Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna
państwowa służba hydrogeologiczna

RAPORT TRZECI
Z PRAC ANALITYCZNYCH
O DEFORMACJACH TERENU W TRZEBINI

Gminy:	Trzebinia, Jaworzno, Chrzanów
Powiaty:	chrzanowski, m. Jaworzno
Województwa:	małopolskie, śląskie

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA i GOSPODARKI WODNEJ

Warszawa, 14 lipca 2023 r.

ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa
tel. (+48) 22 45 92 000, fax (+48) 22 45 92 00, biuro@pgi.gov.pl
Sąd Rejonowy dla m. st. Warszawy w Warszawie,
XIII Wydział Gospodarczy KRS, Nr 0000122099; **NIP** 525-000-80-40

Centrum Geozagrożeń
ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków,
tel. (+48) 12 290 13 99, fax (+48) 12 290 13 88

www.pgi.gov.pl

Raport opracowali:

dr Tomasz Wojciechowski
dr Janusz Jureczka
dr Marcin Wódka
dr Sylwester Kamieniarz
dr Krzysztof Karwacki
dr Zbigniew Perski
dr Rafał Sikora
dr Weronika Nadłonek
mgr inż. Michał Rolka
mgr Włodzimierz Krieger
mgr Remigiusz Maślanka
mgr inż. Mariusz Zając
dr Maria Przyłucka
mgr Katarzyna Strzemińska
dr Piotr Nescieruk
dr inż. Jarosław Kos

z up. Dyrektora PIG-PIG
dr Tomasz Wojciechowski
Kierownik Centrum Geozagrożeń
/podpisany cyfrowo/

1. WSTĘP

Na prośbę Pana Piotra Dziadzio, Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Klimatu i Środowiska, Głównego Geologa Kraju (pismo DNGS-WPN.70.2.2023.MLD z dnia 16.02.2023 r.), Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) podjął się wykonania prac mających na celu rozpoznanie problemu pojawiających się zapadlisk w Trzebini, w obszarze oddziaływania dawnej kopalni węgla kamiennego (KWK) „Siersza". Prace te realizowane są w ramach zadań państwowej służby geologicznej (psg) pn. „Interferometryczny Monitoring Powierzchni Polski (InMoTeP) – etap II" oraz „Wsparcie działań Ministra właściwego ds. środowiska oraz innych organów administracji państwowej w postaci: ekspertyz, opinii, analiz, raportów, recenzji, prezentacji i innych w zakresie geologii (kontynuacja zadania)", które finansowane są przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). W ramach podjętych działań wykonano:

1. analizę przedmiotowego obszaru z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej, która dostarczyła danych o ewentualnych deformacjach ciągłych (osiadaniach), często towarzyszącym deformacjom nieciągłym;
2. analizę archiwalnych danych radarowych z lat 1992 – 2010 oraz 2013 – 2022 dla obszarów niezalesionych i zurbanizowanych;
3. raport dotyczący deformacji ciągłych terenu obszaru kopalni „Siersza" w Trzebini, obejmujący mapę deformacji wraz z objaśnieniami;
4. analizę numerycznych modeli terenu (NMT) wygenerowanych na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego (ALS), które pozyskano w latach 2011, 2014, 2019, 2022 (interpretacja form zapadliskowych, obliczenie tzw. modeli różnicowych przedstawiających zmiany wysokościowe powierzchni terenu, jakie zaszły w ostatniej dekadzie, interpretacja powierzchniowych uskoków pogórniczych, rozwój niecek osiadań), oraz analizę zdjęć lotniczych;
5. bazę danych wektorowych (format shp.) oraz zobrazowania różnicowe na bazie danych ALS;
6. terenowe prace kartograficzne i inwentaryzacyjne, polegające na kompleksowej identyfikacji zapadlisk i innych deformacji terenu dla całego obszaru oddziaływania byłej kopalni „Siersza", ze szczególnym uwzględnieniem obszarów płytkiej eksploatacji węgla do 80 m;
7. mapę deformacji nieciągłych w skali 1:10 000 wraz z objaśnieniami uwzględniającymi analizy jakościowe i ilościowe;
8. zinwentaryzowanie każdego niezlikwidowanego zapadliska za pomocą naziemnego skaningu laserowego oraz pomiarów fotogrametrycznych z niskiego pułapu (dron);
9. analizę geologiczno-górniczą obszaru złoża węgla kamiennego Siersza, ze szczególnym uwzględnieniem płytkiej eksploatacji do głębokości ok. 80–100 m., na podstawie profili wierceń i map górniczych w zakresie budowy geologicznej nadkładu serii złożowej i stropowego 100-metrowego profilu karbonu (ok. 430 otworów, plany/mapy eksploatowanych planów pokładów węgla, w szczególności

do głębokości płytkiej eksploatacji – pokłady węgla 206, 207/1, 208, 209-210 i 214, z uwzględnieniem systemu i czasu ich eksploatacji);

10. mapę hipsometryczną powierzchni stropu karbonu, z uwzględnieniem utworów zalegających na stropie karbonu i wychodni karbonu na powierzchnię terenu oraz mapę geologiczną odkrytą po karbon, z uwzględnieniem wychodni pokładów węgla na powierzchnię stropu karbonu; cyfrowanie map pokładów węgla oraz mapy stropu karbonu i mapy geologicznej odkrytej po karbon;
11. raport uwzględniający wyniki prac oraz historię eksploatacji i rozpoznania złoża oraz charakterystykę likwidacji kopalni, budowę geologiczną, w szczególności nadkładu serii złożowej i stropowego 100-metrowego profilu karbonu, opis warunków hydrogeologicznych oraz charakterystykę udokumentowanych obszarów płytkiej eksploatacji wraz z określeniem potencjalnych obszarów eksploatacji niedokumentowanej (tzw. „biedaszybów" lub o eksploatacji „zapomnianej").

Raport trzeci stanowi uzupełnienie poprzednich raportów o najnowsze wyniki badań przeprowadzonych przez PIG-PIB. Niniejsze opracowanie obejmuje zagadnienia przedstawione w punktach 6–11. Dodatkowo, w obrębie badanego obszaru wykonano skanowanie laserowe powierzchni terenu z pułapu UAV („drona") oraz przeprowadzono analizę szeregu historycznych zdjęć lotniczych pozyskanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK). Wraz z raportem przekazano bazę danych dotychczas zinwentaryzowanych zapadlisk w formacie SHP oraz 5 arkuszy *Mapy deformacji nieciągłych w obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza" w skali 1: 10 000*. Główne wyniki prac były cyklicznie udostępniane na stronie www.pgi.gov.pl/zapadliska oraz na portalu mapowym PIG-PIB (https://geologia.pgi.gov.pl/zapadliska/).

Kompleksowa inwentaryzacja deformacji górniczych w obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza" jest konieczna do właściwej oceny zagrożenia w tym rejonie. Dzięki zinwentaryzowaniu tych deformacji w całym obszarze dziś już wiemy m. in., że występują one również poza granicami udokumentowanej płytkiej eksploatacji złóż węgla kamiennego. Wiele deformacji górniczych w tym rejonie mogłoby zostać pominiętych, gdyby nie wykorzystano szeregu nowoczesnych metod zdalnych opisanych w poszczególnych rozdziałach. Trzeba jednocześnie zaznaczyć, że podstawą inwentaryzacji były prace terenowe. Dzięki nim możliwe było potwierdzenie lub wykluczenie miejsc występowania deformacji wskazanych przy użyciu metod zdalnych oraz ocena powierzchni terenu w miejscach występowania starych, zlikwidowanych (zasypanych) form. Analiza zinwentaryzowanych deformacji z danymi geologiczno-górniczymi pozwoliła dać znacznie szerszy obraz zagrożeń.

2. ANALIZA GEOLOGICZNO-GÓRNICZA ZŁOŻA KWK „SIERSZA”

2.1. Podstawowe informacje o złożu i kopalni „Siersza”

Obszar górniczy kopalni (OG Siersza I) obejmował złoże węgla kamiennego „Siersza” (w granicach z 1999 r.) i wynosił 40,3 km^2. Kopalnia miała 4 szyby główne o głębokościach 192,5–389,5 m, przy czym jeden z tych szybów (Szyb 1 – Artur Nowy) został pogłębiony w 1985 r. do głębokości 544,5 m. Posiadała również 13 innych szybów (rozpatrując okres po II wojnie światowej) o różnych funkcjach – w tym wentylacyjnych (niektóre z tych szybów zostały zatopione już na tym etapie ich głębienia). Wydobycie węgla w ostatnich dekadach kopalni prowadzone było na 3 poziomach eksploatacyjnych o głębokościach: 190 m (poziom IV), 260 m (poziom V) i 350 m (poziom VI); wcześniej wydobycie prowadzone było także na poziomach: 30 m (poziom I), 90 m (poziom II) i 130 m (poziom III). Maksymalna głębokość eksploatacji pokładów węgla w granicach złoża „Siersza” wynosiła 440 m.

Złoże węgla kamiennego i obszar górniczy kopalni „Siersza”, położone w północno-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (rejon niecki wilkoszyńskiej), w obrębie gmin: Trzebinia, m. Jaworzno, a w niewielkiej części także Chrzanów, nie graniczyły z innymi kopalniami i złożami węgla kamiennego. Należy jednak dodać, że w tym rejonie prowadzona była także działalność górnicza innych kopalin: piasku podsadzkowego oraz rud cynku i ołowiu. Obszary górnicze ustanowione dla tych kopalin częściowo wchodziły na obszar górniczy Siersza I, w części południowej – OG Trzebionka I, zniesiony w 2011 r., dla złoża rud cynku i ołowiu „Balin-Trzebionka” (obecnie złoże skreślone z rejestru) oraz w części północno-zachodniej – OG Szczakowa III, zniesiony w 2019 r., dla złóż piasku podsadzkowego „Siersza-Misiury” (obecnie złoże zaniechane) i „Szczakowa pole II” (obecnie skreślone z rejestru).

Kopalnia zakończyła eksploatację w dniu 31.10.1999 r., likwidację rozpoczęto 01.11.1999 r., a zakończono 31.12.2002 r. Wszystkie szyby zostały zlikwidowane, a wyrobiska kopalni stały się niedostępne. Po zakończeniu eksploatacji kopalnia „Siersza” nie była odwadniana, założono całkowite zatopienie wyrobisk kopalni. Orientacyjnie czas pełnego zatopienia dla kopalni „Siersza” przyjmowano na około 2011 r. Modelowe badania były prowadzone przez Główny Instytut Górnictwa (Frolik, 2006). Faktyczny czas oraz rzeczywiste skutki wynikające z całkowitego zatopienia kopalni są znane dokładniej dopiero teraz.

Obecnie złoże węgla kamiennego „Siersza” ma status złoża zaniechanego, przy czym w 2014 r. w jego granicach, w części północno-zachodniej, udokumentowane zostało złoże „Siersza 2” o powierzchni 13,31 km^2 (mające formalnie status złoża niezagospodarowanego), tym samym obszar złoża zaniechanego „Siersza” został zmniejszony do 26,59 km^2.

2.2. Rys historyczny eksploatacji węgla kamiennego

Dokładna data odkrycia i rozpoczęcia eksploatacji pokładów węgla w rejonie

miejscowości Siersza (obecnie dzielnica Trzebini) nie jest znana. Ślady wyrobisk górniczych świadczą o tym, że już w połowie XVIII wieku miejscowa ludność wydobywała węgiel w niewielkich ilościach na wychodniach pokładów. Pierwszą kopalnią węgla była kopalnia „Albrecht", założona w roku 1804, w której eksploatowano pokład 208. W roku 1808 powstała kopalnia „Izabella", a w 1822 r. w miejscowości Krze kopalnia „Zofia". Eksploatacja w obydwu kopalniach („Izabella" i „Zofia") trwała z przerwami do roku 1840, w którym eksploatację przeniesiono z terenu Krza na północny-zachód, w kierunku Sierszy. W roku 1840 została założona nowa kopalnia „Trentowiec" (pomiędzy Krzem a Sierszą), a w roku 1843, na południe od kopalni „Izabella", założono kopalnię „Elżbieta". W 1852 r. zamknięto ostatecznie kopalnię „Zofia". Po roku 1848, przez krótki czas, była czynna kopalnia „Czarne Bagno" w Cieżkowicach (w skrajnie zachodniej części późniejszego złoża „Siersza"). Duże dopływy wody do kopalń sierszańskich utrudniały eksploatację węgla. Celem osuszenia kopalń sierszańskich podjęto w 1836 r. na wielką skalę drążenie sztolni w miejscowości Wodna. Prace te ciągnęły się do 1860 r.

Eksploatację węgla wznowiono w 1861 r. w kopalni „Nowa Izabela", która dała początek późniejszej kopalni „Siersza". Od 1884 r. funkcjonowała jako kopalnia „Artur", w której prowadzono eksploatację przez okres międzywojenny aż do czasów współczesnych. W tym czasie zgłębiono główne szyby kopalni: Szyb 1 – Artur Nowy (1868 r.), Szyb 2 – Artur Główny (1884 r.) do głębokości 140 m oraz Szyb 3 – Artur Pomocniczy (1884 r.). Szyby te, po ich późniejszym pogłębieniu, funkcjonowały do czasów współczesnych, praktycznie do zakończenia eksploatacji w złożu „Siersza".

Po II wojnie światowej w 1947 r., po włączeniu kopalni „Zbyszek", powstało jedno przedsiębiorstwo pod nazwą kopalnia „Siersza". W 1951 r. przyłączono do niej kopalnię „Krystyna" w Tenczynku, którą następnie w 1955 r. zlikwidowano. Do rozbudowy kopalni „Siersza" przystąpiono w roku 1949, a w następnych latach zwiększono obszar złoża w kierunku wschodnim i zachodnim.

Obszar złoża „Siersza" pod względem górniczym dzielony był na pola, w tym: centralne, wschodnie, zachodnie i południowe, określane od geograficznej lokalizacji w obrębie złoża i oddzielone głównymi uskokami. Wyodrębniane było również pole Lech w części północno-zachodniej (Kurek, 1985; Polak, 1992).

W latach 1900–1951 eksploatację prowadzono w polu centralnym, w pokładach węgla: 207, 208, 209 i 210. Do roku 1950 w polu wschodnim, zachodnim i południowym nie prowadzono eksploatacji górniczej. W latach 60. XX w. udostępniono w granicach pola centralnego głębiej zalegające pokłady węgla poprzez pogłębienie szybu „Zofia" do głębokości 165,5 m, budowę nowego szybu „Artur IV" do głębokości 389,5 m, pogłębienie szybu „Artur Główny" do głębokości 367,5 m oraz zgłębienie szybu „Walter", pełniącego rolę szybu wentylacyjnego. W bezpośrednim sąsiedztwie pokładów 214 i 301 wykonano podszybia na poziomie IV na głębokości 250 m oraz na poziomie V na głębokości 280 m. W latach 70. XX w. pogłębiono do głębokości 359,5 m szyb „Zbyszek", udostępniając poziom

VI na głębokości 350 m (Kleta, Plewa, 2001).

W południowej i wschodniej części pola centralnego udostępniono pokłady 209-210, 214 i 301, wykonując poziome wyrobiska kamienne: przekop przewozowy i jego kontynuację w kierunku wschodnim, przekop „Ligia” na poziomie V (1978 r.) oraz przekop wschodni na poziomie VI (1972–1978). Przekopy te pozwoliły na połączenie wentylacyjne i transportowe szybów „Artur” z szybem „Zbyszek” oraz w późniejszym okresie z szybem „Wschodnim”.

W latach 1983–1987 pogłębiono szyb „Artur Nowy” do głębokości 544,5 m w celu umożliwienia wybrania pokładu 301-2-3 w południowej części pola centralnego oraz pokładów 214 i 301 w polu południowym (Kleta, Plewa, 2001). W latach 90. XX w. przeprowadzono częściową likwidację wyrobisk górniczych w polu centralnym, a także zlikwidowano przez zasypanie szyby: „Artur Pomocniczy” (w 1994 r.), „Walter” (w 1997 r.) oraz „Paula” (w 1997 r.).

Pole wschodnie obszaru górniczego „Siersza I” udostępnione zostało dopiero w latach 80. XX w. szybem „Wschodnim” oraz przekopami „Ligia” i wschodnim. Szyb „Wschodni” zgłębiono w latach 1980–1981 do głębokości 262,8 m. Eksploatację pokładów węgla w polu wschodnim rozpoczęto w 1982 r. i prowadzono w pokładach 207, 208 i 209-210 do 1999 r. (Kleta, Plewa, 2001).

W polu „Lech” bezpośrednio na utworach karbonu zalega gruba (do 50 m) warstwa piasków czwartorzędowych, stanowiąca bardzo zasobny poziom wodonośny. W latach 1961–1963 wykonano w tym polu trzy szyby: „Lech 1”, „Lech 2” i „Lech 3”, o głębokościach odpowiednio: 170,2 m, 165,0 m i 99,7 m. Na skutek znacznych dopływów wody, po rozmrożeniu górotworu, wszystkie szyby zostały zatopione.

W partii złoża „P, K, L” (południowo-zachodnia część złoża) miąższość utworów czwartorzędowych jest zdecydowanie mniejsza i nie przekracza 15 m, przez co zagrożenie ze strony wód podziemnych było znacznie mniejsze. Próby udostępnienia złoża w tej partii podjęto w latach 1958–1961, wykonując szyb „Czech” o głębokości 52,0 m, który udostępnił pokład 207. Prace w tym rejonie zostały jednak wstrzymane (Kleta, Plewa, 2001). W latach 70. i 80. XX w. partia „P, K, L” została udostępniona poziomymi wyrobiskami kamiennymi: przekopem zachodnim II wykonanym od szybu „Zofia” (1970–1971), przekopem zachodnim IV wykonanym z chodnika podstawowego w pokładzie 209 (1978–1983) oraz przekopem południowym II wykonanym z chodnika podstawowego w pokładzie 214 (1985–1989). Przekopy te udostępniły pokład 208 w partii „P, K, L”, umożliwiając jego eksploatację, która była prowadzona w latach 1983–1991 na głębokości 60–240 m w dwóch warstwach o łącznej miąższości 4,1–5,6 m systemem ścianowym z podsadzką hydrauliczną (Kleta, Plewa, 2001).

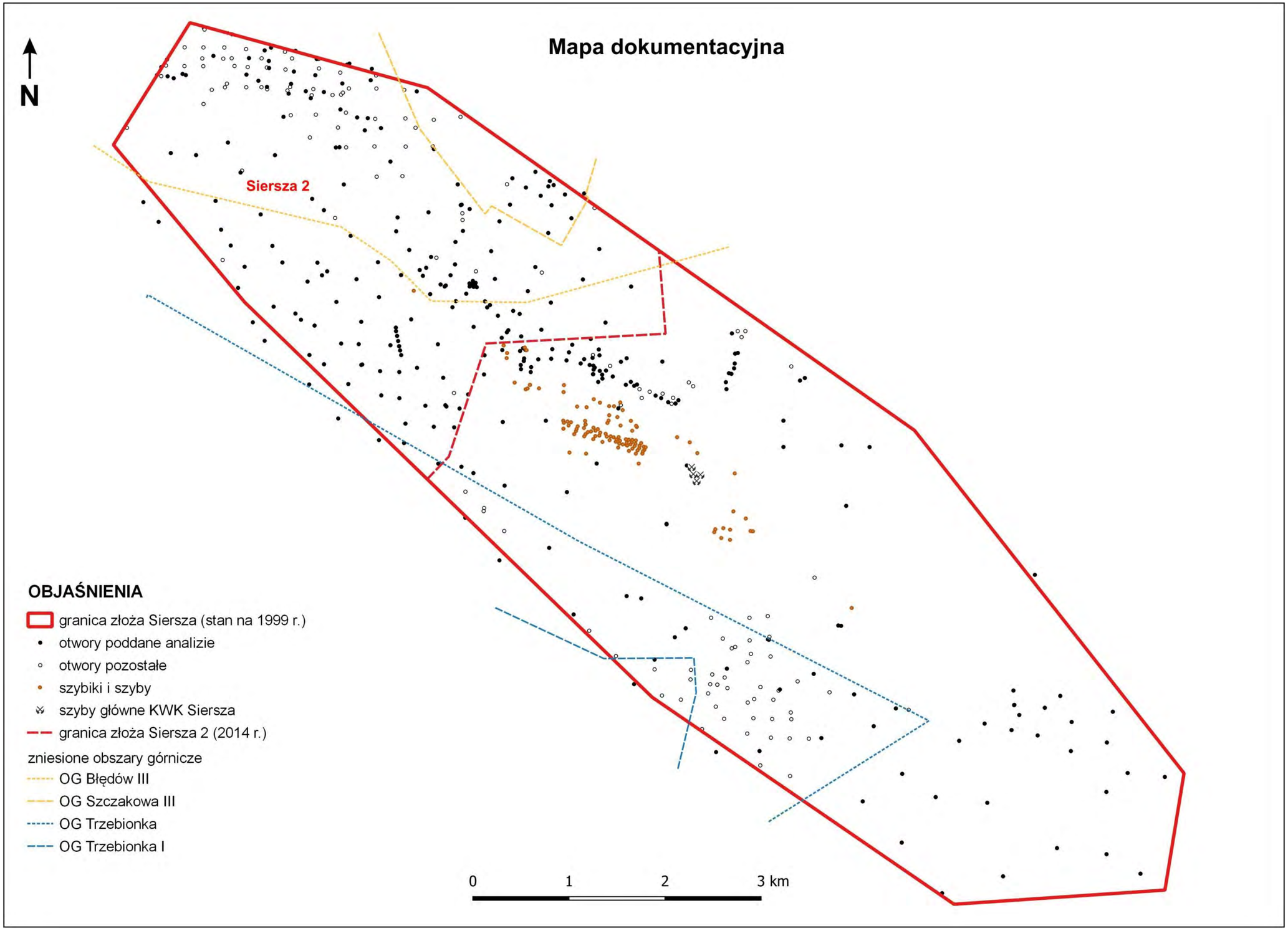
Pole południowe zlokalizowane jest po południowej stronie uskoku południowego i charakteryzuje się bardzo urozmaiconą budową geologiczną, z silnie rozwiniętą tektoniką oraz występowaniem w nadkładzie grubych kompleksów utworów młodszych, głównie

triasowych i jurajskich. Pole to nigdy nie było udostępniane pionowymi wyrobiskami górniczymi. Roboty udostępniające prowadzone były z sąsiedniego pola centralnego poziomymi wyrobiskami kamiennymi (przekopami południowymi poziomów V i VI), wykonanymi w latach 1982–1986. Przekopy udostępniły pokład 207 w centralnej i wschodniej części pola południowego, pokład 208 w zachodniej części pola południowego oraz pokład 209-210 w centralnej części pola południowego. Roboty przygotowawcze w obrębie pokładu 207 prowadzone były we wschodniej części pola południowego w latach 1983–1989, natomiast w obrębie pokładu 209-210 w zachodniej części pola południowego – w latach 1996–1998. Eksploatację węgla w polu południowym prowadzono bardzo krótko i w ograniczonym zakresie (Kleta, Plewa, 2001).

2.3. Ocena wiarygodności informacji geologiczno-górniczych

Do wykonania niniejszej analizy geologiczno-górniczej wykorzystano wszelkie dostępne dokumentacje, materiały archiwalne i dane publikowane (m.in. Solski, 1960; Ochoński i in., 1962; Pietrzyk, 1964; Kozłowska, Znański, 1966; Cibis, Solska, 1973; Kurek, 1985, 1988; Polak, 1982; Miśkowicz, 1999; Kozłowska, 2003; Kowalik, 2011; Skowroński, 2014; *Mapa strukturalna stropu…*). Przede wszystkim, skorzystano z materiałów archiwalnych z zasobów Narodowego Archiwum Geologicznego PIG-PIB oraz archiwum Wyższego Urzędu Górniczego.

Informacje dotyczące utworów nadkładu karbonu i głębokości zalegania stropu karbonu oraz pokładów węgla pozyskano z kart otworów wiertniczych i dokumentacji geologicznych. W tym celu przeanalizowano 12 dokumentacji geologicznych z lat 1960–2014 (wymienionych w literaturze na końcu raportu), głównie w zakresie map pokładowych oraz map i przekrojów geologicznych, informacje z 431 otworów wiertniczych odwierconych na obszarze złoża „Siersza” oraz 128 otworów odwierconych w jego bezpośrednim sąsiedztwie (do 500 m od granic złoża), a także 110 dawnych szybów i szybików. Po wstępnej weryfikacji danych analizą szczegółową, zwłaszcza w zakresie konstrukcji map, objęto dane pochodzące z powierzchniowych otworów wiertniczych nawiercających osady karbonu oraz posiadających opis litologiczny. W granicach złoża dane te pochodzą z 292 otworów (ryc. 2.1). Należy przy tym jednak podkreślić, że wiarygodność informacji z otworów jest bardzo zróżnicowana. Zdecydowana większość otworów ujęta w analizie została odwiercona w latach 50. i 60. XX wieku (odpowiednio 168 i 71 otworów). Precyzyjność danych z tych otworów jest bardzo często ograniczona, a jeszcze mniejsza jest z otworów z lat wcześniejszych (w analizie ujęto dane tylko z 10 otworów odwierconych przed 1950 r.). Zdecydowanie większą jakością danych charakteryzują się otwory odwiercone w latach późniejszych, czyli w okresie ostatnich 50 lat, których jest tylko 26, w tym: 12 otworów – lata 70. XX w., 11 – lata 80., 1 – 1990 r., 1 – 2014 r. i 4 – 2016 r. W przypadku 14 otworów, ujętych w analizie szczegółowej ze względu na istotny opis litologii profilu, nie ustalono daty ich wiercenia. Ogólnie rzecz ujmując, najstarsze otwory cechują się bardzo lakonicznym opisem ich profilu. Ponadto, w zdecydowanej większości otworów utwory nadkładu



Ryc. 2.1. Mapa dokumentacyjna.

karbonu były przewiercane bezrdzeniowo, a w profilu stropowej części utworów karbonu (jeżeli był rdzeniowany) miały miejsce bardzo niskie uzyski rdzenia. Z tych powodów często trudno jest precyzyjnie rozdzielić utwory nadkładu, a także dokładnie zlokalizować strop karbonu, szczególnie w sytuacji, gdy stropową partię utworów karbonu budują silnie zwietrzałe, rozsypliwe piaskowce zalegające bezpośrednio pod piaskami czwartorzędowymi. A taka sytuacja jest bardzo częsta na obszarach objętych płytką eksploatacją. Tego rodzaju trudności występują też na pograniczu utworów piaszczystych permu oraz niżej zalegających warstw karbońskich. W związku z powyższym, należy podkreślić, że różnice w rzeczywistej sytuacji geologicznej mogą wynosić kilka lub – rzadziej – nawet kilkanaście metrów.

Lokalizacja i głębokość płytkiego kopalnictwa również może być obarczona błędem. Eksploatacja w rejonie złoża „Siersza" prowadzona była co najmniej od początku XIX wieku. Dane górnicze zostały przeniesione na mapy dokumentacyjne kopalni „Siersza" ze starych materiałów, lokalizacja może być więc nieprecyzyjna ze względu na stosowanie różnych układów geodezyjnych i możliwy brak kompletu informacji o robotach eksploatacyjnych prowadzonych najdawniej systemem odkrywkowym lub bardzo płytkimi wyrobiskami. Do lokalizacji robót płytkiego kopalnictwa wykorzystano mapy z dokumentacji geologicznych w skali 1:5 000 i sekcje podstawowe w skali 1:1 000. Nawet na sekcjach podstawowych bardzo często brak jest jednak w wielu miejscach jakichkolwiek rzędnych pokładów, co powoduje, że głębokość wyeksploatowanych pokładów węgla określona jest w przybliżeniu. Ważna jest też możliwość występowania obszarów eksploatacji, która w ogóle nie jest udokumentowana, w szczególności obszarów objętych tzw. „biedaszybami" (tego rodzaju eksploatacja w rejonie Sierszy była prowadzona do czasów II wojny światowej).

2.4. Budowa geologiczna złoża

2.4.1. Litologia i stratygrafia

W budowie geologicznej złoża „Siersza", do głębokości dokumentowania (1000 m), biorą udział utwory nadkładu (czwartorzędu, neogenu, jury, triasu i permu) oraz karbonu produktywnego, reprezentowanego przez krakowską serię piaskowcową (warstwy libiąskie i łaziskie) oraz serię mułowcową (warstwy orzeskie *s.s.* i załęskie), a w niewielkim zakresie także przez górnośląską serię piaskowcową (warstwy rudzkie *s.s.*) i serię paraliczną. Dla celów niniejszego opracowania, podstawowe znaczenie ma budowa geologiczna nadkładu i przystropowego 100-metrowego profilu karbonu wraz z rozpoznaniem głębokości zalegania stropu karbonu.

Nadkład

Rozmieszczenie utworów nadkładu na obszarze złoża „Siersza" jest zmienne i częściowo uwarunkowane tektonicznie. Pole centralne i częściowo wschodnie jest prawie bez nadkładu i karbon zalega płytko pod powierzchnią terenu (kilka-kilkanaście metrów) lub tworzy wychodnie. Na południu zalegają utwory triasu, a osady neogenu występują tylko

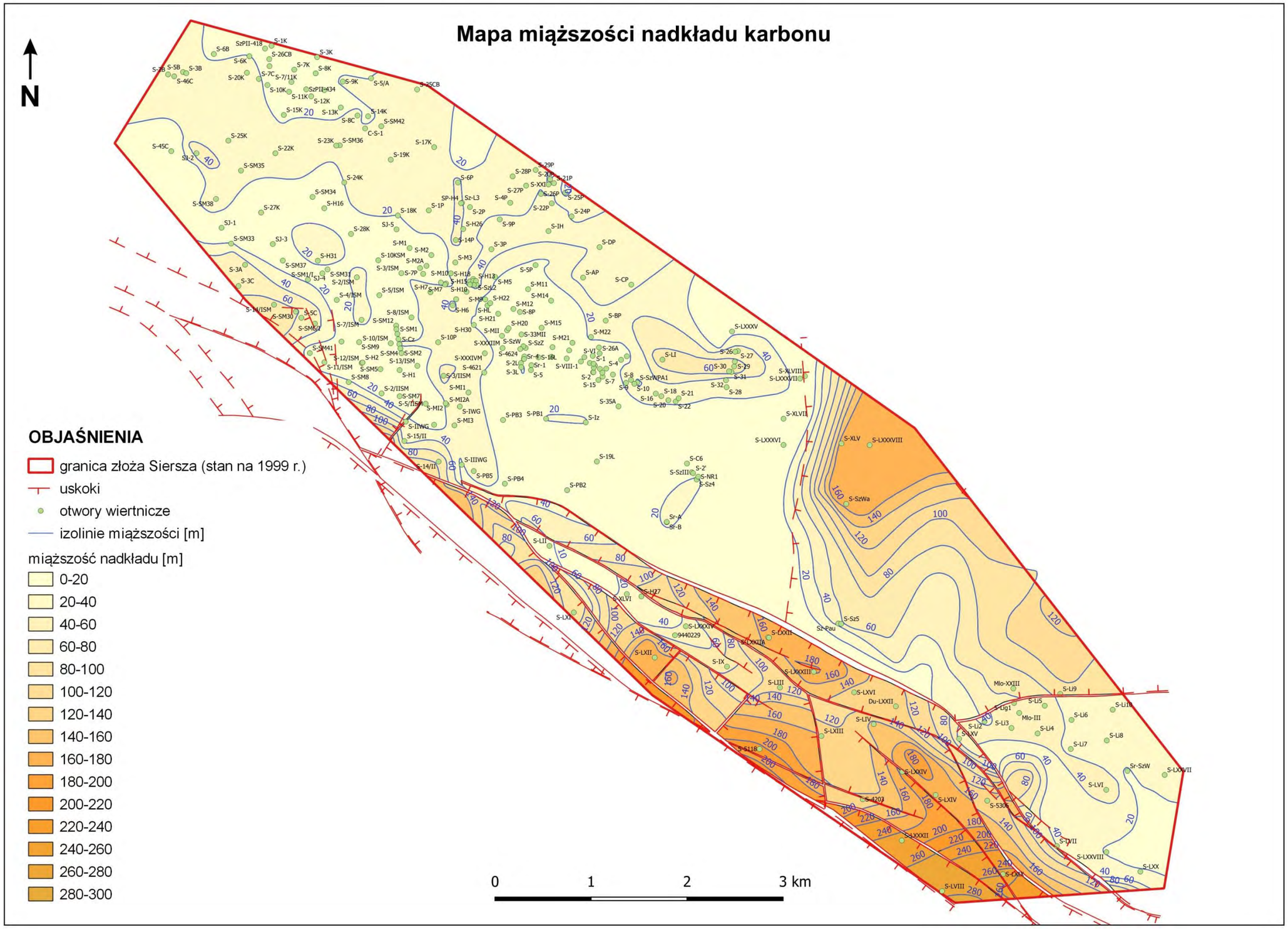
tuż przy południowej granicy złoża. Na północnym wschodzie i wschodzie w rejonie Myślachowic i Karniowic występują utwory permu (Habryn i in., 2002). Z kolei na północnym zachodzie zalegają piaski czwartorzędowe o miąższości do 45–50 m. Występowanie utworów nadkładu karbonu wraz z ich miąższością przedstawiają ryciny 2.2 i 2.3.

Warto zauważyć, przy opisie geologii utworów nadkładu złoża, że wielu miejscach pierwotny profil geologiczny w przypowierzchniowych partiach nadkładu został silnie zaburzony przez wtórne zdeponowanie różnego rodzaju materiału antropogenicznego, zwłaszcza w obniżeniach terenu lub dawnych wyrobiskach, szerzej opisanego w rozdziale 2.5.

