



**Państwowy Instytut Geologiczny**  
**Państwowy Instytut Badawczy**  
państwowa służba geologiczna

## **Raport**

### **z prac analitycznych o deformacjach terenu dla rejonu oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim**

*Gminy: Olkusz, Bolesław, Bukowno, Klucze*  
*Powiat: olkuski*  
*Województwo: małopolskie*



**Ministerstwo  
Klimatu i Środowiska**



**NARODOWY FUNDUSZ  
OCHRONY ŚRODOWISKA  
i GOSPODARKI WODNEJ**

Warszawa, 2025 r.

ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa  
tel. (+48) 22 45 92 000, [biuro@pgi.gov.pl](mailto: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](http://www.pgi.gov.pl)

Raport opracowali:

dr inż. Jarosław Kos

dr Tomasz Wojciechowski

prof. dr hab. Antoni Wójcik

mgr inż. Mariusz Zając

dr Sylwester Kamieniarz

dr Maria Przyłucka

dr Zbigniew Perski

dr Krzysztof Karwacki

dr Marcin Wódka

dr inż. Bartłomiej Warmuz

dr Janusz Jureczka

dr Weronika Nadłonek

dr Edyta Rycio

dr Piotr Nescieruk

dr Rafał Sikora

mgr inż. Jakub Curyło

mgr inż. Dariusz Budziński

mgr inż. Anna Walicka

mgr inż. Leszek Balicki

mgr inż. Michał Rolka

mgr Włodzimierz Krieger

mgr Izabela Ługiewicz-Mołas

mgr inż. Jerzy Hadro

mgr Grzegorz Suszka

mgr Katarzyna Strzemińska

mgr Konrad Górka

mgr Andrzej Rudnicki

mgr inż. Artur Ściurka

## **Spis treści**

1 WSTĘP .....	4
2 ANALIZA GEOLOGICZNO-GÓRNICZA ZŁÓŻ.....	7
2.1 Podstawowe informacje o złożach i kopalni.....	7
2.2 Rys historyczny eksploatacji rud cynku i ołowiu.....	8
2.3 Ocena wiarygodności informacji geologiczno-górniczego.....	10
2.4 Budowa geologiczna .....	11
2.4.1 Litologia i stratygrafia .....	11
2.4.2 Tektonika.....	19
2.4.3 Warunki hydrogeologiczne .....	21
2.5 Eksploatacja rud cynku i ołowiu.....	29
3 ANALIZY InSAR.....	34
4 NAZIEMNY SKANING LASEROWY .....	55
5 FOTOGRAMETRIA Z PUŁAPU „DRONA” .....	61
6 SKANING LASEROWY Z PUŁAPU UAV.....	67
7 ANALIZA HISTORYCZNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH .....	69
8 ROZWÓJ ZAPADLISK NA PODSTAWIE ANALIZ RÓŻNICOWYCH MODELI TERENU... 80	
9 MAPY ZAPADLISK W SKALI 1:10 000 WRAZ Z ANALIZĄ ILOŚCIOWĄ I JAKOŚCIOWĄ .....	93
10MAPA OBSZARÓW ZAGROŻONYCH POWSTANIEM ZAPADLISK NA TERENIE MIEJSCOWOŚCI BOLESŁAW .....	104
11PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE.....	109
12LITERATURA.....	114

## 1 WSTĘP

---

---

Niniejszy Raport obejmuje wyniki prac realizowanych w ramach zadań państwowej służby geologicznej, finansowanych przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej(NFOŚiGW). Prace te realizowano w ramach następujących umów:

- nr 82/2024/Wn07/FG-go-dn/D z dnia 25.04.2024 r., pn.: *Zapadliska – etap I – studium wykonalności*;

- nr 610/2022/Wn-07/FG-GO-DN/D z dnia 12.01.2022 r. pn.: *Wsparcie działań Ministra właściwego ds. środowiska oraz innych organów administracji państwowej w postaci: ekspertyz, opinii, analiz, raportów, recenzji, prezentacji i innych w zakresie geologii*;

- nr 343/2021/FG-go-dn/D z dnia 6.05.2021r. pn.: *Interferometryczny Monitoring Powierzchni Terenu Polski (InMoTeP) - etap II*.

Konieczność zinwentaryzowania zapadlisk wynika z potrzeby opracowania strategii redukcji ryzyka związanego z występowaniem zapadlisk w Polsce. Podstawą tej strategii musi być dokładne rozpoznanie zapadlisk i określenie zasad monitorowania ich rozwoju, co wpisuje się w zadania państwowej służby geologicznej, która rozpoznaje i monitoruje zagrożenia geologiczne, co zostało określone w Ustawie Prawo Geologiczne i Górnicze (pgg art. 162, ust. 1, pkt. 10).

Potrzebę pilnego stworzenia odpowiedniej strategii przeciwdziałaniu skutkom zapadlisk w Polsce unaoczniała sytuacja w Trzebini oraz w obszarze olkuskim. PIG-PIB podjął się zadań w zakresie swoich kompetencji i przeprowadził prace, których celem było rozpoznanie zapadlisk w rejonie Trzebini (Wojciechowski i in., 2023 a, b, c). W trakcie prac okazało się, że stan rozpoznania zapadlisk jest niewystarczający i oparty na błędnych założeniach, w których przyjęto, że stare, historyczne zapadliska są już nieistotne. Niestety przy zmianie warunków wodnych w górotworze dochodzi do uaktywnienia się głównie tych starych form. Wyniki prac PIG-PIB wykazały, że w Trzebini zamiast kilkudziesięciu branych pod uwagę zapadlisk mamy do czynienia aż z 533 zapadliskami. Oczywistym już jest, że istnieje potrzeba kompleksowego rozpoznania zapadlisk, jakie zaproponowało PIG-PIB, co zostało pozytywnie przyjęte na wielu spotkaniach o charakterze „zarządzania kryzysowego” zwoływanych zarówno przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska, jak i Ministerstwo Aktywów Państwowych oraz Wojewodę Małopolskiego. Jednym z wniosków tych spotkań była konieczność wypracowania jednolitego systemu rozpoznawania i monitorowania zapadlisk w Polsce, utworzenie Krajowej Bazy Danych o Zapadliskach (KBDDoZ) oraz stworzenie systemu prawnego pozwalającego wykorzystać dane o zapadliskach w pracy jednostek administracji samorządowej. Na spotkaniach tych wskazano PIG-PIB, który realizuje zadania państwowej służby geologicznej jako podmiot, który jako jedyny może stworzyć odpowiedni system ze względu na swoje doświadczenie w badaniu deformacji nieciągłych, ale także jako

podmiot posiadający wypracowane przy badaniu osuwisk (projekt SOPO) dobre praktyki i relacje z administracją samorządową.

Dotychczasowe działania były wyłącznie doraźne i pozbawione jednolitego metodycznego podejścia do problemu. Powszechnie wydaje się, że problem ten dotyka obszaru Górnego Śląska, gdzie prowadzona jest podziemna eksploatacja węgla kamiennego, jednak zdarzenia zapadliskowe wystąpiły i mogą mieć miejsce w rejonach podziemnej eksploatacji innych kopalin (np. węgla brunatnych w okolicy Zielonej Góry, Wałbrzycha, soli w Wapnie, siarki w rejonie Tarnobrzega i Staszowa). Ponadto nie jest oszacowana skala zapadlisk występujących w obszarach, których podłoże stanowią skały objęte procesami krasowymi (m. in. Jura Krakowsko-Częstochowska, Lubelszczyzna) lub sufozją (obszary objęte pokrywą lessową o znacznej miąższości). Sytuacja w rejonie Trzebini ukazała, że nieodpowiednio zbadane, źle zewidencjonowane oraz źle zabezpieczone zapadliska odnawiają się stwarzając ponownie zagrożenie. Tylko odpowiednie, skoordynowane działania mogą przynieść wymierne korzyści w postaci ewidencji zapadlisk, wyznaczenia terenów zagrożonych powstaniem zapadlisk i tym samym wspomaganie Państwa i samorządów w odpowiednim planowaniu przestrzennym.

W związku z powyższym dla obszaru oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim przeprowadzono liczne prace mające na celu inwentaryzację zapadlisk. Zasięg obszarowy został wyznaczony poprzez zniesione obszary górnicze byłej eksploatacji (ryc. 2.1).

W ramach podjętych działań wykonano:

- a) analizę geologiczno-górnictwa złóż w rejonie olkuskim z przedstawieniem rysu eksploatacji historycznej do 1945 r. oraz charakterystykę likwidacji kopalń;
- b) opis budowy geologicznej oraz warunków hydrogeologicznych wraz z określeniem ich wpływu na zakończoną eksploatację rud cynku i ołowiu;
- c) opis eksploatacji rud cynku i ołowiu z uwzględnieniem różnych sposobów wydobywania rud i ich wpływu na powstawanie zapadlisk wraz z opracowaniem mapy zrobów i rodzaju eksploatacji;
- d) mapę miąższości nadkładu oraz mapę serii złożowej triasu, gdzie zostały określone izohipsy stropu serii złożowej;
- e) szczegółową analizę obszaru badań z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej, która dostarczyła danych o deformacjach ciągłych (osiadaniach i podnoszeniu terenu), które związane są z deformacjami nieciągłymi po skończonej eksploatacji;
- f) analizę archiwalnych danych radarowych dla obszarów niezalesionych i zurbanizowanych;
- g) analizę archiwalnych zdjęć lotniczych pozyskanych z zasobu GUGiK, które pozwoliły na określenie skali tworzenia się nowych zapadlisk na przestrzeni lat 1976-2003;

- h) przeprowadzenie analizy numerycznych modeli terenu (NMT) wygenerowanych na podstawie dostępnych danych lotniczego skaningu laserowego (ALS), które pozyskano w latach 2011, 2012, 2014, 2019, 2022, 2023 oraz dla całego obszaru w 2024 roku, interpretację form zapadliskowych, obliczenie tzw. modeli różnicowych przedstawiających zmiany wysokościowe powierzchni terenu, jakie zaszły w ostatniej dekadzie oraz interpretację form powierzchniowych;
- i) bazę danych wektorowych zapadlisk badanego obszaru (format SHP.);
- j) terenowe prace kartograficzne i inwentaryzacyjne polegające na kompleksowej identyfikacji zapadlisk zarówno zlikwidowanych, jak również istniejących;
- k) zinwentaryzowano niezlikwidowane zapadliska za pomocą naziemnego (dotyczy form zlokalizowanych blisko zabudowy i infrastruktury) i lotniczego skaningu laserowego oraz pomiarów fotogrametrycznych z niskiego pułapu (dron),
- l) mapę zapadlisk w skali 1:10 000 wraz z objaśnieniami uwzględniającymi analizy jakościowe i ilościowe.

Wraz z raportem publikuje się bazę danych dotychczas zinwentaryzowanych zapadlisk w formacie SHP oraz 8 arkuszy *Mapy zapadlisk w obszarze oddziaływania kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim w skali 1: 10 000*. Wyniki prac zostały udostępniane na stronie <https://www.pgi.gov.pl/rejon-olkuski-2> oraz na portalu mapowym PIG-PIB (<https://geologia.pgi.gov.pl/zapadliska/>).

Kompleksowa inwentaryzacja zapadlisk w obszarze oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim jest konieczna do właściwej oceny zagrożenia w tym rejonie. Dzięki zinwentaryzowaniu tych deformacji w całym obszarze stwierdzono, że występują one również poza granicami udokumentowanej eksploatacji, co związane jest z prowadzoną eksploatacją historyczną, jak również zjawiskami naturalnymi – procesami krasowymi. Wiele deformacji górniczych w tym rejonie mogłoby zostać pominiętych, gdyby nie wykorzystano szeregu nowoczesnych metod zdalnych. Bardzo cenne były archiwalne materiały dotyczące zlikwidowanych zapadlisk uzyskanych od ZGH „Bolesław” S.A., jak również z archiwum Wyższego Urzędu Górniczego. 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-górnictwymi pozwoliła dać znacznie szerszy obraz zagrożeń.

Należy zaznaczyć, że proces tworzenia się zapadlisk dalej postępuje i niniejszy raport stanowi bazę do której będą odnoszone kolejne inwentaryzacje i pomiary monitoringowe prowadzone w następnych latach. Na koniec 2026 roku zostanie opracowana mapa zapadlisk dla czterech gmin powiatu olkuskiego: Olkusz, Bolesław, Bukowno, Klucze oraz dla gminy Trzebinia w powiecie

chrzanowskim, które będą oparte na danych zawartych w niniejszym raporcie oraz przeprowadzonych badaniach inwentaryzacyjnych i monitoringowych w latach 2025 i 2026.

## 2 ANALIZA GEOLOGICZNO-GÓRNICZA ZŁÓŻ

---

---

### 2.1 Podstawowe informacje o złożach i kopalni

---

W rejonie olkuskim, po II Wojnie Światowej, eksploatację rud cynku i ołowiu prowadziły 3 kopalnie należące do ZGH „Bolesław” S.A. Najstarszą kopalnią działającą w tym rejonie była kopalnia „Bolesław” – funkcjonująca od 1958 r. Drugą powstałą w tym rejonie była kopalnia „Olkusz” która rozpoczęła wydobywanie w 1968 r. Najmłodszą kopalnią eksploatującą od 1974 r. rudy cynku i ołowiu była kopalnia „Pomorzany” (od 2003 r. „Olkusz-Pomorzany”). Kopalnie ZGH Bolesław prowadziły eksploatację podziemnymi wyrobiskami górniczymi a jedynie w początkowym etapie działalności w obrębie już istniejących wyrobisk odkrywkowych w rejonie Bolesławia. Do połowy lat 90. eksploatację prowadzono systemem z zawałem stropu, co przyczyniało się do powstawania w tych miejscach wielkoobszarowych zapadlisk na powierzchni.

Eksploatację górniczą prowadzono w obrębie 5 wyznaczonych obszarów górniczych: „Krzykawa”, „Bolesław”, „Olkusz”, „Pomorzany” oraz „Klucze”. Kopalnia „Bolesław” eksploatację rud cynku i ołowiu prowadziła w zasięgu dwóch obszarów górniczych. Były to OG „Bolesław I” o powierzchni 9,74 km<sup>2</sup>, obejmujący złożo Bolesław (w granicach z 1997 r.) oraz OG „Krzykawa I”, obejmujący złożo Krzykawa (w granicach z 1996 r.), którego powierzchnia wynosiła 1,20 km<sup>2</sup>. Kopalnia „Olkusz” prowadziła eksploatację w zasięgu obszaru górniczego „Olkusz” obejmującego złożo Olkusz (w granicach z 2000 r.) i wynoszące 14,00 km<sup>2</sup>. Kopalnia „Pomorzany” (od 2003 r. „Olkusz-Pomorzany”) eksploatację rud cynku i ołowiu prowadziła w zasięgu obszaru górniczego „Pomorzany III”, który obejmował złożo Pomorzany o obszarze wynoszącym 17,53 km<sup>2</sup>, w obrębie obszaru górniczego „Olkusz II” obejmującego złożo Olkusz (w granicach z 2000 r.) i wynoszącym 4,97 km<sup>2</sup> oraz w obrębie obszaru górniczego „Klucze III” obejmującego złożo Klucze I (udokumentowane w 2001 r.) i wynoszącym 3,00 km<sup>2</sup>. Eksploatowane złoża Bolesław i Pomorzany graniczyły odpowiednio od północnego zachodu i południowego zachodu ze złożem rud cynku i ołowiu Laski 1, złożo Olkusz od północy ze złożem Sikorka, a złożo Klucze I od północy ze złożem Klucze. W niewielkiej odległości udokumentowano także złoża rud cynku i ołowiu: Laski, Chechło i Jaroszowiec-Pazurek.

Złoża rud cynku i ołowiu oraz obszary górnicze kopalń ZGH Bolesław, położone w północno-wschodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w obrębie gmin: Klucze, Bolesław, Bukowno, Olkusz a w niewielkiej części także Dąbrowa Górnicza i Sławków, nie graniczyły z

innymi kopalniami. Należy jednak dodać, że w ich obrębie prowadzona była działalność górnicza dla wydobycia innych kopalin: piasku podsadzkowego oraz kamieni łamanych i blocznych. Obszary górnicze ustanowione dla tych kopalin częściowo nachodziły na poszczególne obszary górnicze ZGH Bolesław.

Pierwszą kopalnią która zakończyła działalność była kopalnia „Bolesław”. Decyzję o jej likwidacji podjęto 15.06.1992 r. Datę rozpoczęcia likwidacji ustalono na 01.07.1992 r., a jej zakończenie na 30.06.1998 r. Zakończenie eksploatacji zasobów przemysłowych nastąpiło z końcem 1996 r. Ze względu na szczypanie zasobów złoża Pomorzany kopalnia „Olkusz-Pomorzany” miała być wygaszana w 2016 r., jednak ZGH Bolesław otrzymał koncesję na wydobywanie rud ze złoża Klucze I, co przedłużyło okres funkcjonowania kopalni. Przewidywano, że uzyskana koncesja przedłuży funkcjonowanie kopalni o 3 lata, jednak w trakcie prac wydobywczych odkrywano kolejne gniazda rud. Ostatecznie 29 kwietnia 2020 r. podjęto decyzję o zaprzestaniu wydobycia wraz z końcem grudnia 2020 r., a na przełomie lat 2021/2022 zatrzymano pompy odwadniające kopalnię.

Zniesione i historyczne zasięgi obszarów górniczych kopalń eksploatujących rudy cynku i ołowiu w rejonie olkuskim na tle mapy topograficznej przedstawia mapa sytuacyjna (ryc. 2.1). Zaznaczono na niej również obszary eksploatacji systemem z zawałem stropu, jak również przybliżone obszary dawnej eksploatacji.

