Całościowo strefa ta pod względem wodoprzewodności wybitnie wyróżnia się na tle skał otoczenia ze względu na mnogość spękań o zróżnicowanej orientacji.

* * *

W powyższym ujęciu (tj. w przyjętym tu modelu hierarchicznym struktur tektonicznych) najbardziej perspektywiczne pod kątem efektywności cyrkulacji wód w rejonie Strzelina są struktury opisane w: kłm. Wieśnica, kłm. w Górcie Sobockiej, oraz kłm. w Strzelinie ze względu na udokumentowane tam najwyżej usytuowane we wspomnianej hierarchii struktury, będące prawdopodobnie w pełni wykształconymi strefami uskokowymi.

Natomiast co do stref tektonicznych badanych w NW części masywu Strzegom-Sobótka, na podstawie analizy trzech lokalizacji, zauważyć można spójność kierunków sub-wertykalnych spękań ciosowych tj. kierunek dominujący (bieg około 330) oraz kierunek podrzędny (bieg

około 60). Na tle tych względnie monotennie wykształconych spękań ciosowych obserwuje się tam przede wszystkim dwojako zorientowane strefy spękań, które swym biegiem nawiązują lub są zbliżone do dominującego kierunku spękań ciosowych. Obejmują one:

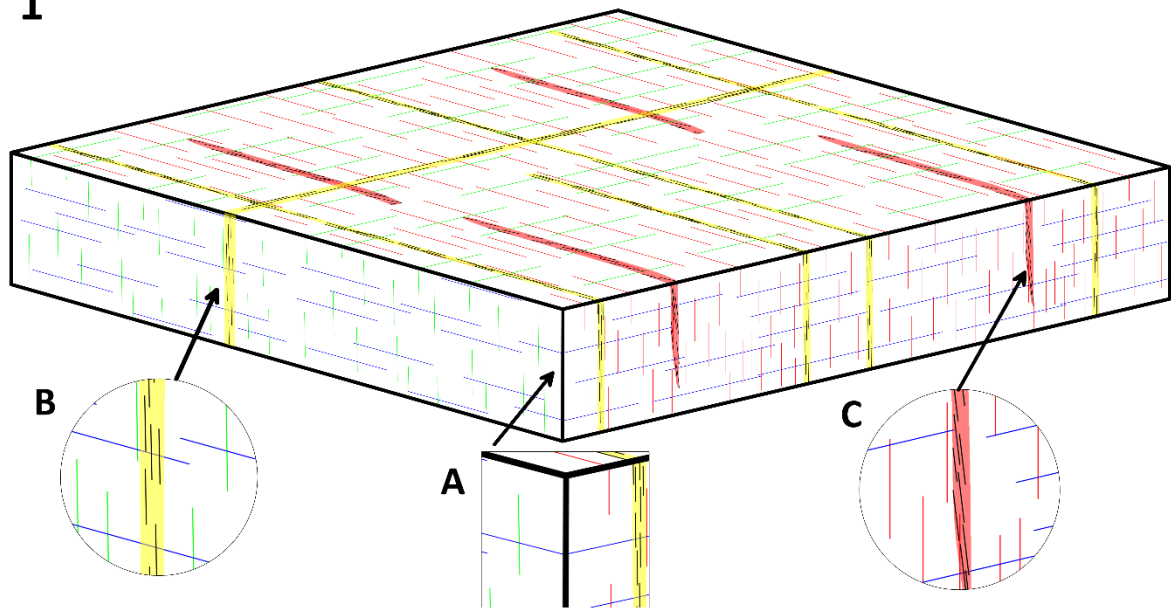
(a) Mniejsze lub niezbyt silnie wykształcone subwertikalne strefy spękań o charakterze korytarzy spękań lub stref spękań zdominowanych przez spękania o bardzo zbliżonej orientacji, udokumentowane głównie w kamieniołomie Goczałków oraz w kamieniołomie w Czernicy. Jak również

(b) duże, silnie wyrażone struktury o bardziej połym upadzie (około 55°), związane z przynajmniej dwoma przecinającymi się, zespołami spękań udokumentowane w kłm. Wieśnica.