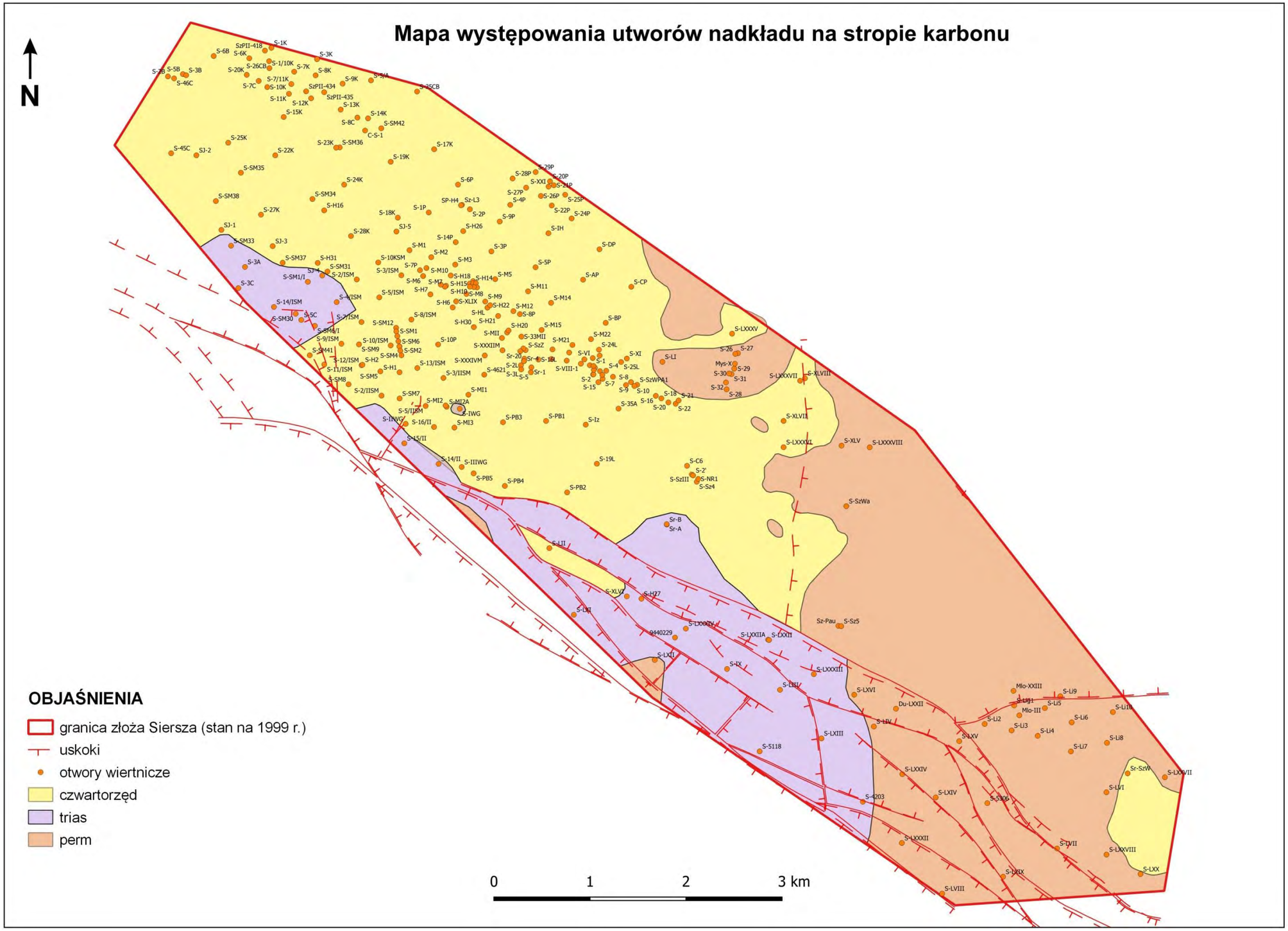
Czwartorzęd zalega praktycznie na całym obszarze złoża (ryc. 2.3), przy czym na znacznych obszarach w części środkowej, południowej i wschodniej, udział tych osadów w profilu nadkładu jest nieznaczny, a pod cienką warstwą gleby odsłaniają się zwietrzeliny utworów karbońskich, jurajskich, triasowych lub permskich. Generalnie, grubość czwartorzędu jest bardzo zmienna i kształtuje się od 0,2 do 54,6 m. W części północno-wschodniej miąższość czwartorzędu wynosi od kilku do około 53 metrów, a w części północno-zachodniej od 2,9 m do 41,0 m. W części centralnej grubość pokrywy osadów czwartorzędowych wynosi od poniżej 1,0 m do około 54,0 m. Na południu i południowym wschodzie czwartorzęd osiąga zazwyczaj miąższość od kilku do 21 metrów, lokalnie do 49,5 m. Są też obszary w tej części, gdzie miąższość czwartorzędu wynosi od 0,15 do 1 m. Litologicznie osady czwartorzędowe stanowią:

- zwietrzeliny skał wapiennych i dolomitowych oraz skał karbońskich, składające się z rumoszu skalnego o różnej wielkości okruchów;
- piaski kwarcowe drobno- i średnioziarniste, żółte lub jasnoszare, niekiedy żelaziste;
- gliny żółto-brunatne, nieco piaszczyste, zawierające drobne fragmenty skał triasowych, jurajskich lub permskich;
- gliny lessowe, pojawiające się lokalnie w części południowo-wschodniej obszaru złoża;
- iły i mady holocenu o niewielkiej miąższości, występujące lokalnie w dolinach cieków.

Neogen (miocen) występuje tylko w południowej części miasta Trzebinia, tuż przy południowej granicy złoża. Miocen, o miąższości sięgającej 51 m, tworzą iły tortonu dolnego – opol dolny i górny, wypełniające dno Rowu Krzeszowickiego. Opol górny osiąga grubość około 15 m; są to iły szaro-zielone i jasnoszare, nieco margliste. Opol dolny osiąga grubość około 35 m; stanowią go iły i margle, w części środkowej z fragmentami i otoczakami wapieni jurajskich.



Ryc. 2.2. Mapa miąższości nadkładu karbonu.



Ryc. 2.3. Mapa występowania utworów nadkładu na stropie karbonu.

Utwory jury (górnej i środkowej) występują na stosunkowo niewielkim obszarze w południowo-wschodniej części złoża (ryc. 2.4.). Ich miąższość dochodzi do 158,0 m. Jurę górną budują margle i wapienie margliste oraz margle glaukonitowe z konkrecjami fosforytowymi, o miąższości w granicach 55–145 m. Jura środkowa jest reprezentowana przez piaskowce, zlepieńce i wapienie oolitowe; ich miąższość wynosi 1–15 m (Habryn i in., 2002).

Trias występuje w południowej i zachodniej części złoża (ryc. 2.3). Są to utwory kajpru, wapienia muszlowego i pstrego piaskowca. Miąższość triasu sięga 158 m.

Kajper (trias górny) tworzą iły i iłowce, w dolnym odcinku profilu przewarstwione wapieniami dolomitycznymi, dolomitami i piaskowcami; miąższość od 0 do 120 m.

Wapień muszlowy (trias środkowy) buduje szereg jednostek stratygraficznych, zmiennych lateralnie i częściowo równoważnych czasowo:

- warstwy boruszowickie – iły łupkowe, przewarstwione pelitycznymi dolomitami, przechodzące w niższych partiach profilu w dolomity z wkładkami iłów dolomitycznych, grubość osadów wynosi około 15 m;
- warstwy tarnowickie – dolomity pylaste, pelityczne, przeławicone marglami dolomitycznymi; grubość około 10 m;
- dolomity diploporowe – dolomity porowate lub jamiste o strukturze pelitycznej, detrytycznej lub organogenicznej; grubość od 15 do 50 m;
- dolomity siewierskie – dolomity pylaste lub pelityczne; grubość około 15 m;
- dolomit kruszconośny – dolomity pelityczne lub drobnokrystaliczne; w spągu sporadyczne nagromadzenia pirytu i galeny oraz minerałów cynku; grubość od 15 do 40 m;
- wapień falisty II i wapień międzyfalisty – wapienie pelityczne i drobnokrystaliczne, miejscami margliste; miąższość osadów około 5 m;
- seria zlepieńcowa – zlepieńce śródformacyjne, zbudowane z otoczaków wapiennych ze spoiwem wapiennym, grubość od 7 do 15 m;
- wapień falisty I – wapienie przechodzące w wapienie margliste lub margle, w stropie cienka warstwa wapienia komórkowego; grubość około 5 m;
- wapienie z *Pecten* i *Dadocrinus* – wapienie krynoidowe o grubości od 5 do 10 m.

Pstry piaskowiec (trias dolny) stanowi ret (warstwy z *Myophoria costata*) oraz warstwy ze Świerklańca. Ret tworzą dolomity margliste przewarstwione dolomitami detrytycznymi, o miąższości od 20 do 30 m. Warstwy ze Świerklańca budują iły i piaski margliste, przewarstwione żwirami. Grubość tych warstw waha się od 3 do 25 m.

Utwory permu to osady czerwonego spągowca, zalegające głównie we wschodniej części złoża, o miąższości od około 20,0 m do 172,5 m (ryc. 2.3, 2.4). Są to tufy filipowickie i zlepieńce myślachowickie. Tufy filipowickie to skały o wiśniowo-czerwonej barwie, złożone z popiołów wulkanicznych, miejscami z fragmentami skał wylewnych, o miąższości do 55 m.

Zlepieniec myślachowicki stanowią skały barwy wiśniowo-czerwonej lub szarej, złożone z otoczaków wapieni i dolomitów dolnokarbońskich i dewońskich. W rejonie szybu Walter i Magistrali Węglowej pojawia się facja piaszczysta złożona z piasków i piaskowców drobno- i średnioziarnistych, przewarstwionych iłami, z otoczakami skał węglanowych i wylewnych.

Strop karbonu

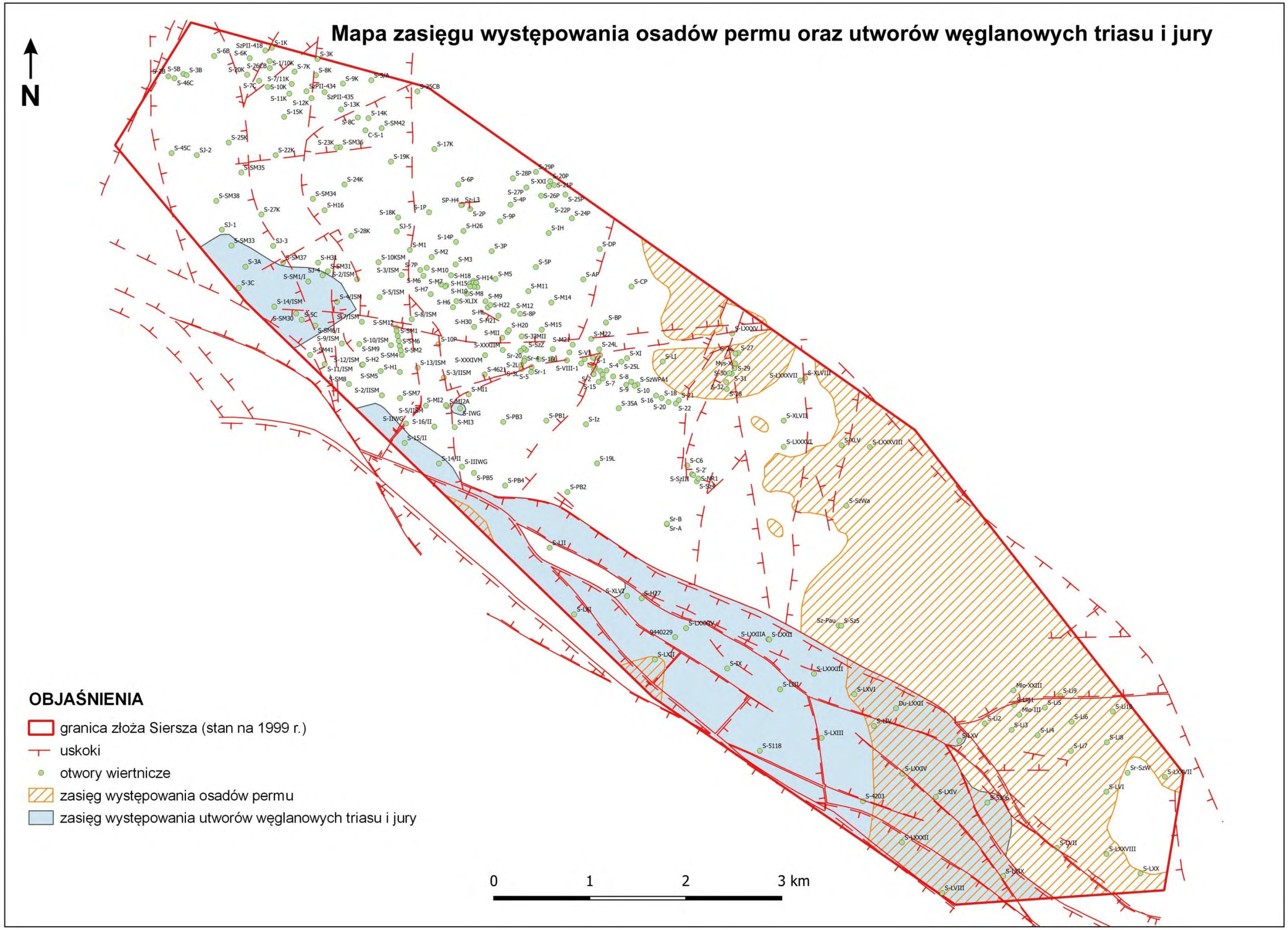
Zaleganie poszczególnych jednostek nadkładu bezpośrednio na stropie karbonu przedstawia rycina 2.3. Osady węglanowe triasu tworzą pokrywę nad utworami karbonu wzdłuż południowo-zachodniej granicy złoża „Siersza" (ryc. 2.3), osady permu występują głównie w południowej i wschodniej części złoża (ryc. 2.3, 2.4). Na pozostałym obszarze nadkład karbonu stanowią osady czwartorzędowe występujące w centralnej i północnej części złoża (ryc. 2.3).

Mapa strukturalna stropu karbonu (ryc. 2.5) przedstawia głębokość zalegania i rzeźbę stropu karbonu. Najgłębiej strop karbonu występuje w rejonach występowania utworów triasu w części południowo-zachodniej złoża. Dość głęboko jest on zlokalizowany również w strefie występowania utworów permu w części wschodniej złoża. Najpłycej – od 0,2 do ok. 54 m p.p.t – występuje on na obszarach, gdzie bezpośrednio na skałach karbońskich zalegają osady czwartorzędowe (ryc. 2.5).

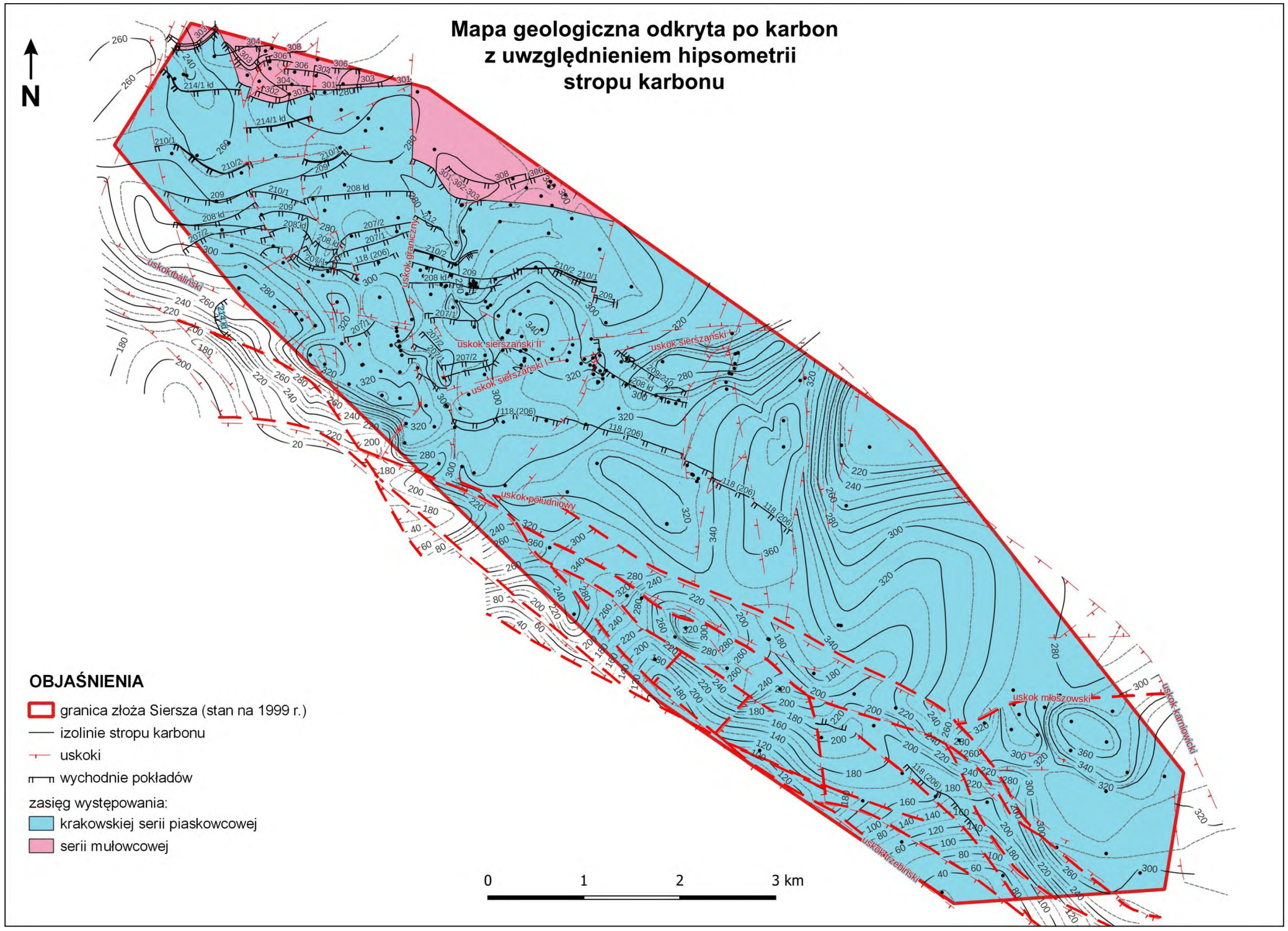
Mapa miąższości całego nadkładu (ryc. 2.2) pokazuje sumaryczną miąższość wszystkich utworów na stropie karbonu. Największe jego miąższości występują w rejonie południowo-zachodniej części złoża (głównie trias i jura) osiągając maksymalnie około 275 m, a także w części wschodniej (głównie perm), gdzie osiągają lokalnie ponad 170 m.

Seria złożowa karbonu

Karbon do głębokości dokumentowania złoża (1000 m) budują głównie utwory krakowskiej serii piaskowcowej – warstwy łaziskie (udokumentowane pokłady węgla: 206, 207/1, 207/2, 208 ł.g. i ł.d., 209, 210, 209-210, 210/2, 212, 214 ł.g. i ł.d.) oraz serii mułowcowej – warstwy orzeskie *s.s.* i załęskie (udokumentowane pokłady węgla: 301, 302, 303, 304, 306, 308, 324 i 354). W młodszych warstwach libiąskich (występują na ograniczonym obszarze) nie rozpoznano pokładów węgla, natomiast w głębiej zalegających warstwach rudzkich górnośląskiej serii piaskowcowej występuje tylko kilka pokładów pozabilansowych. W złożu kopalni „Siersza" znane są również utwory serii paralicznej (wg tzw. wschodniego podziału karbonu GZW – warstwy grodzieckie, florowskie i sarnowskie), w których pokłady węgla na ogół nie osiągają miąższości bilansowych; udokumentowano jeden pokład oznaczony jako 816, od dokumentowania dwóch innych spełniających kryteria bilansowości odstąpiono ze względu na ich bardzo słabe rozpoznanie (pokłady 705? i 829?) (Kurek, 1985; Polak, 1992).



Ryc. 2.4. Mapa zasięgu występowania osadów permu oraz utworów węglanowych triasu i jury.



Ryc. 2.5. Mapa geologiczna odkryta po karbon z uwzględnieniem hipsometrii stropu karbonu.

Krakowska seria piaskowcowa stanowi kompleks różnoziarnistych piaskowców szarogłazowych i arkozowych o spoiwie ilastym, z cienkimi warstwami mułowców i iłowców oraz pokładami węgla. Podstawowe znaczenie złożowe mają warstwy łaziskie, których miąższość wynosi od 230 do 330 m. Pokłady węgla tych warstw przeważnie mają znaczną grubość, często przekraczającą 2–3 m, a maksymalnie sięgającą 7–9 m oraz tendencję łączenia się. Przykładem są pokłady 209 i 210, które w części centralnej łączą się w jeden pokład 209-210, a we wschodniej również z pokładem 208. Pokłady warstw łaziskich charakteryzują się dość dużą stałością zalegania, zarówno pod względem miąższości, jak i rozprzestrzenienia. W kierunku wschodnim pokłady węgla cienieją, natomiast w rejonie miasta Trzebinia i w skrzydle północnym niecki wilkoszyńskiej zanikają.

Serię mułowcową stanowią głównie mułowce i iłowce, podrzędnie występują piaskowce. Pokłady węgla tej serii charakteryzują się zmienną miąższością. Najgrubszym pokładem jest 301-302-303-304, który miejscami łączy się w jeden pokład, a miejscami rozszczepia na dwa, trzy lub cztery oddzielne, osiągając maksymalnie miąższość do 9,0 m (najczęściej 3,5 m). Udokumentowane są głównie pokłady górnej części serii – warstw orzeskich *s.s.*, natomiast zalegająca niżej dolna część serii (warstwy załęskie) jest słabo rozpoznana, w związku z czym pokłady węgla tej części serii praktycznie nie zostały udokumentowane.

Górnośląska seria piaskowcowa, reprezentowana przez warstwy rudzkie *s.s.*, występuje tylko w zachodniej części złoża, gdzie ma ok. 70 m miąższości. W kierunku wschodnim utwory tej serii cienieją, a w rejonie szybów głównych się wyklinowują. Litologicznie są to głównie piaskowce różnoziarniste, a podrzędnie mułowce i iłowce i kilka pozabilansowych pokładów węgla.

Seria paraliczna – warstwy grodzieckie, florowskie i sarnowskie – w budowie geologicznej złoża ma podrzędne znaczenie. Litologicznie, są to utwory ilasto-mułowcowe z przewarstwieniami piaskowców i dość licznymi, na ogół cienkimi, pokładami węgla. Piaszczystość serii znacząco zwiększa się w części spągowej w warstwach sarnowskich.

2.4.2. Tektonika

Złoże byłej kopalni „Siersza” jest położone we wschodniej części niecki wilkoszyńskiej, przebiegającej z NWW na SEE, która w obrębie utworów karbońskich wchodzi w skład pasma synklin Bytom-Brodła. Oś niecki przebiega w pobliżu południowej granicy obszaru złoża. Upady warstw na ogół nie przekraczają 15°. Niecka wilkoszyńska jest silnie pocięta uskokami, biegnącymi głównie w dwóch kierunkach. Uskoki starsze mają przebieg północ-południe i występują jedynie w warstwach karbońskich, natomiast młodsze – o zbliżonych amplitudach zrzutów – zarówno w karbonie, jak i w utworach młodszych, mają kierunek wschód-zachód, zbliżony do osi niecki. W części południowej obszaru złoża synklinalny układ warstw jest zaburzony elewacją o charakterze siodła o kierunku NWW-SEE, z upadami warstw wynoszącymi od kilku do ponad 20 stopni.

Tektonika omawianego obszaru jest bardzo skomplikowana. Obserwuje się większe nachylenie pokładów węgla serii paralicznej podczas, gdy młodsze utwory karbońskie zalegają stosunkowo poziomo. Przypuszczalnie ma to związek z faktem, że na obszarze złoża utwory krakowskiej serii piaskowcowej, serii mułowcowej i górnośląskiej serii piaskowcowej leżą niezgodnie na serii paralicznej. Zrzuty uskoków w większości przypadków nie przekraczają 50 m, częste są niewielkie uskoki o zrzutach kilku-kilkunastu metrów, aczkolwiek w kilku przypadkach sięgają nawet 100 m i więcej, w tym uskoku południowego o zrzucie 150–160 m. Pomimo niewielkich kątów upadu, nachylenie warstw oraz zrzuty uskoków powodują dużą zmienność głębokości zalegania pokładów węgla, np. pokład 301 w części północnej złoża zalega na głębokości +310 m n.p.m., w kierunku południowym w osi niecki na -80 m n.p.m., w skrzydle zrzuconym uskoku południowego na -160 m n.p.m., a dalej na południe w kopule siodła na +170 m n.p.m.

Największe uskoki w złożu „Siersza" mają przebieg południkowy. Są to uskoki: Sierszański I, Sierszański II, Południowy, Baliński, Trzebiński, Młoszowski i Karniowicki. Uskoki te przebiegają mniej więcej zgodnie z kierunkiem osi niecki lub dokładnie ze wschodu na zachód jak uskoki Sierszański I i II oraz Młoszowski (ryc. 2.5).

Oprócz wymienionych uskoków niecka pocięta jest uskokami prostopadłymi do osi, często o kierunku północ-południe. Największy z nich to uskok Graniczny. Przy szybach głównych przebiega kilka uskoków o kierunku NNE-SSW. Przy granicy zachodniej złoża stwierdzono kilka uskoków o kierunku N-S o większych amplitudach zrzutów.

2.4.3. Warunki hydrogeologiczne

Na omawianym obszarze złoża występuje pięć kompleksów hydrogeologicznych obejmujących warstwy przepuszczalne:

- w utworach czwartorzędowych;
- w utworach jurajskich;
- w utworach triasowych;
- w utworach permu;
- w utworach karbonu.

Utwory neogenu ze względu na wykształcenie litologiczne i niewielkie rozprzestrzenienie tworzą warstwę nieprzepuszczalną, jedynie lokalnie ograniczającą infiltrację wód opadowych.

Warunki hydrogeologiczne w osadach karbonu

Poziomy wodonośne w utworach karbońskich występujące w obszarze złoża związane są z piaskowcami warstw libiąskich, łaziskich, orzeskich i załęskich, rudzkich oraz serii paralicznej.

Litologicznie utwory karbońskie – jako całość – wykształcone są w postaci skał ilasto mułowcowych, piaskowców drobno-, średnio- i gruboziarnistych miejscami zlepieńcowatych oraz pokładów węgla. W partii przystropowej utwory karbońskie, zwłaszcza pod cienkim nadkładem czwartorzędowym lub występujące bezpośrednio na powierzchni, są w znacznym stopniu zwietrzałe i spękane, co powoduje, że bez względu na wykształcenie litologiczne prowadzą wodę. W głębszych partiach utworów karbońskich występowanie poziomów wodonośnych wiąże się z piaskowcami zalegającymi w formie ławic o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Poziomy wodonośne w karbonie posiadają charakter głównie swobodny lub słabo napięty. Najbardziej wodonośne są piaskowce libiąskie i łaziskie, których zawodnienie wzrasta wraz z głębokością. Wodonośność piaskowców związana jest głównie z ich porowatością, jak również z filtracją wzdłuż płaszczyzn uławicenia i spękań. Są to piaskowce od drobno- do gruboziarnistych, a nawet do zlepieńcowatych. Różny jest stopień ich zailenia i różna porowatość. Dzięki nieckowatej budowie złoża istnieją dogodne warunki zasilania utworów wodonośnych na wychodniach. Dotyczy to głównie pakietów piaskowcowych w warstwach łaziskich i orzeskich. Obszary zasilania piaskowców tych warstw znajdują się na obszarze złoża lub za jego granicami. Pakiety piaskowcowe poprzecinane są licznymi uskokami i poprzesuwane względem siebie. Utrudnia to, a niekiedy uniemożliwia przepływ wody w ich obrębie. Kontakt hydrauliczny pomiędzy poszczególnymi pakietami piaskowcowymi może następować przez szczeliny uskokowe oraz spękania górotworu zarówno naturalne, jak i powstałe w wyniku eksploatacji.

Zasoby statyczne są głównym źródłem zawodnienia pokładów na niższych poziomach kopalni oraz w wyższych partiach, nie objętych eksploatacją. W rejonie, gdzie była prowadzona eksploatacja, mamy do czynienia z całkowitym sczerpaniem zasobów statycznych wód lub nieznacznym zawodnieniem.

Dane dotyczące zawodnienia kopalni

Warunki hydrogeologiczne w złożu są dość trudne ze względu na duże zawodnienie. Niewielka miąższość i brak izolacji w nadkładzie (głównie utwory czwartorzędowe i triasowe, w ograniczonym zasięgu także jurajskie i permskie oraz trzeciorzędowe) oraz przepuszczalne warstwy w stropowej części karbonu powodują infiltrację wód opadowych w ilości 12,5 m^3/min. Ogólnie kopalnia „Siersza" należała do kopalń silnie zawodnionych o dopływie ok. 28 m^3/min. (pomiar z 1999 r.), w tym 25 m^3/min. z piaskowców warstw łaziskich i częściowo z libiąskich oraz około 3 m^3/min ze stropowej partii warstw orzeskich. Dopływ jednostkowy do kopalni przypadający na 1 km^2 obszaru wynosił 0,69 m^3/min.

Mineralizacja wód jest niewielka, dochodzi do 1,9 g/dm^3, ale w 77% wód nie przekracza 1 g/dm^3; 28% wód odpowiada normom dla wód pitnych. Całość wód zrzutowych spełniała parametry wód klasy I B (wody pitnej zanieczyszczonej). Duża ilość wód złożowych niewątpliwie była uciążliwa dla eksploatacji, a jej pompowanie powodowało dodatkowe koszty, nie stwarzała jednak specjalnych zagrożeń dla eksploatacji, podobnie jak wody powierzchniowe, w odniesieniu do eksploatacji późniejszej z drugiej połowy XX w.. Dodatkowe koszty powodowało również zabezpieczenie niektórych zbiorników wód powierzchniowych (zmniejszenie infiltracji) oraz podziemnych zbiorników wodnych.

W latach 80. XX w., przy ustabilizowanym wydobyciu węgla na poziomie 12 500 t/dobę, średni wieloletni wskaźnik zawodnienia dla kopalni „Siersza" wynosił 4 m^3/t. W latach 90., gdy wielkość wydobycia kopalni podlegała znacznym wahaniom, wielkość wskaźnika wodoprodukcyjnego, zmieniała się w granicach od 7,78 m^3/t do 11,26 m^3/t. Jego średnia wartość wyniosła 9,22 m^3/t.

Zmiany warunków hydrogeologicznych

Po zakończeniu eksploatacji kopalnia „Siersza" nie była odwadniana, założono całkowite zatopienie wyrobisk kopalni. Orientacyjnie przyjmowano czas pełnego zatopienia dla kopalni „Siersza" na około 2011 r. Modelowe badania były prowadzone przez Główny Instytut Górnictwa (Frolik, 2006). Faktyczny czas oraz rzeczywiste skutki wynikające z całkowitego zatopienia kopalni są znane dokładniej dopiero teraz.

Eksploatacja górnicza KWK „Siersza" miała drenujący wpływ na poziomy wodonośne nadkładu i utworów karbońskich. Wieloletnie obserwacje hydrogeologiczne wskazywały na to, że utworzony lej depresyjny był ustabilizowany. Świadczyły o tym zarówno pomiary horyzontów wodnych (studnie, piezometry), jak i ustabilizowana ilość wód odpompowywanych przez kopalnię (dopływ wód naturalnych wynosił około 28,0 m^3/min).

Sumaryczny dopływ naturalny do kopalni ulegał w czasie nieznacznemu spadkowi. Stabilizację wykazywał dopływ pochodzący z infiltracji, natomiast wyraźnemu zmniejszeniu ulegał dopływ z nieuzupełnianych zasobów statycznych wody w warstwach karbońskich.

W wyniku zatrzymania pracy pomp głównego odwadniania kopalni „Siersza" nastąpiło stopniowe samozatopienie wyrobisk górniczych. W kolejnym etapie obserwowane było i jest powolne wypiętrzanie powierzchni terenu związane z odbudowywaniem ciśnień hydraulicznych w górotworze. Proces powyższy obserwowany jest na obszarze zlikwidowanej KWK „Siersza".

Należy podkreślić, że w przypadku byłej kopalni „Siersza", która nie jest izolowana od powierzchni nieprzepuszczalnym nadkładem mioceńskim, istniało od początku uzasadnione przewidywanie wystąpienia niekorzystnych zjawisk na powierzchni terenu po całkowitym zalaniu wodą wyrobisk kopalnianych.

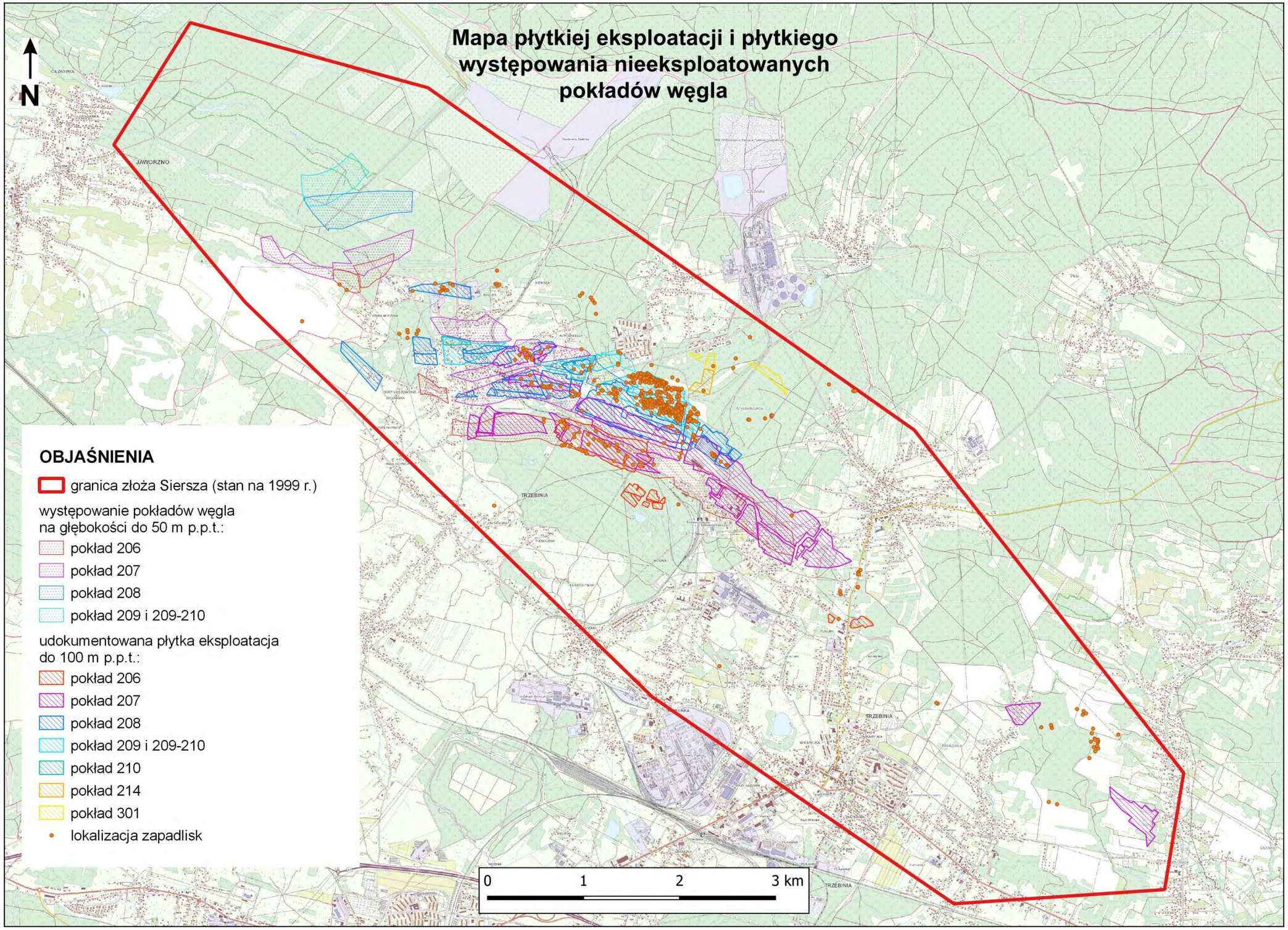
2.5. Eksploatacja pokładów węgla z uwzględnieniem stropowej partii karbonu i płytkiego kopalnictwa

Przedmiotem eksploatacji w KWK „Siersza" były przede wszystkim pokłady warstw łaziskich: 206, 207/1, 208 łd. i łd., 209, 210, 210/2, 209-210 i 214 łd. Eksploatowano także dwa pokłady stropowej części warstw orzeskich: 301 i 303 (Miśkowicz, 1999).

W części północnej i północno-zachodniej obszaru złoża do 100 m pod stropem karbonu zidentyfikowano pokłady należące do warstw łaziskich i orzeskich, a w części południowo-wschodniej również nieliczne pokłady należące do warstw libiąskich, niebędące przedmiotem eksploatacji. Pokłady węgla znajdują się dość często bardzo blisko powierzchni terenu, zwłaszcza pod niewielkim nadkładem osadów czwartorzędowych. W części wschodniej pokłady zalegają przeważnie na głębokościach od kilkudziesięciu do ponad 200 metrów. Litologicznie karbon w tej części złoża do 100 m od stropu stanowią piaskowce drobno i średnioziarniste, arkozowe, a także iłowce i mułowce. W części zachodniej i centralnej złoża pokłady węgla zalegają często na głębokościach od kilku do kilkudziesięciu metrów.