## 2.2 Rys historyczny eksploatacji rud cynku i ołowiu

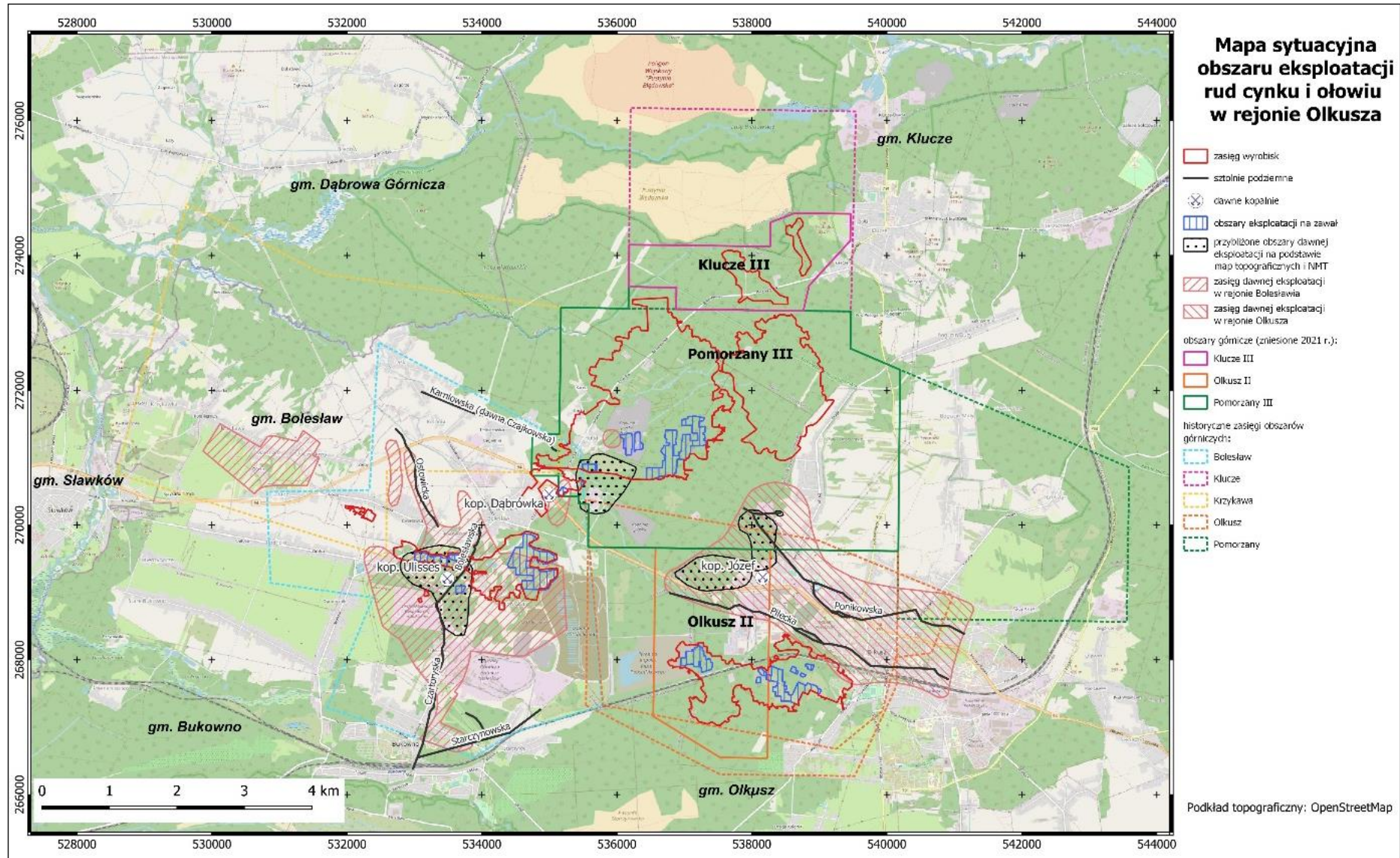
---

Najstarszy zachowany dokument potwierdzający istnienie górnictwa w rejonie olkuskim pochodzi z 1257 r. i dotyczy uposażenia dochodami z ołowiu olkuskiego klasztoru Klarysek fundowanego przez króla Bolesława Wstydliviego (Siemiradzki, 1912). Odkryte w tym rejonie stanowisko archeologiczne świadczące o produkcji i przetwórstwie ołowiu, pochodzące z przełomu XII/XIII wieku potwierdza także istnienie górnictwa w tym rejonie.

Zgodnie z zachowanymi dokumentami oraz odkrytymi przedmiotami początkowo eksploatowano jedynie rudę ołowiu. Dopiero zejście z eksploatacją głębiej przyczyniło się do odkrycia w XVI wieku rudy galmanowej, zalegającej pod złożami rudy ołowiu. Głębsza eksploatacja – zmiana warunków geologicznych i hydrogeologicznych – wiązała się jednak z budową sztolni odprowadzających wodę, chodników i szybków.

Na początku XVIII w, w wyniku zubożenia rudy, eksploatacja górnicza rejonu olkuskiego zaczynała zamierać, by na początku XIX w. odrodzić się wraz z uruchomieniem czterech kopalń. W 1814 r. uruchomiono kopalnię „Józef” w Starym Olkuszu i „Ulisses” między Tukienką a Krążkiem, w 1821 r. kopalnię „Bolesław”, a w 1823 r. kopalnię „Jerzy”. Kopalnie te początkowo

Raport z prac analitycznych o deformacjach terenu  
dla rejonu oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim



Ryc. 2.1. Mapa sytuacyjna obszaru eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim

eksploatowały nieczynne wyrobiska, hałdy i zwały, w latach dwudziestych XIX w. rozpoczęły wydobywanie podziemne systemami chodnikowym i komorowym.

W 1908 r. kopalnia „Józef” zakończyła działalność, a kopalnia „Jerzy” po odbudowie sztolni Czartoryskiej została włączona w strukturę kopalni „Ulisses”. W 1940 r. kopalnia „Bolesław” po okresach zaniechania i wznowienia eksploatacji, została ponownie uruchomiona przez Niemców, a po połączeniu z kopalnią „Ulisses” utworzyła jedno przedsiębiorstwo pod nazwą Zakłady Górnicze „Bolesław”. W 1952 r. powstała Huta tlenku cynku przerabiająca galman oraz odpady galmanowe, która po połączeniu z Zakładami Górniczymi „Bolesław” w 1958 r. dała początek Zakładom Górniczo-Hutniczym „Bolesław”.

Dzięki odkryciu w rejonie olkuskim nowego, bogatego złoża rud cynku i ołowiu – złoża Olkusz-Południe, udokumentowane w 1958 r. – w 1957 r. rozpoczęto budowę kopalni „Olkusz” poprzez głębinie szybów „Bronisław” o głębokości 104 m oraz „Stefan” o głębokości 98 m do poz. +238 m. W 1968 r. złożo Olkusz zostało udostępnione i rozpoczęto eksploatację przez kopalnię Olkusz. W 2001 r. z powodu wyczerpania zasobów przemysłowych zakończono eksploatację (Włodarz, 2006).

Z udokumentowanego w 1960 r. złoża Pomorzany-Hutki wydzielone zostało w 1969 r., najzasobniejsze z udokumentowanych złóż rejonu olkuskiego, osobne złożo Pomorzany. Wiązało się to z planami budowy kopalni „Pomorzany”. Złożo to zaczęto górniczo zagospodarowywać w 1969 r. z wyrobisk kopalni „Olkusz” i „Bolesław”, a w roku 1974 eksploatację rozpoczęła kopalnia „Pomorzany”.

W rejonie „Podpoziom” złożo Olkusz udokumentowano w 2000 r. zasoby perspektywiczne, możliwe do eksploatacji z poziomu +175 m n.p.m. przez kopalnię „Pomorzany”. W związku z czym w 2003 r. eksploatując złożo Olkusz – rejon „Podpoziom” – kopalnia „Pomorzany” przyjęła nazwę „Olkusz-Pomorzany”, która funkcjonowała do 2020 roku.

### 2.3 Ocena wiarygodności informacji geologiczno-górniczego

---

Do wykonania analizy geologiczno-górniczej wykorzystano wszelkie dostępne dokumentacje, materiały archiwalne i dane publikowane (m.in. Wójcik, 2021a; Wójcik, 2021b; Wnuk, 2018a; Wnuk, 2018b; Wnuk R., 2018c; Radwanek-Bąk, 2022; Bezkorowajny, Motyka, d’Obyrn, 2019; Walczak, Cieślik, 2000; Walczak, Socha, Wnuk, 1997; Niedzielski, 1993; Walczak, 1996; Gładysz, Midura, Lassak, 1992; Poręba, 2015; Kurek, Midura, 1992). Skorzystano także z materiałów archiwalnych z zasobów Centralnego Archiwum Geologicznego PIG-PIB oraz danych udostępnionych z Wyższego Urzędu Górniczego.

Informacje dotyczące utworów nadkładu, głębokości zalegania stropu dolomitów kruszconośnych i miąższości serii złożowej triasu pozyskano z kart otworów wiertniczych i dokumentacji geologicznych. W tym celu przeanalizowano 14 dokumentacji geologicznych z lat 1992–2021 (wymienionych w literaturze na końcu raportu), 892 karty otworów wiertniczych odwierconych na obszarach złóż „Bolesław”, „Klucze”, „Klucze I”, „Krzykawa”, „Laski”, „Laski 1”, „Olkusz”, „Pomorzany” oraz 162 karty otworów odwierconych w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

Mimo, iż zdecydowana większość otworów ujęta w analizie została odwiercona w latach 50. i 60. XX wieku, precyzyjność danych z tych otworów jest ogólnie dobra.

## 2.4 Budowa geologiczna

---

### 2.4.1 Litologia i stratygrafia

---

W budowie geologicznej rejonu olkuskiego, związanego z występowaniem w utworach węglanowych triasu środkowego złóż cynku i ołowiu, biorą udział utwory nadkładu-czwartorzędu, jury, triasu górnego i stropowe warstwy triasu środkowego (Kurek i in., 1991; Kurek i Preidl, 1992). W podłożu złóż stwierdzono utwory triasu środkowego (spągowe warstwy) oraz triasu dolnego, permu, karbonu i górnego dewonu (ryc. 2.2). Dla celów niniejszego opracowania, podstawowe znaczenie ma budowa geologiczna czwartorzędu, jury i triasu, w którym występują rudy cynku i ołowiu.

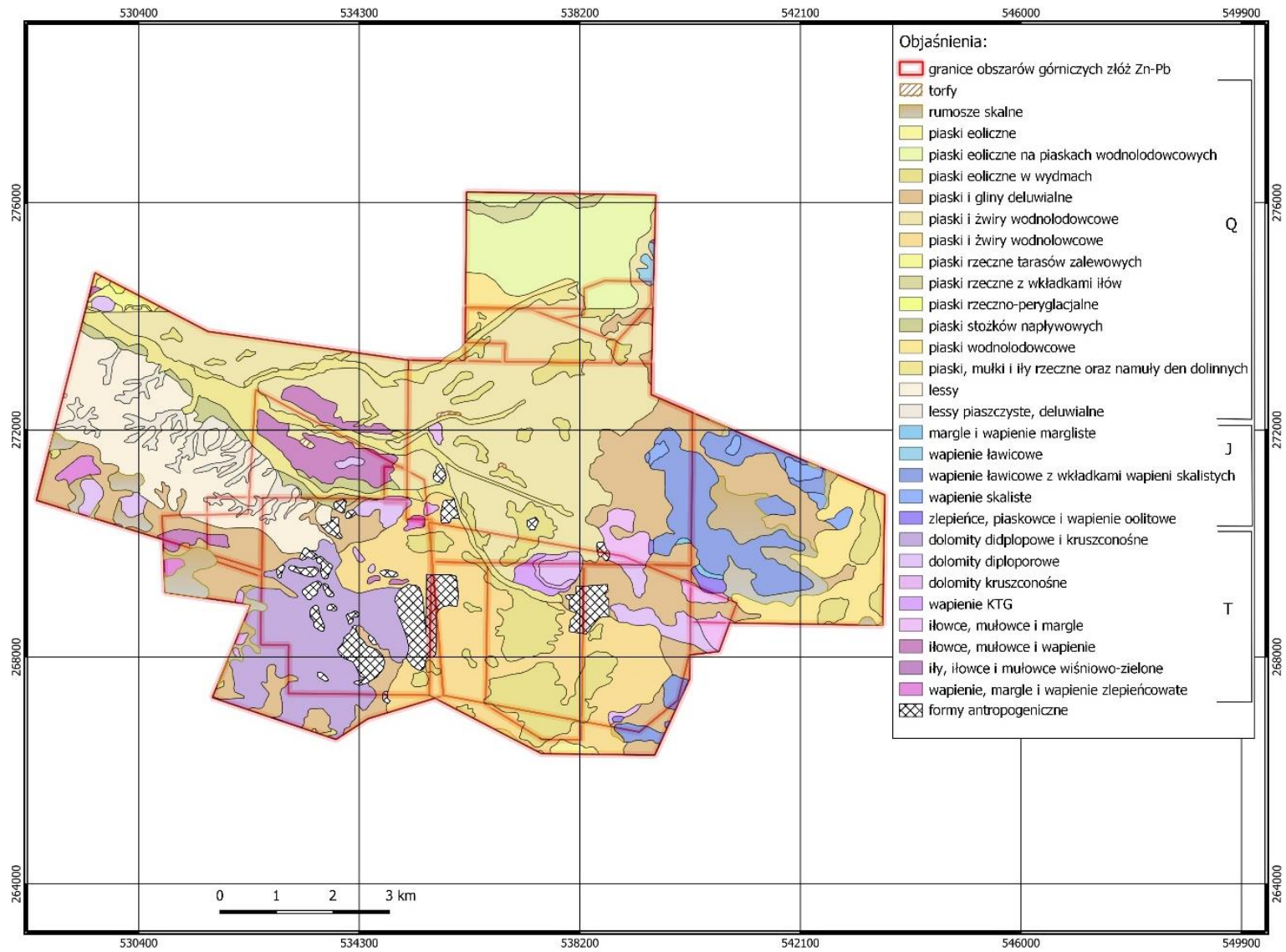
#### Nadkład serii złożowej

W tym opracowaniu jako nadkład rozumiane są wszystkie utwory zalegające powyżej stropu warstwy dolomitów kruszconośnych. Rozmieszczenie utworów nadkładu w rejonie olkuskim jest zmienne i częściowo uwarunkowane tektonicznie. Największe miąższości nadkładu od 120 do ponad 140 m występują w północnej, wschodniej i skrajnie południowej części obszaru (ryc. 2.3). W części wschodniej osiągają maksymalnie około 120–160 m, południowej 120–140 m, a w południowo-zachodniej 100–120 m. Na północy i południu związane jest to głównie z zaleganiem osadów czwartorzędowych o miąższościach do 50–75 m, w części wschodniej z osadami jury osiagającymi miąższości do 70–100 m, a w części południowo-zachodniej osadów triasu górnego, których miąższość dochodzi do 80 m. Na większej części obszaru miąższości te osiagają 40–80 m.

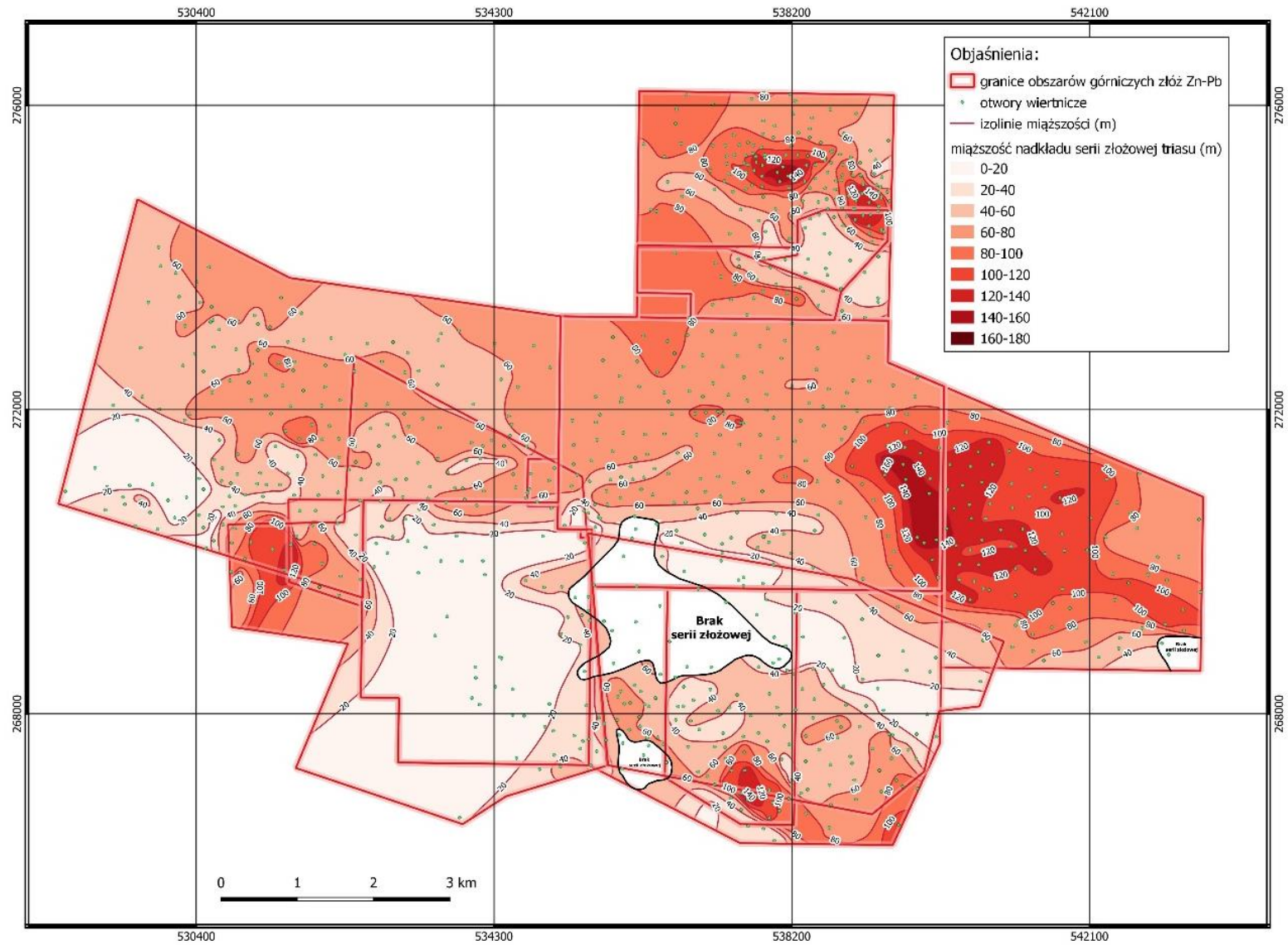
#### **Czwartorzęd**

Utwory czwartorzędowe pokrywają skały starszego podłoża mezozoicznego. Wśród osadów tego wieku zdecydowanie dominują piaski fluwioglacjalne z wkładkami żwirów, rumoszy, ilów, pyłów i glin. Na wierzchołkach, zbudowanych ze skał jurajskich utwory czwartorzędowe są reprezentowane przede wszystkim przez lessy i gliny zwietrzelinowe o miąższości dochodzącej

**Raport z prac analitycznych o deformacjach terenu  
dla rejonu oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim**



**Ryc. 2.2. Mapa geologiczna ( wg Kurek i in., 1991; Kurek i Preidl, 1992) - zmieniona**



Ryc. 2.3. Mapa miąższości nadkładu serii złoźowej triasu (wg dokumentacji archiwalnych)

do paru metrów, a w lejach krasowych do kilkunastu metrów. Utwory fluwioglacjalne, złożone głównie z piasków, wypełniają różne formy erozyjne, wypreparowane w starszym podłożu. Utwory te zalegają ciągłą pokrywą prawie na całym analizowanym obszarze. Największe miąższości (ok. 30–75 m) związane są z występowaniem w tym rejonie rynn erozyjnej, zwanej doliną pra-Przemszy, przebiegającej z północy na południe w centralnej części analizowanego obszaru (Kotlicka, 1969). W kierunku wschodnim oraz zachodnim od doliny pra-Przemszy miąższości utworów czwartorzędowych maleją, a miejscami nawet zanikają. Utwory te wykształcone są jako polodowcowe drobne i średnie piaski kwarcowe, z wkładkami żwirów, zapiaszczone gliny oraz lessy. Również we współczesnych dolinach rzecznych, które częściowo nakładają się na hydrologiczny paleosystem miąższość utworów czwartorzędowych, głównie piasków sięga 20 m.