Strefy spękań o biegach nawiązujących do podrzędnego kierunku spękań ciosowych (60°) lub zupełnie nienawiązujących do spękań ciosowych występują sporadycznie i zdają się nie tworzyć większych, bardziej rozbudowanych struktur.

W świetle przeprowadzonych prac, ze względu na znaczną w stosunku do otoczenia wodoprzewodność jak i duży zasięg, największy potencjał występowania wód podziemnych głębokiego krążenia, w tym termalnych, na obszarze, na którym prowadzono badania spękań należy wiązać z wspomnianymi powyżej strukturami typu (b) (Figura 5.65 (część 3, struktura oznaczona literą G)). Ekstrapolując wyniki wspomnianych badań spękań na cały obszar Sudetów i ich przedpola, zwiększone prawdopodobieństwo występowania wód (w tym termalnych) w skałach krystalicznych należałoby również wiązać z podobnie wykształconymi strukturami.

1



2

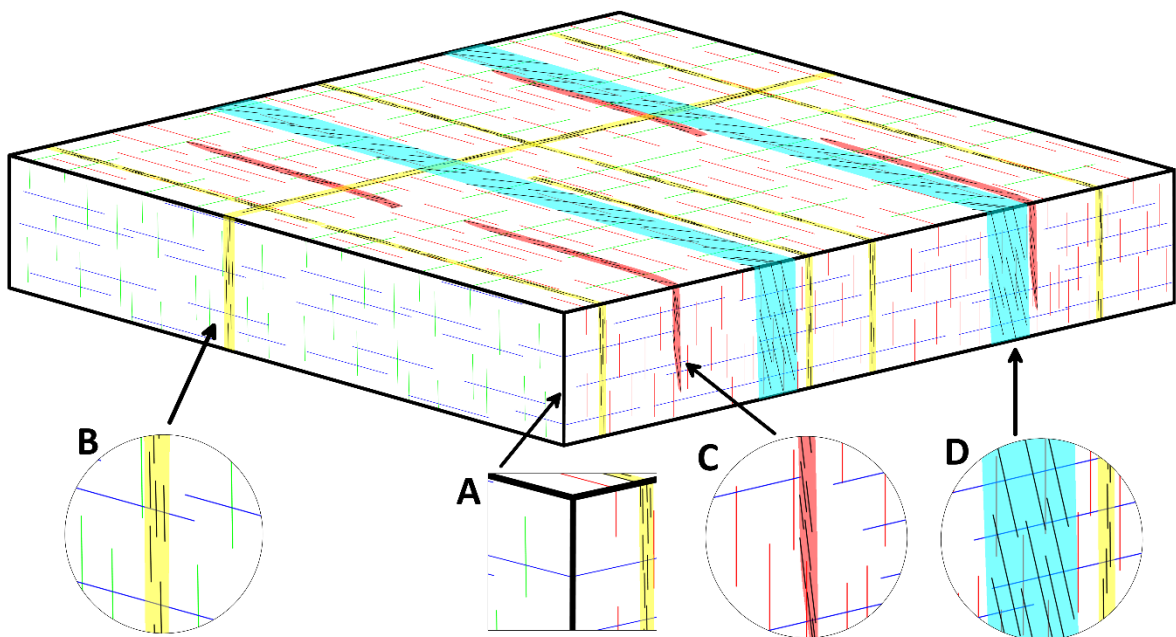
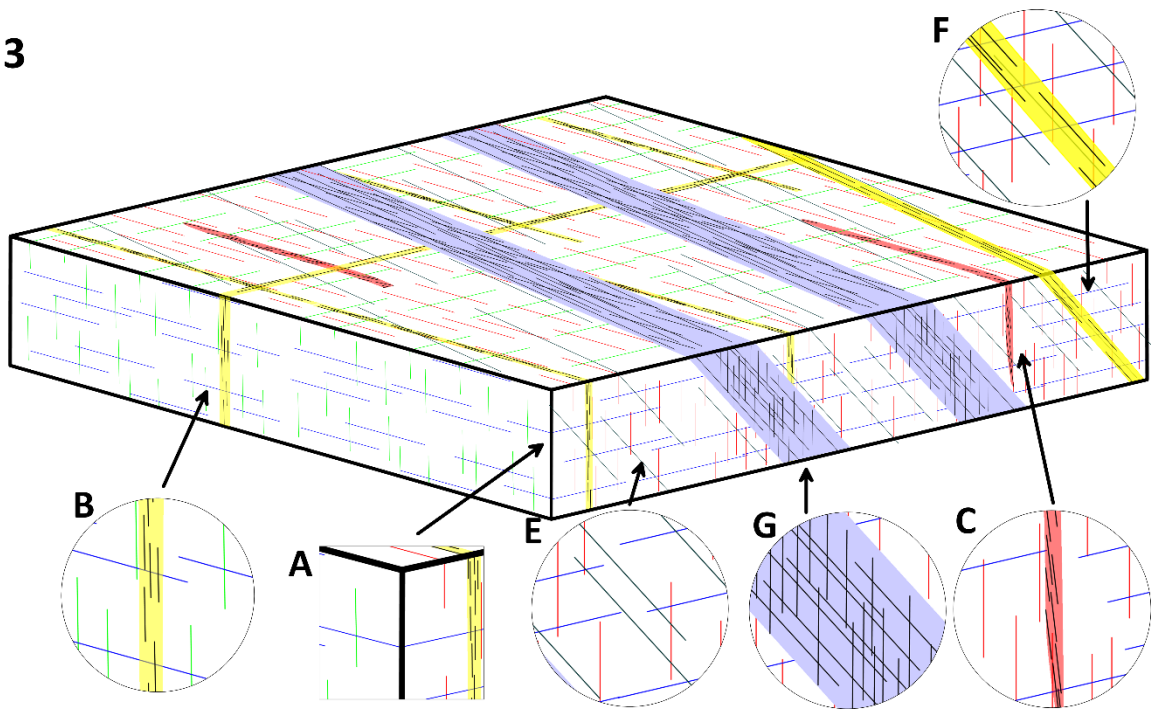