Do głębokości ok. 80–100 m od powierzchni terenu (płytkie kopalnictwo) eksploatowane były głównie pokłady 206, 207/1 i 208 łd, w mniejszym zakresie – pokład 209-210, a w niewielkim stopniu – pokłady 214 łd. i 301. Eksploatacja pozostałych pokładów miała miejsce na większych głębokościach. Łącznie obszar płytkiej eksploatacji do głębokości 100 m obejmuje powierzchnię 2,92 km^2 i jest położony w centralnej części złoża w rejonie osiedli Siersza, Misiury i Trentowiec. Na szczególną uwagę zasługuje obszar, w którym do głębokości 100 m skumulowana jest eksploatacja 2, a nawet 3 pokładów. Obszar ten ma powierzchnię ok. 0,67 km^2 i jest położony w rejonie Sierszy i Trentowca.

W rejonie ulic Odkrywkowej, Dembowskiego i 22 Stycznia 1863 r. na południowy zachód od osiedla „Gaj" obszar płytkiej eksploatacji trzech pokładów do głębokości 100 m (pokłady 208, 209 i 210) stanowią obszary zielone, jak również pojedyncze zabudowania. Na osiedlu Trentowiec obszar, gdzie eksploatowano 2 pokłady (207 i 208 na północ od ulicy Sportowej oraz 206 i 207 na południe) stanowią głównie tereny zalesione. W rejonie ulicy Sportowej obejmuje on w niewielkiej części zabudowę mieszkaniową, plac sportowy, a także tory kolejowe przy ulicy Grunwaldzkiej. Na północ od ulicy Grunwaldzkiej w rejonie ulic Zwycięstwa, Bocznej, Leśnej i Chrobrego miejsce skumulowanej eksploatacji dwóch pokładów (208 i 209 w części południowej oraz 209 i 210 w części północnej) znajduje się pod terenami mieszkalnymi z dość liczną zabudową (ryc. 2.6). Płytka eksploatacja dwóch pokładów 207 i 208 miała również miejsce w rejonie ulic Grunwaldzkiej, Dyrekcyjnej, Górniczej i Solskiego oraz na terenie zalesionym, w okolicy dawnego szybu podsadzkowego „Zofia".



Ryc. 2.6. Mapa płytkiej eksploatacji i płytkiego występowania nieeksploatowanych pokładów węgla (źródło podkładu: GUGiK).

Typowym przykładem obszaru o płytkiej eksploatacji w centralnej części złoża jest rejon rodzinnych ogródków działkowych oraz cmentarza parafialnego, przy ul. Jana Pawła II w Trzebini-Sierszy (ryc. 2.7). Jest to rejon, na którym w ostatnich dwóch latach wielokrotnie miały miejsce deformacje nieciągłe terenu w postaci zapadlisk. W rejonie cmentarza i południowej części ogródków działkowych strop karbonu (wg danych z otworów wiertniczych) kształtuje się na rzędnych +300,0 – +315,0 m n.p.m. W nadkładzie karbonu występują wyłącznie utwory czwartorzędowe o miąższości od ok. 10 do ok. 20 m. Są to piaski średnio- i gruboziarniste, gliny morenowe, żwiry oraz iły i iły piaszczyste. W tym rejonie znajdują się wychodnie i zroby eksploatacyjne pokładów 207, 208 i 209-210 (ryc. 2.6). Pokłady eksploatowane były najprawdopodobniej na zawał, a wysokość ich eksploatacji wynosiła:

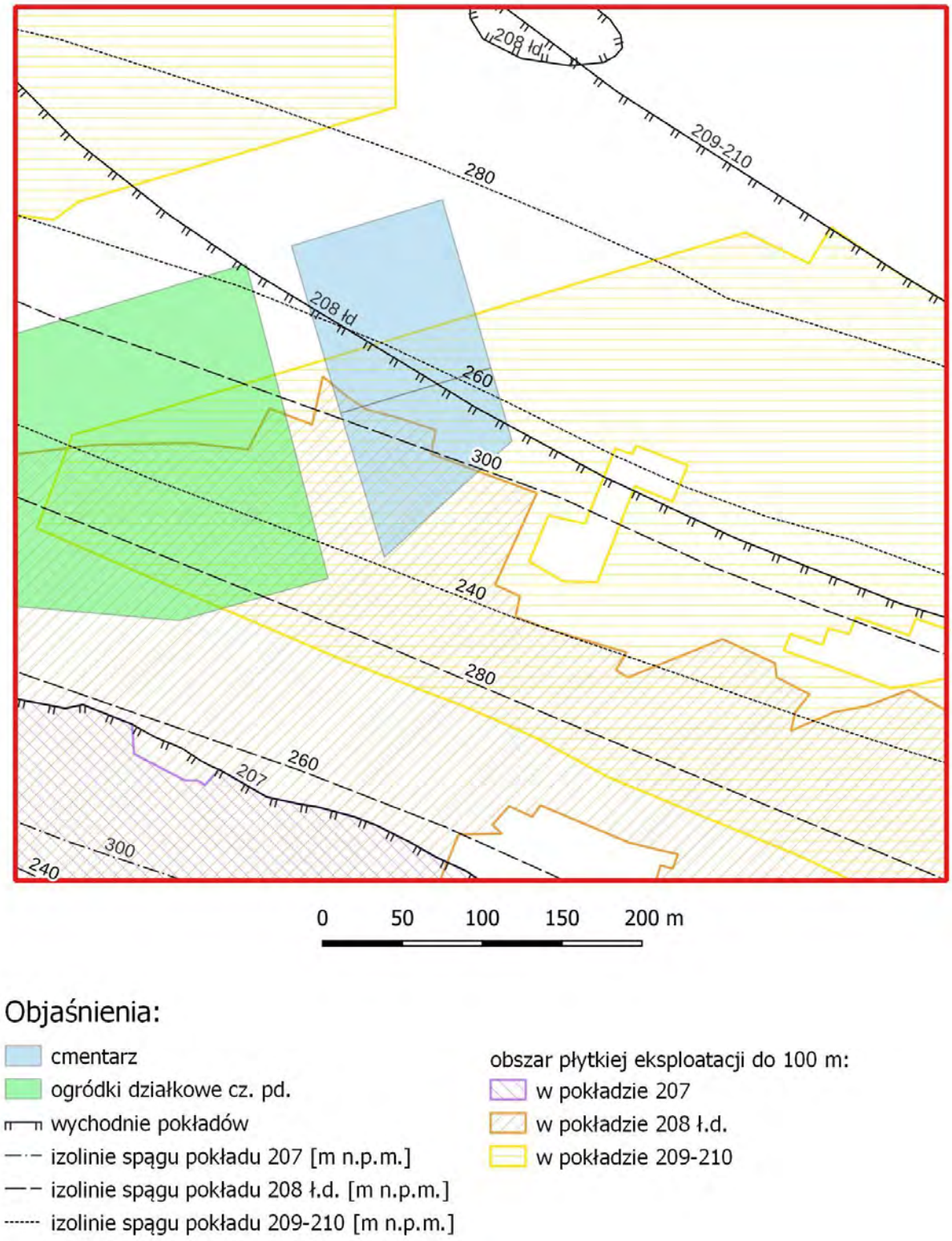
- pokład 207 – około 5,4 m;
- pokład 208 – 3,0–6,5 m;
- pokład 209-210 – 3,3–7,1 m.

Precyzyjne określenie miąższości wyeksploatowanych pokładów jest trudne ze względu na bardzo małą ilość danych. Pokłady w tym rejonie były eksploatowane w końcu XIX wieku i w początkach XX wieku. Jest to też typowy rejon, w którym nie można wykluczyć, a wręcz należy założyć, możliwość występowania obszarów eksploatacji nieudokumentowanej (tzw. „biedaszybów”).

Kopalnia „Siersza” w ostatnich dekadach XX w. prowadziła eksploatację pokładów systemem ścianowym z podsadzką hydrauliczną i z zawałem stropu. W schyłkowym okresie eksploatacji, od 1992 r., w polu wschodnim eksploatowano pokłady 207/1, 208/2 oraz 209-210, w polu centralnym 214/2 i 301/0, a w południowym 207/1 i 209-210.

Filary ochronne

W wielu rejonach złoża „Siersza” wyznaczone były filary ochronne. Dotyczy to przede wszystkim szybów głównych kopalni i pozostałych szybów, dużych zakładów przemysłowych (np. Rafinerii Nafty i Zakładów Cynkowych w Trzebini oraz elektrowni Siersza-Wodna), cieków wodnych (np. Kozi Bród), osiedli mieszkaniowych (np. Gaj, Siersza) oraz obiektów podziemnej infrastruktury górniczej (przekopów i głównych chodników). Należy jednak podkreślić, że filary ochronne wyznaczane były dopiero w II połowie XX w. (od połowy lat 50-tych), w związku z czym nie miały one istotnego wpływu na skutki eksploatacji wcześniejszej – z XIX w. i pierwszej połowy XX w.



Ryc. 2.7. Obszar płytkiej eksploatacji w rejonie ul. Jana Pawła II.

Deformacje powierzchni terenu

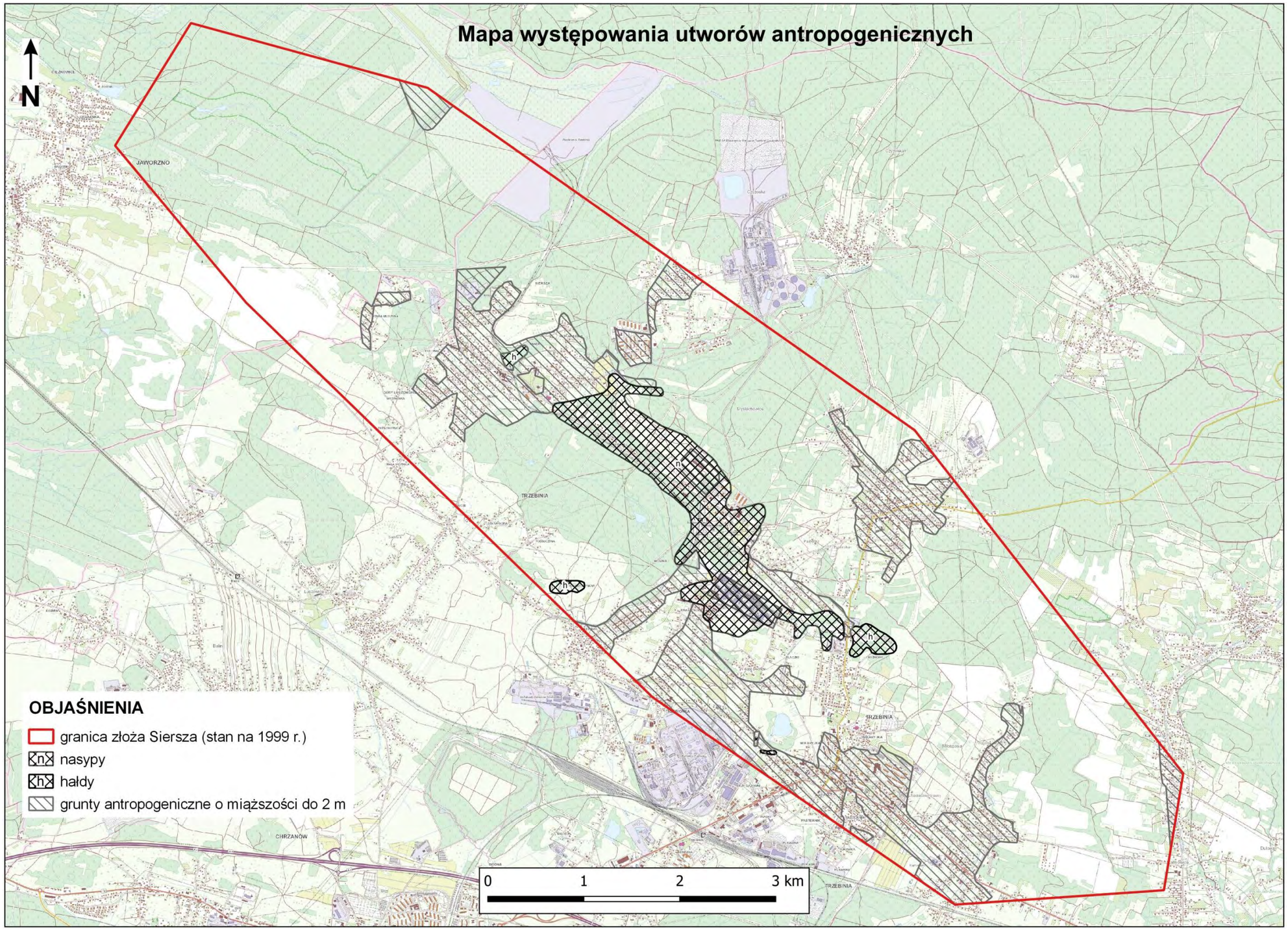
Proces deformacji powierzchni terenu w trakcie prowadzenia eksploatacji podziemnej oraz bezpośrednio po jej zakończeniu jest cechą charakterystyczną obszarów górniczych. W czasie prowadzenia podziemnej eksploatacji powierzchnia terenu ulega obniżeniu, co powoduje powstanie trwałych zmian w górotworze poprzez przemieszczanie skał i gruntów oraz przepływ wód podziemnych w kierunku czynnych wyrobisk. Proces ten przyczynia się do powstawania znacznych obniżeń terenu. Ze względu na płytkie zaleganie pokładów węgla, eksploatacja górnicza na powierzchni wywołała stosunkowo duże deformacje terenu.

Wieloletnia eksploatacja górnicza wpłynęła w istotny sposób na zmianę ukształtowania powierzchni terenu w obszarze byłej KWK „Siersza". Sumaryczne osiadania osiągnęły na przestrzeni 200 lat wartości przekraczające 10,0 m, aczkolwiek część obszaru nie była nigdy poddana wpływom eksploatacji górniczej. Generalnie, największe osiadania związane są z eksploatacją pokładów systemem ścianowym, z zawałem stropu. Dotyczy to obszarów niezabudowanych, terenów lasów państwowych – obszar na południe od ulicy Grunwaldzkiej w Sierszy oraz nieużytków – obszar pomiędzy wsiami Myślachowice i Młoszowa oraz pomiędzy Młoszową i Karniowicami. Tereny zabudowane (Myślachowice, Krze, Młoszowa, Karniowice, Siersza), ze względu na ustanowione dla nich filary ochronne poddane były wpływom eksploatacji prowadzonej głównie na posadzkę hydrauliczną. W tym przypadku sumaryczne osiadania osiągnęły wartość od ok. 1,0 m do 2,0 m.

Antropogen

Płytkie wyrobiska eksploatacyjne wykonane z powierzchni w XVIII wieku i w pierwszej połowie XIX wieku zostały zasypane materiałem antropogenicznym. Tego rodzaju działania niewątpliwie miały również miejsce w późniejszym czasie i dotyczyły nie tylko likwidacji skutków działalności górniczej – wyrobisk powierzchniowych, zapadlisk, szybów i szybików, ale także innych działań, w szczególności o charakterze budowlanym. Zasięg utworów antropogenu w obrębie złoża „Siersza", przedstawiony na ryc. 2.8, wyznaczony został na podstawie arkusza Jaworzno Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, a w niewielkim zakresie także arkusza Chrzanów (Kurek i in., 1994, 1999; Żero, 1956).

Na podstawie mapy sozologicznej Polski w skali 1:50 000 arkuszy: Jaworzno, Chrzanów, Krzeszowice i Olkusz zaznaczono również miejsca występowania antropogenu o miąższości do 2 metrów zalegającego głównie w rejonie zabudowań. Nasypy utworzone w rejonie płytkiego zalegania pokładów węgla i na południowy wschód od tego obszaru zajmują powierzchnię ok. 2,07 km^2, z czego ok. 0,28 km^2 pokrywa się gruntami antropogenicznymi o miąższości do 2 m, zajmującymi ogólnie powierzchnię ok. 6,92 km^2. Ponadto na obszarze złoża „Siersza" zlokalizowane są hałdy o powierzchni ok. 0,2 km^2 (Rzepecki, Suchanecki, 1995a, b, c, d). Z dużym prawdopodobieństwem należy przypuszczać, że dane z tych map nie przedstawiają całego zasięgu antropogenu na obszarze złoża „Siersza", dodatkowo na mapie sozologicznej antropogen zaznaczany jest jako obszar w rejonie zabudowań.



Ryc. 2.8. Mapa występowania utworów antropogenicznych na podkładzie BDOT10K (źródło podkładu: GUGiK).

Wskazane byłoby wykonanie aktualnego i dokładniejszego zdjęcia geologicznego tego terenu np. w skali 1:10 000. Określenie miejsc występowania nagromadzeń materiału antropogenicznego na obszarach płytkiego kopalnictwa ma istotne znaczenie dla wyznaczenia miejsc, w których mogą w przyszłości wystąpić potencjalne zapadliska.

2.6. Obszary możliwej płytkiej nieudokumentowanej eksploatacji pokładów węgla

Z przeprowadzonej analizy wynika, że zdecydowana większość powstałych obecnie i w przeszłości zapadlisk zlokalizowana jest w rejonach płytkiego kopalnictwa i wychodni pokładów na strop karbonu (ryc. 2.6). Obszar ten zajmuje powierzchnię 2,92 km^2 i znajduje się w centralnej części złoża w rejonie osiedli Siersza, Misiury i Trentowca. Prawie wszystkie zapadliska znajdują się w strefie, gdzie w nadkładzie karbonu występuje tylko czwartorzęd, zazwyczaj o miąższości nieprzekraczającej 40 m.

Zapadliska występują również poza granicami obszarów udokumentowanej płytkiej eksploatacji. Może to wskazywać na prowadzenie w przeszłości niekontrolowanej eksploatacji w rejonach wychodni pokładów węgla (północna część złoża Siersza). Korelacja danych dotyczących aktualnych i dawniej występujących zapadlisk z mapą miąższości nadkładu karbonu wskazuje, że wydobycie węgla kamiennego z płytko zalegających pokładów rzeczywiście mogło odbywać się również poza miejscami udokumentowanej eksploatacji (ryc. 2.6). W północnej części złoża, gdzie znajdują się wychodnie pokładów węgla, nie udokumentowano żadnych robót eksploatacyjnych. Fragmenty wychodni pokładów znajdują się na głębokości 30–100 m. Nie można całkowicie wykluczyć eksploatacji węgla z powierzchni, która w żaden sposób nie była dokumentowana. Istnieje możliwość powstania zapadlisk w przyszłości również w tym obszarze. Aktualnie są to głównie tereny leśne, ale w przypadku zmiany sposobu zagospodarowania terenu należy wykonać odpowiednie badania.

Na rycinie 2.6 przedstawiono obszary, gdzie głębokość zalegania pokładów węgla nie jest większa niż 50 m p.p.t. Obejmują one głównie centralną część złoża i wschodnie rejony Jaworzna i łącznie zajmują powierzchnię około 0,94 km^2 (pokład 206), 0,84 km^2 (pokład 207), 0,44 km^2 (pokład 208) i 0,23 km^2 (pokłady 209-210). Pomimo braku jakichkolwiek źródeł (materiały z kopalni, urzędów górniczych), dokumentujących eksploatację w tym rejonie nie można wykluczyć, że w tych obszarach miała ona również miejsce – w szczególności biedaszyby. Są to również rejony znajdujące się w bliskim sąsiedztwie obszarów objętych płytką, udokumentowaną eksploatacją (ryc. 2.6):

- dla pokładu 206 są to dość spore centralne rejony złoża w pobliżu wychodni zlokalizowane na południe od ulicy Grunwaldzkiej i w rejonie zabudowań dawnej KWK „Siersza”, gdzie występuje jedno zapadlisko. Są to również tereny na zachód i wschód od ulicy Chrzanowskiej okalające zroby poeksploatacyjne pokładu 207, rejon ulicy Wierzbowej i Świerkowej oraz tereny zalesione we wschodniej części miasta Jaworzno w dzielnicy Ciężkowice, gdzie przy ulicy Grzybowej stwierdzono

dwa zapadliska, spowodowane najprawdopodobniej dawną nieudokumentowaną eksploatacją;

- dla pokładu 207 są to głównie rejony na zachód od ulicy Jana Pawła II, w południowej części osiedla Misiury (gdzie do tej pory zapadliska nie występowały) oraz m.in. w rejonach ulicy Młyńskiej, Jana III Sobieskiego, Dembowskiego i Odkrywkowej. Ponadto pokład 207 zalega również do 50 m we wschodniej części miasta Jaworzno w dzielnicy Ciężkowice na terenach zalesionych;
- dla pokładu 208 takie obszary znajdują się na południe od ulic Odkrywkowej i Jana Pawła II. W rejonie tym zinwentaryzowano jedno zapadlisko. Pokład zalega płytko również na obszarze zalesionym we wschodniej części Jaworzna;
- w pokładach 209 niewielkie tego typu obszary zlokalizowane są w północnej części złoża na terenach leśnych. Tutaj żadne zapadliska nie zostały stwierdzone;
- płytkie zaleganie pokładów 209-210 obejmuje również rejon na południowy zachód od osiedla „Gaj".

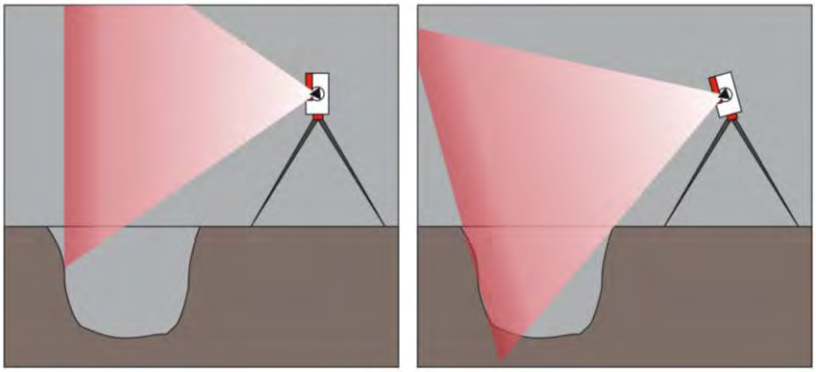
3. NAZIEMNY SKANING LASEROWY

Naziemny skaning laserowy opiera się na bardzo szybkim wyznaczeniu współrzędnych XYZ ogromnej liczby punktów – odbić sygnału laserowego. Zbiór wynikowy nazywany "chmurą punktów" umożliwia, po odpowiednim przetworzeniu, wygenerowanie trójwymiarowego modelu skanowanego obiektu. Urządzenie – skaner laserowy wyznacza położenie punktów widocznych z danego stanowiska urządzenia. Gęstość skanowania odpowiada przyrostowi kątów pionowych i poziomych o jakie obraca się głowica skanująca w trakcie pomiarów. Współrzędne poszczególnych punktów wyznaczane są w stosunku do środka skanera (współrzędne biegunowe). Określają je kąty: poziomy i pionowy oraz odległość do obiektu mierzona za pomocą wiązki laserowej. Znając położenie skanera można wyznaczyć współrzędne punktów w dowolnym układzie współrzędnych.

Skanowanie laserowe zapadlisk umożliwia przeprowadzenie pomiaru pełnej geometrii zapadliska (średnica, głębokość, objętość, kąty zapadania ścian itp.) w sposób bezpieczny dla sprzętu i operatora. Zebranie danych odbywa się z kilku bądź kilkunastu stanowisk rozmieszczonych wokół krawędzi zapadliska. Pochylenie osi skanera zapewnia otrzymanie danych nawet w przypadku form bardzo głębokich i o niewielkiej średnicy (ryc. 3.1).

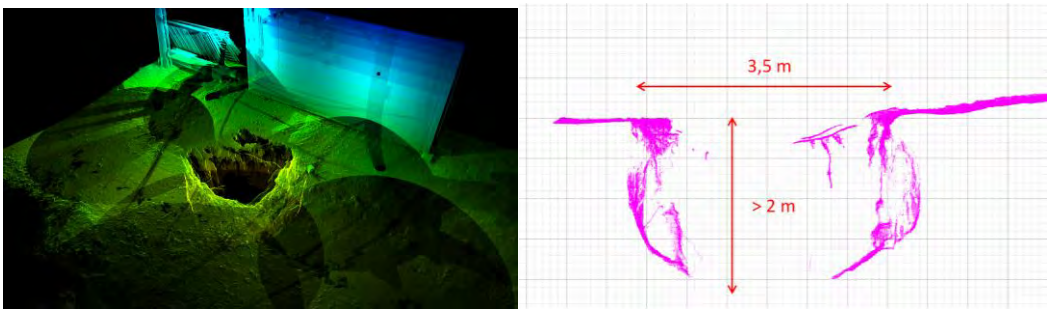
Skanowanie naziemne wykonywano głównie dla nowych zapadlisk, które wystąpiły w pobliżu zabudowy i infrastruktury, w okresie luty – kwiecień 2023 r. Zapadliska skanowano tuż po ich pojawieniu się, a przed likwidacją. W ten sposób pozyskano dane dla 8 lejów zapadliskowych. Dla obszarów o gęstym występowaniu form przeprowadzono pomiary wielkopowierzchniowe. Były to rejony na wschód od cmentarza, Trentowca oraz dawnego

szybu Wanda. Dane uzyskane przy pomocy skanowania laserowego wykorzystano do uzupełnienia parametrów geometrycznych zapadlisk w cyfrowej bazie danych, które posłużyły do dalszych analiz.



Ryc. 3.1. Naziemne skanowanie laserowe zapadliska z zastosowaniem „kołyski" do pochylania osi skanera.

Pierwsze zeskanowane zapadlisko powstało 21 lutego 2023 r. w rejonie osiedla Gaj na terenie prowadzonych prac wiertniczych. Jego lokalizacja, mimo inicjalnego charakteru i niewielkich rozmiarów (ryc. 3.2) wprowadziła istotne zagrożenie dla infrastruktury samego wiercenia (tuż przy ścianie kontenera). Zapadlisko pochłonęło około 10 m^3 gruntu.



Ryc. 3.2. Zobrazowanie chmury punktów z rejonu zapadliska przy osiedlu Gaj w rejonie prac wiertniczych.

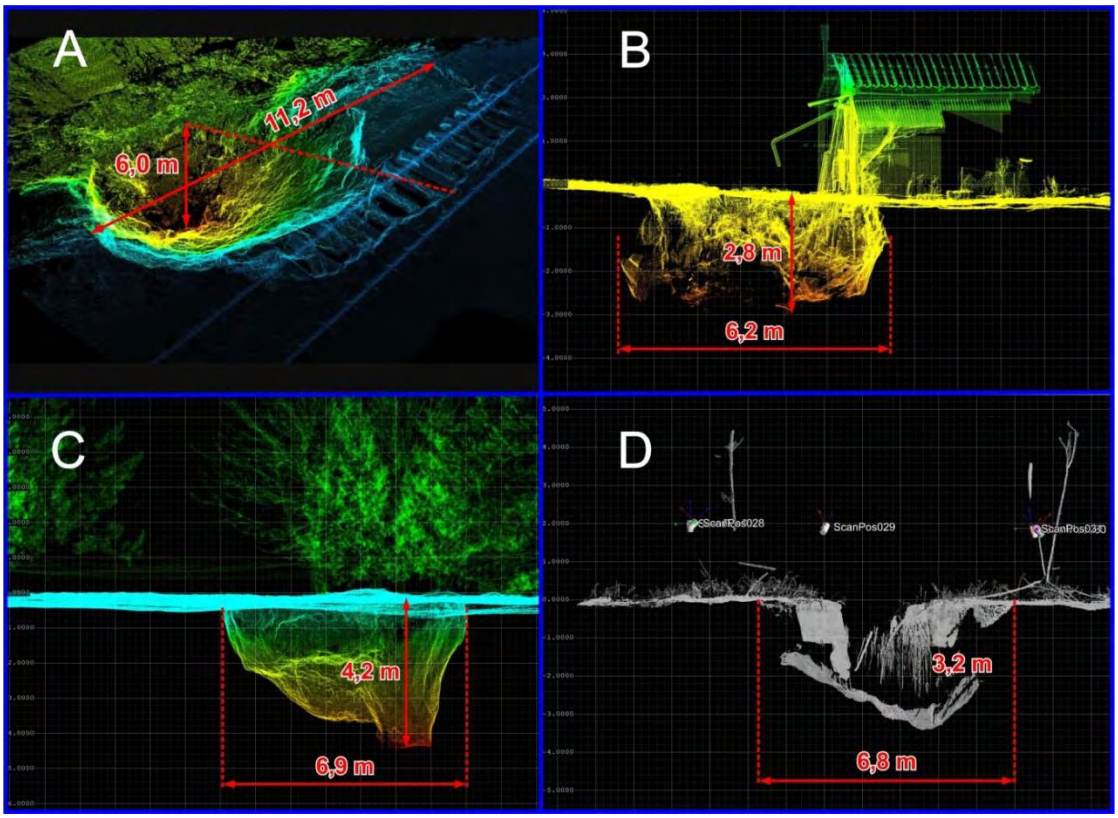
12 marca 2023 r., w wyniku zapadnięcia się ziemi, doszło do znacznego uszkodzenia nasypu kolejowego, uniemożliwiając transport kolejowy na linii P205 Trzebinia Siersza – Elektrownia Siersza. Średnica otworu leja zapadliskowego przekraczała 11 m (ryc. 3.3A). Wskutek zapadliska część torów kolejowych straciła podparcie. Zapadnięciu uległ grunt o objętości ok. 330 m^3. Nasyp kolejowy został zbudowany w miejscu występowania licznych historycznych zapadlisk, które w przyszłości mogą się reaktywować. W jego bezpośrednim sąsiedztwie znajduje się szereg widocznych do dziś lejów zapadliskowych, dlatego nasyp ten należy uznać za wysoce narażony na powstawanie nowych form zapadliskowych. Z tego względu wskazany jest jego stały monitoring.

Kolejne istotne zapadlisko, które zeskanowano, wystąpiło w obrębie ogródków działkowych. Utworzenie szerokiego „podwójnego" leja (ryc. 3.3B) spowodowało

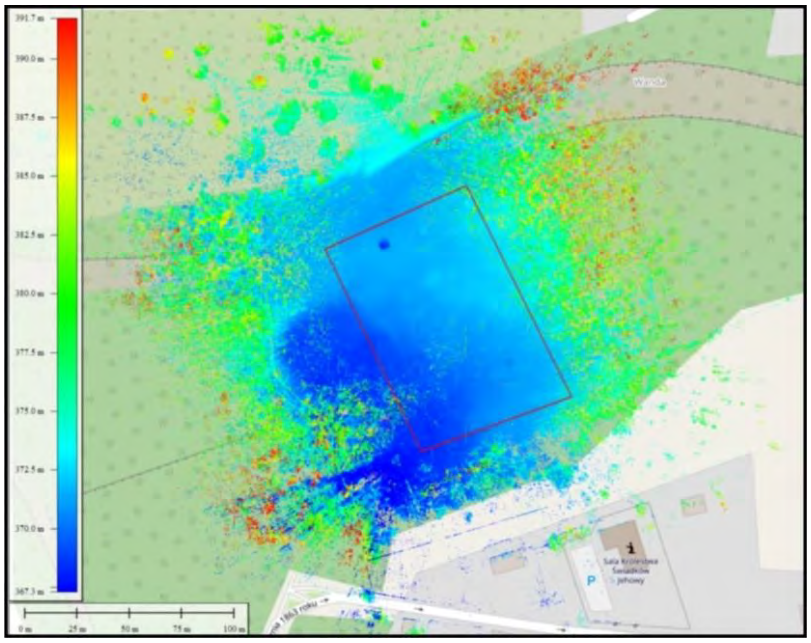
uszkodzenie altanki, zbiornika na deszczówkę, ogrodzenia oraz szeregu nasadzeń. Zapadnięciu uległo około 50 m^3 gruntu. Wydarzenie to miało miejsce 16 marca 2023 r., w czasie gdy ze względu na zagrożenie zapadliskowe obowiązywał zakaz wstępu na południową część ogródków działkowych.

Tydzień później przy ul. Jana Pawła II, na terenie starego (obecnie nieistniejącego) osiedla górniczego doszło do reaktywacji zapadliska, które wystąpiło w tym miejscu 23 lipca 2022 r., a następnie zostało zasypane. Reaktywacja zapadliska doprowadziła do powstania leja o głębokości 4,2 m (ryc.3.3C), a objętość zapadniętego gruntu wyniosła ponad 160 m^3.

Kolejnym zeskanowanym zapadliskiem był zapadnięty szyb „Wanda". Analizy różnoczasowych modeli terenu wskazały, że szyb ten zapadł się przed 2011 r., a następnie został zasypany. Nie znana jest data dokładnej reaktywacji, ale z danych ALS wynika, że miało to miejsce pomiędzy 2019, a 2022 rokiem. Zapadlisko ma kształt odwróconego „grzyba" i poniżej zachowanych fragmentów obudowy szybu rozszerza się (ryc. 3.3D), dlatego zbliżanie się do krawędzi leja zapadliskowego jest bardzo niebezpieczne. Dla najbliższego rejonu szybu wykonano wielostanowiskowe skanowanie (ryc. 3.4), które może w przyszłości posłużyć jako model porównawczy w celu monitorowania deformacji powierzchni terenu.

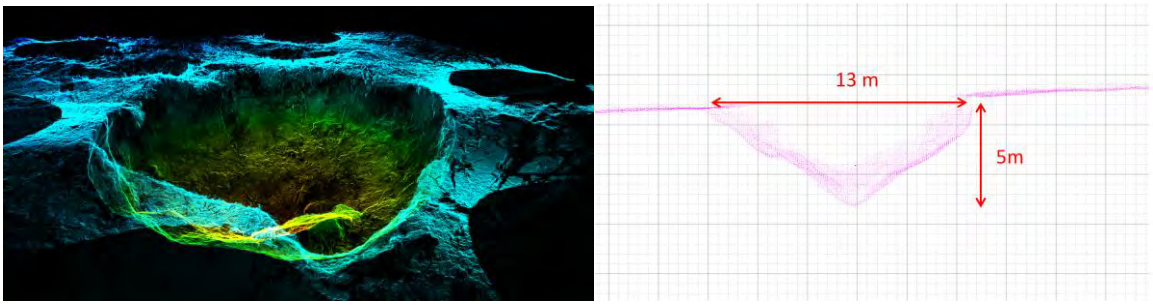


Ryc. 3.3. Zobrazowania chmury punktów z naziemnego skanowania laserowego: A – zapadlisko w nasypie linii kolejowej P205; B – zapadlisko przy granicy ogródków działkowych; C – zapadlisko w rejonie starego osiedla górniczego przy ul. Jana Pawła II; D – zapadlisko utworzone w zlikwidowanym szybie „Wanda".



Ryc. 3.4. Obszar naziemnego skanowania laserowego rejonu Szybu Wanda (NMT).

7 kwietnia 2023 r. powstało kolejne zapadlisko w rejonie tzw. „ścieżki zdrowia" (ryc.3.5). Szeroki na 13 m lej zapadliskowy zniszczył drogę leśną oraz drzewostan i pochłonął ponad 580 m^3 gruntu. Zapadlisko utworzyło się w niedalekim sąsiedztwie nasypu kolejowego, w rejonie występowania licznych zapadlisk związanych z udokumentowaną płytką eksploatacją węgla kamiennego w pokładzie 209-210. Zapadlisko zostało w krótkim czasie zlikwidowane poprzez zasypanie.