### **Jura**

Utwory jurajskie występują w północno-wschodniej, wschodniej i południowo-wschodniej części analizowanego obszaru, gdzie reprezentowane są przez osady jury górnej oraz niewystępujące w części południowo-wschodniej osady jury środkowej. Łączna miąższość osadów jurajskich w tym rejonie wynosi od 0 do 100 m.

W północno-wschodniej części rejonu olkuskiego utwory jury górnej występują miejscami na powierzchni terenu. Jest to związane z wynurzeniem obszaru śląsko-krakowskiego w dolnej kredzie oraz ruchami tektonicznymi związanymi z orogenezą alpejską w kredzie górnej. Ruchy te spowodowały wynurzenie się omawianego obszaru oraz erozję młodszych serii skalnych.

Jura górna reprezentowana jest w tym rejonie przez wapienie skaliste, gruboławicowe, kremowe z horyzontami krzemieni, zalegającymi na wapieniach płytowych białawo-szarych i marglach płytowych, ilastych, szarych. Wapienie jury górnej zawierają bogatą faunę tj. amonity, ramienionogi, małże oraz gąbki. Miąższość utworów jury górnej na tym terenie waha się od 0 do 84 m.

Jura środkowa w tej części obszaru wykształcona jest w postaci margli ilastych, szarozielonych przykrywających wapienie oolitowe żółtawo-czerwone oraz drobne zlepionce kwarcowe o dobrym obtoczeniu ziaren. W marglach występują belemnity, amonity i ramienionogi. Miąższość osadów jury środkowej analizowanego obszaru wynosi od 0 do 40 m.

### **Trias**

Utwory triasu występują na całym analizowanym obszarze (ryc. 2.2). Wykształcone są tutaj wszystkie ogniwa triasu. W triasie środkowym w wyniku przeobrażeń metasomatycznych utworzyły się dolomity kruszconośne, występujące na około 95% analizowanego obszaru, w których występują rudy cynku i ołowiu (Kurek i in., 1991; Kurek i Preidl, 1992).

Utwory triasu górnego występują na powierzchni około 60% rejonu olkuskiego – w części północnej, centralnej, wschodniej, zachodniej i południowo-wschodniej. Reprezentowane są przez pstre mułowce z wkładkami piaskowców drobnych i ławicami drobnych zlepieńców wapiennych (tylko w północnej części obszaru) zalegających na mułowcach i ilowcach, szarych i zielonych z wkładkami wapieni detrytycznych i dolomitów mikrytowych oraz pstrych mułowcach z wkładkami piaskowców ilastych. Utwory triasu górnego zalegają niezgodnie na różnych ogniwach wapienia muszlowego. Miąższość utworów triasu górnego (kajpru) wynosi od 0 do 91,7 m.

Trias środkowy reprezentowany jest przez utwory górnego, środkowego i dolnego wapienia muszlowego.

Górny wapień muszlowy w rejonie olkuskim reprezentowany jest przez warstwy tarnowickie występujące płatowo w zachodniej, centralnej i południowej części analizowanego rejonu. Wyższe poziomy górnego wapienia muszlowego (warstwy wilkowickie i boruszowickie), ze względu na regresję morską oraz wynurzenie się analizowanego obszaru, nie występują w tym rejonie.

Warstwy tarnowickie, w zachodniej części obszaru, wykształcone są jako dolomity o strukturze mikrytowej i wyraźnej teksturze płytowej, szare lub żółte, niekiedy margliste. Miąższość ich waha się od 0 do 15,1 m. Wśród nich występuje warstwa oolitowa z fauną małżową.

W centralnej i południowej części obszaru wykształcone są jako dolomity jasnożółte i kremowe, pelityczne, a ich miąższość wynosi do 20,3 m.

Środkowy wapień muszlowy, lokalnie nazywany poziomem dolomitów diploporowych, występuje na ok. 95% analizowanego obszaru. Na zachodzie stropową część dolomitów diploporowych stanowią, zerodowane na reszcie obszaru, poziomy zlepieńców, rozmycia i brekcje zalegające na dolomitach detrytycznych, oolitowych, porowatych, zbitych lub laminowanych, o barwach szarych bądź żółto-szarych, gruboławicowych. Miąższość ich jest zróżnicowana i wynosi od 0 m do 36,4 m.

Dolna część wapienia muszlowego występuje na całym obszarze rejonu olkuskiego. Wyróżnia się w niej kilka poziomów: dolomity kruszconośne, warstwy górażdżańskie, terebratulowe i karchowickie (warstwy KTG, nazywane tu łącznie warstwami olkuskimi) oraz warstwy gogolińskie.

W wyniku przeobrażeń metasomatycznych (migracji gorących roztworów wodnych powodujących krasowienie skał, ich brekcjowanie oraz wytrącanie się minerałów kruszcowych) warstw górażdżańskich, terebratulowych i karchowickich (tzw. warstwy KTG) powstały dolomity kruszconośne. Wykształcone są one w postaci dolomitów szarych i stalowo-szarych,

drobnokrystalicznych, bardzo mocno zwięzłych i na ogół zbitych. Charakterystyczną ich cechą jest duża kawernistość, sieć spękań, brekcje dolomitowe ilaste i kalcytowe (megabrekcje) oraz rzadkie występowanie fauny. Miąższość dolomitu kruszconośnego jest zmienna i wynosi od kilku do 95,9 m (ryc. 2.4). Utwory serii złożowej nie występują jedynie w południowej i na niewielkim fragmencie skrajnie południowo-wschodniej części obszaru. W obrębie utworów kruszconośnych stwierdzono rudy cynku i ołowiu, rozprzestrzeniające się horyzontalnie (nawet ponad 100 m), o miąższości sięgającej do kilkunastu metrów. Mają one kształt gniazdowy, soczewkowaty lub pseudopokładowy. Tworzą pokłady, żyły, gniazda albo wielkie, nieciągłe ciała rudne o długości do 200 m zalegające wśród dolomitów kruszconośnych triasu środkowego.

Strop serii złożowej znajduje się na głębokościach od 160 do 360 m p.p.t (ryc. 2.5). Najgłębiej zalega w południowo-zachodniej i południowo-wschodniej części złoża. Najpłycej – od ok. 160 do 200 m p.p.t – występuje w części północnej w obrębie historycznego zasięgu OG „Klucze”.

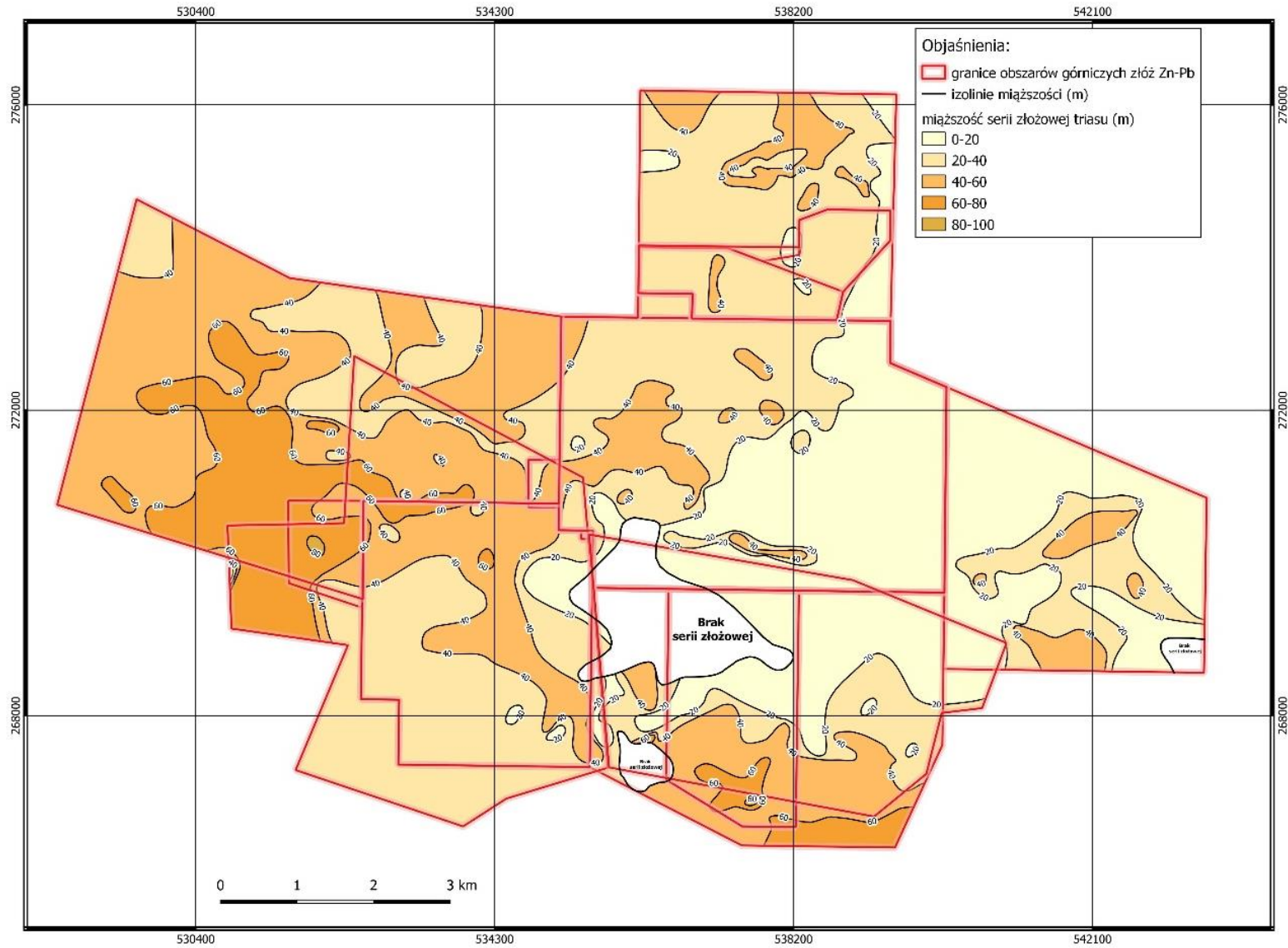
W rejonie złóż Klucze, Klucze I, Olkusz i Pomorzany oraz dalej na wschód poniżej dolomitów kruszconośnych występują warstwy KTG w formie niezmienionej. Wykształcone są jako wapienie grubokrystaliczne z rogowcami (w-wy górażdżańskie), wapienie drobnokrystaliczne, faliste i gruzłowe z liczną fauną (w-wy terebratulowe) i wapienie szaro-beżowe, drobnokrystaliczne, zbite płytowe (w-wy karchowickie). Miąższość warstw KTG wynosi od 0 do 44,2 m.

Najniższy poziom wapienia muszlowego – warstwy gogolińskie – występuje na prawie całym analizowanym obszarze (brak go w południowo-zachodniej części obszaru). Zbudowany jest z wapieni szarych, pelitycznych przykrywających wapienie płytowe, pelityczne często margliste oraz wapienie zlepieńcowate, a w spągu z wapieni krystalicznych oraz dolomitów beżowoszarzych zalegających na wapieniach jasnoszarych, płytowych, kryptokrystalicznych. Warstwy gogolińskie w regionie olkuskim osiągnęły miąższość od 0 do 56,7 m.

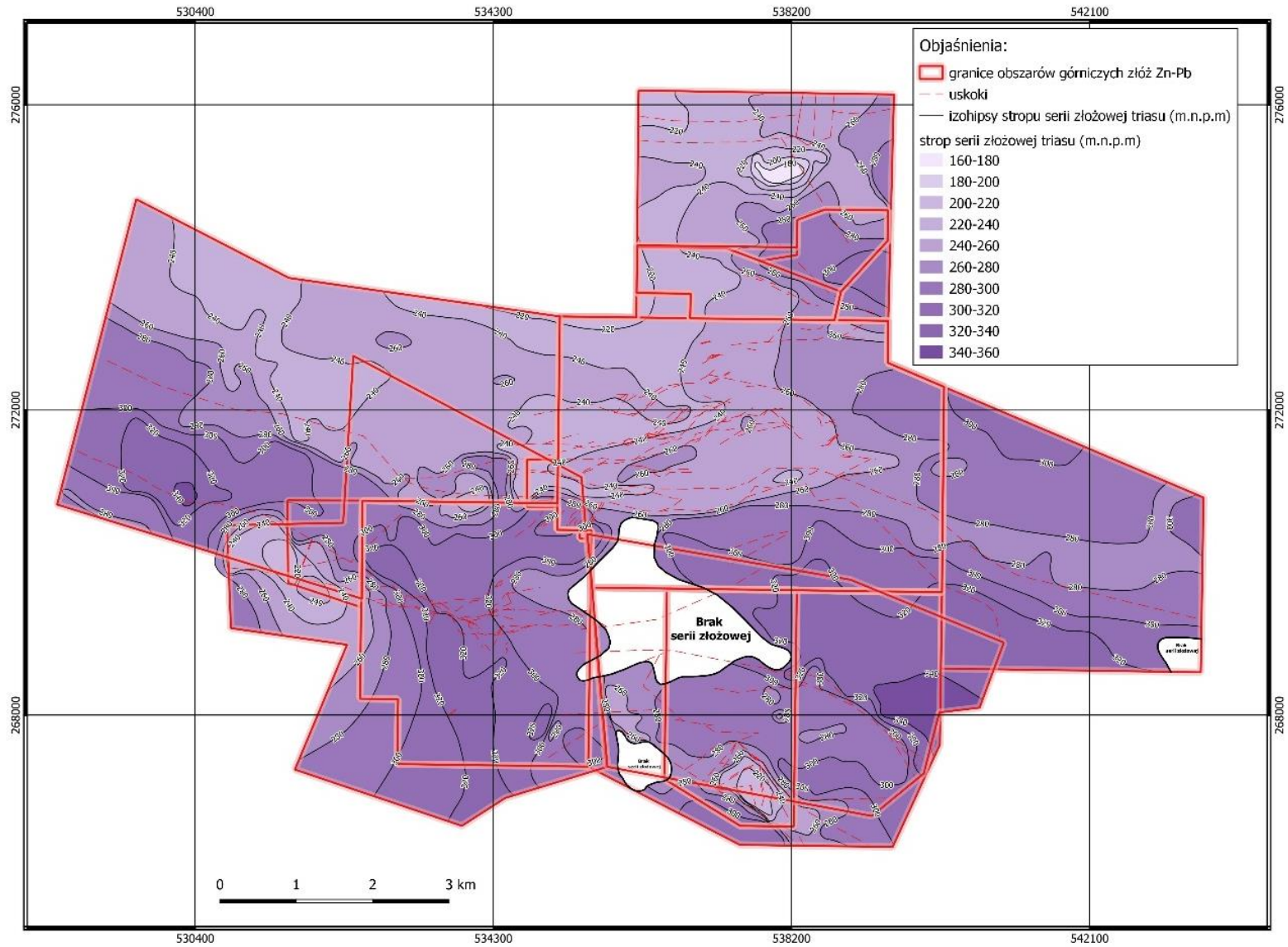
Trias dolny występuje na całym analizowanym obszarze. Wykształcony tu zarówno ret jak i pstry piaskowiec zalega niezgodnie na osadach permu lub dewonu.

Osady retu wykształcone są jako dolomity drobnoziarniste, detrytyczne i organodetrytyczne oraz utwory dolomityczno-marglisto-ilaste. Miąższość ich wynosi od 0 do 39,2 m.

Osady pstrego piaskowca zbudowane są z piaskowców kwarcowych szarych i szaro-zielonych, grubo i drobnoziarnistych o spoiwie ilastym, a także iłowców zielonkawych z cienkimi wstawkami piaskowców. Miąższość tych utworów wynosi od 0 do 8,5 m.