Figura 5.65. Kontynuacja na następnej stronie

3



4

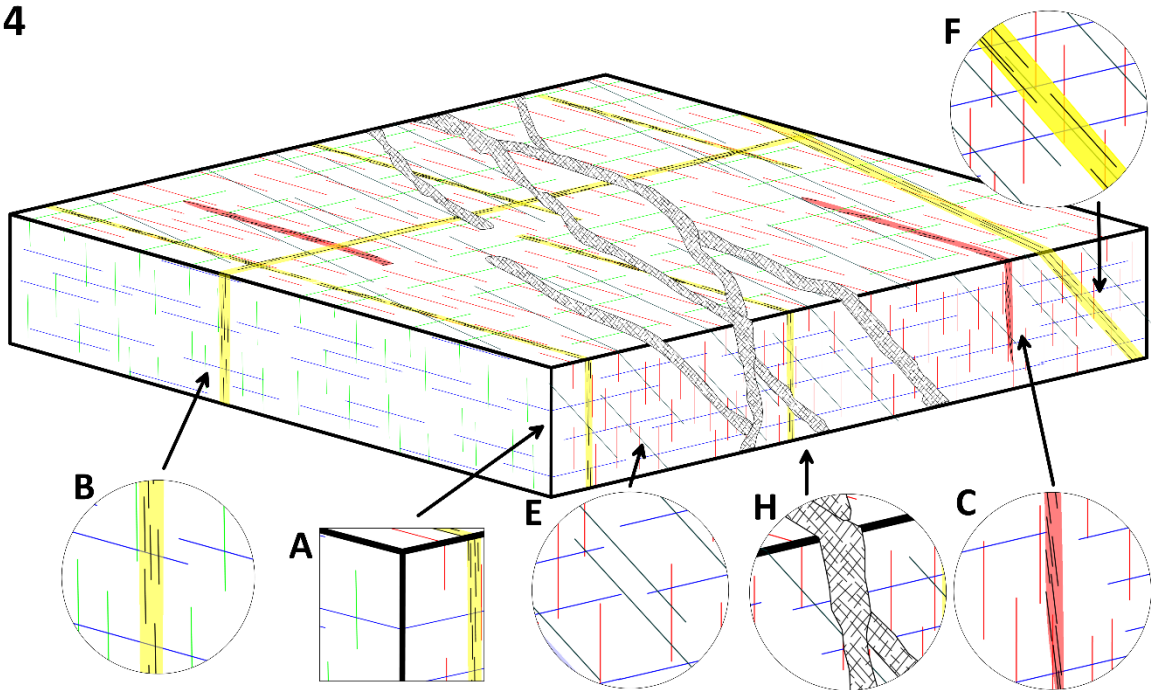


Figura 5.65. Kontynuacja na następnej stronie

5

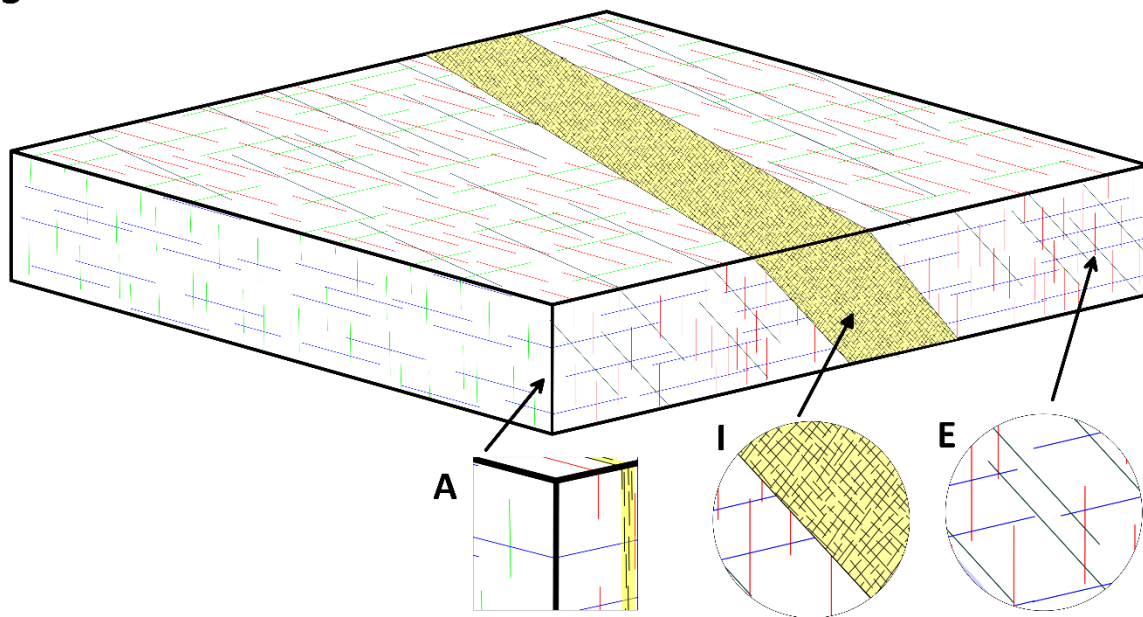


Figura 5.65. Schemat wykształcenia głównych typów struktur kruchych na podstawie badanych odsłoneń. A – spękania ciosowe; B – korytarze spękań; C – strefy spękań; D – nadrzędne („duże”) strefy spękań; E – „duże” skośne spękania; F – korytarze lub strefy spękań stowarzyszone z „dużymi” skośnymi spękaniami; G – Silnie spękane „duże” strefy spękań w obrębie, których występują krzyżujące się spękania; H – silnie zniszczone strefy o trudnej do ustalenia geometrii, zbudowane ze spękań o różnych orientacjach (tu, przedstawione jako efekt istnienia nadrzędnej anatomiczującej strefy tektonicznej, zob. opis kłm. w Górce Sobockiej); I – silnie zniszczona strefa tektoniczna związana z uskokowaniem i/lub obecnością utworów żyłowych, zawiera bardzo zróżnicowany zestaw spękań.

5.1.8 Sugestie odnośnie dalszych działań na rzecz rozpoznania stref tektonicznych mogących potencjalnie stanowić źródła wód termalnych.