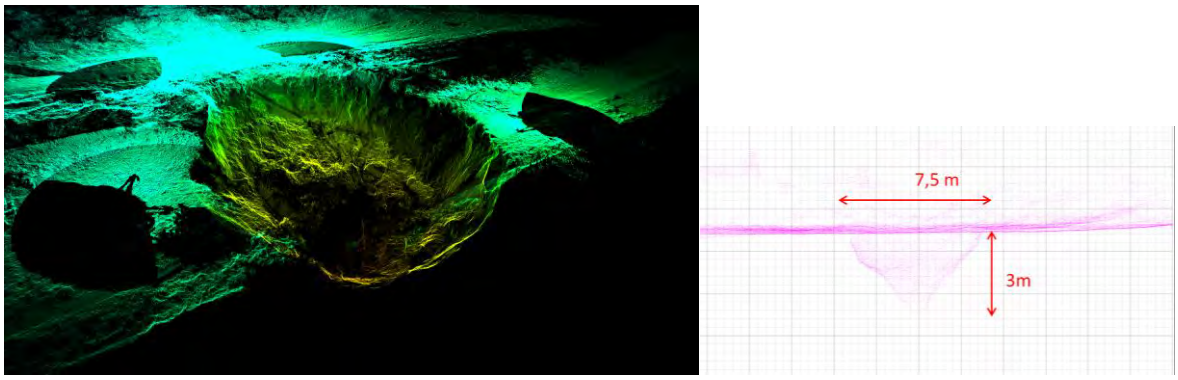
Ryc. 3.5. Zobrazowanie chmury punktów i przekrój leja zapadliskowego w rejonie „ścieżki zdrowia".

Kilka dni później, 12 kwietnia, na terenie ogródków działkowych pojawiło się kolejne zapadlisko (ryc. 3.6). Głęboki na około 3 m lej spowodował uszkodzenie ogrodzenia oraz licznych nasadzeń. Zapadło się ok 170 m^3 gruntu. Należy zaznaczyć, że południowa część ogródków działkowych, to jeden z najbardziej zagrożonych rejonów występowania deformacji nieciągłych w Trzebini.

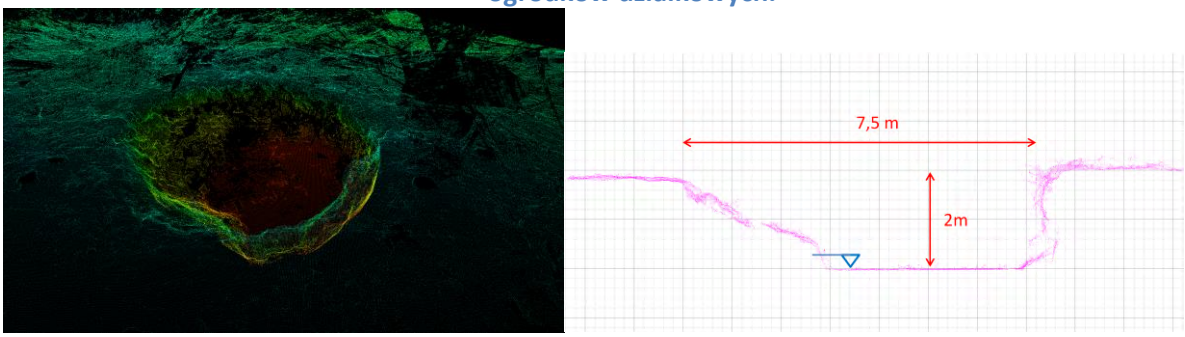
Ostatnim zeskanowanym zapadliskiem była forma powstała w zagajniku, na zachód od osiedla Gaj (ryc. 3.7). Zapadlisko spowodowało uszkodzenie kolektora odprowadzającego ścieki z osiedla oraz pobliskiej szkoły. Skutkowało to częściowym wypełnieniem zapadliska

ściekami. Ilość zapadniętego gruntu przekraczała 180 m^3. Awarię usunięto, a lej został zasypany.

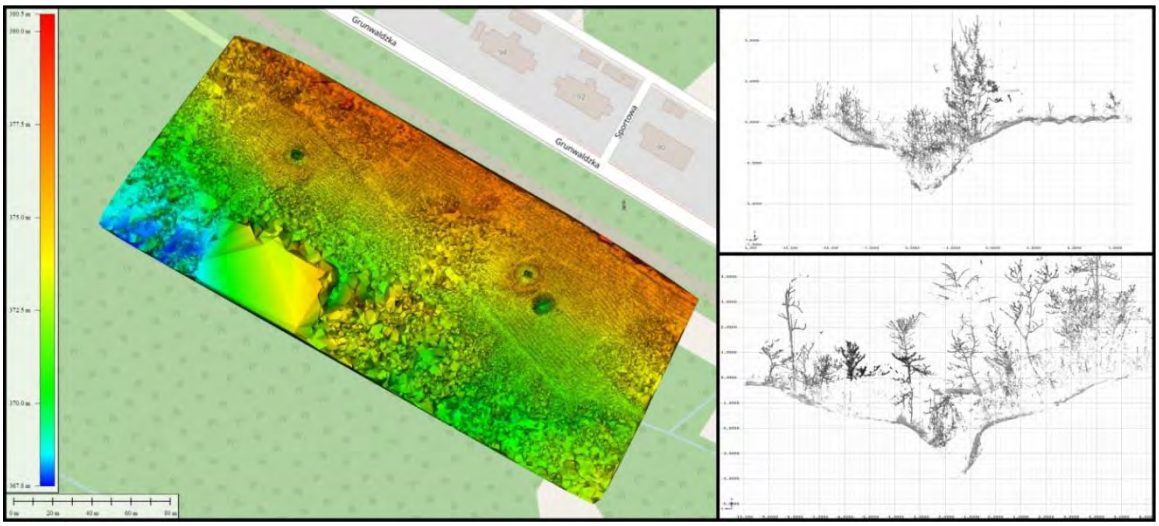
W ramach prac wykonano dodatkowo powierzchniowe, wielostanowiskowe skanowanie obszarów w rejonie Trentowca oraz na wschód od cmentarza (ryc. 3.8, 3.9). Utworzone numeryczne modele terenu posłużyły jako materiał porównawczy pomiędzy danymi starszymi.



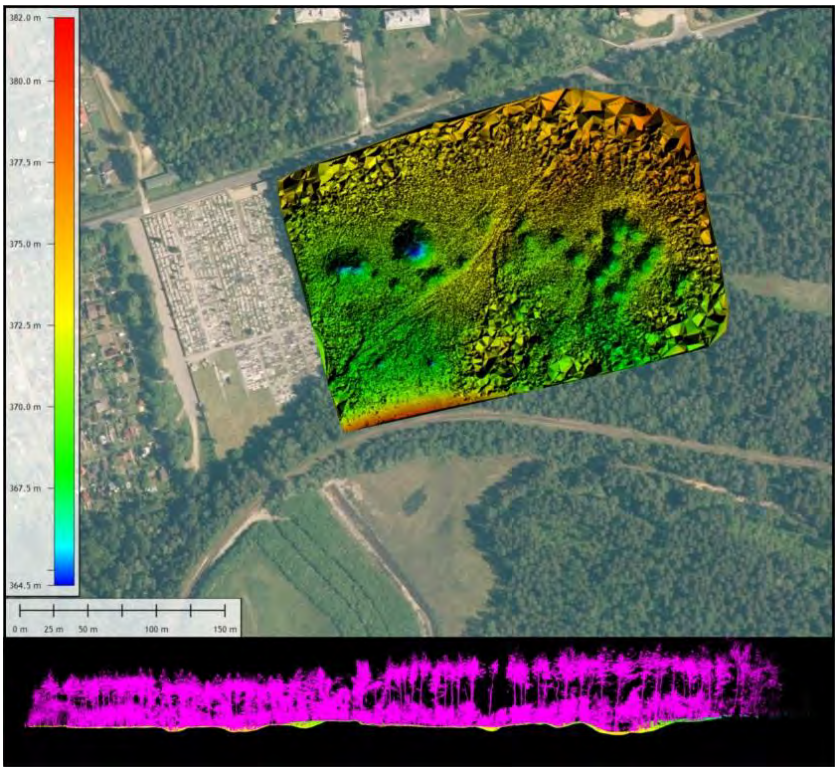
Ryc. 3.6. Zobrazowanie chmury punktów i przekrój leja zapadliskowego w S części ogródków działkowych.



Ryc. 3.7. Zobrazowanie chmury punktów i przekrój leja zapadliskowego, które uszkodziło kolektor ściekowy.



Ryc. 3.8. Przetworzone dane z naziemnego skaning laserowego z rejonu Trentowca oraz przykłady odmłodzonych zapadlisk.



Ryc. 3.9. Przetworzone dane z naziemnego skaningu laserowego z rejonu cmentarza.

4. FOTOGRAMETRIA Z PUŁAPU „DRONA”

Jedną ze skutecznych metod monitorowania powierzchni terenu jest fotogrametria, czyli technika umożliwiająca wykonywanie pomiaru kształtu i położenia obiektów na zdjęciach optycznych. Jest to możliwe dzięki zależnościom geometrycznym pozwalającym przekształcenie zdjęcia będącego rzutem środkowym w obraz będący rzutem ortogonalnym. Ważną częścią fotogrametrii jest stereoskopia, która wykorzystuje zdjęcia przedstawiające ten sam obiekt, ale wykonane w innym położeniu co pozwala widzenie obiektów przestrzennie wraz z głębią sceny. Ogromną zaletą fotogrametrii jest możliwość wykorzystania archiwalnych zdjęć lotniczych, które pozyskiwane są już od lat 50 ubiegłego wieku. Nowoczesne algorytmy stosowane w cyfrowych stacjach fotogrametrycznych pozwalają uzyskać informację, często nie zarejestrowaną innymi metodami pomiarowymi. Metoda ta oprócz zalet posiada ograniczenia związane z niesprzyjającymi warunkami atmosferycznymi, a także uniemożliwia uzyskania precyzyjnej informacji o powierzchni terenu w obszarach ze zwartą pokrywą roślinną.

W badaniach zapadlisk w Trzebini zastosowano fotogrametrię z użyciem bezzałogowego statku powietrznego (ang. *Unmanned Aerial Vehicle* – UAV) oraz fotogrametrię lotniczą wykorzystującą archiwalne zdjęcia lotnicze (*porównaj rozdział 6*).

Pomiary UAV miały na celu zidentyfikowanie nowych lejów zapadliskowych oraz udokumentowanie znanych obiektów wykrytych innymi metodami. Zasięg nalotu obejmujący obszar o powierzchni 364 ha określony został granicą prowadzenia płytkiej eksploatacji, z buforem 100 m w rejonie największej koncentracji lejów zapadliskowych. Naloty fotogrametryczne zrealizowano platformą DJI Phantom 4 RTK wyposażoną w

kamerę FC6310R z obiektywem o ogniskowej 8,8 mm oraz matrycą wielkości 1cala. UAV wyposażony jest w moduł RTK GNSS umożliwiający wyznaczenie pozycji platformy w trakcie lotu z dokładnością centymetrową za pomocą poprawek strumieniowych z serwisu ASG EUPOS. Urządzenie posiada jednostkę inercyjną, która odpowiada za pomiar kątów omega, fi, kappa. W procesie fotogrametrycznego opracowania zdjęć w aplikacji PIX4D wykonano aerotriangulację metodą niezależnych wiązek wykorzystując 33 punkty osnowy naziemnej. Błędy wpasowania w układ terenowy są niewielkie (tab. 4.1), co pozwala wyznaczać położenie obiektów z wysoką dokładnością.

Tab. 4.1. Parametry nalotów fotogrametrycznych wraz z dokładnościami wpasowania w układ terenowy.

Data nalotu	Wysokość nalotu [m n.p.t.]	Rozdzielczość zdjęcia [m]	Dokładność wpasowania [m]	
			d_{xy} [m]	d_h [m]
02.03.2023	120	0,03	0,03	0,03
16.03.2023	120	0,03	0,03	0,05

Z każdego nalotu wygenerowano gęstą chmurę punktów, na podstawie której utworzono NMT. Ostatnim etapem postprocessingu było przetworzenie zdjęć do rzutu ortogonalnego czego efektem jest ortofotomozaika o rozdzielczości 0,04 m (ryc. 4.1).

Ryc. 4.1. Zasięg ortofotomozaiki o rozdzielczości 0,04 m na podstawie zdjęć z bezzałogowego statku powietrznego.

Pozyskany materiał zdjęciowy i NMT wykorzystano do analizy terenu w celu detekcji nowych zapadlisk (ryc. 4.2) oraz uzupełnienia danych parametrycznych zapadlisk stwierdzonych w oparciu o inne metody zdalne i prace terenowe. W wyniku fotointerpretacji wytypowano blisko 60 miejsc, które mogły być związane z wystąpieniem

zapadlisk. W trakcie prac terenowych potwierdzono obecność 4 nowych zapadlisk, 10 zapadlisk było potwierdzeniem form wytypowanych na podstawie innych metod. Pozostałe, mniej wyraźne obiekty okazały się zlikwidowanymi szybami, wykrotami lub sztucznymi wykopami. Dużym ograniczeniem okazała się wysoka roślinność. Niemniej, dzięki zastosowaniu tej metody udało się zidentyfikować 4 zapadliska, których nie udało się wytypować przy użyciu innych metod (ryc. 4.3).

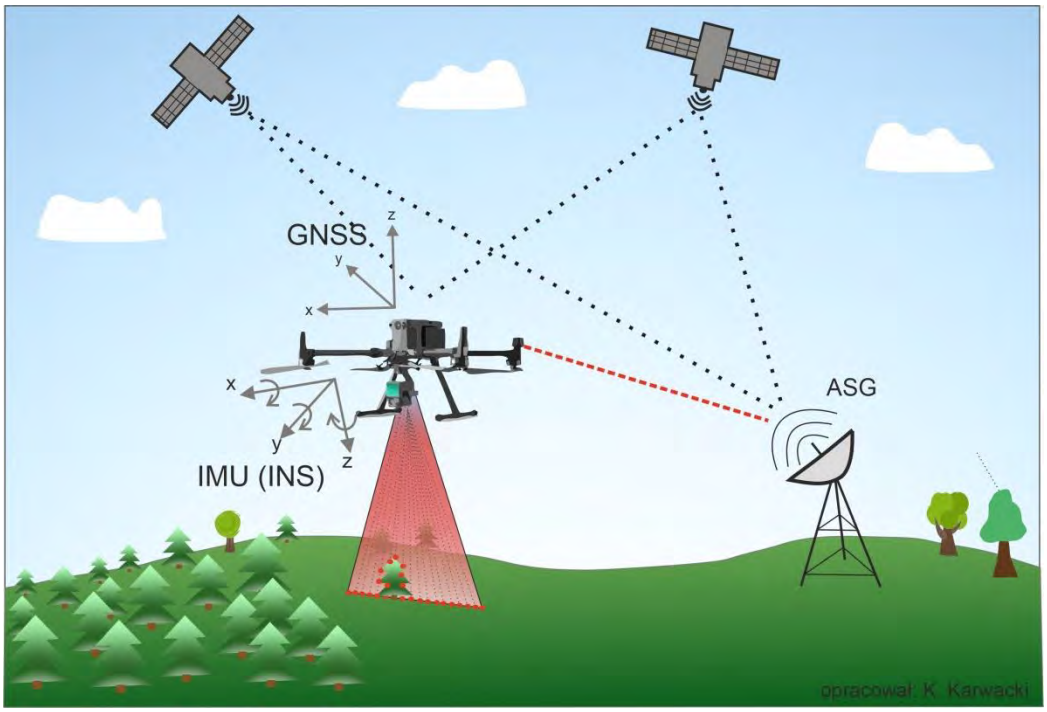
Ryc. 4.2. Przykłady zapadlisk potencjalnych i zapadlisk zlikwidowanych na podstawie analizy ortofotomozaiki.

Ryc. 4.3. Jedno z nowych zapadlisk zinwentaryzowanych przy użyciu UAV i potwierdzonych w terenie (rejon zrekultywowanej hałdy górniczej na północny wschód od osiedla Trentowiec).

5. SKANING LASEROWY Z PUŁAPU UAV

Skaning laserowy jako metodę pomiaru kształtu i położenia obiektów w przestrzeni, którego wynikiem jest gęsta chmura punktów przedstawiono w rozdziale 3. W odróżnieniu do naziemnego skaningu laserowego, który wykorzystywany jest do precyzyjnego pomiaru geometrii poszczególnych lejów zapadliskowych skaning z pułapu UAV pozwala, poprzez dostarczenie kompletnych danych wysokościowych dla dużego obszaru, zidentyfikować nowe obszary objęte rozwojem lejów zapadliskowych.

W przypadku skanowania laserowego z użyciem UAV oprócz systemu GNSS mającego na celu wyznaczenie położenia statku w trakcie lotu wykorzystywana jest jednostka inercyjna (IMU), której zadaniem jest pomiar kątów wychylenia skanera oraz przyspieszenia (ryc. 5.1). Dane z tych dwóch systemów służą do wyznaczenia trajektorii lotu UAV, której dokładność ma wpływ na jakość wynikowej chmury punktów.



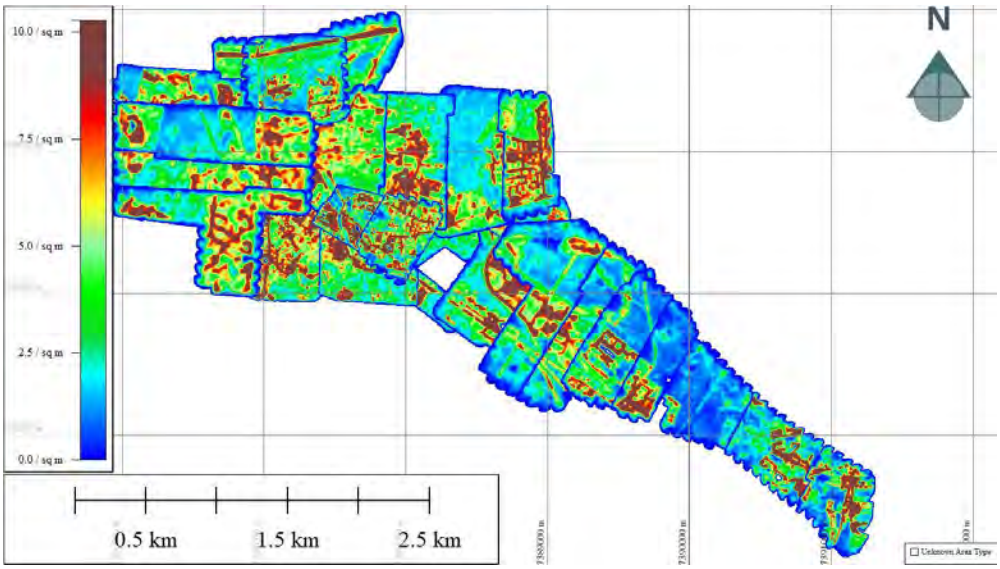
Ryc. 5.1. Zasada działania skaningu laserowego z użyciem UAV.

Pomiar rejonów narażonych na rozwój zapadlisk wykonano statkiem powietrznym marki DJI Matrice 300RTK wyposażonym w skaner laserowy DJI L1 z głowicą skanującą Livox. Ze względu na niekorzystny okres wegetacyjny pomiary wykonano z wykorzystaniem rejestracji 3 odbić impulsu elektromagnetycznego emitowanego z częstotliwością 160 kHz. Realizacja zaplanowanych misji lotniczych następowała w trybie automatycznym na wysokości 70 m względem powierzchni terenu z pokryciem poprzecznym pasów skanowania co najmniej 50%. Pomiary przeprowadzono w okresie 10–12.05.2023 r., 31.05–1.06.2023 r. oraz 21–22.06.2023 r., podczas których wykonano 29 skanów obejmujących powierzchnię 7,14 km^2 (ryc. 5.2).

Ryc. 5.2. Zasięg skanowania laserowego z wykorzystaniem UAV.

Do wygenerowania chmury punktów na podstawie surowych danych z pomiaru wykorzystano aplikację DJI Terra, natomiast klasyfikację automatyczną i korekcję manualną przeprowadzono w TerraModeler i TerraSolid. Do wpasowania wysokościowego chmury punktów w system wysokości PL-EVRF2007-NH wykorzystano 182 pikiety pomierzone w terenie odbiornikiem HiTarget V30.

Ze względu na okres silnego rozwoju wegetacyjnego roślin uzyskano stosunkowo niewielką liczbę punktów reprezentujących powierzchnię terenu wynoszącą średnio 7,9 pkt/m^2 (ryc. 5.3). Na podstawie sklasyfikowanej chmury punktów wygenerowano NMT o rozdzielczości 0,5 m, na podstawie którego wytypowano 16 potencjalnych form zapadliskowych, które następnie zostały zweryfikowane w terenie. Części z nich nie potwierdzono. Były one wynikiem błędów NMT związanych z małą ilością punktów reprezentujących grunt w miejscach występowania gęstej roślinności. Model ten został wykorzystany również do analiz różnicowych (*zobacz rozdział 7*).



Ryc. 5.3. Mapa gęstości punktów reprezentujących powierzchnię terenu wykorzystanych do wygenerowania NMT.

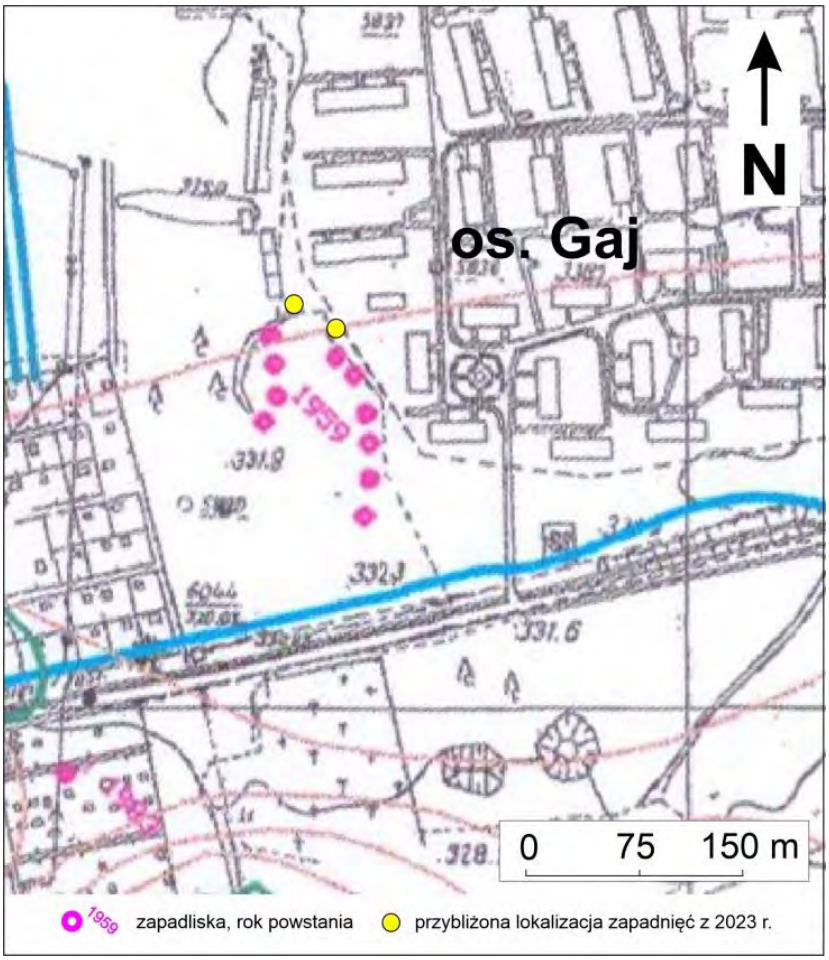
6. ANALIZA HISTORYCZNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Kompleksowa inwentaryzacja zapadlisk na terenie oddziaływania dawnej KWK „Siersza" doprowadziła do wniosku o stosunkowo częstej reaktywacji starych, zlikwidowanych (zasypanych) lejów zapadliskowych. W związku z możliwością występowania zagrożenia w takich miejscach, podjęto próbę zlokalizowania historycznych, zlikwidowanych zapadlisk.

Wiele zapadlisk powstałych po 2021 r. w rejonie Sierszy w mediach określane było jako formy „nowe". Analiza poszczególnych przypadków pozwoliła stwierdzić, że wiele z nich było reaktywacją i/lub poszerzeniem zlikwidowanych w przeszłości lejów zapadliskowych. Przykładem może być zapadlisko uaktywnione dnia 20.09.2022 r., które spowodowało zniszczenie kilkudziesięciu grobów. Zapadlisko to było prawdopodobnie reaktywacją i poszerzeniem się formy zapadliskowej zlikwidowanej w przeszłości, widocznej na starym zdjęciu lotniczym (*porównaj „Raport wstępny…" Wojciechowski i in., 2023a*). Zapadlisko na osiedlu Gaj z dnia 07.04.2023 r. było prawdopodobnie uaktywnieniem formy z września 2022 r. Istnieją przesłanki, że zapadnięcia te, to reaktywacja zlikwidowanych zapadlisk z 1959 r. (ryc. 6.1), prawdopodobnie związanych z przebiegiem chodników górniczych przy granicy eksploatowanego pokładu.

Podobne wnioski można wyciągnąć analizując zapadliska na Rodzinnych Ogródkach Działkowych (ROD) znajdujących się na południe od ul. Jana Pawła II. Zapadnięcia gruntu, do których doszło m.in. 22.02.2022 r., 30.08. 2022 r., 31.12.2022 r. oraz zapadlisko z 23.03.2022 r. u podnóża nasypu kolejowego mają związek ze starymi zlikwidowanymi formami, widocznymi na zdjęciach lotniczych z 1957 r. (*porównaj „Raport wstępny…" Wojciechowski i in., 2023a*). Zapadlisko powstałe w ostatnim czasie (03.07.2023 r.) w bezpośrednim sąsiedztwie altanki na ogródkach działkowych to również reaktywacja zapadliska, które wystąpiło po raz pierwszy w 2021 r. W obrębie Sierszy dochodziło też do odnawiania zapadlisk po kilku miesiącach od ich zasypania (np. zapadlisko na starym nieistniejącym osiedlu górniczym przy ul. Jana Pawła II; fot. 6.1).

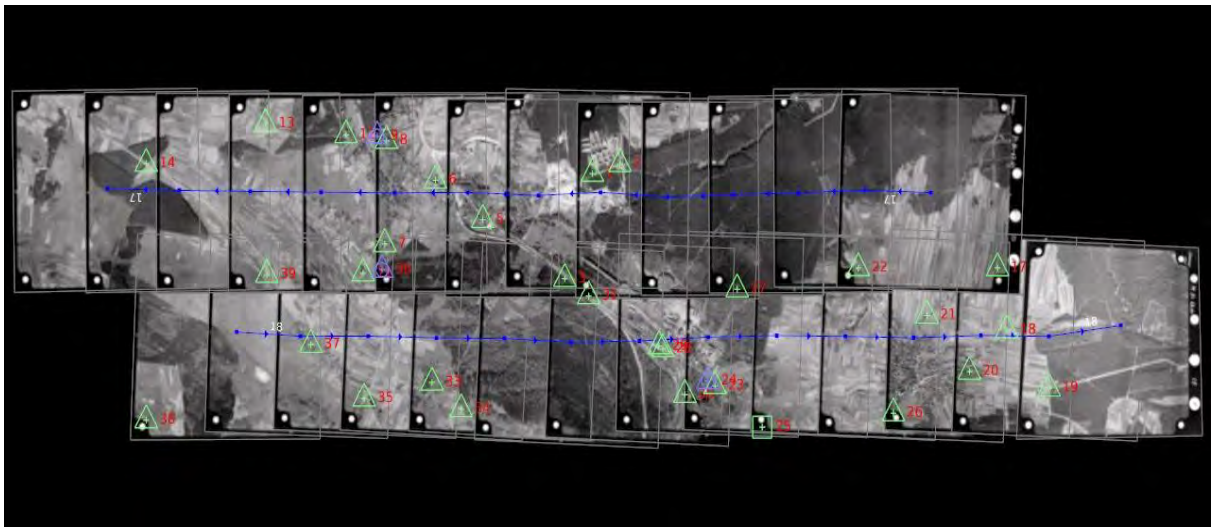
Bazując na tych faktach, można stwierdzić że zlikwidowane zapadliska należy uznać za tereny zagrożone ich odnowieniem. Reaktywacja zlikwidowanych form zależy od wielu czynników – m.in. od sposobu likwidacji leja zapadliskowego, miąższości nadkładu, litologii nadkładu, czy parametrów geometrycznych wyrobiska górniczego. Jednocześnie należy zaznaczyć, że w wielu miejscach gdzie zlikwidowano zapadliska w przeszłości, dotychczas nie zaobserwowano śladów ich reaktywacji. Niemniej w tych miejscach, zwłaszcza tam gdzie występuje zabudowa i infrastruktura, wskazane jest wykonanie dodatkowych badań w celu określenia czy obecnie pod powierzchnia terenu występują strefy rozluźnień gruntu (wiercenia lub badania geofizyczne).



Ryc. 6.1. Zapadliska w rejonie os. Gaj zaznaczone na „Mapie Powierzchni Terenu Górniczego KWK „Siersza" – w likwidacji skala 1:10 000". Ograniczona dokładność tego opracowania pozwala przypuszczać, że dzisiejsze zapadliska z rejonu os. Gaj to reaktywowane formy z 1959 r.

W celu zidentyfikowania miejsc, w których w przeszłości wystąpiły zapadliska wykonano analizę archiwalnych zdjęć lotniczych, które pozyskano z zasobu GUGiK. Najstarsze zdjęcia lotnicze obejmujące kluczowy obszar badań wykonano w skali 1:8 000 podczas nalotów fotogrametrycznych w roku 1957. Do opracowania danych wykorzystano cyfrową stację fotogrametryczną INPHO. Zadanie to było trudne do zrealizowania ze względu na brak metryki kamery, którą wykonano zdjęcia, dlatego tradycyjne podejście opracowania archiwalnych zdjęć lotniczych tj. rekonstrukcja orientacji wewnętrznej i wykonanie orientacji zewnętrznej nie powiodło się. W celu opracowania zdjęć wykorzystano projekt dedykowany zdjęciom cyfrowym, co umożliwiło ich wstępne dopasowanie. Do aerotriangulacji wykorzystano osnowę naziemną, jednak ze względu na występowanie dużych kompleksów leśnych i długi okres czasu jaki upłynął od nalotów liczba punktów nie była zbyt duża. Do aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek wykorzystano osnowę naziemną składającą się z 34 punktów (ryc. 6.2). Dokładność wpasowania w układ terenowy (PL-1992), na 4 punktach kontrolnych (RMS) wyniosła 2,75 m sytuacyjnie i 0,99 m wysokościowo.

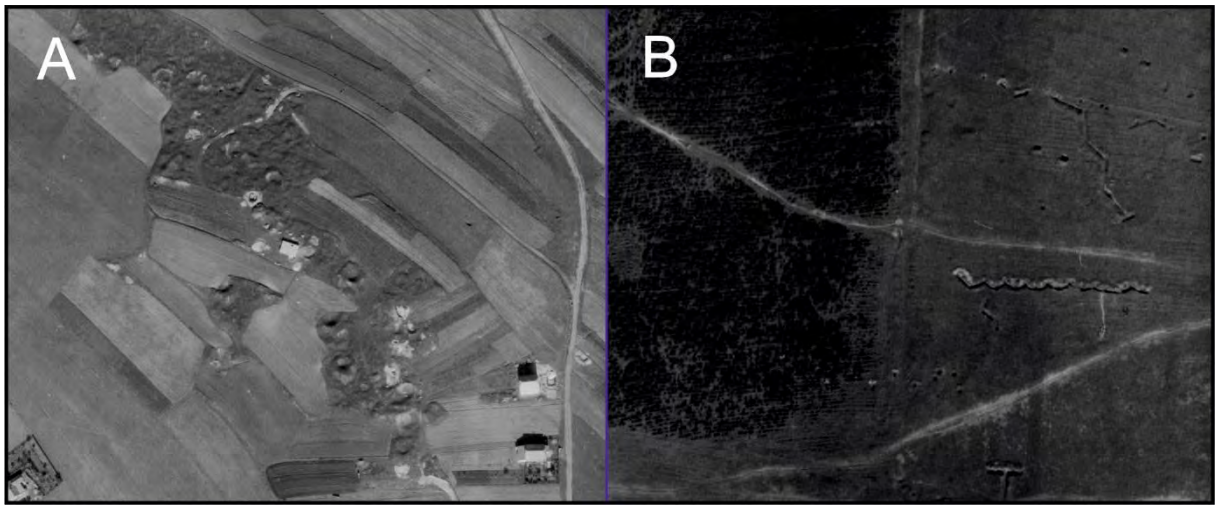
Fot. 6.1. Reaktywacja zapadliska zasypanego ponad pół roku wcześniej na terenie dawnego osiedla górniczego przy ul. Jana Pawła II w Trzebini.



Ryc. 6.2. Blok zdjęć lotniczych z 1957r. wyrównany w procesie aerotriangulacji.

Zapadliska identyfikowano głównie podczas obserwacji stereoskopowych, wspomagając się rysunkiem warstwicowym oraz NMT wygenerowanym z archiwalnych zdjęć. W trakcie fotointerpretacji wyznaczono 161 lejów zapadliskowych. Przeważająca część z nich, to formy istniejące do dziś, znajdujące się w obszarach leśnych, poza zabudową i infrastrukturą. Na podstawie porównania zdjęć historycznych, numerycznych modeli

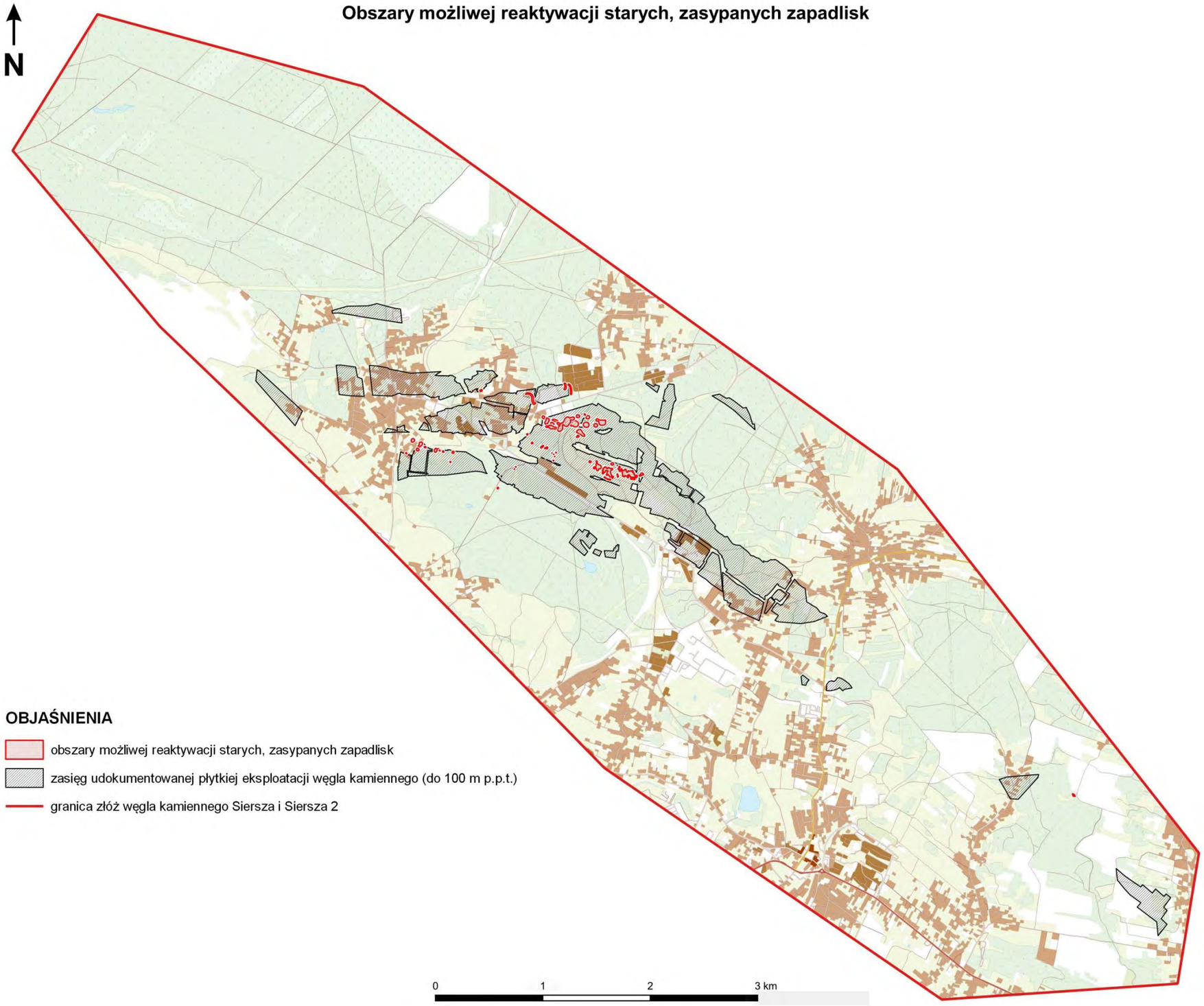
terenu z lat 2011 – 2023 oraz prac terenowych wyznaczono 52 obszary, w których zapadliska zostały zlikwidowane. Podczas analizy szeregu zdjęć lotniczych na badanym obszarze stwierdzono również inne formy wklęsłe niezwiązane z górniczymi deformacjami nieciągłymi (ryc. 6.3).