Ryc. 2.4. Mapa miąższości serii złożowej triasu (wg dokumentacji archiwalnych)



Ryc. 2.5. Mapa strukturalna stropu serii złożowej triasu (wg dokumentacji archiwalnych)

#### 2.4.2 Tektonika

---

Występujący w północno-wschodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego olkuski rejon rud cynku i ołowiu leży w obrębie górnośląskiego i małopolskiego bloku tektonicznego (Żaba, 1999; Buła, 2000). Wydzielić tutaj można trzy piętra strukturalne (Bukowy, 1974, 1994):

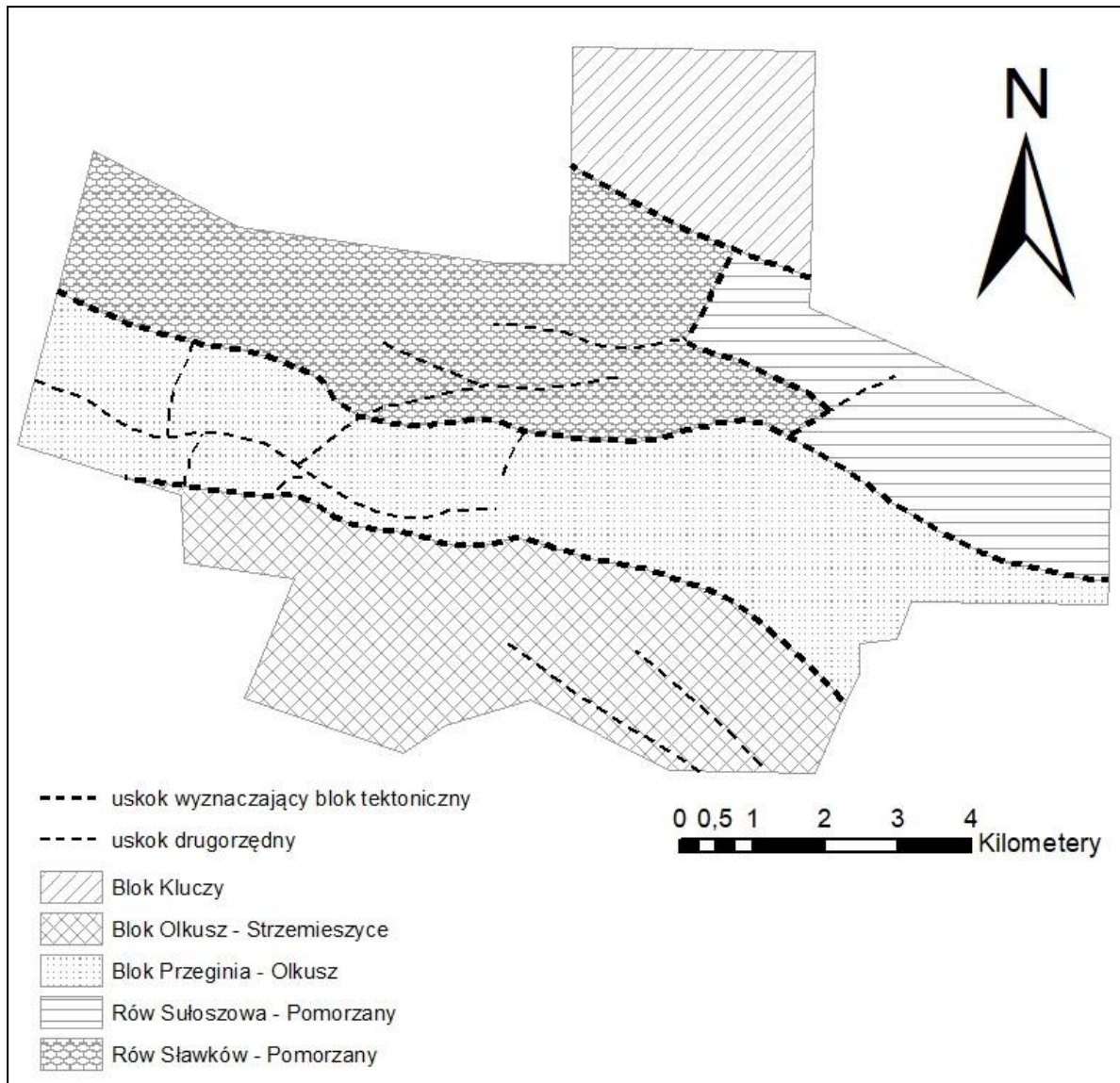
- staropaleozoiczne – zbudowane z utworów starszych od dewonu, sfałdowanych w cyklu kaledońskim i podlegających intensywnej erozji, co skutkowało powstaniem stromych i wąskich fałdów;
- młodopaleozoiczne – zbudowane z utworów górnego paleozoiku (dewonu i karbonu), zdeformowanych w orogenezie waryscyjskiej, tworzące struktury fałdowo-uskokowe. Kąty nachylenia warstw sięgają 45°, a lokalnie w skrzydłach antyklin mogą dochodzić do 80–90°. Osie głównych struktur tektonicznych mają kierunek NW – SE. W mniejszym zakresie budowę podłoża paleozoicznego kształtowała tektonika uskokowa;
- permsko-mezozoiczne – zbudowane z utworów od górnego permu po górną jurę, z trzema lukami erozyjnymi. Utwory te leżą z niezgodnością kątową na utworach piętra młodopaleozoicznego, a luka erozyjna obejmuje górny karbon i częściowo perm.

Znaczny wpływ na te utwory w rejonie olkuskim miała tektonika uskokowa związana z ruchami starokimeryjskimi i alpejskimi (ryc. 2.6).

Powstałe w czasie orogenezy alpejskiej uskoki głównie mają kierunek WNW – ESE i poprzeczny do niego NE – SW. Amplitudy zrzutu uskoków wahają się od kilkudziesięciu centymetrów do około 100 m. Są to najczęściej uskoki normalne o nachyleniu od 40° do 80°. Największe kąty nachylenia powierzchni uskokowej, mieszczące się w przedziale od 65° do 80° występują w dolomitach kruszonośnych, najmniejsze, tzn. od 40° do 50° w ilastych utworach późnego triasu.

Główne elementy tektoniczne olkuskiego rejonu rud cynku i ołowiu to, idąc od południa ku północy:

- Rów Olkusza ma generalny kierunek NW – SE. Od północy jest ograniczony uskokiem olkuskim, od północnego wschodu uskokiem Czarnej Góry, a od południa uskokiem Niesułowic. W rowie olkuskim występują także drugorzędne uskoki o kierunku W – E lub WSW – ENE. Amplitudy zrzutu uskoków w obrębie rowu Olkusza dochodzą do kilkudziesięciu metrów, najczęściej w granicach 10–40 m.
- Zrąb olkuski, przechodzący ku zachodowi w rów Bolesławia – to system dyslokacji nieciągłych o głównym kierunku W – E, ograniczony od północy uskokiem Pomorzan.



Ryc. 2.6. Szkic tektoniczny alpejskiego piętra strukturalnego (wg Kurek i in., 1991; Kurek i Preidl, 1992, Górka, 2023) - zmieniony

Drugorzędne uskoki mają kierunki NWN – SES. Amplitudy zrzutu głównych uskoków o kierunku równoleżnikowym, tworzących zrąb Olkusza i rów Bolesławia, sięgają kilkudziesięciu metrów, a drugorzędnych o kierunku mniej więcej równoleżnikowym są znacznie mniejsze, zwykle kilkunastu metrów, maksymalnie około 30 m.

- Uskok Pomorzany jest jedną z głównych dyslokacji nieciągłych w olkuskim rejonie rud cynku i ołowiu. Ma on prawie równoleżnikowy przebieg i jest poprzecinany licznymi drobnymi uskokami o kierunku zbliżonym do południkowego. Amplituda zrzutu uskoku Pomorzany zmienia się od kilkudziesięciu metrów (maksymalnie około 100 m) w zachodniej części rejonu olkuskiego do 20–30 m w jego wschodniej części.

Ważnym elementem, komplikującym budowę geologiczną, rejonu olkuskiego jest obecność pustek i kawern, które występują w utworach dewonu, triasu i jury. Jak wykazały badania mają

one ścisły związek z systemami, występujących tu uskoków i spękań. Przebieg kawern i kanałów posiada orientację zarówno poziomą jak i pionową. W przekroju poprzecznym kawerny są raczej niewielkie, ale dochodzą też do paru metrów kwadratowych.

---

### 2.4.3 Warunki hydrogeologiczne

---

Zgodnie z podziałem na 174 jednolitych części wód podziemnych (JCWPd), który obowiązuje w latach 2022–2027, omawiany obszar należy do jednolitej części wód podziemnych o numerze 130, tożsamej z rejonem wodnogospodarczym (Biała Przemsza) GL-IIIC.

Zgodnie z regionalnym podziałem wód podziemnych (Paczyński, Sadurski, red. 2007), obszar złóż cynku i ołowiu rejonu olkuskiego w całości należy do subregionu triasu śląskiego (XII1), stanowiącego część regionu śląsko-krakowskiego (XII). Od wschodu graniczy z subregionem jurajskim (XII3), a od strony zachodniej z subregionem górnośląskim (XII2).

Słodkie wody podziemne występują tutaj na ogół do głębokości 200–300 m, a niekiedy większej. Głębokość ta uzależniona jest od grubości nadkładu, stopnia izolacji poziomów wodonośnych, a także od stopnia i głębokości rozcięcia górotworu wyrobiskami górniczymi. W wielopiętrowym systemie wodonośnym występują użytkowe piętra wodonośne: czwartorzędowe, jurajskie i triasowe (ryc. 2.7).

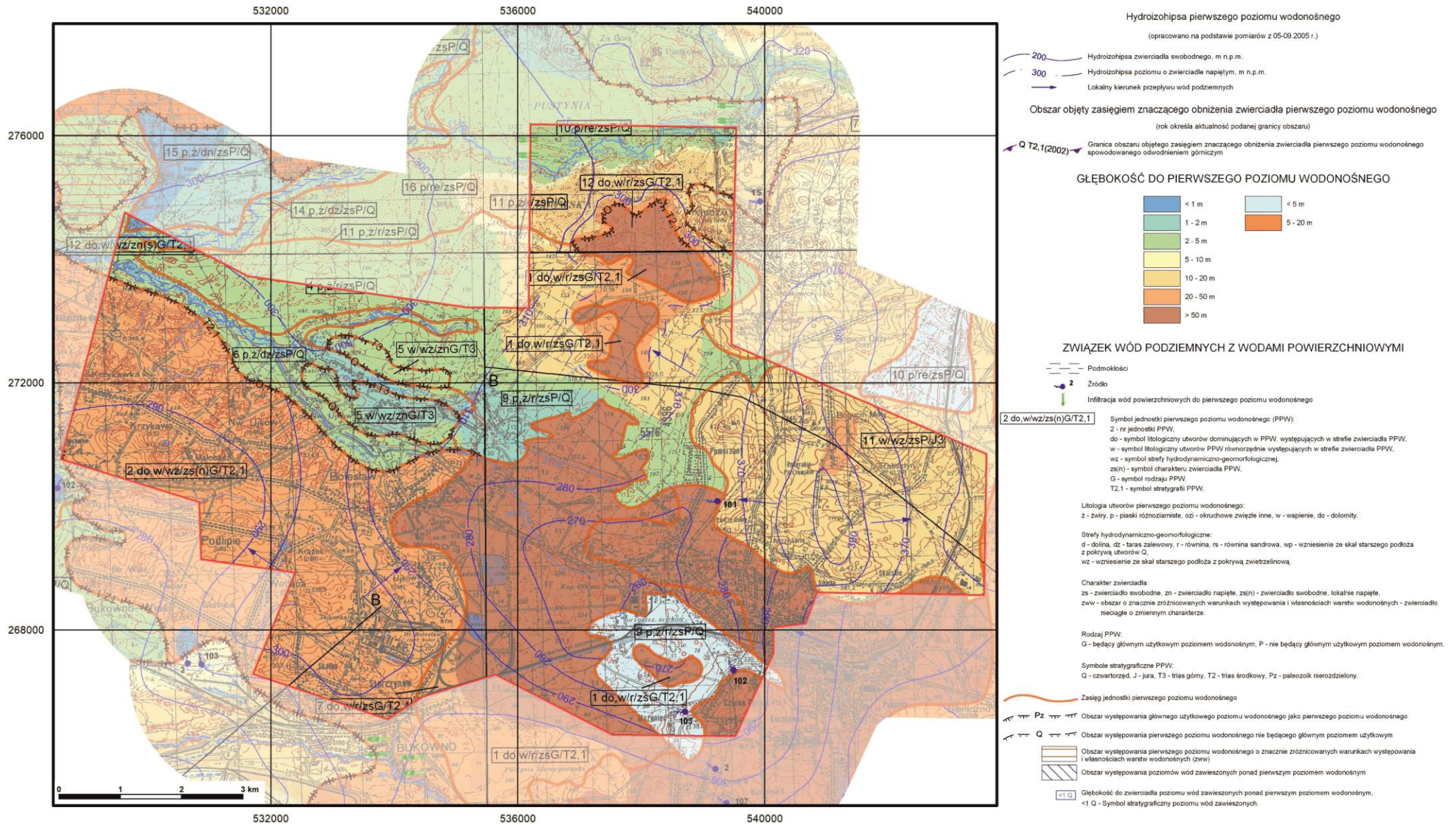
#### **Użytkowe piętra wodonośne**

##### *Czwartorzędowe piętro wodonośne*

Czwartorzędowe użytkowe piętro wodonośne związane jest z występowaniem osadów piaszczystych. Są to głównie różnoziarniste piaski wodnolodowcowe z wkładkami żwirów oraz rumosze. W obrębie osadów piaszczystych i żwirów występują przeławicenia utworów zastoiskowych w postaci iłów, mułków i glin, które lokalnie tworzą warstwy słaboprzepuszczalne lub izolujące wśród osadów wodonośnych.

Osady wodonośne wypełniają struktury pradolinne, doliny współczesnych rzek oraz starsze zagłębienia erozyjne. Zasadniczą rolę w czwartorzędowym poziomie wodonośnym odgrywiają osady piaszczyste wypełniające pradolinę Białej Przemszy. Oś pradoliny biegnie początkowo południkowo między Bolesławiem a Olkuszem, a następnie zmienia kierunek na zachodni. W strukturze tej o szerokości około 1 km, osady wodonośne przekraczają miąższość 30 m, a miejscami sięgają 70 metrów. Najszersze rozprzestrzenienie osadów piaszczystych obserwuje się na obszarze Pustyni Błędownskiej (Kotlina Mitręgi) i Pustyni Starczynowskiej (Kotlina Przemszy). Na obszarach Garbu Ząbkowickiego i Wyżyny Olkuskiej położonych powyżej wysokości 330 m n.p.m. osady wodonośne czwartorzędu nie występują, lub nie mają znaczenia użytkowego, tworząc niewielkie pokrywy piaszczysto-gliniaste pochodzenia deluwialnego. W północno-

**Raport z prac analitycznych o deformacjach terenu  
dla rejonu oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim**



**Ryc. 2.7. Mapa hydrogeologiczna pierwszego poziomu wodonośnego (wg Gorczyca i Gągulski, 2005; Cudak i in., 2005; Gorczyca i Zdechlik, 2006)**

wschodniej części omawianego obszaru utwory czwartorzędowe zalegają bezpośrednio na wodonośnych utworach jury górnej, a w południowej części obszaru na utworach triasu.

Osady czwartorzędowe tworzą zbiornik wodonośny wód podziemnych typu porowego, odkrytego, o swobodnym charakterze zwierciadła. Piętro czwartorzędowe zasilane jest na całej powierzchni poprzez infiltrację z wód opadowych. Piętro czwartorzędowe może być również zasilane, w rejonach kontaktów erozyjnych osadów czwartorzędu z osadami jury oraz triasu, w sytuacji przeważających różnic ciśnień hydrostatycznych. Drenaż piętra czwartorzędowego odbywał się ciekami i źródłami (Pacholewski, i in., 1994). Rejon badań znajduje się w całości w dorzeczu rzeki Wisły, a głównym ciekim odwadniającymi ten rejon jest rzeka Biała Przemsza. W rejonie złożowym płynie ona pomiędzy Golczowicami, Kluczami, Okradzionowem (M. Dabrowa Górnicza) i Sławkowem. Rzeka tworzy odnogi, meandry, moczary. Na odcinku tym jej dopływami są Tarnówka, Dębieńnica, Centuria, Potok Błędowski oraz Biała.

Na podstawie wyników próbných pompowań, wykonanych w około 30 otworach wiertniczych i studniach ujęć stwierdzono, że współczynnik filtracji utworów czwartorzędowych jest najczęściej rzędu  $n \times 10^{-4}$  m/s, przy średniej geometrycznej równej  $2,5 \times 10^{-4}$  m/s (Motyka, Wilk, 1976).

#### Jurajskie piętro wodonośne

Jurajskie użytkowe piętro wodonośne występuje w północno-wschodniej oraz wschodniej części obszaru złóż cynku i ołowiu rejonu olkuskiego. Budują go wapienie płytowe i skaliste jury górnej. Wodonośność wapieni malmu jest warunkowana przede wszystkim systemem ławic, szczelin i kawern krasowych. Strefa zasięgu występowania otwartych przestrzeni w matrycy skalnej nie jest znana, a na podstawie badań prowadzonych w podobnych obszarach, przypuszcza się że przekracza głębokość 100 metrów (Pacholewski, in., 1994). Poziom górnourajski izolowany jest kompleksem utworów słaboprzepuszczalnych w postaci osadów iłowcowo-mułowcowych jury środkowej, jury dolnej i triasu górnego.

Poziom górnourajski jest poziomem typu szczelinowo-porowo-krasowego. Ma charakter odkryty, a zwierciadło wody jest generalnie swobodne i układa się współkształtnie do powierzchni terenu. Lokalnie, w miejscach występowania na powierzchni glin zwałowych i zwietrzelinowych, może być lekko napięte.

Zasilanie poziomu odbywa się poprzez bezpośrednią infiltrację wód opadowych lub poprzez zasilanie z piętra czwartorzędowego. Drenaż następuje poprzez cieki powierzchniowe i źródła oraz odpływy do piętra triasowego i karbońsko-dewońskiego w rejonach kontaktów hydraulicznych typu tektonicznego i sedymentacyjnego, istniejących pomiędzy poszczególnymi piętrami wodonośnymi (Pacholewski, i in., 1994).

Średni współczynnik filtracji wapieni jurajskich, określony na podstawie próbnych pompowań, wynosi  $1,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  (Wilk, Motyka, 1977). Porowatość otwarta wapieni malmu mieści się w przedziale od 0,0064 do 0,22. Współczynniki filtracji przestrzeni porowej mieszczą się w przedziale od  $2,5 \times 10^{-12}$  do  $7,72 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ , przy wartości średniej  $7,09 \times 10^{-11} \text{ m/s}$  (Bielec, 1999).