- W ramach prowadzonych prac rozpoznawczych należy zwiększyć nacisk na rozpoznanie i udokumentowanie stref tektonicznych we wstępnie wytypowanych obszarach poszukiwania wód termalnych, tak pod względem obecności takich stref jak i ich wykształcenia. Zarówno stosując metody powierzchniowe jak i otworowe.
- Prowadzone badania powierzchniowe z racji na utrudnienia związane z ogólnym stanem zachowania odsłoneń (związanym z erozją, czy też działalnością człowieka) należy uzupełnić obserwacjami otworowymi prowadzonymi na orientowanych rdzeniach lub przy użyciu metod geofizyki otworowej np. bazującej na mikrooporności (FMI XRMI). Dzięki temu możliwe powinno być określenie takich parametrów jak choćby orientacja czy gęstość liniowa spękań, co da się przełożyć na informację o występowaniu i wewnętrznej budowie nawierconych stref, jak również ich potencjalnego przywiązania do określonych utworów, zwłaszcza żyłowych, co jest szczególnie ważne w przypadku kosztownych głębokich wierceń mogących dostarczyć informacji o utworach geologicznych niedostępnych innymi metodami.

- Z podobnych względów jak w punkcie poprzednim za wartościowe należy uznać wykonanie na szerszą skalę płytkich (do kilkudziesięciu - 100 m) powierzchniowych badań geofizycznych nastawionych *stricte* na detekcję struktur tektonicznych. Badania takie obejmujące zastosowanie metod np. sejsmicznych, elektrooporowych, georadarowych, elektromagnetycznych, czy mikrograwimetrycznych mogłyby posłużyć do korelacji struktur pomiędzy odsłonięciami jak i przeprowadzenia rozpoznania w terenie pozbawionym odpowiednich odsłonieć. Pomimo istnienia obszernej literatury teoretycznej dotyczącej zastosowania wzmiankowanych metod, ich aplikacja, jak i późniejsza analiza wyników bywa niejednokrotnie nietrywialna, a przez to niejednoznaczna. Dlatego prace takie powinny zostać poprzedzone obszernym studium metodologicznym obejmującym między innymi wielokrotne badania na już rozpoznanych (powierzchniowo i otworowo) strukturach w celu szczegółowego określenia możliwości badanych metod oraz wypracowania optymalnych ścieżek postępowania w trakcie prowadzenia prac dokumentacyjnych i późniejszych analiz.

- Pomiar stanu naprężeń *in situ* w głębokich otworach. Ze względu na wpływ kierunku aktualnych naprężeń *in situ* na przewodność spękań poprzez silniejsze zaciskanie spękań o orientacji prostopadłej do największego naprężenia poziomego i słabsze spękań równoległych do największego naprężenia poziomego informacja taka pozwoliłaby określić uprzywilejowane kierunki krążenia wód w sieci spękań. W przypadku rozważania technologii HDR (Hot Dry Rocks) gdzie zakłada się sztuczne wytworzenie spękań, którymi zatłaczana i odbierana była by woda pomiędzy parą otworów taka informacja jawi się jako kluczowa przy planowaniu całego przedsięwzięcia.

Literatura

Bemis, S.P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T., Bangash, H.A., 2014 – Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology* 69, 163-178.

Cymerman, Z., 2010 – Mapa tektoniczna Sudetów i bloku przedsudeckiego 1: 200 000, ed 2 ed. PIG - PIB, Warszawa.

Olkowicz M., Jasiński Ł., 2018 – Budowa i struktura wewnętrzna stref tektonicznych (uskokowych i spękaniaowych) w Raport końcowy z realizacji zadania Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap I, Red. **P. Aleksandrowski**

Thiele, S.T., Grose, L., Samsu, A., Micklethwaite, S., Vollgger, S.A., Cruden, A.R., 2017 – Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data. *Solid Earth* 8, 1241-1253.

Vollgger, S.A., Cruden, A.R., 2016 – Mapping folds and fractures in basement and cover rocks using UAV photogrammetry, Cape Liptrap and Cape Paterson, Victoria, Australia. *Journal of Structural Geology* 85, 168-187.

Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., Haala, N., 2013 – Image Acquisition and Model Selection for Multi-View Stereo. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W1*, 251-258.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., 2012 – ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179, 300-314.

www.danielgm.net/cc/, ColudCompare.