Ryc. 6.3. Formy wklęsłe widoczne na archiwalnych zdjęciach lotniczych: A – wyrobiska na powierzchni terenu; B – okopy z czasów II wojny światowej.

Pozostałe miejsca zidentyfikowano na podstawie analizy map wyrobisk górniczych w skali 1:1 000 oraz *„Mapy Powierzchni Terenu Górniczego KWK „Siersza" – w likwidacji skala 1:10 000"* pozyskanych z archiwum WUG. Ze względu na niepotwierdzoną dokładność drugiego opracowania, do wyznaczenia lokalizacji zapadlisk historycznych wykorzystano tylko miejsca, gdzie na mapie tej zaznaczono nagromadzenie co najmniej kilku form zapadliskowych. Ograniczoną dokładność opracowania stwierdzono podczas prac terenowych, weryfikujących lokalizację zapadlisk znajdujących się w *Protokole Poinspekcyjnym Okręgowego Urzędu Górniczego w Tychach Nr 86/JJ/G/97* z 1997 r. Pomimo zastosowania tych samych podkładów topograficznych w obu opracowaniach, lokalizacja niektórych form na *„Mapie Powierzchni Terenu Górniczego KWK „Siersza" – w likwidacji skala 1:10 000"* charakteryzowała się znacznym przesunięciem. Z tego względu protokół wykorzystano do uzupełnienia bazy zapadlisk, a *„Mapę Powierzchni …"* wykorzystano do wskazania „obszarów możliwej reaktywacji starych, zasypanych zapadlisk", które są wyznaczone z mniejszą dokładnością i obejmują zwykle kilkumetrowy bufor.

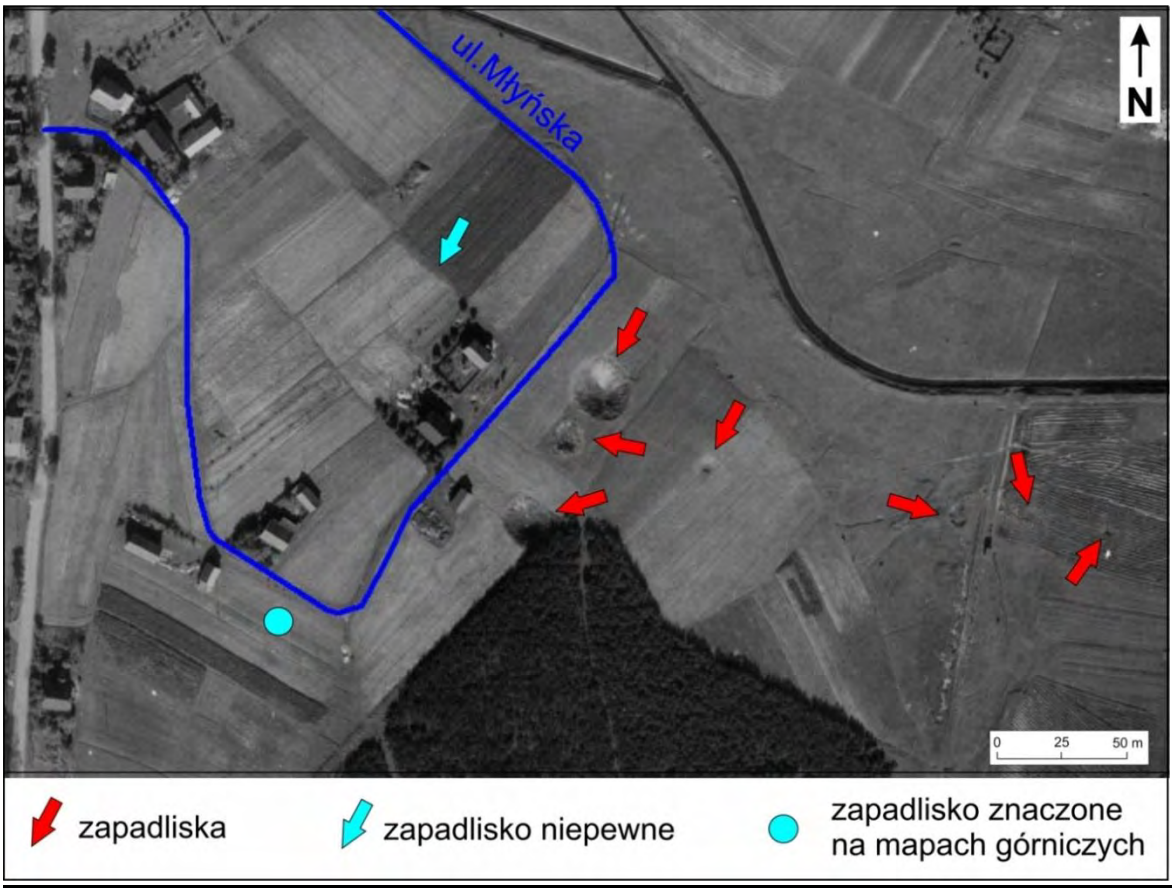
Zestawienie wyników analiz wyżej wymienionych materiałów pozwoliło na wskazanie 52 „obszarów możliwej reaktywacji starych, zasypanych zapadlisk" (ryc. 6.4). Poniżej scharakteryzowano poszczególne rejony występowania tych form.



Ryc. 6.4. Obszary możliwej reaktywacji starych, zasypanych zapadlisk (źródło podkładu: GUGiK).

Rejon ul. Młyńskiej

W rejonie tym wyznaczono siedem lejów zapadliskowych widocznych na zdjęciu lotniczym z 1957 r. Największe zapadliska wystąpiły na ówczesnych polach uprawnych, na wschód od drogi polnej (dzisiejszej ulicy Młyńskiej; ryc. 6.5). Wszystkie widoczne na zdjęciu formy zostały zlikwidowane prawdopodobnie poprzez zasypanie. Z analizy zdjęć wynika, że zasypane leje znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie lub częściowo pod dzisiejszą zabudową. Najbardziej niepewną formą, jest ta znajdująca się najdalej na zachód. Na zdjęciach widoczna jest wyraźna zmiana fototonów, przez co zaznacza się charakterystyczny okrąg o średnicy zbliżonej lub nieco większej do leja zapadliskowego, występującego po wschodniej stronie ul. Młyńskiej. Wskazuje to na możliwość występowania wówczas formy inicjalnej zapadliska lub obniżenie terenu po zasypaniu zapadliska w przeszłości (niedogęszczenie gruntu, którym zasypywane jest zapadlisko może powodować jego osiadanie po niedługim czasie). Podczas analiz stereoskopowych nie udało się jednoznacznie stwierdzić obniżenia w tym miejscu, dlatego formę tą należy uznać za niepewną.



Ryc. 6.5. Historyczne zapadliska w rejonie ul. Młyńskiej (źródło zdjęcia: GUGiK).

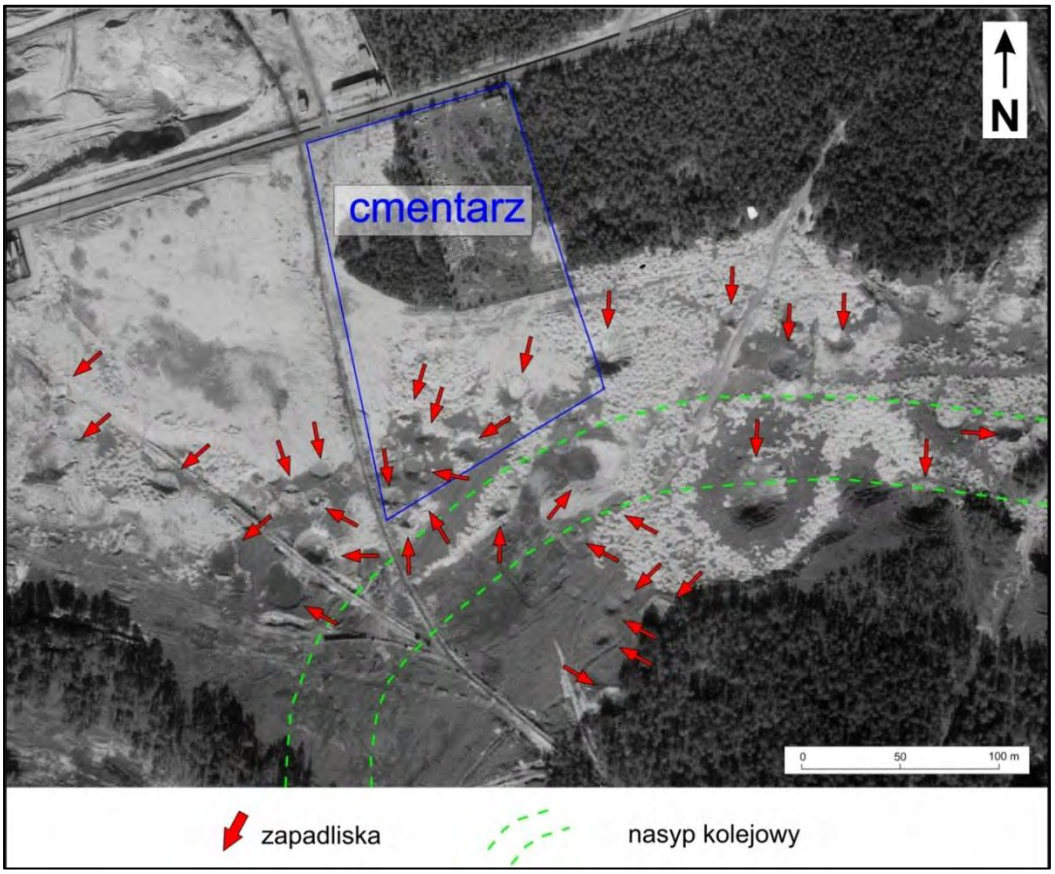
Jak wynika z map wyrobisk górniczych w skali 1:1 000 pokładu 207, w latach 40-tych ubiegłego wieku doszło do zapadnięcia gruntu również na południe od ul. Młyńskiej. Podobnie jak inne zapadliska w tym rejonie zostało ono zlikwidowane prawdopodobnie poprzez zasypanie. Na zdjęciu lotniczym z 1957 r. zapadlisko to nie jest już widoczne, a

teren w tym czasie użytkowany był rolniczo. Jego lokalizacja na mapach górniczych wskazuje, że znajdowało się ono częściowo pod dzisiejszym budynkiem mieszkalnym.

Historyczne zapadliska w tym rejonie związane są z płytką eksploatacją węgla w pokładzie 207. Największe zapadliska występowały na granicy płytkiej eksploatacji. Zapadliska na wschód od ul. Młyńskiej mogły być związane z nałożeniem się eksploatacji pokładu 207 oraz infrastruktury kopalnianej zalegającego niżej pokładu 208. Jeśli niepewna forma zaznaczająca się na zdjęciu lotniczym (ryc. 6.5) jest związana z zapadaniem się gruntu, to na jego powstanie miała wpływ eksploatacja pokładu 208 na głębokości około 110 m p.p.t.

Rejon cmentarza

Rejon ten obejmuje również południową część ogródków działowych oraz nasyp kolejowy linii P205 Trzebinia Siersza – Elektrownia Siersza. Jest to obszar o największej intensyfikacji zapadlisk w ostatnich latach, obejmujący starorzecze potoku Kozi Bród, którego przebieg został zmieniony z początkiem XX w. Teren ten jest znacznie przekształcony. Na powierzchni dominują nasypy antropogeniczne. To w tym rejonie doszło do największej liczby reaktywacji starych, zasypanych zapadlisk (*porównaj „Raport Wstępny..." Wojciechowski i in., 2023a*). Na podstawie zdjęć lotniczych z 1957 r. wyznaczono 15 obszarów wskazujących na występowanie zapadlisk historycznych (ryc. 6.4).



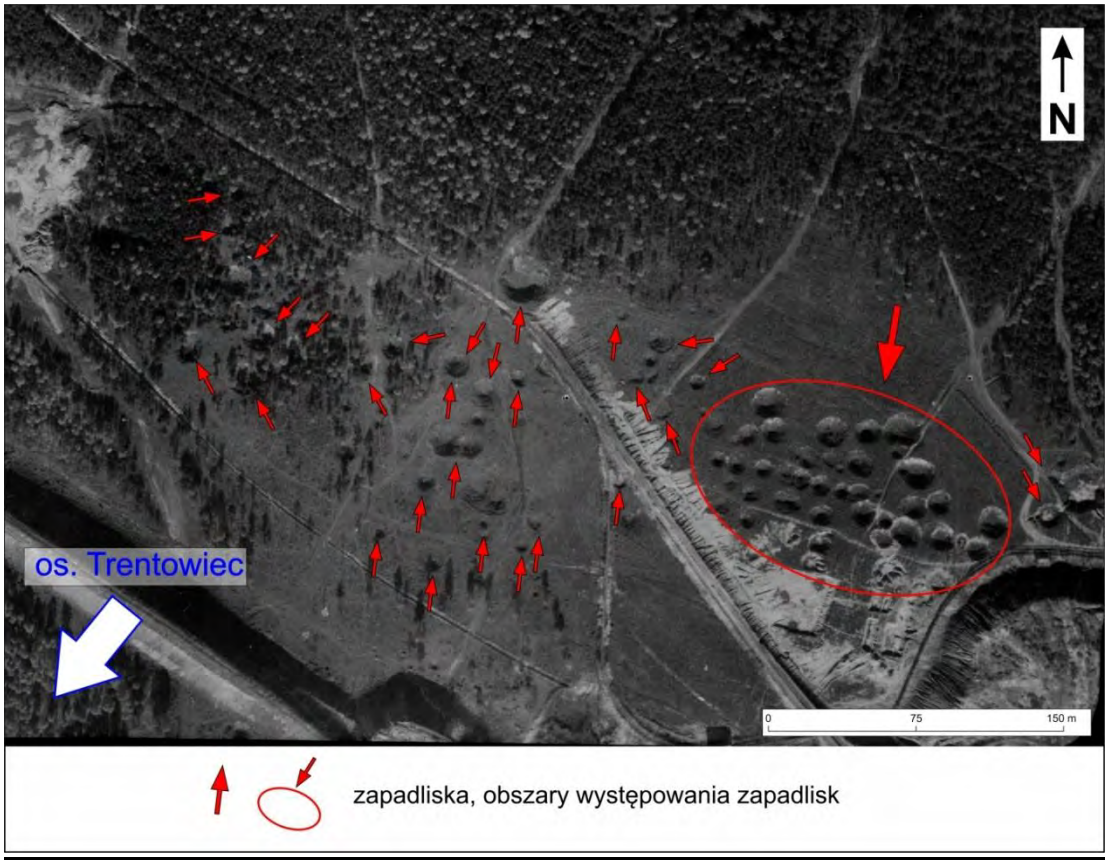
Ryc. 6.6. Historyczne zapadliska w rejonie cmentarza (źródło zdjęcia: GUGiK).

Problem reaktywacji takich zapadlisk dotyczy tu głównie południowej części cmentarza i ogródków działkowych. Niepokojący może być również fakt występowania takich form pod nasypem kolejowym (ryc. 6.6). Reaktywacja starych zapadlisk w górnej części nasypu może stanowić zagrożenie dla ruchu kolejowego. Uaktywnienie zapadlisk w jego dolnej części może skutkować uruchomieniem ruchów masowych (osuwisk) w obrębie nasypu. Ze względu na duże zagęszczenie starych form zapadliskowych oraz liczne zapadnięcia terenu, które wystąpiły w ostatnich latach obszar ten wydaje się być najbardziej zagrożony na powstawanie nowych/reaktywację starych zapadlisk.

Zapadliska widoczne na starych zdjęciach lotniczych związane są z udokumentowaną płytką eksploatacją węgla kamiennego w pokładach 208 oraz 209-210. Niewielka miąższość czwartorzędu w rejonie cmentarza i ogródków działkowych pozwala przypuszczać, że eksploatacja pokładu 209-210 odbywała się na głębokościach, nieprzekraczających 40 m p.p.t. W południowo-zachodniej części płytko eksploatowane były oba pokłady. Nałożenie eksploatacji w dwóch pokładach było jedną z przyczyn powstania dużej ilości zapadlisk.

Rejon zrekultywowanej hałdy pogórniczej

Analiza skalibrowanych zdjęć lotniczych wskazała na występowanie zapadlisk o dużym zagęszczeniu na północny wschód od os. Trentowiec (ryc. 6.4, 6.7).



Ryc. 6.7. Historyczne zapadliska w rejonie obecnie zrekultywowanej hałdy pogórniczej (źródło zdjęcia: GUGiK).

Obecnie zapadliska te pokryte są około 10-metrowym nasypem. W rejonie tym nie stwierdzono reaktywacji żadnego ze starych, zasypanych zapadlisk. Może mieć to związek z dużą miąższością hałdy. Niemniej w nasypie tym zarejestrowano powstanie nowych form zapadliskowych (*porównaj rozdział 7*). Podobnie jak w przypadku rejonu cmentarza doszło tutaj do nałożenia eksploatacji dwóch pokładów – 207 oraz 208. Eksploatację pokładu węgla 207 rozpoczęto pod koniec XIX w., a jej głębokość w wielu miejscach nie przekraczała 26 m p.p.t. (Tomecka-Suchoń, 2014).

Pozostałe rejony

Pozostałe rejony, gdzie stwierdzono występowanie historycznych zapadlisk nie charakteryzowały się tak dużym ich zagęszczeniem (ryc. 6.4). Wśród obszarów gdzie w przeszłości zasypano zapadliska warto wymienić północno-wschodnią część stadionu UKS Górnik Siersza oraz tereny leśne znajdujące się na wschód od niego, obszary leśne na południe od ul. Grunwaldzkiej oraz rejon Karniowic, gdzie na zdjęciach lotniczych wykonanych w 1987 r. widoczne są obecnie niewidoczne leje zapadliskowe. Efektem tych deformacji jest obecna zmiana przebiegu drogi polnej.

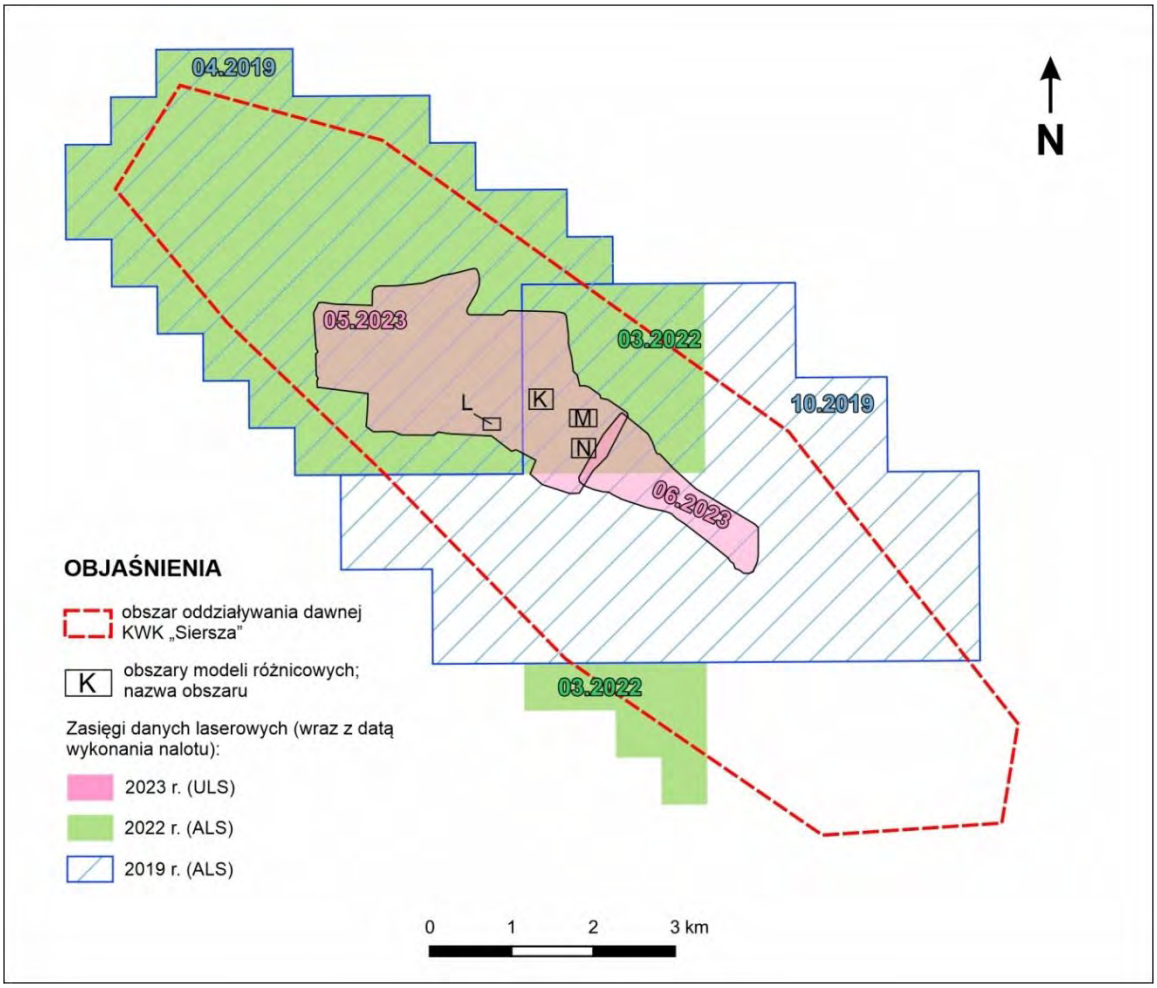
Problem zapadlisk na analizowanym obszarze istniał od dawna. Zdecydowana większość historycznych zapadlisk powstała przed 1957 r., czyli przed czasem wykonania najstarszych, dostępnych zdjęć lotniczych tego rejonu. Wiele z nich mogło powstać jeszcze w czasie XIX w. i z początkiem XX w., kiedy prowadzono wydobycie węgla kamiennego na głębokości zwykle nieprzekraczającej 50 m p.p.t. Największe zapadlisko w Sierszy znajduje się w starorzeczu potoku Kozi Bród i jest związane z katastrofalnym wdarciem się wód powierzchniowych do kopalni w 1922 r. Archiwalne materiały górnicze wskazują na powstanie licznych zapadlisk w końcu lat 50-tych XX w. (np. zapadliska w sąsiedztwie os. Gaj – ryc. 6.1 oraz na zachód od ul. Odkrywkowej), a następnie w latach 60-tych i 70-tych (m.in. rejon Myślachowic, Trentowca, sztolni Wanda, ul. Odkrywkowej) oraz 80-tych i 90-tych (m.in. rejon ul. Górniczej, Trentowca, szybu „Zbyszek", na południe od Myślachowic oraz Karniowic).

Wszystkie przeanalizowane dane wskazują, że co najmniej 16 zapadlisk zasypanych w przeszłości uległo reaktywacji. Z różnoczasowych NMT wynika, że w rejonie oddziaływania dawnej KWK „Siersza", po 2011/2014 roku (od tego czasu są dostępne dane ALS) doszło do powstania 85 zapadlisk (*porównaj rozdział 8*). Zatem niecałe 19% stanowiły uaktywnienia zasypanych w przeszłości form. Jednak w wielu miejscach nie odnotowano do dziś reaktywacji starych lejów zapadliskowych np. rejon ul. Młyńskiej, rejon zrekultywowanej hałdy pogórniczej, okolice Karniowic czy pojedynczych zlikwidowanych zapadlisk w różnych częściach Trzebini - Sierszy. Zapewne zależy to od wielu czynników m.in. sposobu likwidacji zapadliska, sposobu likwidacji wyrobisk, litologii nadkładu pokładu, obecności wody, pochylenia wyrobiska, którego strop uległ zawaleniu itp. Odnowienia starych zapadlisk dotyczyły głównie rejonu cmentarza, południowej części ogródków działkowych, nasypu kolejowego, os. Gaj, rejonu ul. Odkrywkowej oraz południowej części Myślachowic (rejon

DW 791). Ze względu na ograniczoną dokładność niektórych danych trudno oszacować dokładną ilość reaktywowanych zapadlisk zlikwidowanych w przeszłości.

7. ROZWÓJ ZAPADLISK NA PODSTAWIE ANALIZ RÓŻNICOWYCH MODELI TERENU

Metody przetwarzania i analiz danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) zostały omówione w pierwszym raporcie dotyczącym deformacji terenu w rejonie Trzebini (Wojciechowski i in., 2023a). W raporcie drugim (Wojciechowski i in., 2023b) przedstawiono wyniki analiz różnicowych modeli terenu (RMT) na podstawie danych ALS pozyskanych z GUGiK z lat: 2011, 2014, 2019 oraz 2022. Na potrzeby dalszych badań wykonano dodatkowe skanowanie powierzchni terenu z pułapu UAV (*porównaj rozdział 5*).



Ryc. 7.1. Skorowidz porównywanych danych laserowych dla obszaru oddziaływania dawnej KWK „Siersza".

Poniżej przedstawiono wyniki analiz różnicowych modeli terenu wykonanych na podstawie NMT z lat 2019 i 2022 oraz NMT wygenerowanego z danych skaningowych uzyskanych z pułapu UAV w maju i czerwcu 2023 r. Zasięgi poszczególnych serii danych wraz z datami wykonania nalotów przedstawiono na ryc. 7.1. Na potrzeby prezentacji wyników analiz wytypowano 4 obszary (K, L, M, N), gdzie na podstawie danych LiDAR

stwierdzono uaktywnienie się istniejących lub powstanie nowych lejów zapadliskowych (ryc. 7.1). Numeracja alfabetyczna nawiązuje do wyników poprzedniego opracowania (obszary A-J zostały opisane w raporcie drugim – Wojciechowski i in., 2023b). W poszczególnych obszarach wskazano lokalizacje nowopowstałych i/lub uaktywnionych zapadlisk, wraz z informacją na temat objętości zapadniętego gruntu lub objętości osiadania gruntu po zasypaniu leja zapadliskowego. Na modelach różnicowych wskazano tylko te deformacje, które dotyczą zapadlisk. Pozostałe zmiany mają związek głównie z błędami NMT oraz przekształceniami antropogenicznymi. Wyniki analiz zostały zweryfikowane w terenie.

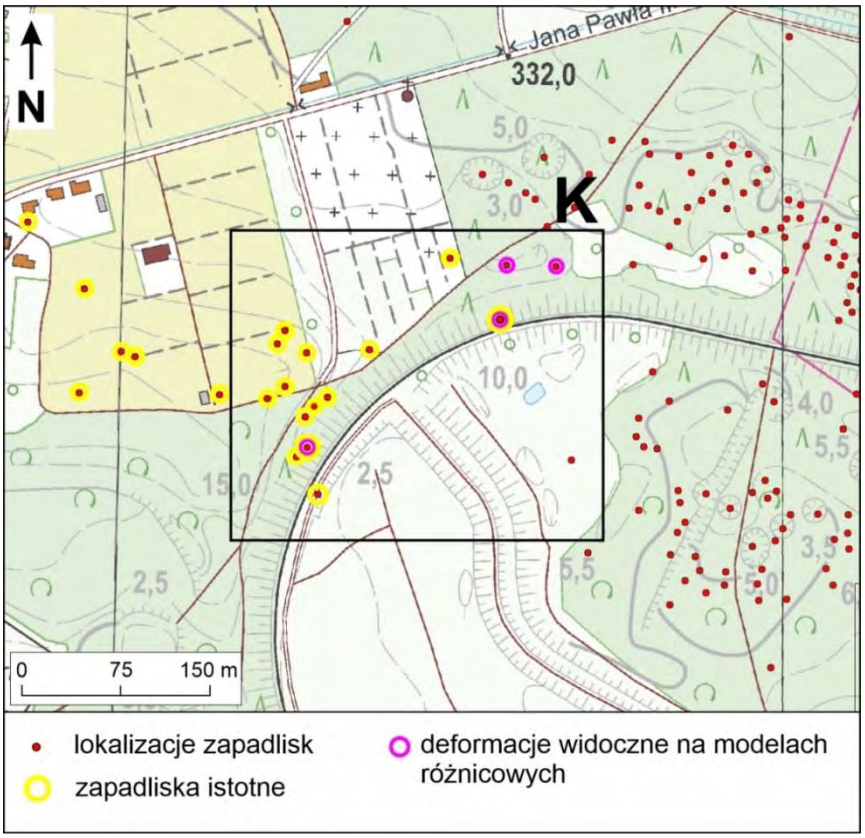
W analizach nie ujęto zapadlisk, które powstały pomiędzy 2022 r. a 2023 r. w pobliżu zabudowań lub infrastruktury ze względu na ich stosunkowo szybki czas likwidacji (zasypania). Daty nalotów nie pozwoliły na zarejestrowanie tych zapadlisk. Wszystkie z nich zostały ujęte w pozostałych rozdziałach opracowania. Siedem z nich, przed zlikwidowaniem zostało zeskanowanych przy pomocy naziemnego skanera laserowego (*porównaj rozdział 3*).

Obszar K

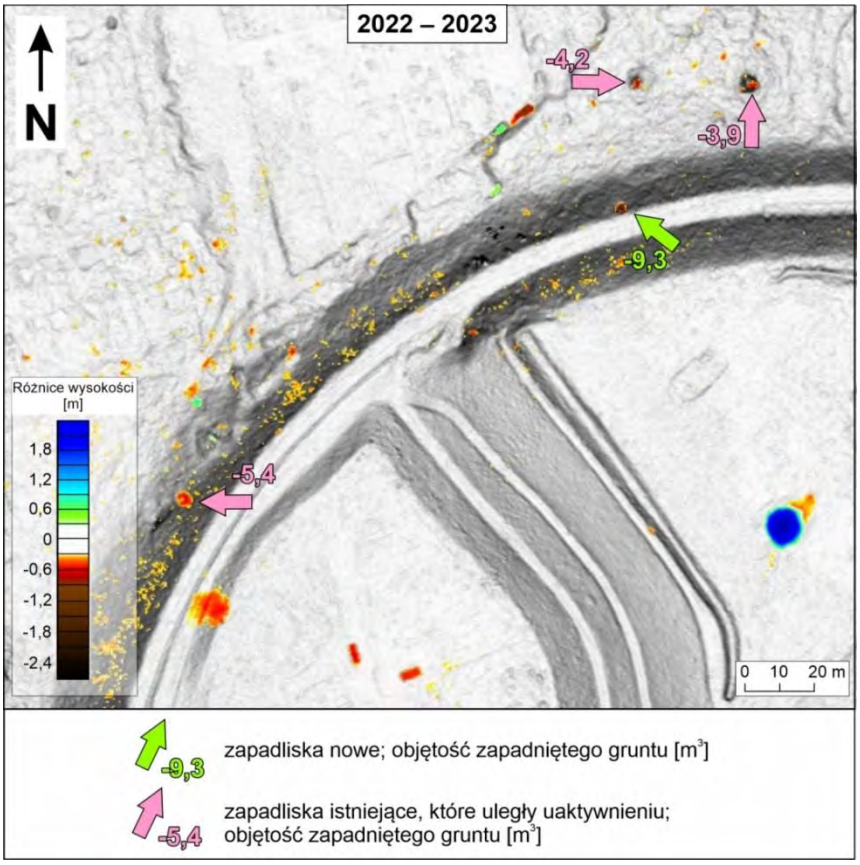
Obszar ten położony jest w rejonie cmentarza parafialnego w Trzebini-Sierszy i obejmuje również nasyp kolejowy linii P205 Trzebinia Siersza – Elektrownia Siersza. W okresie 03.2022 – 05.2023 doszło tu do uaktywnienia trzech zapadlisk oraz powstania jednej nowej formy (ryc. 7.2, 7.3).

Sumarycznie, w analizowanym okresie zapadnięciu bądź obniżeniu uległ grunt o objętości blisko 23 m^3. Wśród deformacji widocznych na RMT dwie należy uznać za istotne – ze względu na występowanie w obrębie nasypu kolejowego. Obniżenie terenu widoczne w południowo zachodniej części obszaru (ryc. 7.3) związane jest z niedokładnym odtworzeniem skarpy po zasypaniu zapadliska powstałego w listopadzie 2022 r. Ze względu na czas nalotów, zobrazowane na RMT zmiany nie obejmują obniżenia związanego z powstałym (i zlikwidowanym) w między czasie zapadliskiem. Podczas prac terenowych nie odnotowano w tym miejscu widocznego osiadania nasypu (reaktywacji zapadliska).

Kilkadziesiąt metrów na północ, w analizowanym okresie doszło do powiększenia się zapadliska występującego w środkowej części nasypu kolejowego (ryc. 7.3; fot. 7.1), które powstało w latach 2019–2022 (Wojciechowski i in., 2023b). W wyniku reaktywacji doszło do zapadnięcia gruntu o objętości 5,4 m^3. Ze względu na ukształtowanie terenu (strome zbocze nasypu) powiększanie zapadliska może w przyszłości spowodować uruchomienie ruchów masowych (osuwisk).



Ryc. 7.2. Mapa lokalizacyjna obszaru K na podkładzie BDOT10K (źródło podkładu: GUGiK).



Ryc. 7.3. RMT 2022–2023 dla obszaru K.

Istotną informacją wynikającą z analiz RMT jest powstanie nowego zapadliska w pobliżu górnej krawędzi blisko 10-metrowego nasypu (na ryc. 7.3 zapadlisko zaznaczone zieloną strzałką). Forma ta znajduje się w odległości około 5,5–6 m od torów kolejowych i może stanowić dla nich zagrożenie. Pomimo bujnej roślinności, jaka występowała w maju na tym obszarze, udało się przy pomocy skanowania laserowego zarejestrować wyraźne obniżenie terenu. W momencie rejestracji lej zapadliskowy miał średnicę około 3 m oraz głębokość maksymalną 2,5 m (fot. 7.2). Pozostałe obniżenia widoczne na RMT związane z deformacjami pogórniczymi są mniej istotne. Wyniki analiz wskazały na odnowienie ruchów w obrębie dwóch zapadlisk, znajdujących się w północno-wschodniej części obszaru.

W południowo-wschodniej części obszaru widoczne jest wyraźne, okrągłe wypiętrzenie terenu (ryc. 7.3). Jest ono związane z likwidacją zapadliska, które było widoczne na NMT z 2022 r. Wszystkie zapadliska występujące w tym rejonie związane są z historyczną eksploatacją węgla w pokładach 208 oraz 209-210.