#### Triasowe piętro wodonośne

Triasowe piętro wodonośne występuje w poziomach wapienia muszlowego, retu oraz środkowego i dolnego pstrego piaskowca. Osadami wodonośnymi w poziomie wapienia muszlowego są dolomity warstw diploporowych, dolomity kruszczonośne (zdiagenezowane osady węglanowe warstw karchowickich, terebratulowych i górażdżanskich, wapienie oraz podrzędnie wapienie margliste i margle warstw gogolińskich. Osadami wodonośnymi w poziomie retu są dolomity i margle. Ogólnie poziomy wodonośne retu oraz poziomy wodonośne wapienia muszlowego traktowane są jako jedno, wspólne triasowe piętro wodonośne – tzw. kompleks wodonośny serii węglanowej triasu. Miąższość osadów wodonośnych piętra triasowego waha się w zależności od położenia monoklinalnego od kilku metrów do ponad 150 m. W nadkładzie osadów węglanowych wodonośnego piętra triasu występują osady iłowcowo-mułowcowe triasu górnego o miąższości do 60 m (Kurek, i in., 1991). Są to osady niewodonośne o charakterze izolującym.

Triasowe piętro wodonośne tworzy zbiornik wód podziemnych typu porowo-szczelinowo-krasowego. Zbiornik ma charakter odkryty na obszarze wychodni osadów triasowych oraz charakter zakryty, pod osadami czwartorzędu i jury. Podobnie zwierciadło wody piętra triasowego, na wychodniach jest swobodne, a pod przykryciem osadów czwartorzędowych i jurajskich ma charakter napięty. Zasilanie piętra triasowego z bezpośredniej infiltracji opadów odbywa się głównie w rejonie ich wychodni na obszarze występującym w zachodniej części obszaru. Poza obszarami wychodni poziom ten zasilany jest z przesączania pionowego wód głównie z pięter wodonośnych wyżej leżących: czwartorzędu i jury. W rejonach kontaktów erozyjnych, sedymentacyjnych i tektonicznych przepływy wód podziemnych pomiędzy wodonośnymi utworami triasu, jury i górnego paleozoiku są możliwe w różnych kierunkach (Haładus i in., 1983).

Porowatość otwarta przestrzeni porowej w wapieniach warstw gogolińskich mieści się w przedziale od 0,002 do 0,08, a jej średnia arytmetyczna wartość wynosi 0,017 (Motyka, 1998). Współczynnik filtracji matrycy w wapieniach mieści się w przedziale od  $3,42 \times 10^{-12}$  do  $1,21 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ , a jego średnia geometryczna wartość jest równa  $3,8 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ . Przestrzeń porowa w wapieniach ma bardzo małe zdolności do oddawania wody pod wpływem siły grawitacji.

Współczynnik odsączalności matrycy jest znikomy i mieści się w przedziale od 0 do 0,0091, a jego średnia arytmetyczna jest równa 0,00064.

Porowatość otwarta matrycy w dolomitach retu, dolomitach kruszczośnych i dolomitach diploporowych mieści się w przedziale od 0,0054 do 0,34, przy czym średnia arytmetyczna jest równa 0,109. Wartości współczynników filtracji przestrzeni porowej omawianych dolomitów mieszczą się w przedziale od  $2,1 \times 10^{-11}$  do  $4,9 \times 10^{-6}$  m/s, a średnia geometryczna wartość dla całej zbadanej populacji jest równa  $2,6 \times 10^{-8}$  m/s. Dolomity zdecydowanie łatwiej oddają wodę pod wpływem siły grawitacji niż wapienie. Współczynnik odsączalności przestrzeni porowej tych skał zawiera się w przedziale od 0 do 0,15, a jego średnia arytmetyczna wartość jest równa 0,028 (Wilk, i in. 1985; Motyka, 1988).

#### *Paleozoiczny kompleks wodonośny*

Paleozoiczny (karbońsko-dewoński) kompleks wodonośny budują węglanowe skały dolnego karbonu oraz dewonu. Jest on słabo rozpoznany pod względem hydrogeologicznym. W rejonie olkuskim węglanowe utwory karbonu i dewonu nie występują w naturalnych odsłonięciach na powierzchni terenu. Utwory te nawiercono w trakcie badań poszukiwawczych w rejonie pomiędzy Olkuszem a Bolesławiem, w osiowej części pradoliny Przemszy. Zalegają one bezpośrednio pod utworami jury i triasu. Jest to zbiornik wód podziemnych typu szczelinowo-krasowego.

Na podstawie wyników tych badań stwierdzono, że porowatość otwarta matrycy w wapieniach dewońskich mieści się w przedziale od 0,0019 do 0,064, a jej średnia wartość jest równa 0,015. Współczynnik filtracji przestrzeni porowej w wapieniach dewońskich mieści się w szerokim przedziale wartości, tzn. od  $5,32 \times 10^{-12}$  do  $4,71 \times 10^{-8}$  m/s. Średnia geometryczna wartość tego współczynnika jest równa  $2,06 \times 10^{-10}$  m/s. (Motyka, Wilk, 1980).

Zasilanie odbywa się głównie poprzez bezpośrednią infiltrację na wychodniach osadów dewońskich lub poprzez pokrywę osadów czwartorzędowych (w rejonie Zawiercia i Siewierza) (Pacholewski i in., 1994). Poza obszarami wychodni poziom ten zasilany jest z przesączania pionowego wód, głównie z pięter wodonośnych wyżej leżących: czwartorzędu, jury i triasu. Zasilanie odbywa się w rejonach kontaktów erozyjnych, sedymentacyjnych i tektonicznych (Wilk, Motyka, 1977; Motyka, Wilk, 1980).

#### **Opis wymuszonych warunków przepływu wód podziemnych**

Zasadniczy proces odwadniania górotworu w obszarze złóż cynku i ołowiu w rejonie olkuskim rozpoczął się po zakończeniu działań II Wojny Światowej. Było to odwadnianie kopalni „Bolesław” i „Ulisses” zatopionych w okresie okupacji. Poziom odwodnienia wynosił +264 m n.p.m., a dopływ wody do roku 1958 utrzymywał się na poziomie 30–33 m<sup>3</sup>/min. Po

uruchomieniu poziomu +245 m n.p.m. dopływ do kopalni zwiększył się do poziomu 40 m<sup>3</sup>/min., a następnie do początku lat siedemdziesiątych nastąpiło stopniowe zmniejszenie dopływów do około 30 m<sup>3</sup>/min. (Sawicki, 2000).

Eksploatacja złoża w kopalni „Olkusz”, którą rozpoczęto w 1968 roku, wymagała odwodnienia z poziomu +238 m n.p.m., co powodowało maksymalne dopływy do wyrobisk w wysokości około 90 m<sup>3</sup>/min., następnie stabilizację w ilości około 45 m<sup>3</sup>/min.

Budowę kopalni „Pomorzany” rozpoczęto w roku 1973. Poziom odwodnienia wyrobisk górniczych wynosi +180 m n.p.m. Do roku 1976, w wyniku rozcięcia górotworu wyrobiskami eksploatacyjnymi, dopływy do kopalni szybko rosły przekraczając 250 m<sup>3</sup>/min.

Do momentu zakończenia eksploatacji złóż cynku i ołowiu w kopalni „Olkusz-Pomorzany”, system odwodnieniowy działał w oparciu o dwa poziomy odwadniania: + 180 m n.p.m. w rejonie kopalni „Pomorzany” i w rejonie „Olkusz-Podpoziom” oraz + 238 m n.p.m. w rejonie kopalni „Olkusz”. Z poziomu +180 m n.p.m. wody były odpompowywane na powierzchnię poprzez szyby „Dąbrówka”, „Chrobry” i „Mieszko”, a z poziomu +238 m n.p.m. szybami „Stefan” i „Bronisław”. W ostatnich latach dopływ wody do kopalni „Olkusz-Pomorzany” oscylował blisko 250 m<sup>3</sup>/min. Zasadnicze zmiany w ilości dopływającej wody do kopalni „Olkusz-Pomorzany” zależały od wielkości opadów atmosferycznych (Bezkorowajny, i in., 2019).

Wielkości dopływów wody do poszczególnych poziomów i szybów rozkładały się różnorodnie. Do szybu „Dąbrówka” dopływało 100–120 m<sup>3</sup>/min., do szybu „Mieszko” około 50 m<sup>3</sup>/min, do szybu „Chrobry” 50–70 m<sup>3</sup>/min, a szybami „Bronisław” i „Stefan” łącznie 25–30 m<sup>3</sup>/min. Woda pompowana szybami „Dąbrówka” i „Mieszko” była zrzucana do kanału Dąbrówka, który ma ujście do koryta Białej, lewobrzeżnego dopływu Białej Przemszy. Wody pompowane szybem „Chrobry” zrzucane były do Kanału Południowego i dalej korytem rzeki Baby dopływały do rzeki Sztoły.

Długoletni i intensywny proces odwadniania górotworu, związany z działalnością kopalni „Olkusz-Pomorzany” był bardzo znaczący, jednocześnie szczegółowy wpływ oddziaływania odwadniania kopalni na poszczególne piętra wodonośne, jest jednak trudny i niepewny do oceny, ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną i złożone warunki hydrogeologiczne. Wodonośne utwory czwartorzędowe zostały osuszone w strefach bezpośrednich więzi hydraulicznych z węglanowymi skałami triasu, głównie w osiowej partii pradoliny Przemszy w strefach okien erozyjnych. Skomplikowane połączenia wodonośnych utworów jury i triasu są tego przyczyną. Trudno prawidłowo ocenić oddziaływanie drenażu górniczego na stan wód podziemnych w piętrze jurajskim. Jednakże z wieloletnich obserwacji wynika, że drenaż w strefach kontaktów hydraulicznych spowodował zaniki wód w ciekach powierzchniowych oraz w studniach gospodarskich.

Intensywny drenaż wyrobiskami górniczymi olkuskich kopalń rud oraz dużymi ujęciami wody podziemnej w Łazach Będowskich i Zawierciu spowodował zmiany stosunków wodnych w skali regionalnej. Wokół tych dużych ośrodków drenażu w piętrze triasowym wytworzył się lej depresji, którego powierzchnię oceniał Adamczyk (1995) w wielkości 350 km<sup>2</sup>, a Sawicki (2000) nawet w wielkości prawie 700 km<sup>2</sup>. W związku z tym naturalne warunki przepływu wód podziemnych uległy znaczącym przeobrażeniom. Podstawą drenażu piętra triasowego stały się wyrobiska górnicze i studnie wspomnianych ujęć, a w zasięgu leja depresji uległy zasadniczej zmianie pierwotne kierunki przepływu wód podziemnych oraz reżim wodny w ciekach powierzchniowych.

Cieki powierzchniowe na niektórych odcinkach zmieniły swój charakter z drenującego na zasilający, czego dobitnym przykładem jest rzeka Biała Przemsza. Już od końca lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia zaczęła tracić wodę na odcinku pomiędzy Golczowicami a Sławkowem (Prussak, 1981). Późniejsze pomiary przepływu wody w Białej Przemszy w różnych przekrojach hydrometrycznych (Adamczyk, Motyka, 1997; Motyka, Rózkowski, 2003) dowiodły, że ucieczki wody z rzeki Białej Przemszy do podłoża zwiększyły się. Wskutek ucieczek wody do podłoża rzeka ta całkowicie wyschła na zachód od Klucz, na terenie Pustyni Będowskiej. Dopiero po zasileniu jej koryta lewobrzeżnym dopływem rzeki Chechło ponownie w rzece pojawiała się woda. Kolejnym przykładem negatywnych skutków drenażu była rzeka Biała, lewobrzeżny dopływ Białej Przemszy. W 1975 r. nastąpił zanik źródeł tej rzeki, które zlokalizowane były na południowym skraju Pustyni Będowskiej. W czasie odwadniania kopalni do koryta rzeki Białej poprzez kanał Dąbrówka odprowadzane były wody dołowe. Drenaż węglanowych utworów triasu spowodował także zanik źródeł w rejonie Okradzionowa, wypływających z dolomitów diploporowych.

Obniżenie zwierciadła wody w węglanowych skałach triasowych zmieniło również stosunki wodne w innych, kontaktujących z nimi piętrach wodonośnych. W obszarze leja depresji, w strefach bezpośrednich więzi hydraulicznych piętra triasowego z utworami czwartorzędowymi nastąpiło ich osuszenie, co objawiło się zanikiem źródeł, wypływających z piasków czwartorzędowych i wyschnięciem studni wykopanych w tych skałach. Wpływ drenażu górniczego węglanowych skał triasowych na stosunki wodne w piętrze jurajskim, ze względu na słabe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych we wschodniej i południowo-wschodniej części rejonu olkuskiego, jest trudny do określenia. Niemniej jednak w strefach bezpośrednich i pośrednich więzi hydraulicznych wodonośnych pięter jurajskiego i triasowego nastąpiło wyraźne obniżenie się zwierciadła wody w wapieniach malmu, co było przyczyną zaników wody w studniach kopanych w południowo-wschodniej części rejonu olkuskiego na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia. Przypuszczalnie na obszarach, gdzie kontaktują ze sobą

węglanowe skały triasowe i paleozoiczne (karbonu i dewonu) również nastąpiło obniżenie się zwierciadła wód podziemnych w paleozoicznym kompleksie wodonośnym.

### **Proces wyłączenia odwadniania kopalni „Olkusz-Pomorzany”**

Zgodnie z „Oceną hydrogeologiczną i prognozą skutków po zakończeniu odwadniania zakładu górniczego”, opracowaną przez Stowarzyszenie Naukowe im. St. Staszica w Krakowie (Motyka, Czop, 2011), przewidywano, że proces odtworzenia pierwotnych warunków hydrodynamicznych i hydrogeochemicznych poszczególnych pięter wodonośnych, ze szczególnym uwzględnieniem piętra triasowego będzie zjawiskiem długotrwałym, trwającym nawet 40–60 lat.

W związku z likwidacją kopalni „Olkusz-Pomorzany” nastąpiło wyłączenie pomp odwadniających i zaprzestanie jej odwadniania. Po wyłączeniu pomp odwadniających, nastąpiło samozatopienie wyrobisk wodami z dopływu naturalnego. Zwierciadło wody w wyrobiskach i górotworze będzie podnosiło się stopniowo aż do uzyskania równowagi hydrodynamicznej z czasów przed rozpoczęciem odwadniania kopalń w tym rejonie.

Ostatecznymi skutkami zakończenia procesu odwadniania powinny być: wypełnienie się leja depresji i powrót do pierwotnego stanu hydrodynamicznego poszczególnych pięter wodonośnych, zwiększenie się przepływów wód w ciekach powierzchniowych i powrót do pierwotnego charakteru drenującego, odnowienie się źródeł, które zanikły wcześniej wskutek drenażu górniczego, powstanie zalewisk i podtopień w miejscach, gdzie one były przed rozpoczęciem drenażu górniczego oraz na obszarach deformacji powierzchni terenu, spowodowanych działalnością górnictwem.

Dla wodonośnych skał triasowych głównym ośrodkiem drenażu stanie się ponownie dolina Białej Przemszy między Okradzionowem a Sławkowem, a regionalny kierunek przepływu wód podziemnych będzie skierowany ze wschodu, od Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej na zachód ku przełomowej dolinie Białej Przemszy, między Okradzionowem a Sławkowem. Odtworzą się też lokalne ośrodki drenażu, jak np. rzeka Biała czy inne mniejsze ciek powierzchniowe.

W trakcie likwidacji kopalń następują także zmiany hydrogeochemiczne, związane z procesami geochemicznymi, zachodzącymi w strefach oddziaływania drenażu górniczego wskutek zmiany istniejących warunków oksydacyjno-redukcyjnych. Najczęściej jest to proces związany z wietrzeniem chemicznym siarczków żelaza (pirytu i markasytu) w odwodnionym górotworze.

W celu jakościowej ochrony wód podziemnych z różnych poziomów odwadniania w wyrobiskach przewidziano zabudowę szczelnych tam betonowych, a do czasu wyłączenia pomp trwały prace likwidacyjne w wyrobiskach poeksploatacyjnych (Bezkorowajny, i in. 2019).

## 2.5 Eksploatacja rud cynku i ołowiu

---

Historia górnictwa kruszców w rejonie olkuskim, według źródeł pisanych, sięga XII wieku (Siemiradzki, 1912). Z upływem czasu zmieniały się metody eksploatacji. W przybliżeniu do końca XIV wieku eksploatowano złoża znajdujące się powyżej zwierciadła wody. Wydobycie odbywało się metodą odkrywkową, a po wyeksploatowaniu najpłytszych fragmentów złoża pozostałe niżej leżące części udostępniano za pomocą szybków, szybów i chodników. To przejście do eksploatacji podziemnej mogło nastąpić już w początkach XIII wieku. Ten sposób eksploatacji uwarunkowany był poziomem występowania wód podziemnych. Możliwe, że eksploatowano złoża, które były zawodnione okresowo. Wszzechobecna woda uniemożliwiała w wielu przypadkach eksploatację, dlatego roboty górnicze w pierwszej kolejności prowadzono na obszarach, gdzie dolomity kruszconośne wychodziły na powierzchnię terenu, a seria złożowa była powyżej zwierciadła wód podziemnych. W większości przypadków były to wyniesienia terenu otoczone dolinami z ciekami wodnymi.

Wyrobiska górnicze wykonywano o możliwie małym przekroju. Przy prowadzeniu wyrobisk poziomych kierowano się przebiegiem żył rudnych. Po wydobyciu rudy w dość bliskim sąsiedztwie istniejącego szybu zamykano kopalnię i rozpoczynano budowę kolejnego szybu. Wyrobiska sporadycznie zabezpieczano obudową. Minimalne rozmiary chodników oraz odpowiednie profilowanie kształtu stropu i ociosów chodnika gwarantowały względne bezpieczeństwo.

Mniej więcej na początku XV stulecia wyczerpały się ich płytko zalegające zasoby i w związku z tym zaczęto eksploatować rudy zalegające poniżej poziomu wód podziemnych. Wyrobiska odwadniano prostymi metodami, najpierw wynosząc wodę wiaderkami, czy prostymi kołowrotami, a następnie używając kieratów konnych. Z czasem ten sposób okazał się niewystarczający i w XVI wieku zaczęto budować sztolnie odwadniające podziemne wyrobiska górnicze.

Decydujące znaczenie dla rozwoju górnictwa kruszcowego miały sztolnie wykonane w rejonie olkuskim. W przeciągu 70 lat wykonano pięć sztolni odwadniających o łącznej długości chodników głównych prawie 16 km, zbudowano też kanały odkryte (tzw. roznos) i wykonano kilkaset świetlików. Świetliki były pionowymi wyrobiskami łączącymi sztolnię z powierzchnią terenu umożliwiającymi przewietrzanie, odstawę urobku i dostawę materiałów. Pierwszą drążoną sztolnią była sztolnia Starczynowska, zwana też Królewską. W późniejszym okresie wydrążono sztolnię Czajowską zwaną Leśną, Ponikowską, Ostowicką zwaną też Centauryjską i jako ostatnią sztolnię Staropolską nazwana później Pilecką (ryc. 2.1). Dzięki wydrążeniu sztolni,

które pozwoliły obniżyć poziom wód gruntowych rejon olkuski stał się najważniejszym ośrodkiem wydobywania rud i produkcji ołowiu w Polsce.

Do końca XVIII wieku podstawowym przedmiotem eksploatacji była galena, z której otrzymywano ołów i niewielkie ilości srebra. Wydobywanie galmanu było znikome aż do początku XIX wieku, od którego to momentu jego wydobywanie zaczyna być dominujące. Duży wpływ na ożywienie górnictwa miało zastosowanie maszyn parowych do odwadniania kopalń. W drugiej połowie XIX w. opanowano metodę otrzymywania cynku. Rozwijające się hutnictwo cynkowe przyczyniło się do budowy nowych kopalń i zwiększenia wydobywania.

W rejonie Bukowna w pierwszej połowie XX wieku działały duże kopalnie rud galmanowych: Bolesław, Dąbrówka, Józef w Olkuszu Starym, Jerzy w Tłukience, Ujków, Ulisess w Krążku. Niskoprocentowe rudy galmanowe oraz starsze odpady pogórnice były wstępnie wzbogacane przez płukanie (płuczki galmanowe) i kierowane do małych, lokalnych hut. W czasie I Wojny Światowej następuje wyraźny spadek wydobywania rud cynku i ołowiu.

Górnictwo na ziemi olkusko - bolesławskiej trwa nieprzerwanie do lat trzydziestych XX wieku, czasu wielkiego kryzysu gospodarczego, by odnowić się po II Wojnie Światowej w roku 1945. Przed 1939 rokiem, nie prowadzono w szerokim zakresie prac poszukiwawczych i rozpoznawczych za złóżami rud metali nieżelaznych. W okresie okupacji prace geologiczne prowadzone były również w bardzo małym zakresie, bez pozytywnych rezultatów. Stan zasobów szacowany był na ok. 1,5 miliona ton cynku i ołowiu w złożu. W pierwszych latach po II Wojnie Światowej wielkość zasobów nie uległa zmianie, z powodu braku odpowiedniej kadry, sprzętu i środków finansowych. Od 1950 roku rozpoczęto prace poszukiwawcze i rozpoznawcze złóż metali nieżelaznych na szeroką skalę. Było to wynikiem zorganizowania w tym czasie służb geologicznych w kopalniach oraz wykonywanie prac w oparciu o zorganizowane własne Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie, które od 1959 roku należało do Centralnego Urzędu Geologii. W wyniku wieloletnich prac poszukiwawczo-rozpoznawczych odkryto i udokumentowano szereg dużych złóż rud cynkowo-ołowiowych, szczególnie siarczkowych o zawartości metalu (cynk + ołów) około 6%. Odkryto rudę siarczkową w rowie tektonicznym kopalni „Bolesław”, złoża Olkusz-Południe, Pomorzany, Hutki, Sikorka, Krzykawa, Klucze, Laski, Trzebionka-Balin, Miotek i Zawiercie.

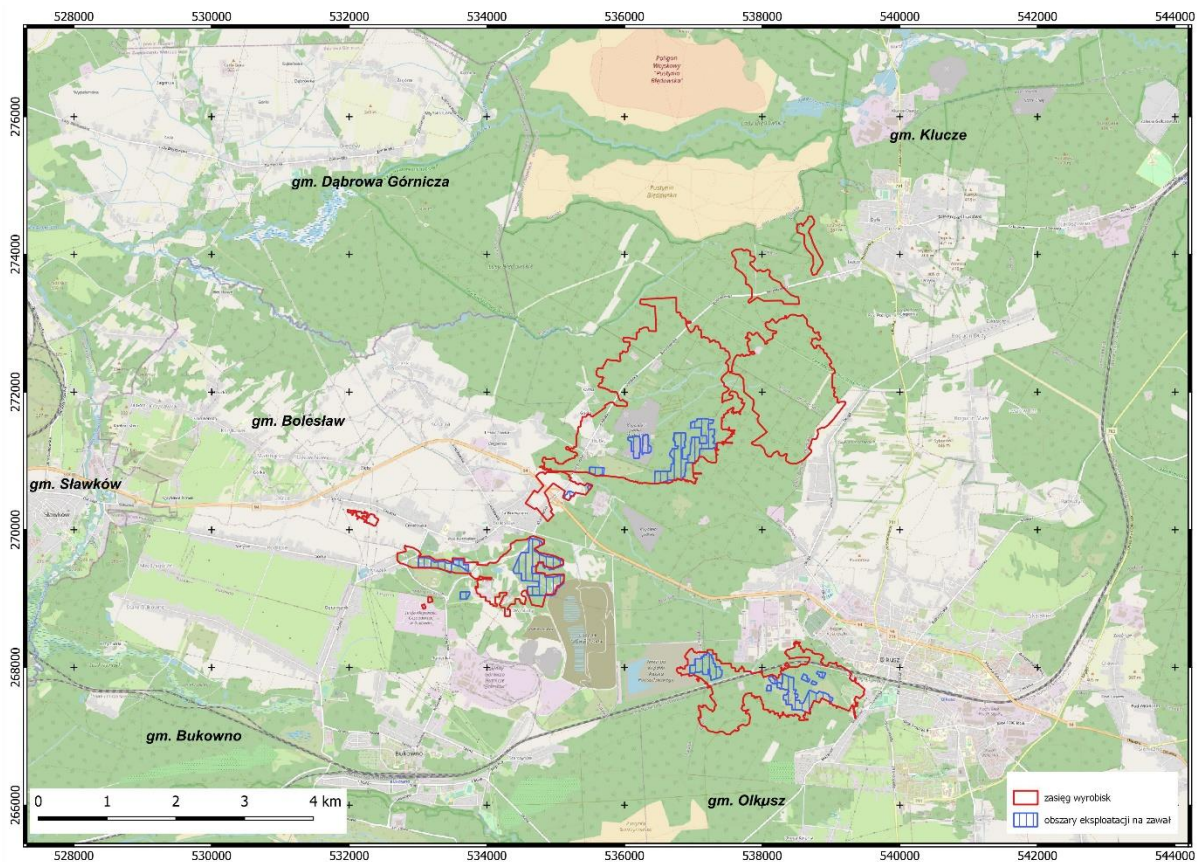
Systemy eksploatacji złóż ulegały zmianom w wyniku zdobywania doświadczeń praktycznych jak również coraz lepszemu wykorzystaniu złoża (ryc. 2.8). Stosowane systemy eksploatacji złóż rud cynkowo-ołowiowych:

- system zabierkowy z zwałem stropu lub podsadzką hydrauliczną;
- system filarowo – komorowy z zwałem stropu lub podsadzką hydrauliczną;

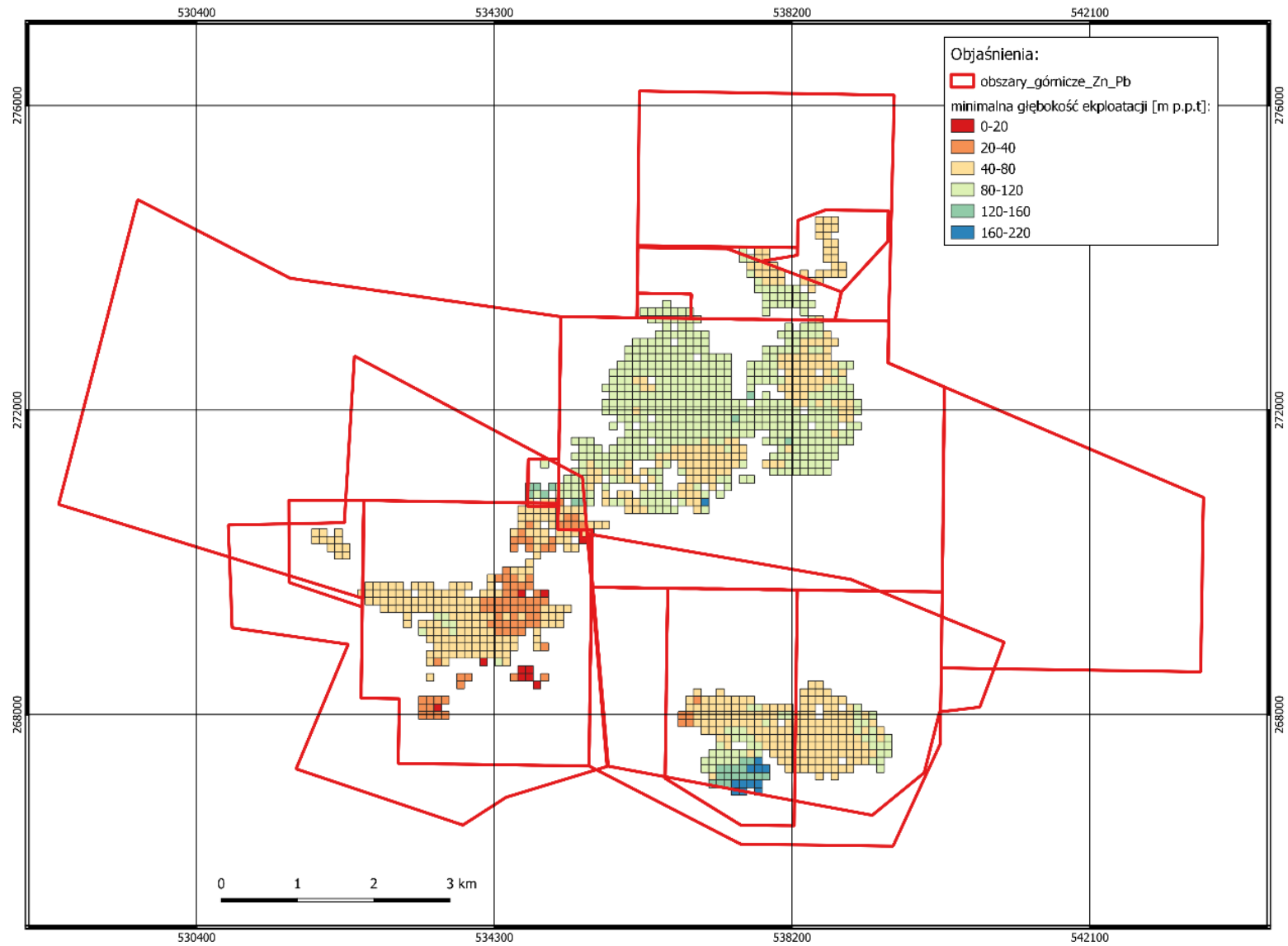
- system komorowy z zwałem stropu lub podsadzką hydrauliczną;
- system chodnikowo – podpółkowy z zwałem stropu.

Pierwszym zastosowanym systemem eksploatacji był system zabierkowy z zwałem stropu, który stosowany był w każdych warunkach górniczo - geologicznych. Z czasem opracowano system zabierkowy z podsadzką hydrauliczną. Ze względu na małą wydajność systemów zabierkowych nie znalazły szerszego zastosowania, gdyż nie stwarzały możliwości pełnej mechanizacji procesu produkcji. W latach siedemdziesiątych wprowadzono do stosowania system filarowo - komorowy, który pozwolił na wprowadzenie pełnej mechanizacji procesu produkcyjnego. Zastosowanie tego systemu pozwoliło na znaczący wzrost wydajności pracy, koncentrację robót, wybieranie złóż o znacznym nachyleniu oraz zmiennej miąższości. System komorowy stosowany był do wybierania złóż o znacznej miąższości, gdzie wysokość komór można było zmieniać w zależności od zasięgu mineralizacji złoża. W celu odzyskania resztek złoża pozostawionego w trakcie eksploatacji stosowano system chodnikowo- podpółkowy.

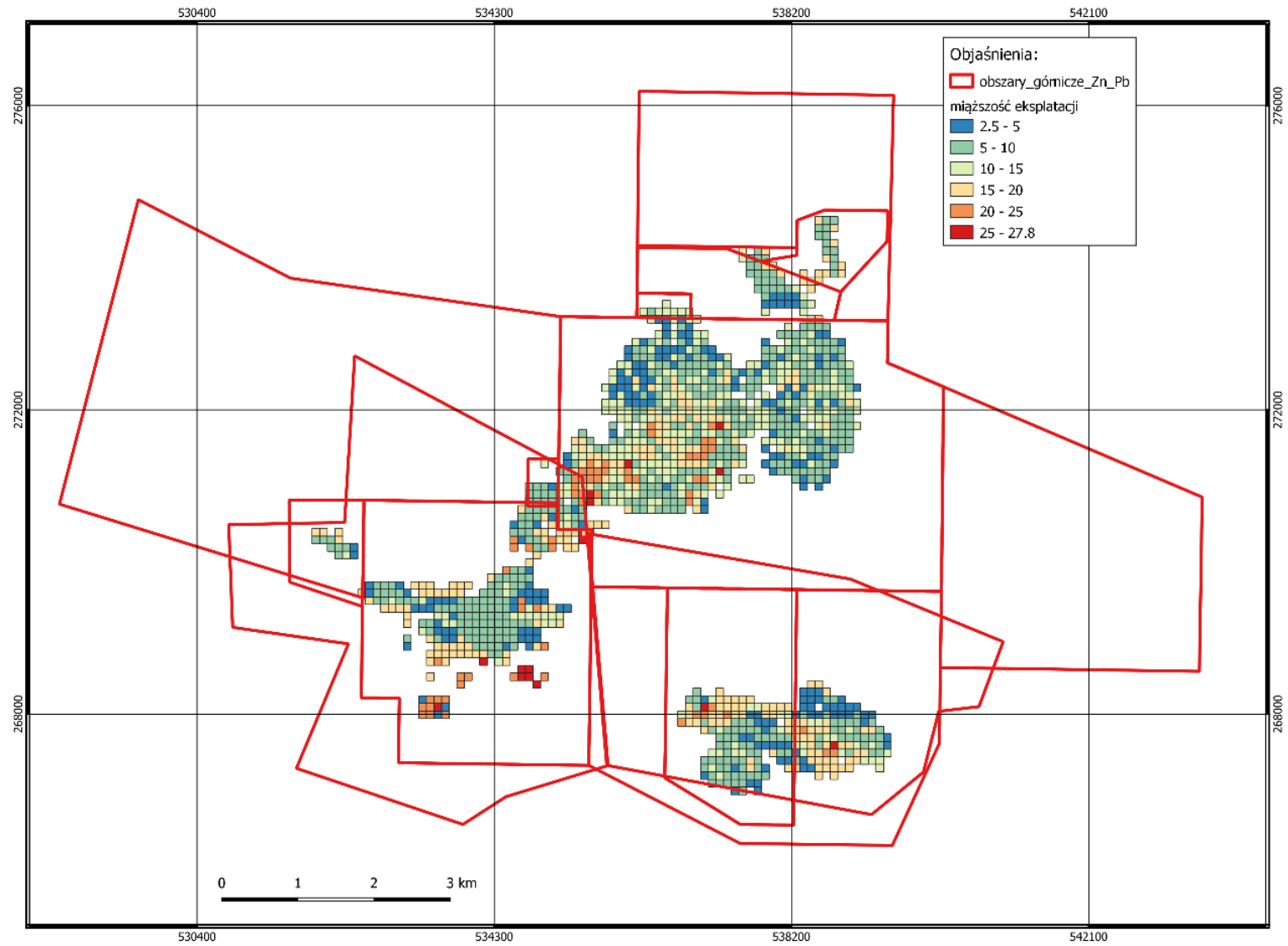
Mapy przedstawiające zasięgi eksploatacji (ryc. 2.8, 2.9, 2.10) dają wyobrażenie o szerokim jej zakresie na tym obszarze. Poza zasięgiem eksploatacji przedstawione zostały również głębokość zalegania wyeksploatowanego złoża oraz miąższość wyeksploatowanej rudy.



Ryc. 2.8. Mapa zrobów i rodzaju eksploatacji złóż (wg dokumentacji archiwalnych)



Ryc. 2.9. Mapa głębokości eksploatacji (wg dokumentacji archiwalnych)



Ryc. 2.10. Mapa miąższości wyeksploatowanych złóż (wg dokumentacji archiwalnych)

Eksploracja systemem komorowym miała miejsce na każdym złożu (ryc. 2.8), ale największy zasięg miała na złożu Klucze III w północnej części obszaru, nieco mniejszy na złożu Krzykawa na zachodzie. Największy obszar eksploatacji z wypełnieniem wyrobisk podsadzką był na obszarze dawnej kopalni Olkusz-Pomorzany, ale znaczne obszary zajmował również na obszarach dawnych kopalń Olkusz i Bolesław. Eksploatacja systemem na zawał stropu zajmuje dużo mniejszy obszar na terenie każdej z kopalń.

Największa głębokość eksploatacji występuje w południowym obszarze kopalni Olkusz osiągając ponad 200 m (ryc. 2.9). W obszarze kopalni Olkusz-Pomorzany przeważają obszary eksploatacji na głębokości 80–120 m. Najpłycej złoża eksploatowano w obszarze kopalni Bolesław – przeważają głębokości 20–80 m.

Miąższość eksploatowanego złoża w większości przypadków wynosiła 5–10 m, rzadziej 10–15 m, w nielicznych obszarach zawiera się w przedziale 15–25 m. Wymienione miąższości eksploatacji zlokalizowane były na wszystkich trzech byłych kopalniach: Olkusz-Pomorzany, Bolesław i Olkusz (ryc. 2.10).