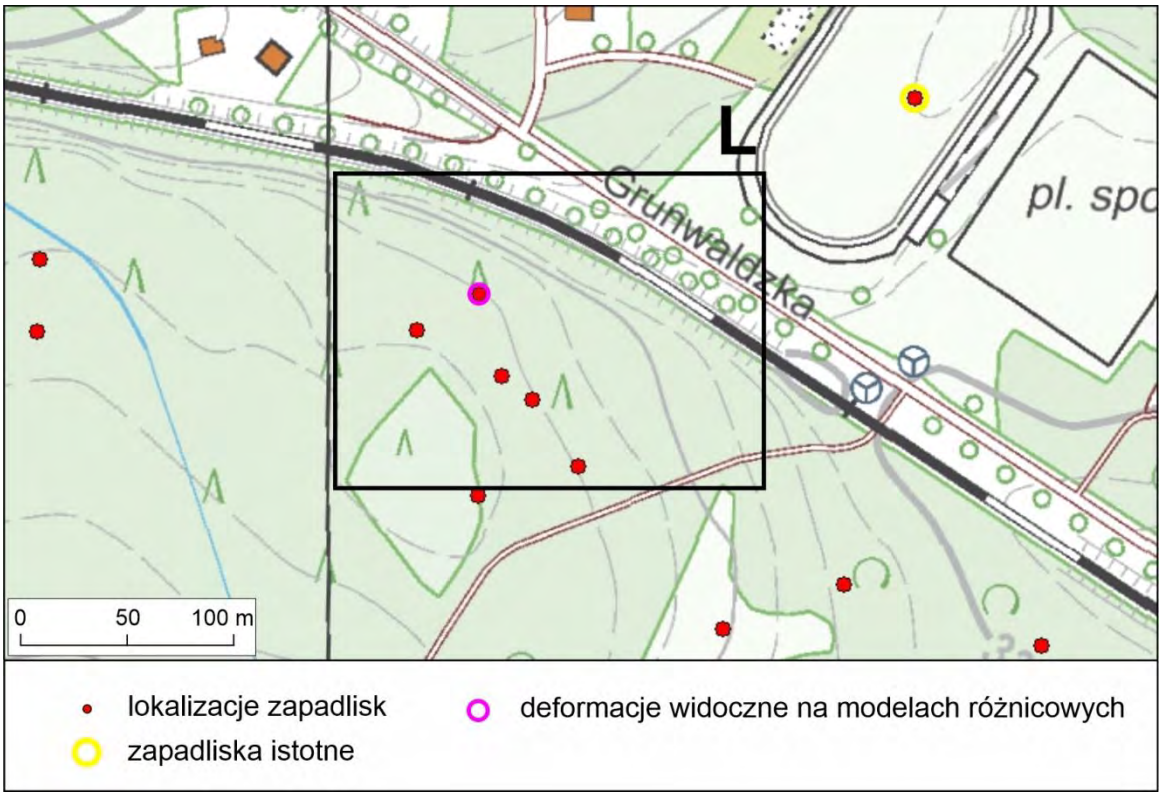
Fot. 7.1. Powiększające się zapadlisko w dolnej części nasypu. Po lewej fotografia z marca 2023 r., po prawej fotografia z czerwca 2023 r.

Fot. 7.2. Zapadlisko w górnej części nasypu kolejowego, powstałe przed majem 2023 r.

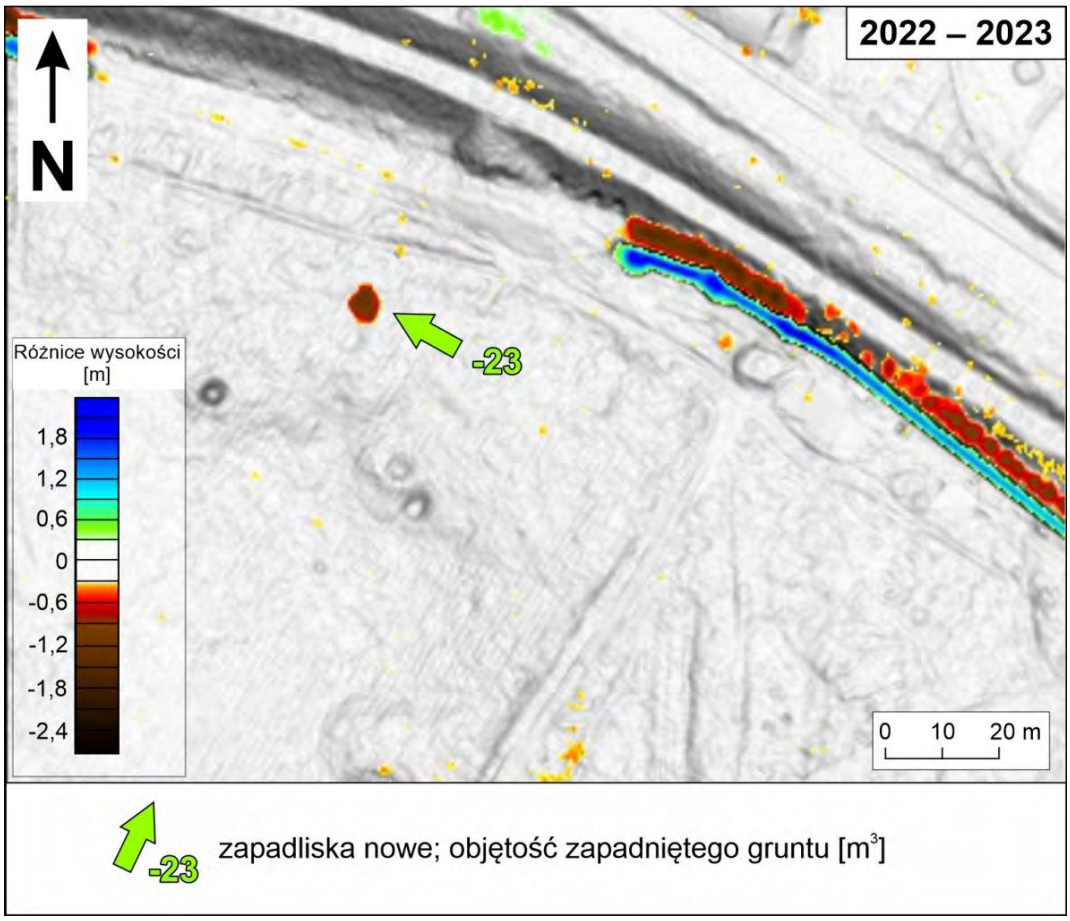
Obszar L

Obszar „L” obejmuje tereny leśne na południe od ul. Grunwaldzkiej, naprzeciw stadionu UKS Górnik Siersza (ryc. 7.4). W okresie między marcem 2022 r., a marcem 2023 r. doszło tu do powstania jednego nowego zapadliska (ryc. 7.4, 7.5), które w momencie rejestracji terenowej (marzec 2023 r.) było w znacznej mierze wypełnione wodą (fot. 7.3). Wówczas jego średnica nie przekraczała 4 m. Zapadlisko z czasem powiększyło się. Jego średnica zmierzona na podstawie NMT z maja 2023 r. wynosiła blisko 6 m. Lustro wody prawdopodobnie obniżyło się, na co wskazują liczne punkty reprezentujące grunt (wiązka laserowa nie odbija się od wody) oraz wysokie wartości różnic wysokościowych uzyskanych na RMT. Lej zapadliskowy pochłonął co najmniej 20 m^3 gruntu. Powstanie zapadliska związane jest z płytką eksploatacją pokładu 207.

W analizowanym okresie doszło również do powstania nowego zapadliska na murawie stadionu (ryc. 7.4), jednak niedługo po utworzeniu leja został on zasypany. Utworzony lej zapadliskowy miał około 10 m średnicy i 5 m głębokości. Jego powstanie można wiązać z nałożeniem się płytkich wyrobisk w pokładach 207 oraz 208. Ewentualne osiadanie terenu może być widoczne w przypadku wykonania kolejnych nalotów.



Ryc. 7.4. Mapa lokalizacyjna obszaru L na podkładzie BDOT10K (źródło podkładu: GUGiK).

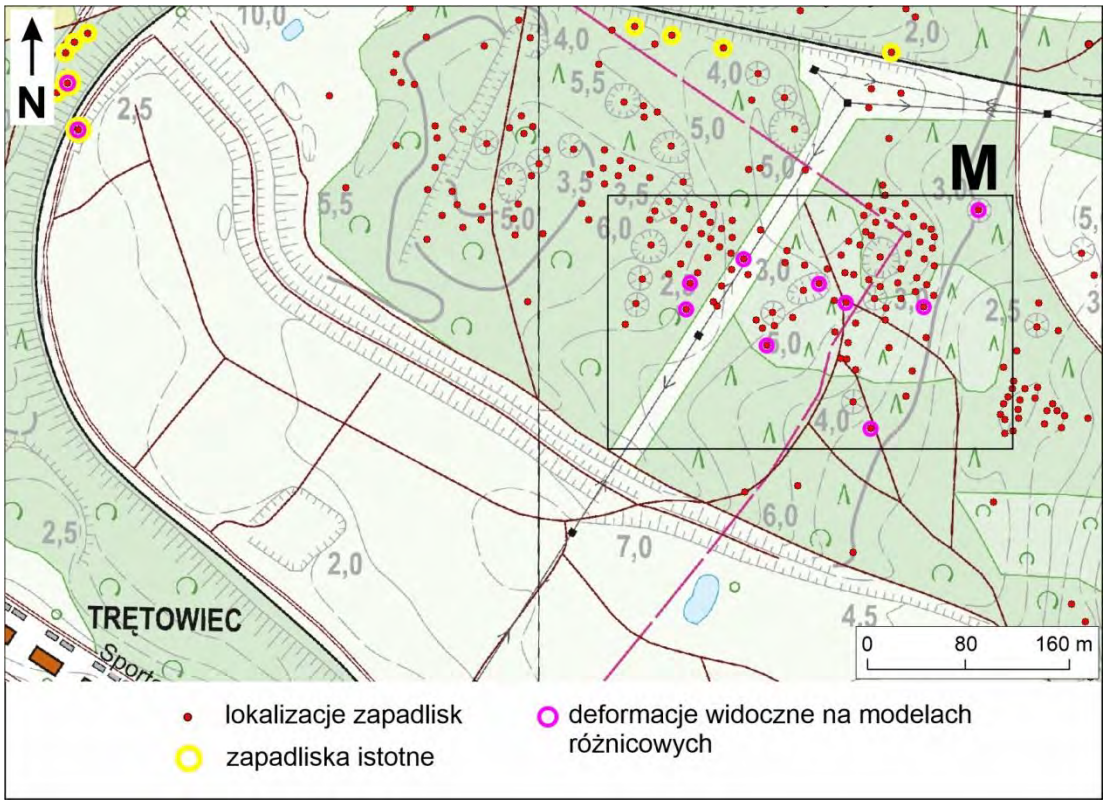


Ryc. 7.5. RMT 2022–2023 dla obszaru L.

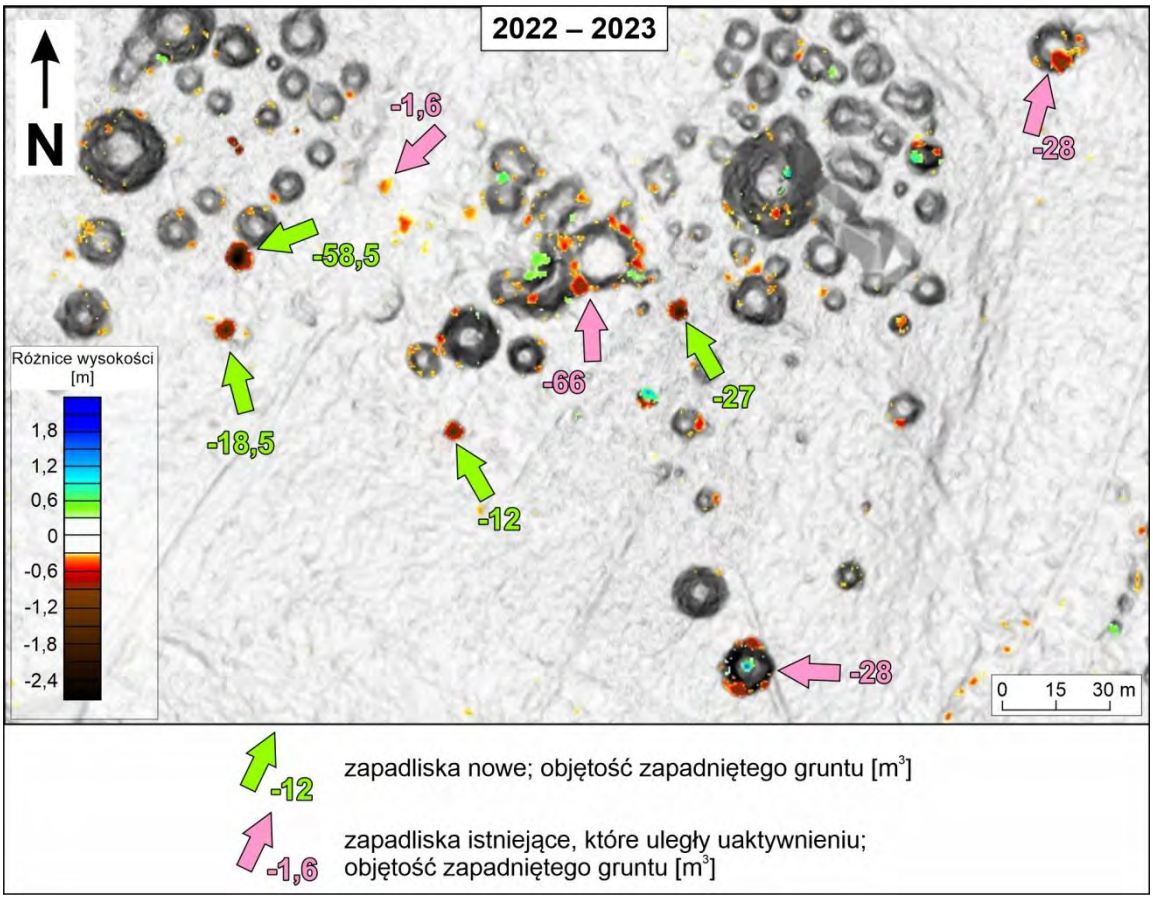
Fot. 7.3. Nowe zapadlisko w obszarze L.

Obszar M

Obszar ten charakteryzuje się dużym zagęszczeniem starych zapadlisk i obejmuje tereny leśne znajdujące się pomiędzy zrekultywowaną hałdą górniczą na południu, nasypem kolejowym na północy oraz tzw. „ścieżką zdrowia" na wschodzie (ryc. 7.6). Przez obszar ten przebiega linia wysokiego napięcia. W analizowanym okresie doszło tu do powstania czterech nowych zapadlisk (fot. 7.4), poszerzenia trzech istniejących zapadlisk oraz obniżenia terenu w jednym ze zlikwidowanych zapadlisk w pobliżu linii wysokiego napięcia. Sumaryczna objętość zapadniętego lub obniżonego gruntu wynosi w tym rejonie około 240 m^3 (ryc. 7.7). Jest to najwyższa wartość spośród wszystkich obszarów gdzie rejestrowano zmiany pomiędzy 2022 r. a 2023 r. Warto zaznaczyć, że w bliskiej odległości, na północ od obszaru M doszło w tym czasie do utworzenia co najmniej trzech zapadlisk. Jedno z nich uszkodziło nasyp kolejowy (*porównaj rozdział 3*). Ich szybka likwidacja nie pozwoliła na zarejestrowania zmian na modelach różnicowych. Powstawanie lejów zapadliskowych w tym rejonie związane jest z płytką eksploatacją węgla kamiennego w pokładach 208 oraz 209-210. Nowopowstałe zapadliska w obszarze M wystąpiły w miejscach, gdzie płytka eksploatacja obu pokładów nałożyła się na siebie.



Ryc. 7.6. Mapa lokalizacyjna obszaru M na podkładzie BDOT10K (źródło podkładu: GUGiK).

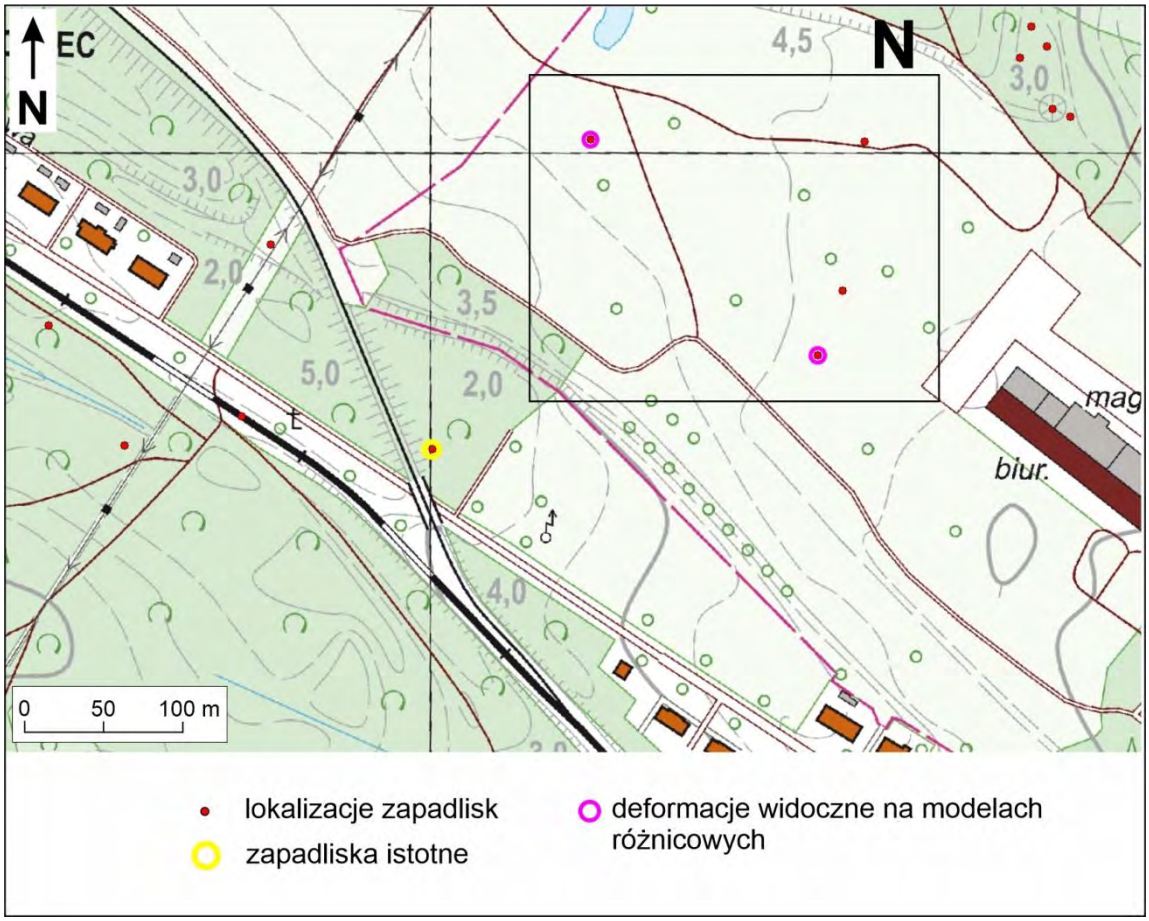


Ryc. 7.7. RMT 2022–2023 dla obszaru M.

Fot. 7.4. Jedno z nowopowstałych zapadlisk w obszarze M.

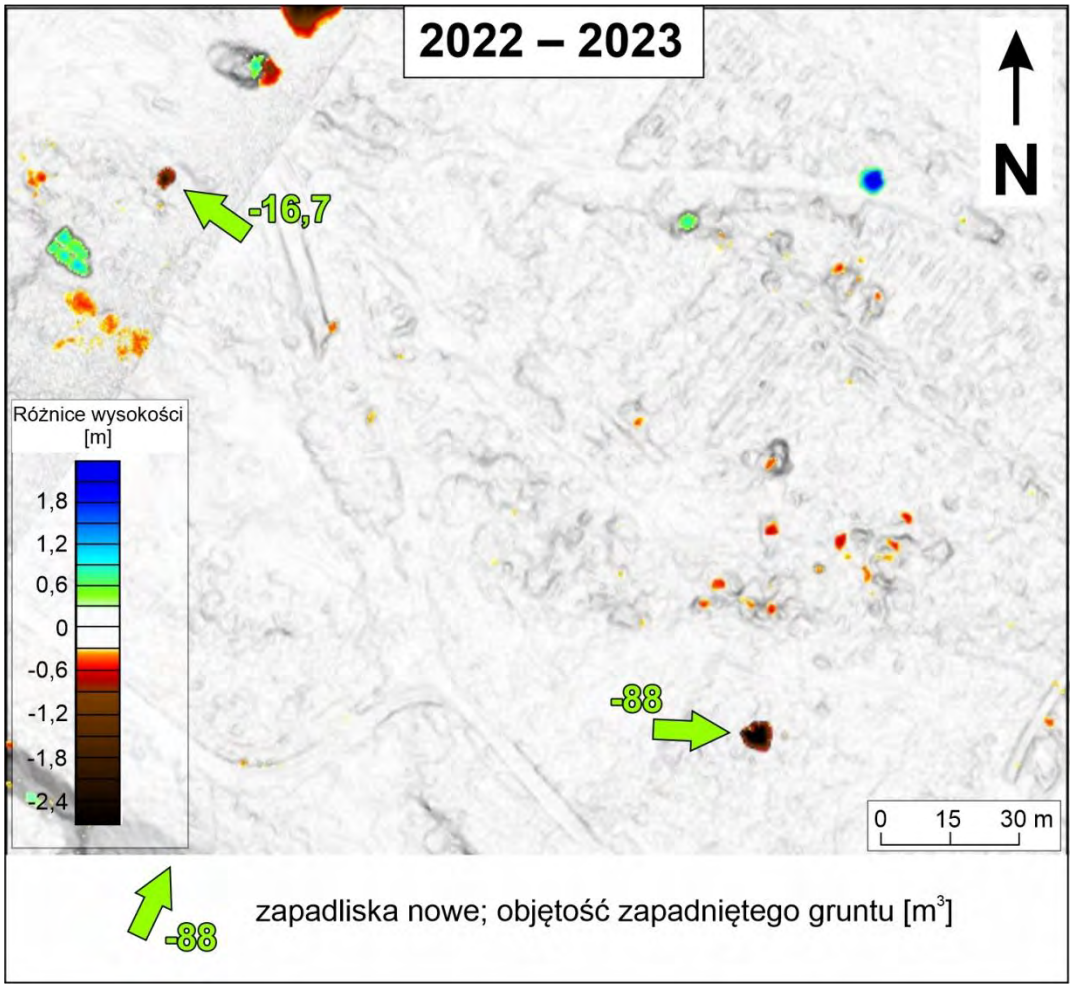
Obszar N

Kolejny obszar, w którym widoczne są zmiany powierzchni terenu spowodowane deformacjami nieciągłymi znajduje się w obrębie zrekultywowanej hałdy pogórniczej, na północny wschód od osiedla Trentowiec (ryc. 7.8). W rejonie tym, pomimo zdeponowania nasypu o miąższości około 10 m, w okresie pomiędzy 2022 r., a 2023 r. doszło do powstania dwóch nowych zapadlisk. Sumaryczna objętość zapadniętego gruntu wyniosła około 105 m^3. Oba zapadliska są dobrze widoczne na RMT (ryc. 7.9). Oprócz zapadlisk, model różnicowy zwizualizował liczne nasypy i wkopy. Ciemnoczerwony kolor w skrajnie północnej części (ryc. 7.9) jest wynikiem wybierania wcześniej zdeponowanego nasypu. Z kolei niebieski punkt w północno-wschodniej części to efekt zasypania zapadliska powstałego przed marcem 2022 r.



Ryc. 7.8. Mapa lokalizacyjna obszaru N na podkładzie BDOT10K (źródło podkładu: GUGiK).

Weryfikacja terenowa potwierdziła występowanie świeżych zapadlisk (fot. 7.5). W jednym z nich (w południowej części obszaru) odsłonił się rurociąg o nieznanej funkcji. Warto dodać, że poniżej zrekultywowanej hałdy znajdowały się liczne zapadliska, których występowanie stwierdzono na podstawie analiz zdjęć lotniczych z 1957 r. Nowopowstałe zapadliska są związane z płytką eksploatacją w pokładach 207 oraz 208. Zasypane, historyczne zapadliska w tym rejonie były związane głównie z nałożeniem się płytkiej eksploatacji w dwóch pokładach.



Ryc. 7.9. RMT 2022–2023 dla obszaru N.

Fot. 7.5. Nowopowstałe zapadlisko w południowej części obszaru N.

8. MAPY DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH W SKALI 1:10 000 WRAZ Z ANALIZĄ ILOŚCIOWĄ I JAKOŚCIOWĄ

Wyniki przedstawione w niniejszym rozdziale opracowano na podstawie:

- analizy różnoczasowych danych z lotniczego skaningu laserowego, zdjęć lotniczych i ortofotomap pozyskanych z GUGiK;
- pomiarów fotogrametrycznych i skaningu laserowego z pułapu UAV;
- terenowych prac kartograficznych przeprowadzonych w okresie 28.02–22.06.2023 r.;
- danych zapadliskowych prezentowanych w raporcie z wyników badań wykonanych na zlecenie Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. (luty 2023 r.);
- analizy map górniczych w skali 1:1 000 i 1:5 000 pozyskanych z Archiwum Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach;
- analizy map geologicznych i profili archiwalnych otworów wiertniczych;
- informacji zawartych w *Protokole Poinspekcyjnym Okręgowego Urzędu Górniczego w Tychach Nr 86/DM/G/Problem* oraz *Protokole Poinspekcyjnym Okręgowego Urzędu Górniczego w Tychach Nr 86/JJ/G/97* zawierającym *Wykaz deformacji nieciągłych powstałych w latach 1987-1997 r. na obszarze OG „Siersza I”* i mapy w skali 1:5 000 (źródło: Archiwum Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach);
- otrzymanych zgłoszeń o wystąpieniach zapadlisk, danych medialnych;
- danych o lokalizacjach zapadlisk prezentowanych na przeglądarce mapowej Głównego Instytutu Górnictwa (https://zapadliska.gig.eu/pl/content/mapa; dostęp 10.02.2023 r.). Z uwagi na cel opracowania (ukierunkowany głównie na analizę deformacji powierzchni terenu związanych z działalnością dawnej KWK „Siersza”) oraz niedysponowanie źródłowymi danymi górniczymi (brak możliwości weryfikacji), nie uwzględniono lokalizacji zapadlisk oznaczonych na wyżej wymienionej stronie jako związanych z eksploatacją rudną na obszarze dawnych Zakładów Górniczych (ZG) „Trzebionka”.

Mapa deformacji nieciągłych w obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza” w skali 1:10 000 stanowi załącznik do niniejszego raportu (zał. 1-5). Z uwagi na występowanie lokalnie dużych zagęszczeń zapadlisk w stosunku do skali mapy, w celu zachowania czytelności opracowania nie naniesiono ich numeracji (numery te zostały zamieszczone w cyfrowej bazie danych zapadlisk; *patrz podrozdział 8.1*). Dane dotyczące zinwentaryzowanych deformacji nieciągłych odnoszą się do stanu badań na dzień 07.07.2023 r.

8.1. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego – zapadliska

Geneza zapadlisk

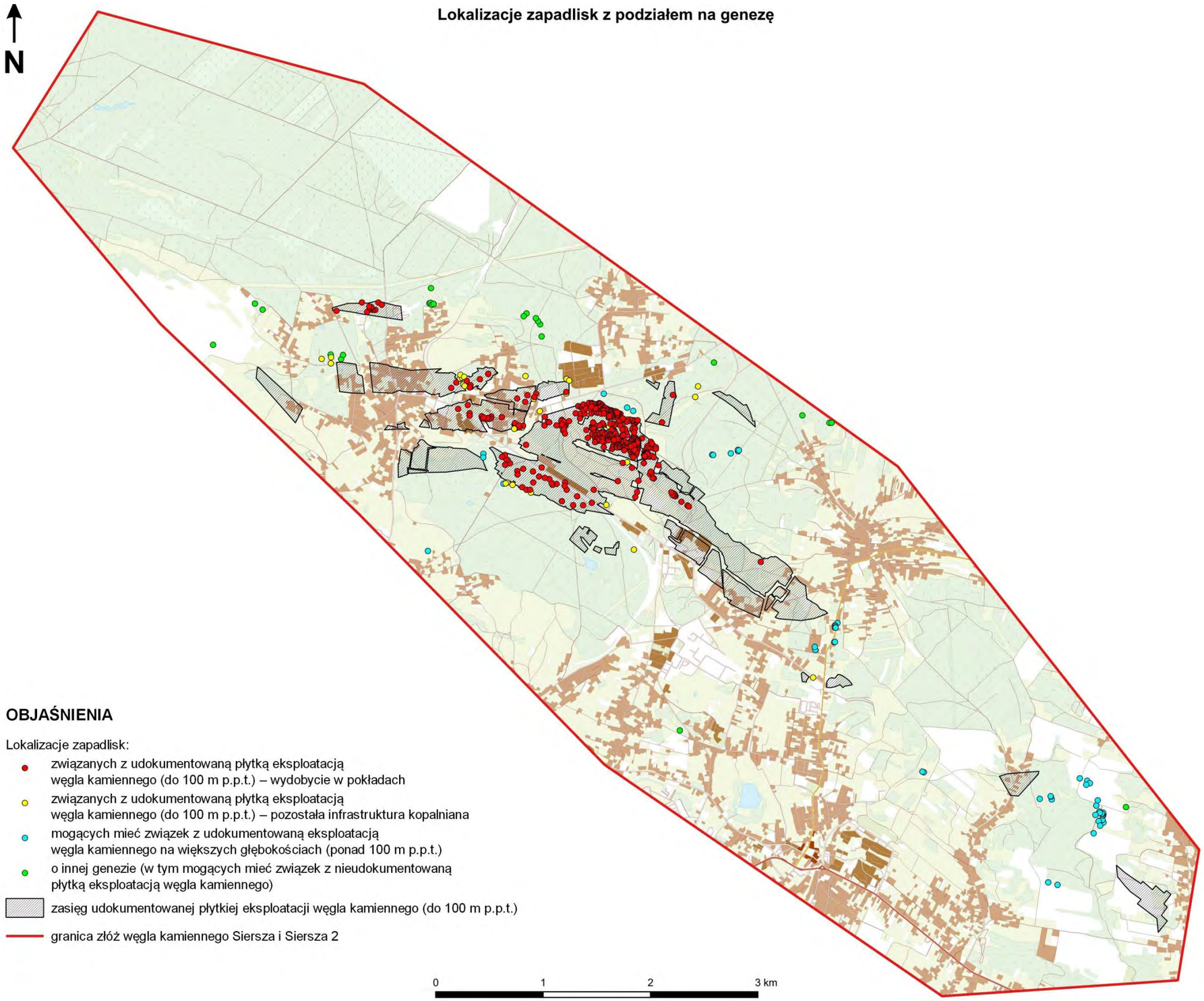
W wyniku przeprowadzonych badań, na obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza" (granice złóż Siersza i Siersza 2) zinwentaryzowano 527 zapadlisk. Pod względem genezy, 453 zapadliska (86%) związane są z udokumentowaną płytką eksploatacją złóż węgla kamiennego do głębokości 100 m p.p.t. w pokładach 206, 207, 208, 209 i 209-210, 214 i 301 (ryc. 8.1). Formy te zlokalizowane są głównie na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych. Część z nich ma związek z pozostałymi elementami infrastruktury kopalnianej (chodnikami, przekopami, upadowymi itp.).

W przypadku 51 zapadlisk (10%) ich lokalizacja pokrywa się z obszarami udokumentowanej eksploatacji węgla kamiennego na większych głębokościach (np. okolice Kamiennej Góry, Kowalikowej Góry).

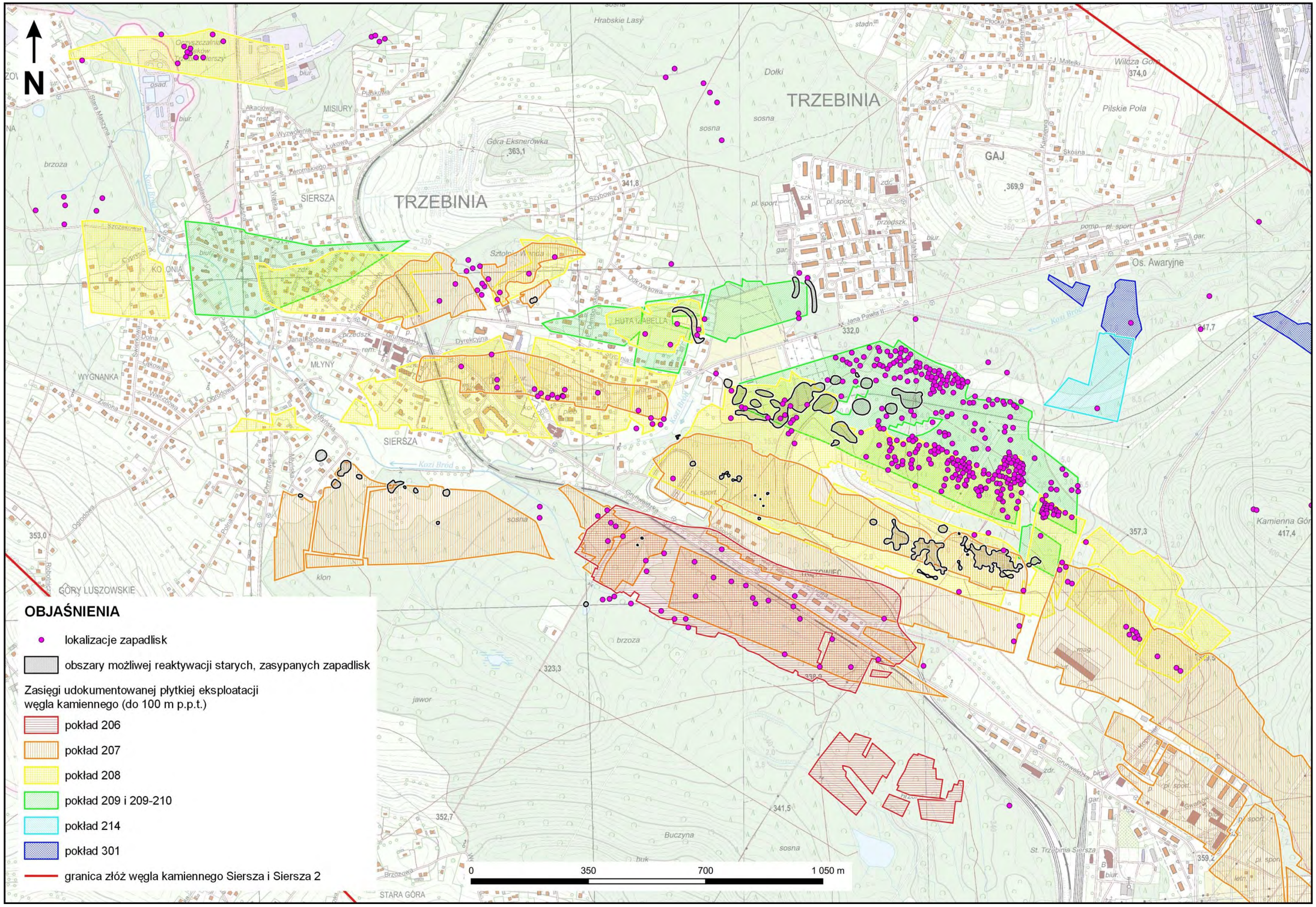
Pozostałe 23 formy (4%) występują poza obszarami udokumentowanej eksploatacji węgla kamiennego (ryc. 8.1). Na obecnym etapie rozpoznania, dla większości z nich nie ma możliwości jednoznacznego przypisania określonej genezy. Zapadliska te mogą być związane z procesami naturalnej sufozji, krasu bądź działalnością człowieka (np. zapadliska utworzone w miejscach zlikwidowanych, starych otworów wiertniczych lub wykopów). Do tej grupy zaliczono również zapadliska, które mogą mieć związek z nieudokumentowaną, płytką eksploatacją węgla kamiennego (dotyczy to głównie północnej części obszaru). Takim przykładem mogą być dwa zapadliska zlokalizowane przy ul. Grzybowej. Z informacji uzyskanych od mieszkańców wynika, że w dawnych czasach w miejscu tym prowadzono lokalnie wydobycie, co w znacznej mierze potwierdziły prace terenowe oraz analizy danych geologicznych.