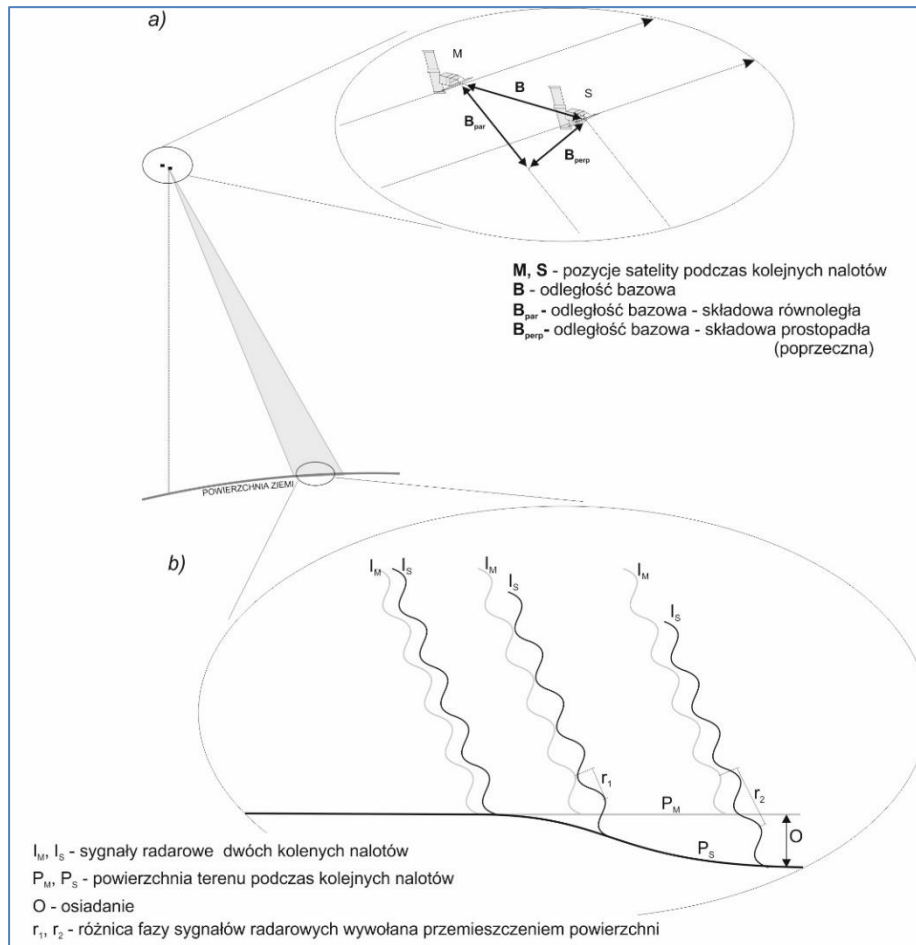
Wielowiekowa eksploatacja i przeróbka rud w obszarze śląsko-krakowskim doprowadziła do znacznego przekształcenia krajobrazu i górotworu.

### 3 ANALIZY InSAR

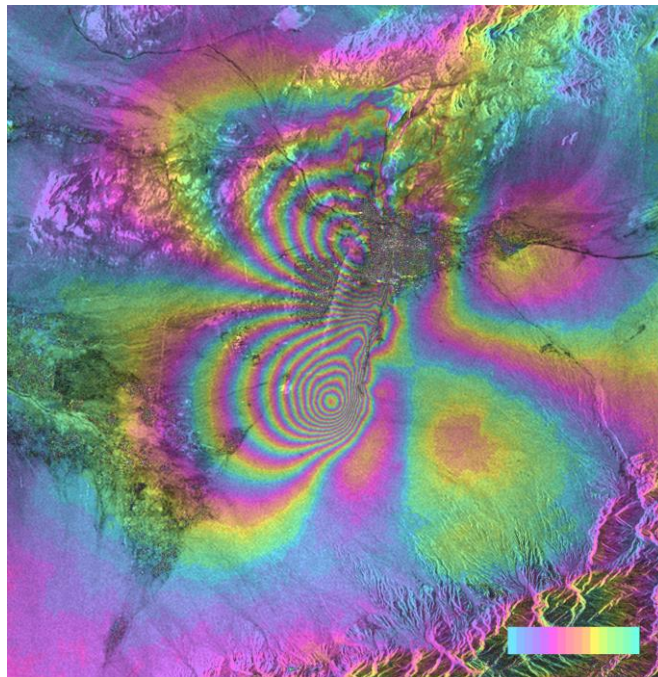
---

#### 3.1 METODYKA PRZETWORZEŃ INSAR

Interferometria SAR (InSAR) to technika służąca do uzyskiwania informacji dotyczących względnych danych wysokościowych (Goldstein et al., 1988). Wykorzystuje ona różnice fazy sygnałów radarowych pochodzących z dwóch obserwacji mikrofalowych typu SAR (Synthetic Aperture Radar) tego samego obszaru (ryc. 3.1, 3.2). Dobry przegląd podstaw metodyki, potencjału i obszarów zastosowań InSAR można znaleźć w szeregu prac o charakterze podstawowym: (Bamler and Hartl, 1998; Bürgmann et al., 2000; Massonnet and Feigl, 1998; Perski, 1999). Tradycyjna technika InSAR opiera się na wykorzystaniu interferogramów tj. rastrowych zbiorów przedstawiających różnice fazy pomiędzy dwoma rejestracjami SAR. Nazywana jest ona metodą D-InSAR (Differential – InSAR) dla odróżnienia od technik wykorzystujących jednoczesne rejestracje przy użyciu dwóch anten SAR (Bistatic-InSAR). Podsumowując, D-InSAR wykorzystuje rejestracje SAR wykonywane sekwencyjnie za pomocą jednej anteny SAR w czasie kolejnych przelotów satelity nad tym samym obszarem.



Ryc. 3.2. Geometria i zasada działania D-InSAR

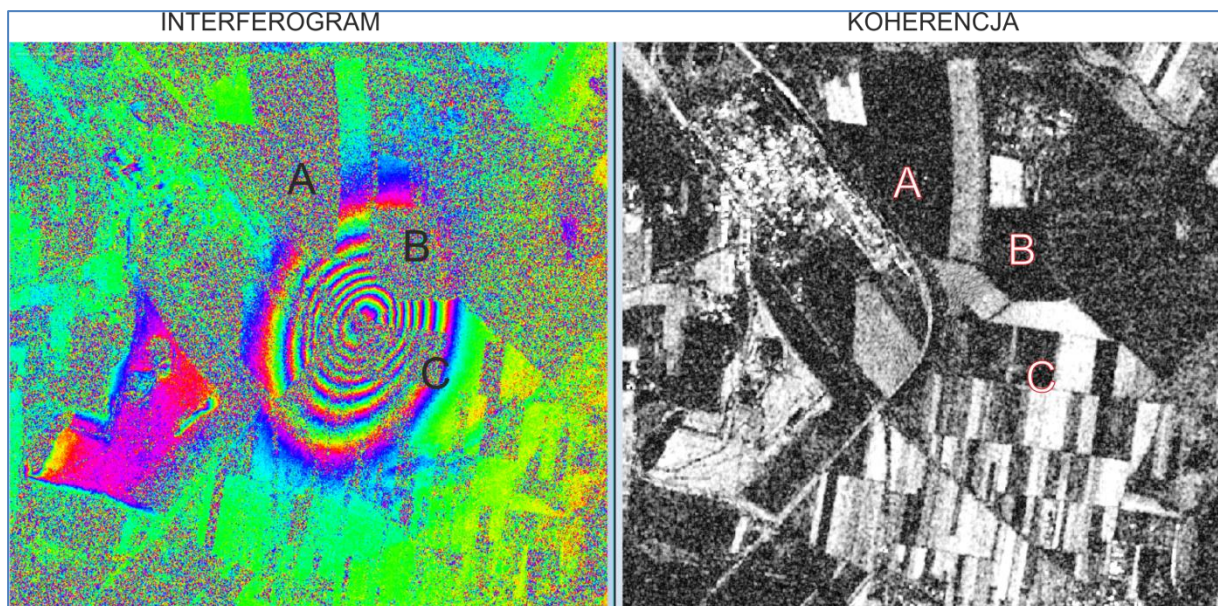


Ryc. 3.3. Przykład interferogramu. Rejon miasta Bam (Iran) dotkniętego trzęsieniem ziemi 26.12.2003 r. Prążki interferometryczne przedstawiają deformację powierzchni terenu powstałą w wyniku tego trzęsienia. Dane SAR z satelity ENVISAT (Perski & Hanssen 2006). Jedna sekwencja prążków (od niebieskiego do zielonego) odpowiada przemieszczeniu o ok 3 cm w kierunku od satelity. Największa deformacja (11 prążków) odpowiada 33 cm obniżenia terenu

Przetwarzanie interferometryczne danych SAR polega na obliczeniu różnic fazy na podstawie dwóch zobrażeń SAR. Rezultatem tego przetwarzania jest obraz różnic fazy zwany **interferogramem**. Interferogramy można wizualizować w postaci sekwencji barw odpowiadających różnicom fazy zwanych prążkami interferometrycznymi (ryc. 3.3).

Na degradację jakości interferogramu wpływają błędy atmosfery, szum oraz tzw. koherencja. Jest to wielkość współczynnika korelacji zespolonych wartości sygnału SAR. Największy problem stanowi tzw. dekoherencja czasowa, która związana jest ze zmianami właściwości elektromagnetycznych lub/i pozycją obiektów odbijających fale wewnątrz komórki rozdzielczości czy typem rozpraszania (Perski et al. 2006). Koherencja określa bezpośrednio stopień zgodności fazy sygnałów SAR. Jej wielkość jest zależna bezpośrednio od zakłóceń fazy interferogramu (Cattabeni et al. 1994; Zebker & Villasenor 1992).

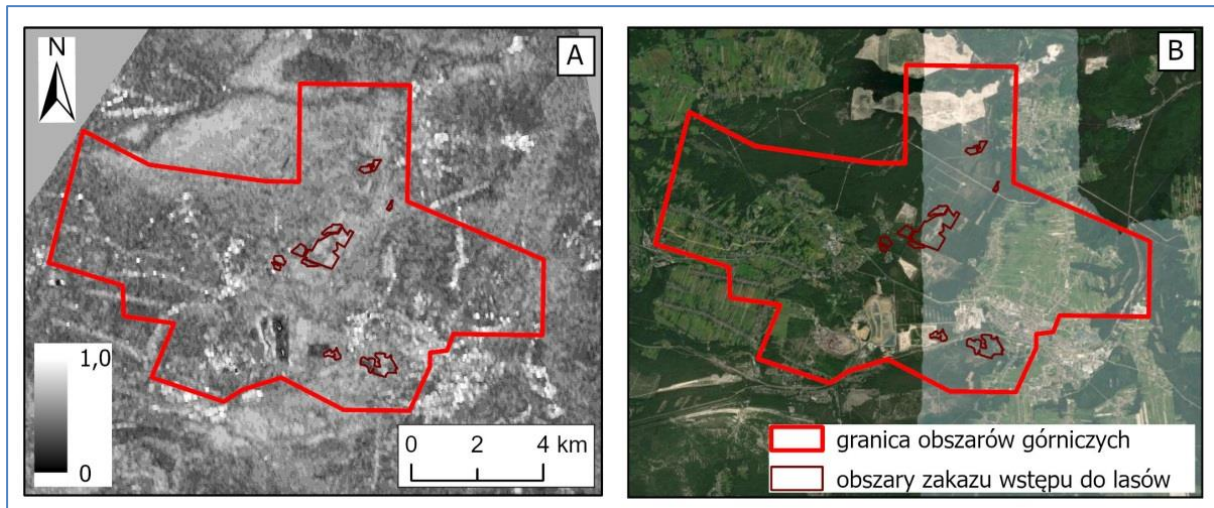
Wartość koherencji warunkuje bezpośrednio czytelność generowanego interferogramu: dla obszarów o wysokiej koherencji możliwa jest interpretacja zmian fazy interferogramu (jako np. efektu deformacji, różnic topografii itp.) jak również dalsze jego wykorzystanie w metodyce serii czasowych; dla obszarów o niskiej bądź zerowej koherencji interpretacja interferogramu jest utrudniona bądź często niemożliwa, gdyż pierwotna faza sygnału uległa degradacji przez czynniki techniczne lub środowiskowe (ryc. 3.3).



Ryc. 4.3. Wpływ koherencji na jakość interferogramu. Interferogram i koherencja dla obszaru górniczego KWK Bogdanka obliczony na podstawie wysokorozdzielczych danych TerraSAR-X. Zazumione obszary A, B, C o niewidocznych prążkach interferometrycznych na interferogramie odpowiadają obszarom o słabej koherencji (ciemne)

Na ryc. 3.4 przedstawiono obraz koherencji 46-dniowego interferogramu satelity ALOS dla obszaru Olkusz w porównaniu z obrazem ortofotomapy. Tereny o wysokiej koherencji odpowiadają głównie terenom zabudowanym, przemysłowym bądź terenom odkrytym. Tereny

leśne, jak również łąki, pastwiska i grunty orne cechują się niską koherencją. Obraz koherencji dla obszaru badawczego ilustruje miejsca, gdzie wyniki przetworzeń InSAR będą możliwe do uzyskania. Na obszarach pokrytych roślinnością, które stanowią większą część terenu badawczego, informacja o deformacjach za pomocą techniki InSAR nie będzie możliwa do uzyskania, lub będzie mało wiarygodna.



**Ryc. 3.5 Obraz koherencji (A) dla obszaru badań na podstawie 46-dniowego interferogramu danych ALOS w zestawieniu z ortofotomapą (B). Wysoka koherencja (jasne obszary na obrazie lewym) odpowiadają głównie terenom zabudowanym. Tereny o małej koherencji (ciemne obszary na obrazie lewym) odpowiadają terenom pokrytym roślinnością**

Największe ograniczenia metody InSAR wiążą się z tzw. dekorrelacją czasową (stopniową utratą koherencji w czasie), która związana jest ze zmianami właściwości elektromagnetycznych lub/i pozycją rozpraszacza wewnątrz komórki rozdzielczości (Cattabeni et al., 1994; Zebker & Villasenor 1992). Kolejnym ograniczeniem metody InSAR jest występowanie tzw. artefaktów atmosferycznych. Zróżnicowana zawartość pary wodnej w troposferze a także jej turbulentny charakter są źródłem dodatkowej składowej fazowej sygnału nazywanej atmosferycznym obrazem fazy. W przypadku pojedynczego lub jedynie kilku interferogramów dla danego obszaru efekty atmosferyczne są bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do usunięcia, stąd uzyskiwane dokładności pomiarowe są często dużo niższe od oczekiwanych (Hanssen, 2005). Z powodu wymienionych ograniczeń praktyczne użycie metody InSAR jest w większości przypadków zredukowane do danych o małych bazach czasowych, przypadków badania zjawisk o dużych przyrostach deformacji zachodzących w czasie pomiędzy kolejnymi rejestracjami, badania obszarów pozbawionych roślinności, przypadków, gdy oba obrazy użyte do konstrukcji interferogramu zostały zarejestrowane w tych samych bądź bardzo zbliżonych warunkach atmosferycznych.

Ominięciem tych ograniczeń są metody bazujące na analizie serii czasowych danych SAR. Celem tych metod jest odtworzenie historii deformacji danego obszaru w oparciu o analizę serii

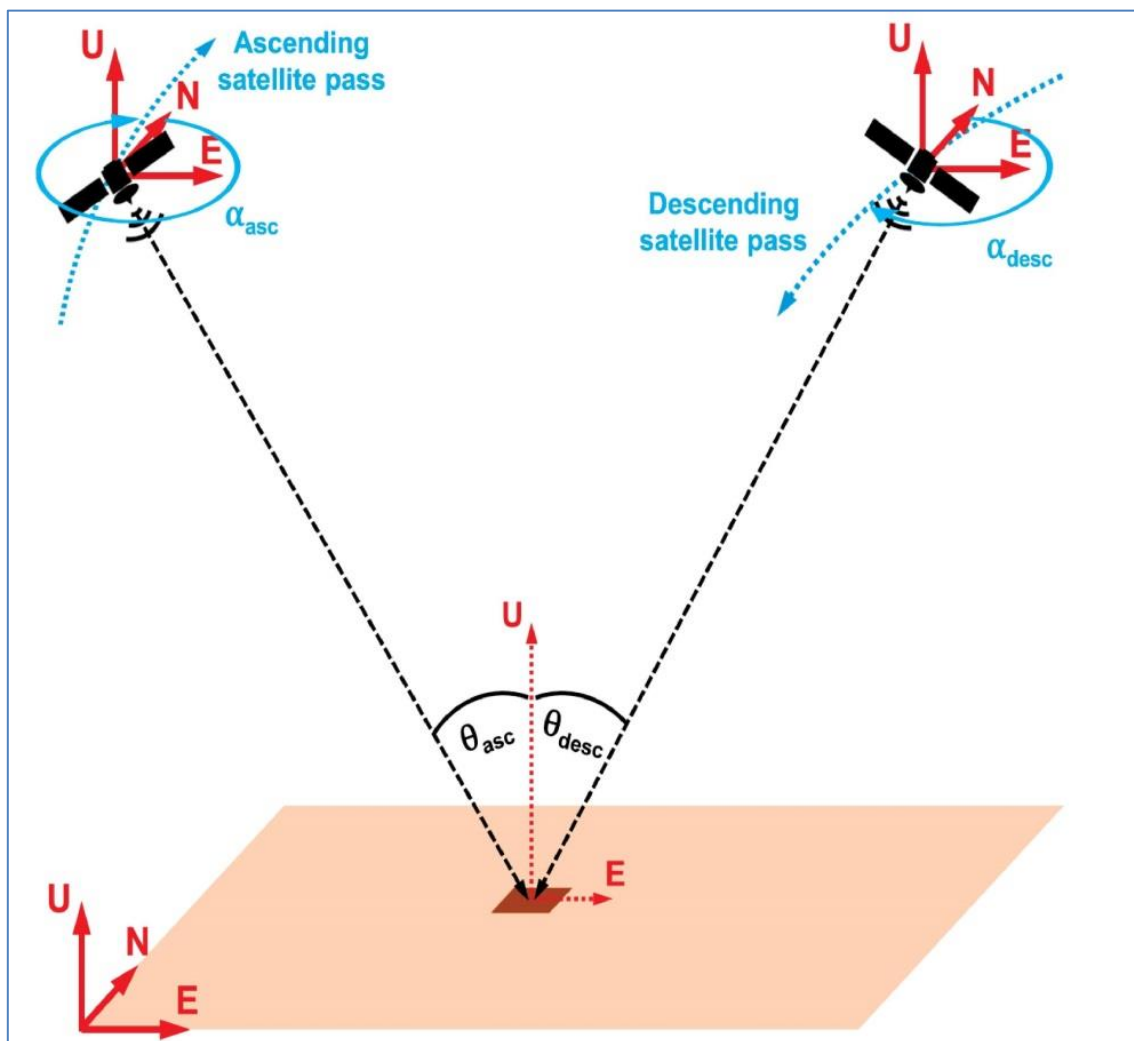
czasowych interferogramów. Takie podejście, zapewniające redundancje danych umożliwia dekompozycję fazy interferometrycznej na składowe i wyznaczenie przyrostów deformacji z bardzo wysoką dokładnością (w granicach nawet 1mm/rok). Serie czasowe interferogramów zawierają sporo obszarów, jak i całych interferogramów, o niskich wartościach koherencji interferometrycznej. Aby móc takie dane wykorzystać należy z nich wyseparować piksele zachowujące wysoką koherencję dla całej serii lub jej części. Piksele o wysokiej koherencji są to tzw. rozpraszacze stabilne (z ang. Persistent Scatterers, PS). W rzeczywistości są to obiekty fizyczne, których odbicie dominuje dla danego piksela. Piksele PS charakteryzują się bardzo stabilną w czasie fazą sygnału radarowego, praktycznie niewrażliwą na zmiany geometrii obrazowania oraz warunki atmosferyczne. Mogą nimi być dachy i narożniki budynków, fragmenty różnego rodzaju konstrukcji (mostów, ogrodzeń, itp.), wysokie słupy telegraficzne czy latarnie oraz specjalnie w tym celu konstruowane reflektory (Perissin et al. 2006). Na terenach pozbawionych obiektów infrastruktury rozpraszacze stabilne stanowią np. wychodnie skał. Właściwości PS omówiono szczegółowo w (Perski et al. 2006).