Rozmieszczenie zapadlisk

Największe zagęszczenie zapadlisk obserwuje się w centralnej części obszaru (os. Siersza), na południe od ul. Jana Pawła II, w rejonie ogródków działkowych (fot. 8.1) i cmentarza parafialnego oraz sąsiadującego z nimi lasu (ryc. 8.2; fot. 9.2). Dotyczy to w szczególności obszarów udokumentowanej płytkiej eksploatacji węgla kamiennego w strefie wychodni pokładu 209-210 oraz w strefie nakładania się eksploatacji w pokładach 208 i 209-210 (ryc. 8.2). Na pozostałym obszarze również zaznacza się wyraźna tendencja do zwiększonej ilości zapadlisk w miejscach nakładania się płytkiej eksploatacji w dwóch pokładach (np. rejon Trentowca, pokład 206 i 207; rejon ul. Górniczej, pokład 207 i 208; ryc. 8.2). Dotyczy to również wyznaczonych obszarów możliwej reaktywacji starych, zasypanych zapadlisk (*porównaj rozdział 5*).



Ryc. 8.1. Lokalizacje zapadlisk z podziałem na genezę (źródło podkładu: GUGiK).



Ryc. 8.2. Obszar największego zagęszczenia zapadlisk na tle udokumentowanej płytkiej eksploatacji (źródło podkładu: GUGiK).

Związek zapadlisk z systemem eksploatacji złóż

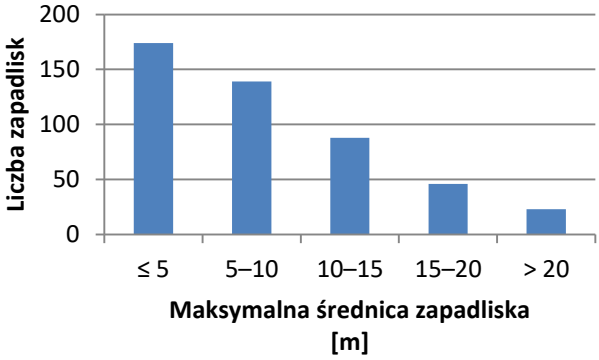
Istotne jest, że niemal wszystkie zapadliska związane z udokumentowaną płytką eksploatacją i zlokalizowane na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych dotyczą miejsc, w których wydobycie było prowadzone metodą na zawał stropu (lokalnie z zastosowaniem kasztów, tj. drewnianych podpór zabezpieczających strop). Z kolei na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych, które zostały podsadzone nie zarejestrowano dotychczas zapadlisk (np. pokład 208: na zachód od Robotniczej, rejon ul. Cyprysowej; pokład 208 i 209-210: pomiędzy ul. Partyzantów i ul. Braci Romockich; ryc. 8.2).

Fot. 8.1. Jedno z zapadlisk na terenie południowej części ogródków działkowych przy ul. Jana Pawła II.

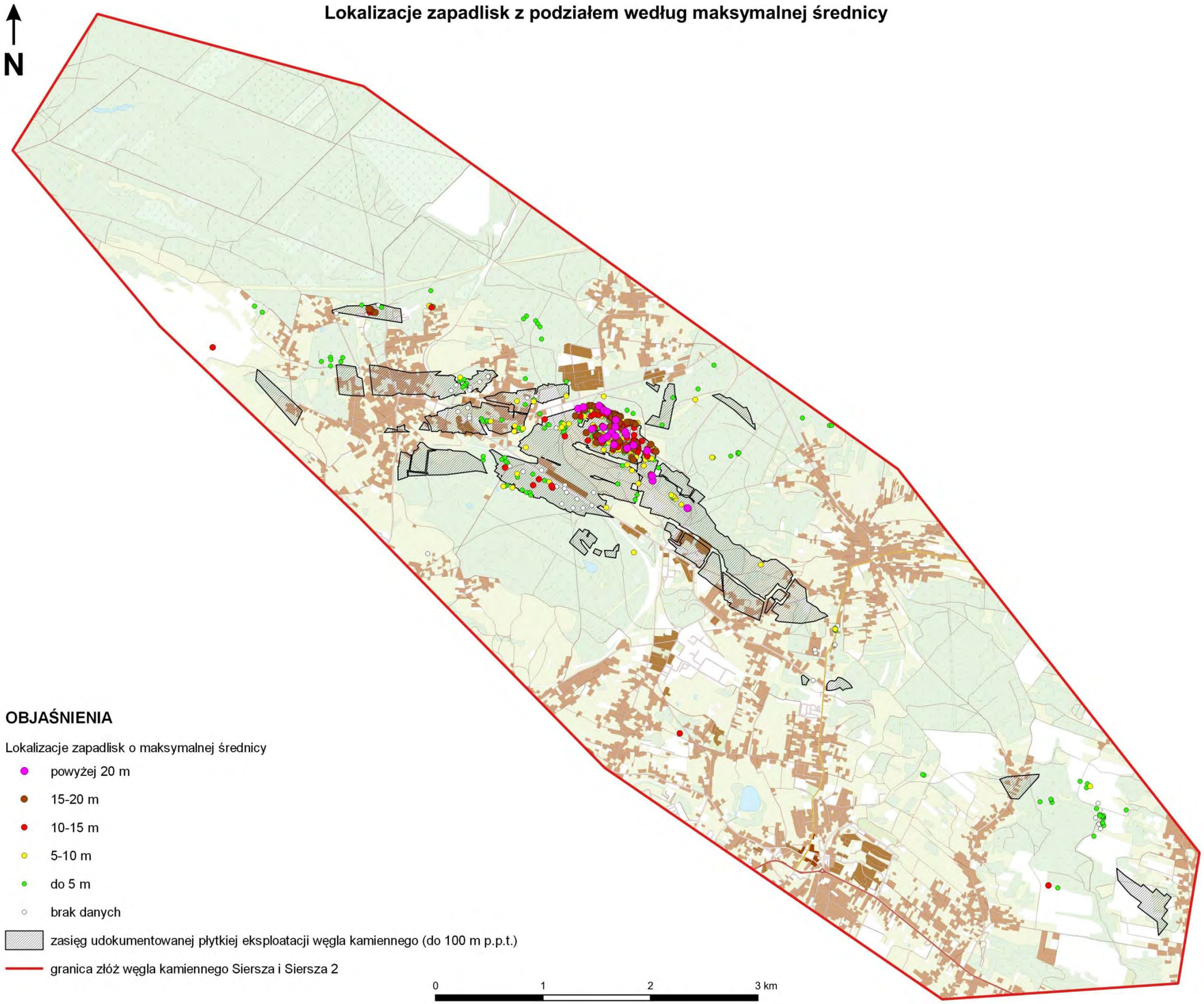
Fot. 8.2. Zapadliska w lesie na wschód od cmentarza parafialnego w Sierszy.

Parametry geometryczne zapadlisk

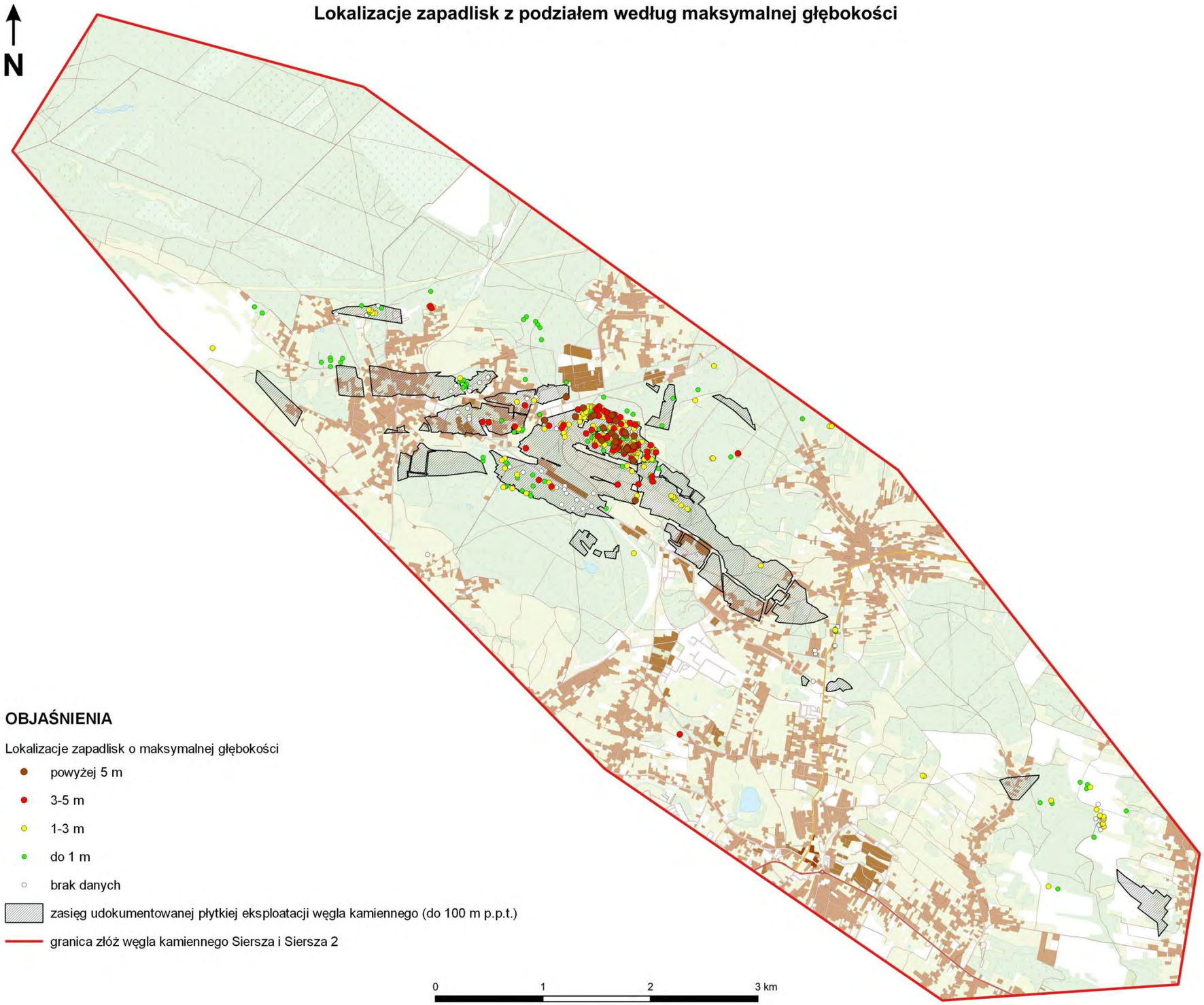
Nie dla wszystkich zapadlisk (lejów zapadliskowych) w obszarze badań udało się określić wymiary przestrzenne. Dotyczy to głównie starych, zasypanych (zlikwidowanych) form, co do których posiadano jedynie informację o ich lokalizacji. Spośród tych zapadlisk, dla których określono wymiary przestrzenne, 447 form (95%) ma maksymalną średnicę nieprzekraczającą 20 m (ryc. 8.3). Rozkład ilości zapadlisk z podziałem na poszczególne przedziały wielkości tego parametru pokazuje korelację ujemną – wraz ze wzrostem maksymalnej średnicy zapadliska ich ilość maleje (ryc. 8.4). Pod względem głębokości dominują formy do 3 m (368 zapadlisk, 79%; ryc. 8.5, 8.6). Zapadliska o największej maksymalnej średnicy i głębokości zlokalizowane są w centralnej części analizowanego obszaru, głównie na południe od ul. Jana Pawła II, w rejonie ogródków działkowych, cmentarza parafialnego oraz sąsiadującego z nimi lasu (ryc. 8.3, 8.5).



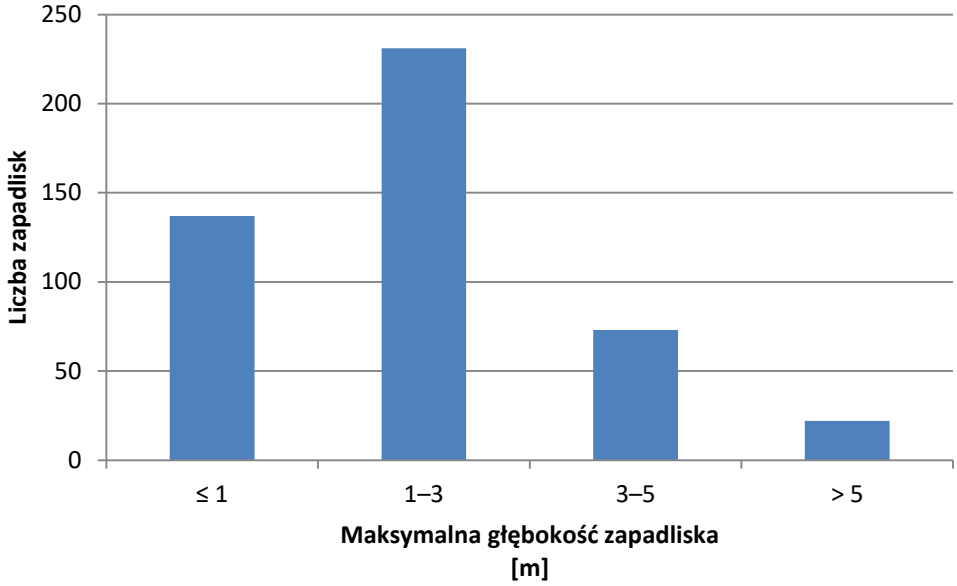
Ryc. 8.4. Rozkład maksymalnych średnic zapadlisk.



Ryc. 8.3. Lokalizacje zapadlisk z podziałem według maksymalnej średnicy (źródło podkładu: GUGiK).



Ryc. 8.5. Lokalizacje zapadlisk z podziałem według maksymalnej głębokości (źródło podkładu: GUGiK).



Ryc. 8.6. Rozkład maksymalnych głębokości zapadlisk.

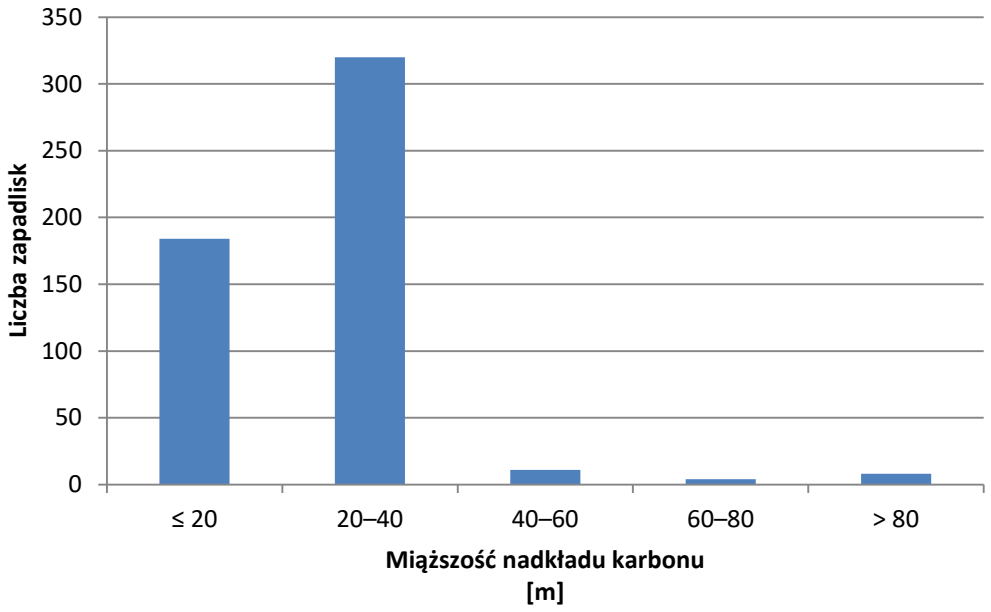
Związek zapadlisk z geometrią wyrobisk

Oprócz głębokości wyrobiska, o potencjalnym zagrożeniu powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi decyduje również jego wysokość. Im jest ona większa, tym zwiększa się potencjalne zagrożenie, przy czym deformacja taka może ale nie musi wystąpić. Istotne są także szerokość wyrobiska, która decyduje o prawdopodobieństwie wystąpienia deformacji oraz objętość wyrobiska, wpływająca na wielkość deformacji. Oba parametry wpływają na deformacje wprost proporcjonalnie. Te ogólne reguły powstawania zapadlisk mogą być łagodzone lub intensyfikowane w zależności od właściwości fizykomechanicznych górotworu, w którym znajduje się pustka oraz skały nadkładu (Chudek i in., 1988). Niestety, w przypadku obszaru dawnej KWK „Siersza", w miejscach zinwentaryzowanych zapadlisk na mapach górniczych występują liczne braki w oznaczeniach parametrów wyrobisk. Dotyczy to w szczególności pokładów (lub ich części), w których eksploatacja była prowadzona najwcześniej (XIX i początek XX wieku), a gdzie jednocześnie skoncentrowanych jest najwięcej zapadlisk. Dane te są często ograniczone jedynie do zasięgu wyrobisk wraz oznaczeniem systemu i lat eksploatacji. Mając na uwadze powyższe, nie przeprowadzono analizy parametrów geometrycznych zinwentaryzowanych zapadlisk w stosunku do wymiarów wyrobisk.

Związek zapadlisk z nadkładem karbonu

Wszystkie zapadliska zinwentaryzowane w obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza" zlokalizowane są w miejscach, w których miąższość utworów nadkładu karbonu osiąga nie więcej niż 100 m. Przy czym, w przypadku 504 form (96%) miąższość ta nie przekracza 40 m (ryc. 8.7). Pod względem wykształcenia litologicznego, 464 zapadliska

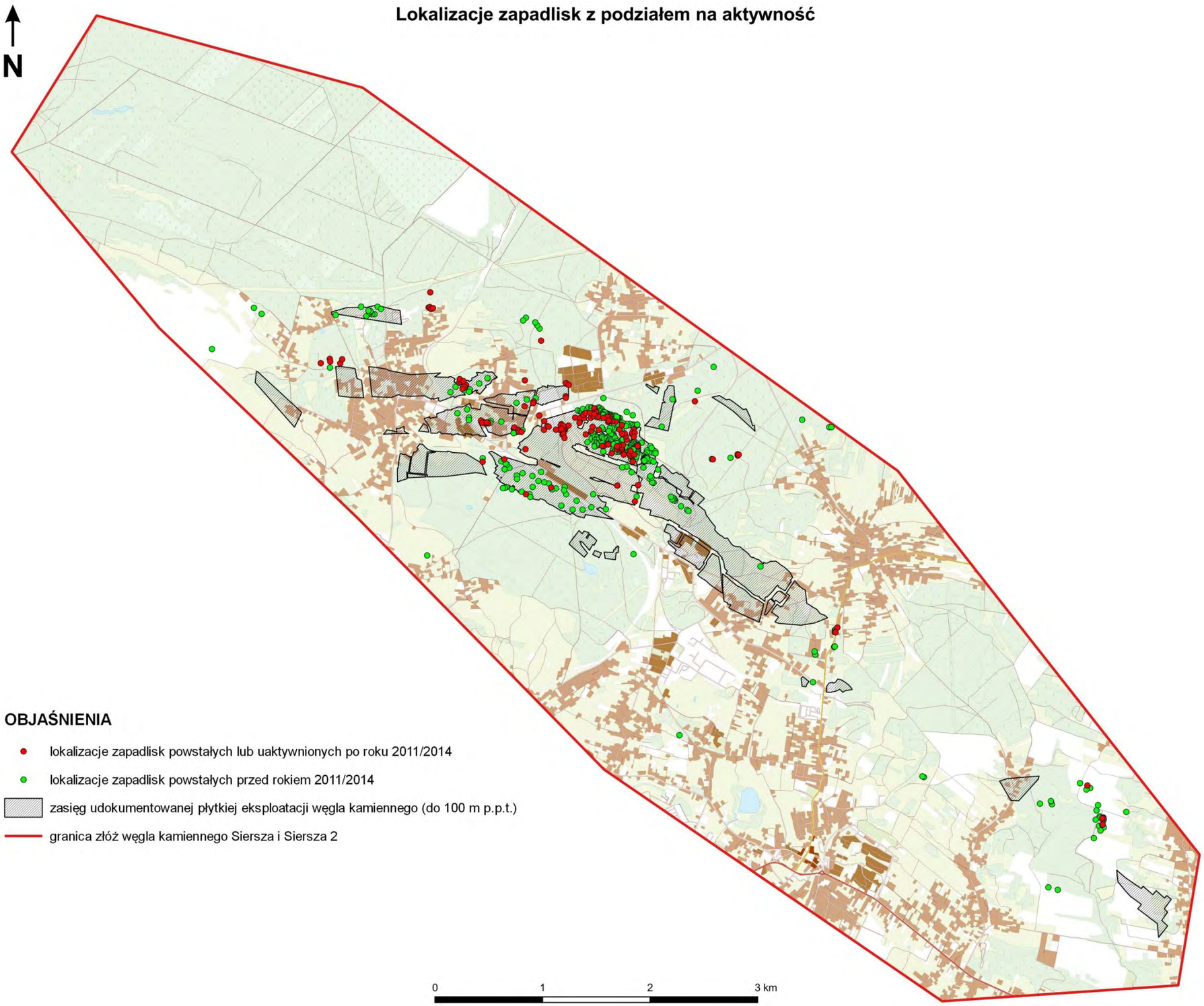
(88%) utworzyły się w miejscach, gdzie w nadkładzie karbonu występują osady czwartorzędowe (piaski, gliny, zwietrzeliny, nasypy) lub skały karbońskie odsłaniają się na powierzchni pod warstwą gleby. Pozostałe zapadliska utworzyły się w miejscach, w których nadkład karbonu stanowią permskie zlepieńce myślachowickie (59 form, 11%) oraz utwory węglanowe triasu i jury (4 formy, 1%).



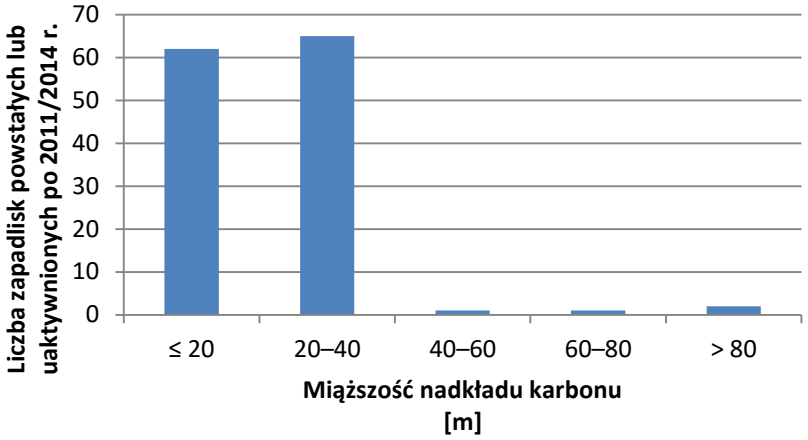
Ryc. 8.7. Rozkład miąższości utworów nadkładu karbonu w miejscach występowania zapadlisk.

Analiza czasowa zapadlisk

Na potrzeby analiz czasowych, z uwagi na brak dokładnych danych dotyczących czasu powstania większości zinwentaryzowanych zapadlisk, podzielono je na dwie grupy – powstałe lub uaktywnione po 2011/2014 r. i powstałe przed 2011/2014 r. Okres ten odnosi się do najstarszych, dostępnych danych ALS, które w całości pokrywają obszar oddziaływania dawnej KWK „Siersza". Przeprowadzone analizy wykazały, że spośród wszystkich zinwentaryzowanych zapadlisk, 131 form (25%) powstało lub uaktywniło się po 2011/2014 r., z czego 113 na obszarach udokumentowanej, płytkiej eksploatacji węgla kamiennego w pokładach 206 (118), 207, 208 i 209-210 (ryc. 8.8). Formy te związane są głównie z miejscami, gdzie w nadkładzie karbonu występują utwory czwartorzędowe (123 zapadliska, 94%), których miąższość nie przekracza 40 m (127 zapadlisk, 97%; ryc. 8.9). Pozostałe zapadliska, które powstały lub uaktywniły się po 2011/2014 r. zlokalizowane są na obszarach występowania głównie skał permskich w nadkładzie karbonu (np. rejon Kowalikowej Góry, na zachód od Karniowic).



Ryc. 8.8. Lokalizacje zapadlisk z podziałem na aktywność (źródło podkładu: GUGiK).



Ryc. 8.9. Rozkład miąższości utworów nadkładu karbonu w miejscach występowania zapadlisk powstałych lub uaktywnionych po 2011/2014 r.

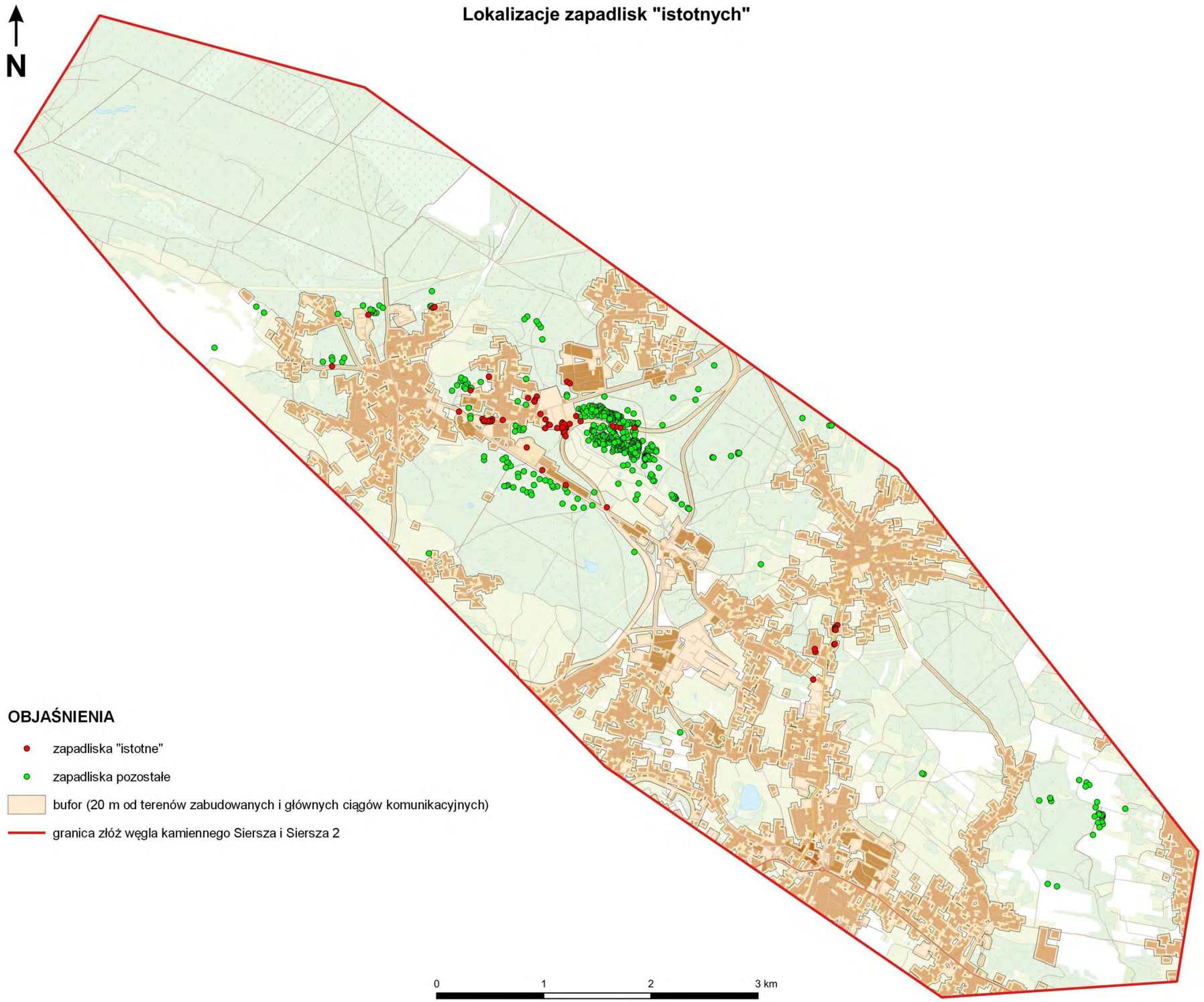
Zapadliska „istotne”

Analogicznie do raportu drugiego (Wojciechowski i in., 2023b), na podstawie bazy danych obiektów topograficznych pozyskanej z zasobów GUGiK oraz wyników przeprowadzonej inwentaryzacji, wyznaczono 61 zapadlisk, które znajdują się w buforze do 20 m od terenów zabudowanych i głównych ciągów komunikacyjnych. Zapadliska te określono jako „istotne” (ryc. 8.10).

Baza danych zapadlisk

Szczegółowe dane dotyczące poszczególnych zapadlisk zamieszczono w cyfrowej bazie danych, która jest udostępniona na Portalu Papowym PIG-PIB (https://geologia.pgi.gov.pl/zapadliska/; warstwa *„GDT – zapadliska”*). Oprócz informacji o lokalizacjach zapadlisk zawiera one następujące atrybuty:

- **NUMER** – numer zapadliska;
- **MAX_SR** – maksymalna średnica otworu zapadliska określona z dokładnością do 1 m;
- **MAX_GL** – maksymalna głębokość leja zapadliskowego, określona z dokładnością do 0,1 m;
- **DATA_POW** – data lub okres utworzenia się zapadliska;
- **DATA_ZRODL** – źródło informacji o dacie lub okresie utworzenia się zapadliska;
- **LIKWID** – informacja o likwidacji/ zasypaniu leja zapadliskowego (TAK lub NIE); informacja ta odnosi się do daty terenowej inwentaryzacji zapadliska przez PIG-PIB (atrybut DATA_INW);
- **UWAGI** – dodatkowe informacje i uwagi dotyczące zapadliska;
- **DATA_INW** – data terenowej inwentaryzacji zapadliska przez PIG-PIB.



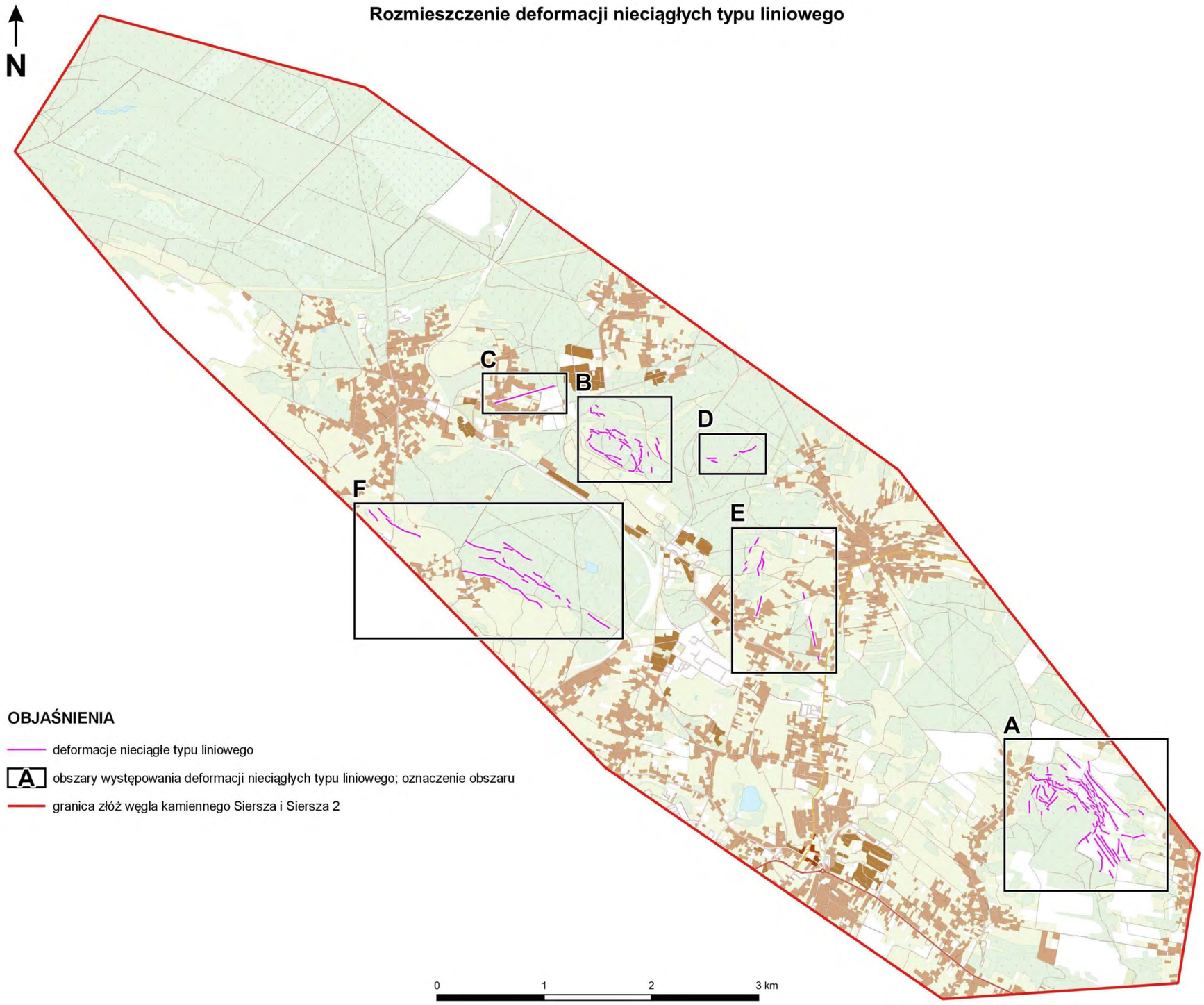
Ryc. 8.10. Lokalizacje zapadlisk „istotnych” (źródło podkładu: GUGiK).

8.2. Deformacje nieciągłe typu liniowego

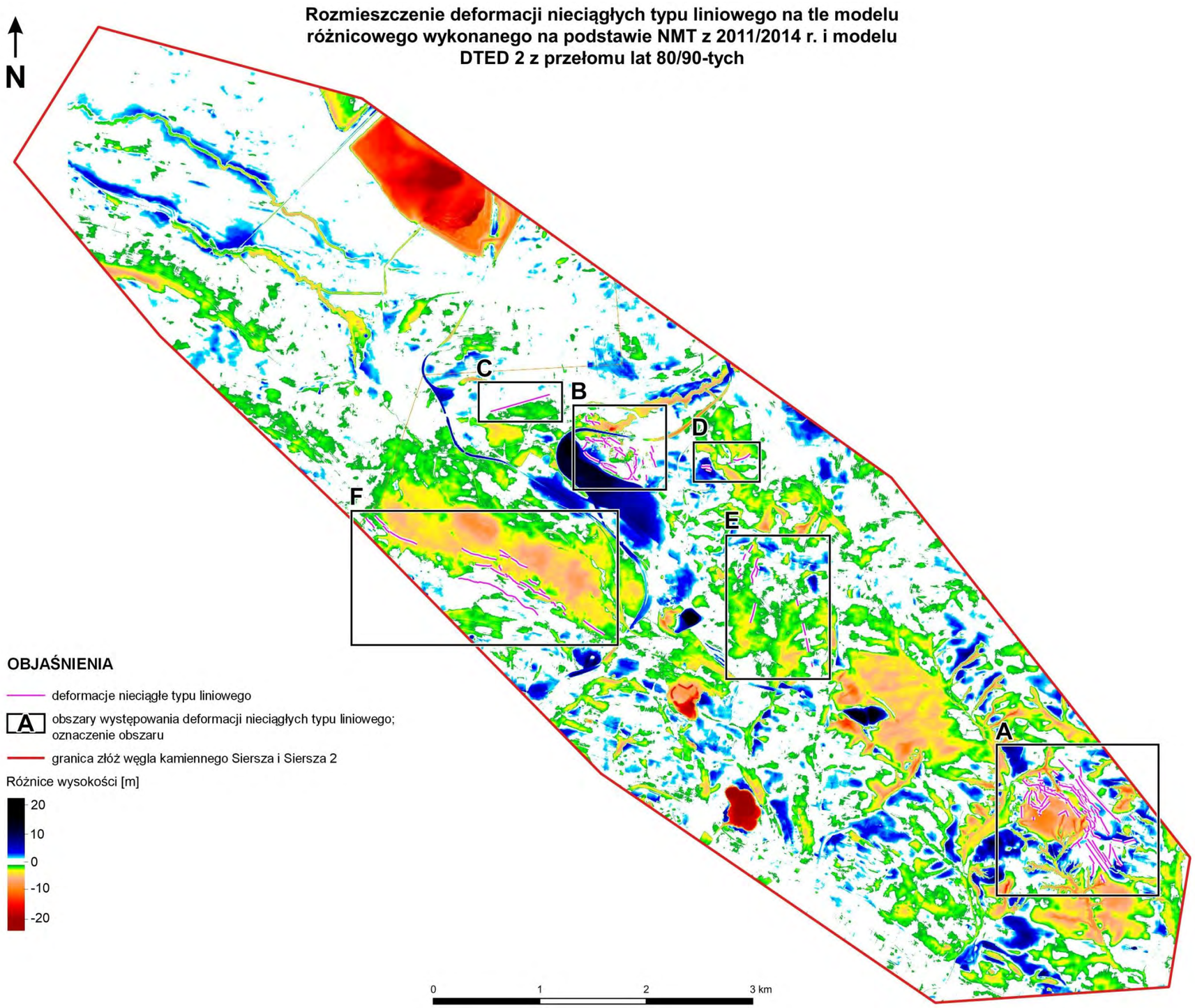
Na obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza” stwierdzono występowanie deformacji nieciągłych typu liniowego, których rozwój związany jest głównie z podziemną eksploatacją złóż węgla kamiennego. Struktury te wyznaczono w oparciu o analizę numerycznego modelu terenu z danych LiDAR z lat 2011, 2014, 2019 i 2022. Otrzymane wyniki porównano z mapami górniczymi oraz danymi zawartymi w *Protokołach Poinspekcyjnych Okręgowego Urzędu Górniczego w Tychach* i na *Mapie Powierzchni Terenu Górniczego KWK „Siersza” – w likwidacji skala 1:10 000*. W kolejnym kroku przeprowadzono prace terenowe w celu potwierdzenia obecności wyznaczonych struktur w terenie.

W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono 254 struktury linijne związane z deformacjami nieciągłymi, które mają charakter progów uskokowych lub szczelin ekstensyjnych (ryc. 8.11). Sumaryczna długość wyznaczonych struktur wynosi ponad 21 km. Na mapach zaznaczono jedynie formy wyraźnie zaznaczające się w rzeźbie terenu.

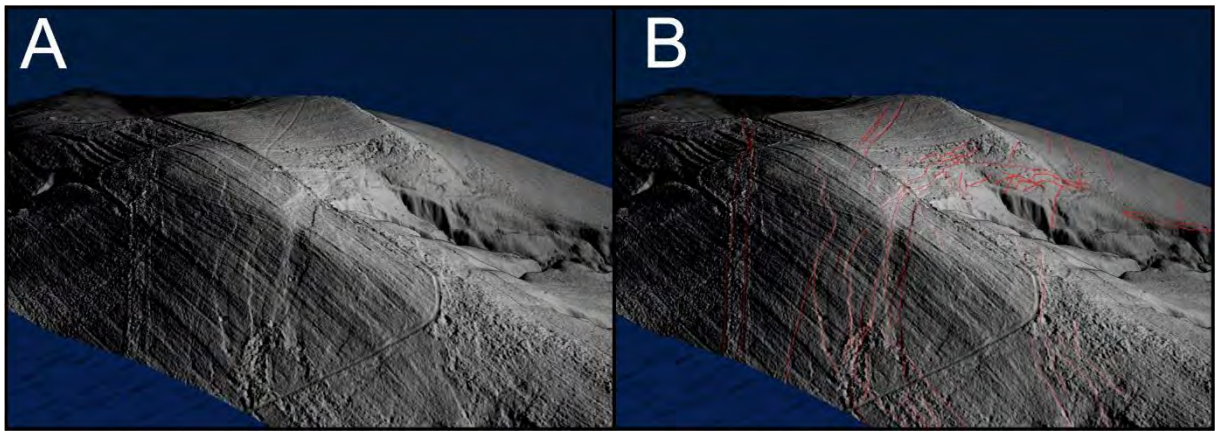
Najwięcej deformacji nieciągłych typu liniowego (146 struktur) zidentyfikowano w południowo-wschodniej części obszaru w okolicy Kowalikowej Góry, na zachód od Karniowic (ryc. 8.11: A, 8.12). Występują one w obrębie pola wschodniego między szybem „Wschodnim”, a uskokiem młoszowskim o kierunku W-E i uskokiem karniowickim o kierunku NW-SE (*porównaj ryc. 2.5*). Na obszarze tym prowadzono eksploatację złóż węgla kamiennego w pokładach 207, 208 oraz 209-210 (głównie metodą na zawał). Struktury te są rozwinięte w postaci szczelin ekstensyjnych, rowów sufozyjnych i progów uskokowych, wzdłuż których często rozwijają się leje zapadliskowe (fot. 8.3). Struktury typu liniowego wykazują najczęściej rozciągłość równoległą do uskoku karniowickiego w kierunku NW-SE, rzadziej WNW-ENE, niekiedy NE-SW do ENE-WSW i sporadycznie N-S. Sumaryczna długość opisywanych struktur w tym rejonie wynosi blisko 12 km i jest bardzo zróżnicowana. Najdłuższe są struktury o rozciągłości NW-SE. Niektóre z nich osiągają blisko 553 m. Wiele struktur występuje kulisowo tworząc ciągi, co sugeruje, że mogą one odzwierciedlać te same elementy w podłożu. Deformacje zlokalizowane w obrębie szczytu Kowalikowej Góry pokrywają się z granicą niecki osiadań (ryc. 8.13: A). Szczególnie dotyczy to struktur układających się kulisowo. Na niektórych odcinkach w obrębie pól uprawnych struktury typu liniowego zostały zatarte w wyniku prac ornych. Z kolei na terenach leśnych są one dobrze eksponowane. W szczególności dotyczy to szczelin ekstensyjnych. Według górniczych danych archiwalnych, na obszarze tym deformacje nieciągłe typu liniowego były rejestrowane już w latach 1991–1999. Niektóre z tych form były również opisywane w jednej z rozpraw doktorskich (Głogowska, 2007).



Ryc. 8.11. Rozmieszczenie deformacji nieciągłych typu liniowego (źródło podkładu: GUGiK).



Ryc. 8.13. Rozmieszczenie deformacji nieciągłych typu liniowego na tle modelu różnicowego wykonanego na podstawie NMT z 2011/2014 r. i modelu DTED 2 z przełomu lat 80/90-tych.



Ryc. 8.12. Deformacje typu liniowego w rejonie Kowalikowej Góry widoczne na NMT: A – model obrazujący przebieg deformacji nieciągłych typu liniowego; B – interpretacja przebiegu deformacji typu liniowego (czerwone linie) na modelu.

Fot. 8.3. Leje zapadliskowe rozwinięte wzdłuż deformacji typu liniowego w rejonie Kowalikowej Góry.

Kolejnym rejonem, w którym występuje duża liczba deformacji nieciągłych typu liniowego (60 struktur) jest obszar w pobliżu nasypu linii kolejowej P205 Trzebinia Siersza – Elektrownia Siersza (ryc. 8.11: B). Rozpoznane tam struktury rozwinęły się na krawędziach niecek osiadań związanych z granicami udokumentowanej, płytkiej eksploatacji złóż węgla kamiennego metodą na zawał w pokładach 208 i 209-210 (ryc. 8.13: B). Ich sumaryczna długość wynosi 3,63 km, a rozmiar najdłuższego elementu to 166 m. W rejonie tym

dominują struktury o charakterze progów uskokowych i najczęściej wykazują one rozciągłość w kierunku NW-SE, rzadziej NE-SW i N-S. Ten ostatni kierunek jest równoległy do uskoku przebiegającego przez okolice szybu „Centralnego”. Opisane deformacje nie mają jednak związku z tym uskokiem. Tak jak w przypadku pozostałych struktur w tym rejonie, nawiązują one do krawędzi wyrobisk, wzdłuż których zachodzi osiadanie terenu. Podobnie do struktur występujących w rejonie Kowalikowej Góry, deformacje na powierzchni terenu tworzą ciągi sugerujące istnienie lub rozwój ciągłej struktury w podłożu.

Na północny zachód od omawianego powyżej obszaru, między ul. 22 Stycznia, a północną częścią ogródków działkowych, w rzeźbie terenu zaznacza się próg uskokowy o długości 567 m i rozciągłości WSW-ENE (ryc. 8.11: C). Struktura ta rozwinęła się wzdłuż uskoku sierszańskiego I (*porównaj ryc. 2.5*) i pokrywa się z krawędzią niecki osiadań związaną z udokumentowana, płytką eksploatacją złóż węgla kamiennego metodą na zawał w pokładach 208 i 209-210 (ryc. 8.13: C).

W rejonie Kamiennej Góry rozpoznano 5 struktur linijnych w postaci rowów sufozyjnych i szczelin ekstensyjnych (ryc. 8.11: D). Rowy sufozyjne znajdują się w zachodniej części i są związane z występowaniem na powierzchni utworów permskich (zlepieńców myślachowickich; fot. 8.4).

Fot. 8.4. Rów sufozyjny zakończony lejem zapadliskowym na zachodnim stoku Kamiennej Góry.

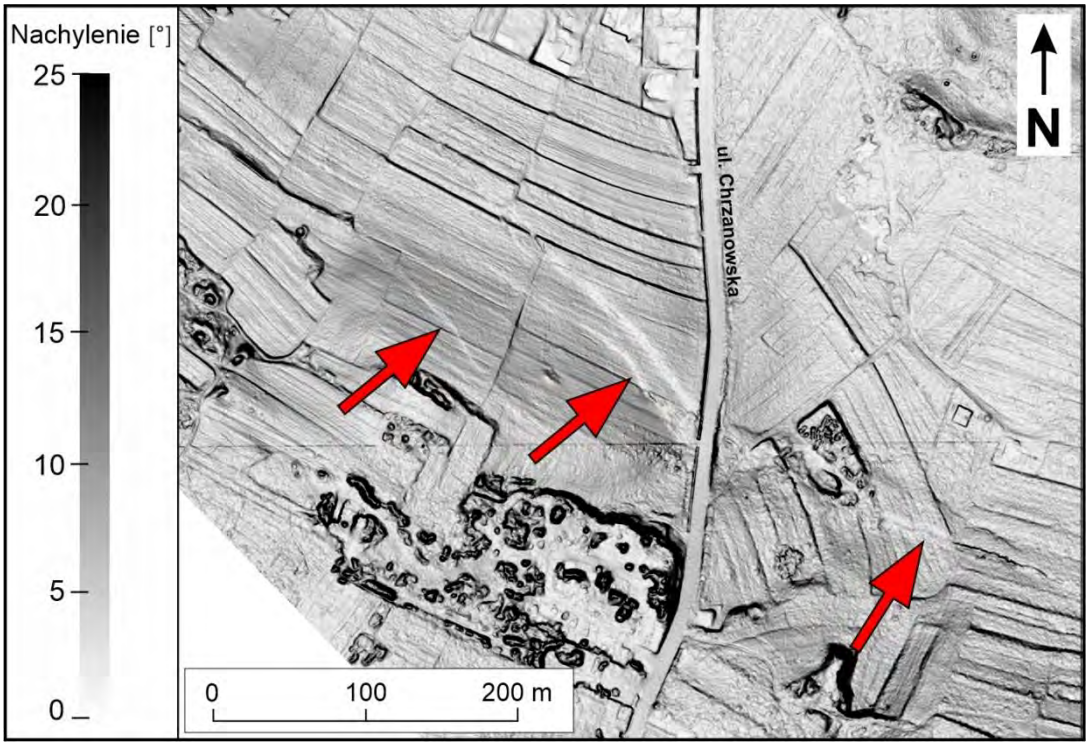
Z kolei szczeliny ekstensyjne występują w części wschodniej i dotyczą wychodni utworów karbońskich (fot. 8.5). Struktury te wykazują rozciągłość WSW-ENE, W-E i WNW-ESE, a ich sumaryczna długość wynosi 341 m. Najdłuższa z nich ma długość 143 m. Wskazane deformacje są związane z eksploatacją złóż węgla kamiennego metodą na zawał w pokładach 214 i 301. Szczeliny ekstensyjne zlokalizowane we wschodniej części pokrywają się z krawędzią niecki osiadań (ryc. 8.13: D). Według górniczych danych archiwalnych deformacje te zostały zarejestrowane w pierwszym kwartale 1976 r.

Fot. 8.5. Szczelina ekstensyjna w piaskowcu karbońskim na wschodnim stoku Kamiennej Góry.

W centralnej części obszaru badań deformacje nieciągłe typu liniowego (14 struktur) stwierdzono również na zachód i południowy zachód od Myślachowic (ryc. 8.11: E). Ich sumaryczna długość wynosi nieco ponad 1 km, a najdłuższa wyznaczona struktura ma długość 237 m. Elementy linijne w tym rejonie rozciągają się przeważnie w kierunku NNE-SSW, rzadziej NNW-SSE. Tworzą one ciągi, które w wielu miejscach pokrywają się z krawędziami niecek osiadań związanych z eksploatacją na zawał w pokładach 207, 209-210, 214 i 301 (ryc. 8.13: E). Szczególnie widoczne jest to w przypadku struktury o kierunku NNW-SSE zlokalizowanej między ul. Cichą, a ul. Prostą, której fragmenty, według archiwalnych danych górniczych, zostały zarejestrowane w pierwszym kwartale 1988 r. Struktury zlokalizowane w północno-zachodniej części tego obszaru mogą być starsze.

Liczne deformacje nieciągłe typu liniowego o charakterze progów uskokowych (28 struktur) rozpoznano w południowo-zachodniej części analizowanego obszaru, między

Górami Luszowskimi, a Podbuczyną (ryc. 8.11: F). Rozciągają się one równolegle do pobliskiego uskoku południowego (*porównaj ryc. 2.5*). Sumaryczna długość wyznaczonych progów w tym rejonie wynosi 3,83 km, a niektóre z nich charakteryzują się znaczną rozciągłością (do 854 m). Opisywane progi tworzą ciągi, przy czym mniejsze formy występują kulisowo. Dlatego należy sądzić, że obrazują one obecność dłuższych struktur w podłożu. Fakt ten potwierdza związek rozpoznanych w tym rejonie elementów linijnych ze wspomnianym wyżej uskokiem południowym. Struktury te pokrywają się z krawędziami niecek osiadań związanych z eksploatacją węgla metodą na zawał w głębiej zalegających (ponad 100 m p.p.t.) częściach pokładów 207, 209, 214 i 301 (ryc. 8.13: F, 8.14). W przypadku najdłuższej struktury, która jest zlokalizowana na południowo-zachodnim stoku w rejonie Podbuczyny (na wschód od ul. Wesołej) niewykluczone, że może ona mieć również związek z eksploatacją rudną w dawnych ZG „Trzebionka". Według górniczych danych archiwalnych niektóre ze struktur typu liniowego zlokalizowanych w południowo-wschodniej części obszaru była rejestrowana w 1965 r.



Ryc. 8.14. Deformacje nieciągłe typu liniowego o charakterze progów uskokowych na granicy niecki osiadań widoczne na NMT w rejonie Gór Luszowskich i Starej Góry.

Deformacje nieciągłe typu liniowego w obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza" związane są w przewadze z udokumentowaną eksploatacją złóż węgla kamiennego na różnych głębokościach systemem z zawałem stropu. Są to progi uskokowe oraz szczeliny ekstensyjne, które miejscami przekształciły się w rowy sufozyjne zwłaszcza tam, gdzie w nadkładzie karbonu występują podatne na procesy erozyjne zlepieńce myślachowickie.

Struktury linijne najczęściej wykazują kierunki zgodne z przebiegiem niektórych uskoków

naturalnych ograniczających wyrobiska eksploatacyjne lub są równoległe do granic tych wyrobisk. W pierwszym przypadku są odzwierciedleniem reaktywacji naturalnych powierzchni uskokowych kopiując ich przebieg na powierzchnię terenu. W drugim przypadku wyraźnie obrazują granice niecek osiadań. Przeprowadzona analiza wykazała, że wiele struktur było rozpoznanych w latach poprzednich, lecz skala zjawiska była niedoszacowana. Obszarami największego zagęszczenia deformacji nieciągłych typu liniowego są tereny położone w okolicach nasypu linii kolejowej P205 i Kowalikowej Góry oraz między Górami Luszowskimi, a Podbuczyną.

Przebiegi wyznaczonych deformacji nieciągłych typu liniowego są udostępnione na Portalu Papowym PIG-PIB (https://geologia.pgi.gov.pl/zapadliska/; warstwa „GDT – deformacje nieciągłe typu liniowego”).

9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Niniejszy rozdział obejmuje podsumowanie i najważniejsze wnioski z wszystkich trzech opracowanych dotychczas raportów.

1. Opracowanie archiwalnych danych SAR pozwoliło prześledzić rozwój deformacji ciągłych na zadanym obszarze w latach 1993 – 2022. Stwierdzono, że teren objęty obszarem górniczym KWK Siersza podlegał stałym, niewielkim obniżeniom o wartościach do kilku mm/rok w jego centrum. W latach 2001/2002 nastąpiła zmiana wektora ruchu z obniżającego na podnoszenie. Obecnie teren KWK Siersza podlega stałym, niewielkim ruchom podnoszącym o wartościach do ok. 20 mm/rok w jego centrum. Zmiana charakteru ruchów obniżających na podnoszenie nastąpiła mniej więcej w tym samym okresie kiedy zakończono eksploatacje węgla i zamknięto kopalnię. Powolne wypiętrzanie powierzchni terenu związane jest z odbudowywaniem ciśnień hydraulicznych w górotworze.

2. Dotychczas na obszarze oddziaływania KWK Siersza zidentyfikowano 527 zapadlisk.

3. Spośród zidentyfikowanych 527 zapadlisk, 61 określono jako istotne. Są to zapadliska (również te zlikwidowane), które wg bazy danych obiektów topograficznych pozyskanej z GUGiK, znajdują się w buforze 20 m od głównych dróg, obszarów zabudowanych, cmentarza, ogródków działkowych oraz nasypu kolejowego.

4. Główną przyczyną tworzenia się zapadlisk w obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza” jest reaktywacja płytkich zrobów, powstałych w wyniku płytkiej eksploatacji węgla do głębokości 100 m p.p.t. Czynnikami sprzyjającymi tworzeniu się nowych lejów zapadliskowych lub reaktywacji form już istniejących jest podnoszące się zwierciadło wód podziemnych oraz wzmożona infiltracja wód w wyniku intensywnych lub długotrwałych opadów deszczu.

5. Z przeprowadzonych analiz różnicowych wynika, że w latach 2011 – 2019 i 2014 – 2019 doszło do powstania lub uaktywnienia łącznie 20 zapadlisk, w wyniku czego zapadnięciu uległ grunt o sumarycznej objętości ponad 257 m^3. W latach 2019 – 2022 utworzyło się lub uaktywniło 55 zapadlisk, a całkowita objętość zapadniętego materiału w tym okresie wynosi niecałe 2836 m^3. Z kolei w okresie pomiędzy 2022 r., a 2023 r. powstało lub reaktywowały się 23 zapadliska, w wyniku czego zapadnięciu uległ grunt o sumarycznej objętości blisko 1800 m^3. Należy zaznaczyć, że wiele zapadlisk powstałych w ostatnim analizowanym okresie została w szybkim czasie zasypana, przez co zmiany nie zostały zarejestrowane na różnicowych modelach terenu, a nie wszystkie z nich udało się zarejestrować przy pomocy skanera naziemnego. Dlatego liczba, jak i objętość zapadniętego gruntu jest zaniżona. Badania pokazują, że dynamika rozwoju zapadlisk znacznie wzrosła po 2019 r. W okresie 2019 – 2023 była kilkukrotnie większa niż w latach wcześniejszych, co ma związek z podnoszącym się zwierciadłem wód podziemnych (likwidacja leja depresji).

6. Zapadliska zarejestrowane w obszarze oddziaływania byłej KWK „Siersza" mają różną genezę. 86% z nich związanych jest z udokumentowaną płytką eksploatacją złóż węgla kamiennego. Formy te zlokalizowane są głównie na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych. Część z nich ma związek z pozostałymi elementami infrastruktury kopalnianej (chodnikami, przekopami, upadowymi, szybami itp.). 10% może mieć związek z eksploatacją głębszą, a 4% z procesami naturalnej sufozji, krasu bądź działalnością człowieka (np. zapadliska utworzone w miejscach zlikwidowanych, starych otworów wiertniczych lub wykopów). Do tej grupy zaliczono również zapadliska, które mogą mieć związek z nieudokumentowaną, płytką eksploatacją węgla kamiennego oraz z płytkim kopalnictwem rud cynku i ołowiu (w południowej części obszaru).

7. Zapadliska rozwinięte w starych szybach mogą być wynikiem zapadania się pomostów z bali drewnianych, które wykorzystywano do likwidacji szybów. Pomostami takie instalowano około 3 m poniżej wylotu szybu, a następnie zasypywano. Trwałość takiej drewnianej konstrukcji szacowana jest na około 70 do 80 lat (Kleta, Plewa, 2001).

8. Większość zapadlisk kumuluje się w miejscach gdzie w budowie nadkładu karbonu dominują osady czwartorzędowe (głównie piaski) lub utwory antropogeniczne, a ich miąższość nie przekracza 40 m. Dotyczy to również zapadlisk nowopowstałych lub reaktywowanych po 2011/2014 r.

9. Najwięcej zapadlisk powstało w rejonie płytkiej eksploatacji pokładu 206, 208, 209-210, zwłaszcza tam, gdzie głębokość eksploatacji nie przekraczała 50 m p.p.t. (rejon oczyszczalni ścieków, sztolni Wanda, ul. Górniczej, ul. Odkrywkowej, cmentarza i ogródków działkowych i Trentowca) oraz w miejscach, gdzie nałożyła się eksploatacja dwóch pokładów (np. w pasie obejmującym S część ogródków działkowych i cmentarza oraz

obszary leśne w kierunku tzw. „ścieżki zdrowia”). Takie rejony mogą być w dalszym ciągu zagrożone powstawaniem nowych form.

10. Najbardziej zagrożone wystąpieniem zapadlisk są obszary płytkiej eksploatacji złóż węgla kamiennego prowadzonej metodą na zawał stropu (rejony: ROD „Gaj”, cmentarza parafialnego w Sierszy i sąsiadującego z nim lasu, na południowy zachód od os. Gaj, Trentowca, na wschód od ul. Kopalnianej, na południe i wschód od ul. Młyńskiej, ul. Górniczej, dawnej sztolni „Wanda”, ul. Dembowskiego i ul. Odkrywkowej, oczyszczalni ścieków). W związku z systemem eksploatacji oraz niewielką miąższością nadkładu, nieprzekraczającą 20 metrów, ryzyko wystąpienia opisywanych zjawisk może dotyczyć również skrajnie południowo wschodniej części złoża – na zachód od Karniowic (ryc. 2.2).

11. W wyeksploatowanych pokładach podsadzonych, pomimo płytkiej eksploatacji i/lub nałożenia się eksploatacji w dwóch poziomach, zapadliska dotychczas nie powstały (np. rejon ul. Zwycięstwa lub rejon ul. Cyprysowej) lub ich występowanie jest rzadkie i związane z przebiegiem chodników lub infrastruktury górniczej.

12. Do obszarów objętych największym ryzykiem ewentualnych zniszczeń należy zaliczyć m.in. rejon cmentarza, ogródków działkowych, nasypu kolejowego, rejon ul. Górniczej, Jana Pawła II (zwłaszcza rejon obecnie nieistniejącego osiedla górniczego). Należy zachować szczególną ostrożność w rejonie wszystkich zinwentaryzowanych zapadlisk oraz miejsc, gdzie leje zapadliskowe w przeszłości zostały zlikwidowane poprzez zasypanie (*porównaj ryc. 6.4 oraz zał. 1-5*).

13. Występowanie 10% zapadlisk w obszarach udokumentowanej eksploatacji węgla kamiennego na większych głębokościach wskazuje, że przyjęcie granicy eksploatacji do 100 m p.p.t. jako mogącej mieć wpływ na powstawanie zapadlisk, w przypadku tak skomplikowanej sieci wyrobisk górniczych dawnej KWK „Siersza” może okazać się za małe.

14. Na podstawie kompleksowej inwentaryzacji form zapadliskowych przyjęto, że zagrożenie mogą stanowić również stare, zasypane w przeszłości leje zapadliskowe. Blisko 19% zapadlisk, które wystąpiły po 2011 r. były związane z reaktywacją starych lejów. Najwięcej reaktywowanych form znajduje się w rejonie cmentarza i ogródków działkowych. Niemniej wyznaczono 52 różne obszary możliwej reaktywacji starych, zasypanych zapadlisk. W miejscach gdzie występuje zabudowa lub infrastruktura należy rozważyć przeprowadzenie dodatkowych badań (np. geofizycznych) w celu zbadania ewentualnych rozluźnień gruntu.

15. W obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza” obok zapadlisk rozpoznano również 254 deformacje nieciągłe typu liniowego związane w przewadze z udokumentowaną eksploatacją złóż węgla kamiennego na różnych głębokościach systemem z zawałem stropu. Są to progi uskokowe oraz szczeliny ekstensyjne, które miejscami przekształciły się w rowy sufozyjne. Przeprowadzona analiza wykazała, że wiele

struktur było rozpoznanych w latach poprzednich, lecz skala zjawiska była niedoszacowana. Obszarami największego zagęszczenia deformacji nieciągłych typu liniowego są tereny położone w okolicach nasypu linii kolejowej P205 i Kowalikowej Góry oraz między Górami Luszowskimi, a Podbuczyną.

16. Niewykluczone, że w rejonach gdzie pokłady węgla zalegają na głębokości do 50 m p.p.t. (ryc. 2.6) i nie prowadzono w nich udokumentowanej eksploatacji, dochodziło lokalnie do wydobycia nieudokumentowanego. Należą do nich rejony na zachód i wschód od ul. Chrzanowskiej (w pobliżu zrobów pokładu 207), rejon ul. Jana III Sobieskiego, południowa część os. Misiury (na południe od ul. Wyzwolenia), obszar obejmujący ul. Jana Pawła II, Dembowskiego i Odkrywkową (ryc. 2.6). Również we wschodniej części miasta Jaworzno (rejon na wschód od Ciężkowic) pokłady zalegają na głębokości do 50 m, a miąższość nadkładu w tym obszarze jest niewielka i wynosi zazwyczaj od kilku do kilkunastu metrów (ryc. 2.2).

17. Ze względu na ograniczą wiarygodność najstarszych danych wiertniczych wskazane byłoby wykonanie aktualnego i dokładniejszego zdjęcia geologicznego obszarów potencjalnie zagrożonych np. w skali 1:10 000.

18. Wyniki zawarte w opracowanych dotychczas raportach powinny być wykorzystywane do redukcji ryzyka związanego z deformacjami górniczymi na obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza" przez podmioty odpowiedzialne za likwidację szkód, planowanie przestrzenne oraz zarządzanie kryzysowe. Na bazie udokumentowanych doświadczeń wskazane jest, aby zmodyfikować Ustawę prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2022 r. poz. 2556, 2687, z 2023 r. poz. 877) celem wprowadzenia definicji zapadliska, jak również Ustawę o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. z 2022 r. poz. 503, 1846, 2185, 2747, z 2023 r. poz. 553) aby w planach zagospodarowania przestrzennego uwzględniać zarówno miejsca występowania obecnych lub historycznych zapadlisk, jak również terenów zagrożonych powstaniem zapadlisk. Takie tereny zagrożone, na których mogą wystąpić zapadliska stanowią miejsca udokumentowanej płytkiej eksploatacji złóż, obszary płytkiego zalegania pokładów węgla, gdzie mogło w przeszłości dochodzić do lokalnej eksploatacji, która nie została udokumentowana. Pozwoli to, w przypadku prowadzenia inwestycji, na wykonanie szczegółowych badań geologiczno-inżynierskich. Badania te określą stopień zagrożenia i pozwolą na dobranie odpowiedniej technologii wykonania zabezpieczeń przed możliwością powstania zapadlisk na terenie inwestycyjnym.

19. W związku z punktem 18 opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej powinno być obligatoryjne dla dokumentowania niekorzystnych zjawisk geologicznych, co przyczyni się do redukcji ryzyka związanego z występowaniem zapadlisk i terenów zagrożonych ich powstaniem. Dlatego też postuluje się znowelizować Prawo budowlane (Dz. U. z 2023 r., poz. 682, 553, 967) w zakresie potrzeby wykonywania dokumentacji

geologiczno-inżynierskiej na etapie uzyskiwania pozwolenia na budowę. Pozwoli to na szczegółowe rozpoznanie podłoża przed rozpoczęciem robót budowlanych i zredukuje ryzyka geologiczne niewłaściwego rozpoznania podłoża.

20. Ze względu na wzmożoną aktywność zapadlisk w ostatnich latach, jak i pojawianie się lejów poza obszarami płytkiej eksploatacji wskazany jest cykliczny monitoring powierzchni terenu np. z wykorzystaniem skaningu laserowego z pułapu samolotu lub „drona". Pozwoli to na ocenę dynamiki zjawisk w przyszłości i ocenę skuteczności podejmowanych działań ograniczających zagrożenie deformacjami w Trzebini.

21. Najważniejsze wyniki prac zostały udostępnione na stronie https://www.pgi.gov.pl/zapadliska.html oraz portalu mapowym PIG-PIB https://geologia.pgi.gov.pl/zapadliska/.

Literatura:

CHUDEK M., JANUSZ W., ZYCH J., 1988 – Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z. 141.

CIBIS J., SOLSKA A., 1973 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego KWK „Siersza" kategoria A, B, C1 i C2. Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

FROLIK A., 2006 – Aktualizacja prognozy zatapiania kopalni "Siersza". Wiadomości Górnicze, 57 (11): 616-624.

GŁOGOWSKA M., 2007 – Walory edukacyjne odsłonięć geologicznych i obiektów górniczych w okolicy Trzebini. Rozprawa doktorska. Biblioteka Główna AGH, Kraków: 141 s.

HABRYN R., KRIEGER W., KUREK S., MARKOWIAK M., WOŹNIAK P., 2002 – Mapa geologiczno-strukturalna stropu paleozoiku bez permu B. Występowanie utworów nadkładu na powierzchni paleozoiku w skali 1:200 000. W: Atlas geologiczny paleozoiku bez permu w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

KLETA H., PLEWA F., 2001 – Zagrożenie powierzchni terenu po zakończeniu wieloletniej eksploatacji górniczej na przykładzie kopalni „Siersza". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo z. 250, nr kol. 1517, Politechnika Śląska, Gliwice.

KOWALIK W., 2011 – Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego „Siersza" w kategorii A, B, C1, C2. Przedsiębiorstwo Usługowo-Handlowe „KOGEO" S.C. Rybnik.

KOZŁOWSKA B., 2003 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża węgla

kamiennego „Siersza Zachód” w kat. D (dawniej pole rezerwowe KWK „Siersza”). Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

KOZŁOWSKA B., ZNAŃSKI Z., 1966 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego i łupku węglowego pola południowego KWK „Siersza” w Sierszy. Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

KUREK S., PASZKOWSKI M., PREIDL M., 1994 - Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Jaworzno, objaśnienia. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

KUREK S., PASZKOWSKI M., PREIDL M., 1999 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Jaworzno. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

KUREK T., 1985 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego KWK „Siersza” kategoria A, B, C1 i C2 bez pola rezerwowego. Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

KUREK T., 1988 – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego KWK „Siersza”. Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

Mapa strukturalna stropu karbonu w skali 1:50 000, arkusze: Jaworzno i Chrzanów. Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego, Oddział Górnośląski, Sosnowiec.

MIŚKOWICZ J., 1999 – Dodatek nr 2 (rozliczeniowy) do dokumentacji geologicznej w kat. A+B+C1+C2 złoża węgla kamiennego kopalni "Siersza". Zakład Pomiarów i Dokumentacji Mierniczo-Geologicznej „GEO”, Sosnowiec.

OCHOŃSKI St., ZNAŃSKI Z., KOWALCZUK R., 1962 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego i łupku węglowego kop. „Czech”. Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

PIETRZYK Z., 1964 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego i łupku węglowego rejonu Sierszy. Kopalnia Węgla Kamiennego Siersza, Siersza.

POLAK P., 1992 – Dodatek do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego Kopalni "Siersza", kategorie rozpoznania A, B, C1, C2. Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjno-Handlowe „PROGEO”, Katowice.

RZEPECKI J. , SUCHANECKI P., 1995a – Mapa sozologiczna Polski w skali 1:50 000 arkusz Jaworzno. Przedsiębiorstwo „GEOPOL”, Poznań.

RZEPECKI J. , SUCHANECKI P., 1995b – Mapa sozologiczna Polski w skali 1:50 000 arkusz Chrzanów. Przedsiębiorstwo „GEOPOL”, Poznań.

RZEPECKI J. , SUCHANECKI P., 1995c – Mapa sozologiczna Polski w skali 1:50 000 arkusz: Krzeszowice. Przedsiębiorstwo „GEOPOL”, Poznań.

RZEPECKI J. , SUCHANECKI P., 1995d – Mapa sozologiczna Polski w skali 1:50 000 arkusz: Olkusz. Przedsiębiorstwo „GEOPOL”, Poznań.

SKOWROŃSKI S., 2014 – Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego „Siersza” w kategoriach A, B, C1, C2. „Geo-Pro-Serwis” Usługi Inżynieryjno-Techniczne, Jaworzno.

SOLSKI J., 1960 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego i łupku węglowego „Siersza-Piaskownia”. Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne, Katowice.

TOMECKA-SUCHOŃ S., 2014 – Ocena zagrożenia zapadliskami metodą GPR 4D dla potrzeb uzdatniania podłoża budowlanego na terenach pogórniczych. Przegląd Górniczy 7: 56-60.

WOJCIECHOWSKI, T., JURECZKA, J., PRZYŁUCKA, M., PERSKI, Z., WÓDKA, M., KAMIENIARZ, S., SIKORA, R., ZAJĄC M., KARWACKI K., NESCIERUK, P., KOS, J., KRIEGER, W., NADŁONEK, W., ROLKA, M., MAŚLANKA R., 2023b – Raport drugi z prac analitycznych o deformacjach terenu w Trzebini. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa, 17 kwietnia 2023 r.

WOJCIECHOWSKI, T., JURECZKA, J., WÓDKA, M., KAMIENIARZ, S., PRZYŁUCKA, M., PERSKI, Z., SIKORA, R., NESCIERUK, P., KOS, J., KRIEGER, W., NADŁONEK, W., ROLKA, M., 2023a – Raport wstępny z prac analitycznych o deformacjach terenu w Trzebini (obszar cmentarza komunalnego przy ulicy Jana Pawła II w Trzebini i tereny przyległe). Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa, 27 lutego 2023 r.

ŻERO E., 1956 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Chrzanów. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.