Metoda przetwarzania Persistent Scatterer Interferometry (PSI) służy do wyznaczania wielkości deformacji na podstawie analizy wieloczasowej serii danych SAR. Wykorzystuje ona właściwości rozpraszaczy stabilnych (PS). Była ona pierwszą opracowaną i wdrożoną w praktyce metodą analiz wieloczasowych SAR (Ferretti et al., 1999). Podstawowym warunkiem prawidłowego przeprowadzenia dekompozycji sygnału i wyłonienia składowej odpowiadającej za deformację jest odpowiednia liczba obserwacji, stąd wymagane co najmniej 20 interferogramów. Tak duża liczba obserwacji umożliwia dokładne wyznaczenie modelu deformacji oraz modelu obrazu atmosfery (APS). Należy podkreślić, że w metodzie PSI, podobnie jak w przypadku InSAR mamy do czynienia z wyznaczeniem wartości deformacji o charakterze względnym, tak w czasie, jak i przestrzeni. Na wstępie przetwarzania konieczny jest wybór tzw. sceny referencyjnej, będącej jednocześnie odniesieniem czasowym dla wszystkich pozostałych obserwacji. Wyboru tego dokonuje się w taki sposób, aby bazy czasowe i geometryczne pomiędzy sceną referencyjną i pozostałymi były jak najmniejsze.

Kluczowym elementem metody PSI jest wykrycie rozpraszaczy stabilnych PS a następnie wyodrębnienie informacji fazowej dla tych właśnie punktów. Jednym z najistotniejszych ograniczeń tej metody pomiarowej jest brak możliwości zaplanowania rozmieszczenia punktów pomiarowych nazywanych stabilnymi rozpraszaczami. Lokalizacja ich zależy od właściwości obiektów znajdujących się na terenie. Wyniki przetwarzania ściśle zależą od koherencji. W konsekwencji wszelkie gwałtowne zmiany w charakterystyce odbicia sygnału w obrębie analizowanej serii czasowej powodują utratę koherencji a tym samym informacji o ewentualnych przemieszczeniach. Zmiany charakterystyki odbicia mogą być powodowane przez szereg

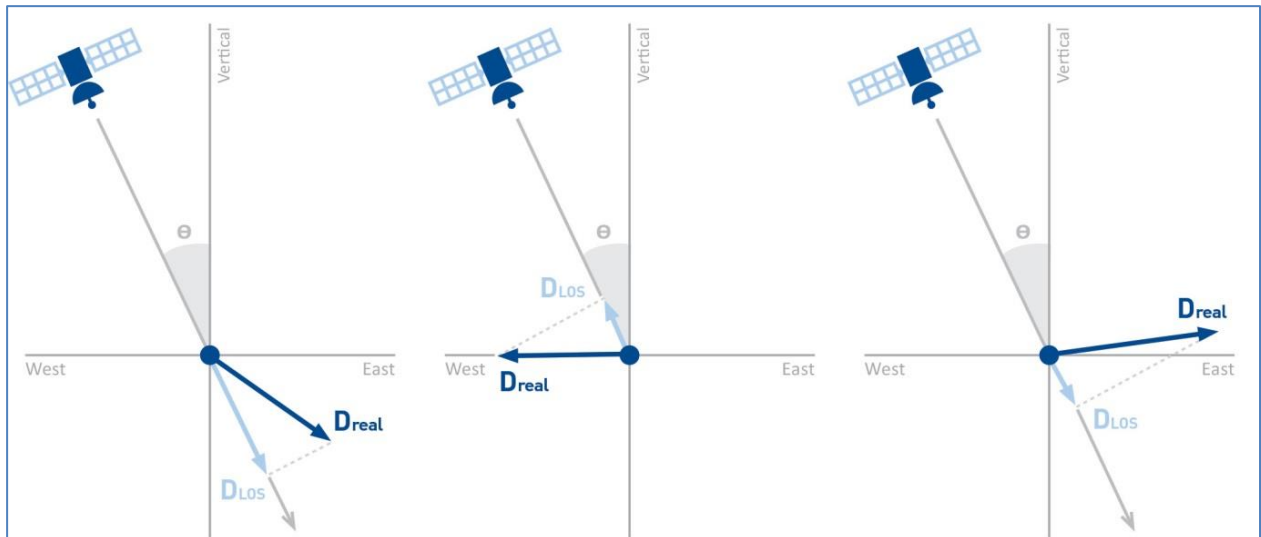
czynników takich jak: wzrost roślinności, zmiany ulistnienia, zmiany wilgotności, pojawianie się i zanikanie pokrywy śnieżnej. Do zmian środowiskowych wywołujących utratę koherencji zaliczyć można również roboty ziemne, prace budowlane i rozbiórkowe a także pojawianie się zapadlisk. Najlepszą koherencją, a tym samym największą gęstością punktów charakteryzują się obszary pozbawione roślinności – wychodnie skalne, odkrywki a w warunkach Polski przede wszystkim tereny zurbanizowane, przemysłowe oraz szlaki komunikacyjne.

Wynikowe pomiary deformacji powierzchni terenu są ograniczone do jednowymiarowej (1D) geometrii widoku wzdłuż kierunku propagacji sygnału radarowego satelity, *line-of-sight* (LOS). Geometria „widzenia” satelity LOS jest określona przez kąt padania  $\theta$ , ang. *incidence angle* (kąt między lokalnym zenitem a wektorem „patrzenia” satelity) oraz kąt kursu satelity  $\alpha$ , ang. *satellite heading*. Obserwacje LOS są wykonywane w kierunku prostopadłym do kursu satelity (ryc. 3.5). Dane mogą być pozyskiwane w dwóch geometriach obserwacyjnych – orbity wschodzącej (ang. *ascending*), kiedy satelita porusza się z południa na północ oraz orbity schodzącej (ang. *descending*), kiedy satelita porusza się z północy na południe.



Ryc. 3.5. Schemat geometrii obrazowania SAR (Fuhrmann i Garthwaite, 2019)

Należy mieć na uwadze, iż wyniki pomiaru ograniczone do kierunku LOS będą stanowić przybliżenie rzeczywistych deformacji, gdyż ruchy powierzchniowe zachodzą na ogół w trzech wymiarach przestrzennych (tj. wschód (E), północ (N) i góra (U)). Oznacza to, że analizy InSAR uzyskane w pojedynczej geometrii obserwacyjnej nie są w stanie w pełni uchwycić wielkości i kierunku ruchów powierzchniowych (ryc. 3.6).



Ryc. 3.6. Przykład odwzorowania rzeczywistych deformacji (strzałka  $D_{real}$ ) na kierunek LOS (strzałka  $D_{LOS}$ ), źródło: <https://site.tre-altamira.com/insar/>

Wynikiem przetwarzania PSI jest wektorowy zbiór punktów PS, którym przypisane są wartości średniej prędkości ruchu w kierunku LOS obliczonej względem punktu referencyjnego oraz serie czasowe z względnymi wartościami przemieszczeń obliczonymi dla każdej daty pozyskanego obrazu z okresu rejestracji.

Metoda PSI najlepiej sprawdza się do monitorowania powolnych zmian ciągłych, których linia trendu przyrostu przemieszczenia będzie zbliżona do liniowego. Podstawowym warunkiem prawidłowego przeprowadzenia obliczeń w metodzie PSI jest odpowiednia liczba obserwacji, stąd wymaganie co najmniej 20 interferogramów. Narzuca to konieczność monitorowania danego obszaru podczas każdego przelotu satelity, np. w okresie rocznym lub kilkuletnim.

### EUROPEAN GROUND MOTION SERVICE

European Ground Motion Service (EGMS) należy do grupy produktów programu Copernicus służącego do monitorowania powierzchni lądów, a jego wdrożenie powierzono Europejskiej Agencji Środowiska (EEA).

EGMS dostarcza spójnych, regularnych, znormalizowanych, zharmonizowanych informacji dotyczących naturalnych i antropogenicznych ruchów powierzchni terenu w Europie, niezależnie od granic administracyjnych państw, z milimetrową dokładnością. Przemieszczenia są

wyznaczane na podstawie analiz szeregów czasowych satelitarnych danych radarowych Sentinel-1 z wykorzystaniem metod interferometrii radarowej:

<https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/european-ground-motion-service>

Serwis udostępnia dane trzech poziomów przetworzenia:

**Podstawowy:** Mapy prędkości w kierunku obrazowania satelity (line-of-sight) z orbit wschodzącej i schodzącej oddzielnie dla każdego punktu pomiarowego. Produkty podstawowe dowiązane są do lokalnego punktu referencyjnego;

**Skalibrowany (produkt L2b):** Mapy prędkości w kierunku obrazowania satelity (line-of-sight) z orbit wschodzącej i schodzą oddzielnie w odniesieniu do modelu referencyjnego pochodzącego z danych szeregów czasowych globalnych systemów nawigacji satelitarnej. Skalibrowane produkty są bezwzględne, nie odnoszą się już do lokalnego punktu odniesienia;

**Orto (produkt L3):** Składowe ruchu (poziome i pionowe) dowiązane do referencyjnego modelu geodezyjnego. Produkty Orto są generowane dla siatki o boku 100 m.

Dla obszaru badawczego „Trzebinia” zostały pobrane dane poziomu „Orto” ilustrujące deformacje w kierunku poziomym oraz pionowym w siatce 100 m. Każdy z tych pikseli (punktów stabilnych rozpraszaczy) ma przypisaną wartość średniej prędkości ruchu w podanym kierunku w jednostkach mm na rok oraz wartości szeregów czasowych przemieszczeń w milimetrach pomiędzy każdym pozyskanym obrazem.

Dodatkowo pobrano dane poziomu „Skalibrowany” orbity wschodzącej i schodzącej. Prezentują one deformacje w kierunku obrazowania satelity, a więc nie przeliczone na łatwe w interpretacji wektory deformacji pionowe i poziome, ale odchylone od kierunku pionowego o 29.1° - 46.0°.

### 3.2 WYKORZYSTANE ZESTAWY DANYCH INSAR DO ANALIZY DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU W OBSZARZE OLKUSKIM

Do analizy deformacji na obszarze Olkusza, zostały wykorzystane darmowe dane Europejskiej Agencji Kosmicznej. W szczególności wykorzystano sceny:

- z satelitów ERS-1/2 SAR IM Single Look Complex Image, pobrane poprzez ESA User Service Portal Dissemination Service, <https://esar-ds.eo.esa.int/>;
- z satelity Envisat ASAR Image Mode Single Look Complex Level 1, pobrane poprzez ESA User Service Portal Dissemination Service, <https://esar-ds.eo.esa.int/>;
- z satelity Sentinel-1A/B Level-1 Single Look Complex, pobrane poprzez serwis NASA Earth Observation Data, <https://search.asf.alaska.edu/>;

- wyniki przetworzeń danych Sentinel-1A/B udostępnione poprzez serwis Copernicus European Ground Motion Service (EGMS), [EGMS \(copernicus.eu\)](https://egms.copernicus.eu);
- z satelity ALOS, PALSAR Fine Beam Single polarization (FBS) (HH) SLC, pobrane poprzez ESA User Service Portal Dissemination Service, <https://esar-ds.eo.esa.int/>;
- z satelity ALOS, PALSAR Fine Beam Double polarization (FBD) (HH/HV) SLC, pobrane poprzez ESA User Service Portal Dissemination Service, <https://esar-ds.eo.esa.int/>;

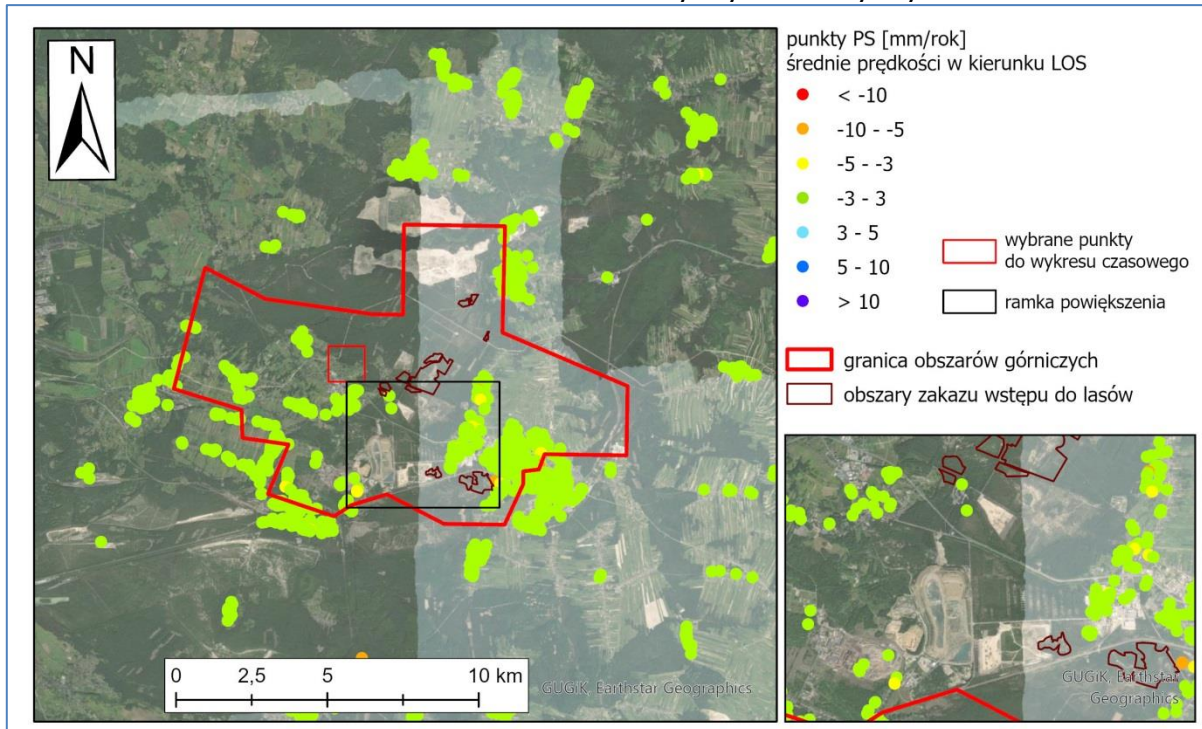
Szczegółowa charakterystyka przetworzonych i wykorzystanych do analizy zestawów danych SAR została przedstawiona w tabeli 3.1. Zestawy danych zostały przetworzone w technice PSI przy użyciu oprogramowania ENVI SARscape oraz ESA SNAP. Wyniki przetwarzania zostały przedstawione dla każdego zestawu oddzielnie w poniższych podrozdziałach raportu.

**TABELA 3.1. CHARAKTERYSTYKA WYKORZYSTANYCH ZESTAWÓW DANYCH SAR**

	Nazwa zestawu/ orbital track	Geom. obserwacyjna	Zakres czasowy	Liczba scen w zestawie	Przetw. orzenie	Kąt $\theta$ [st.]	Liczba PS	Pow. zestawu [km <sup>2</sup> ]	Śr. gęstość punktów PS [no./km <sup>2</sup> ]
1	ERS_451	DES	1995/06/15-2000/12/01	28	PSI				
2	ERS_222	DES	1995/05/30-2000/12/20	23	PSI				
3	Envisat_451	DES	2003/03/21 – 2010/08/06	21	PSI				
4	Sentinel_102	ASC	2021/01/02-2021/12/22	59	PSI				
5	Sentinel_102	ASC	2021/12/22 - 2023/08/26	79	PSI				
6	Sentinel_102	ASC	2022/01/03 – 2023/08/26	50	PSI				
7	Sentinel_51	DES	2022/01/12 – 2023/07/30	46	PSI				
8	EGMS_L2b_051	DES	06/02/2015 - 19/12/2021	348	PSI	40			
9	EGMS_L2b_102	ASC	09/02/2015 - 22/12/2021	362	PSI	33			
10	EGMS_L3_Up	Vert.	05/01/2016 – 10/12/2021	362	PSI	nd			
11	EGMS_L3_EW	Horiz.	05/01/2016 - 10/12/2021	362	PSI	nd			
12	ALOS_FBS_624	ASC	2006/12/21 – 2011/01/01	8	DInSAR				
13	ALOS_FBD_624	ASC	2007/06/23 – 2010/07/01	10	DInSAR				

### 3.3 WYNIKI INSAR

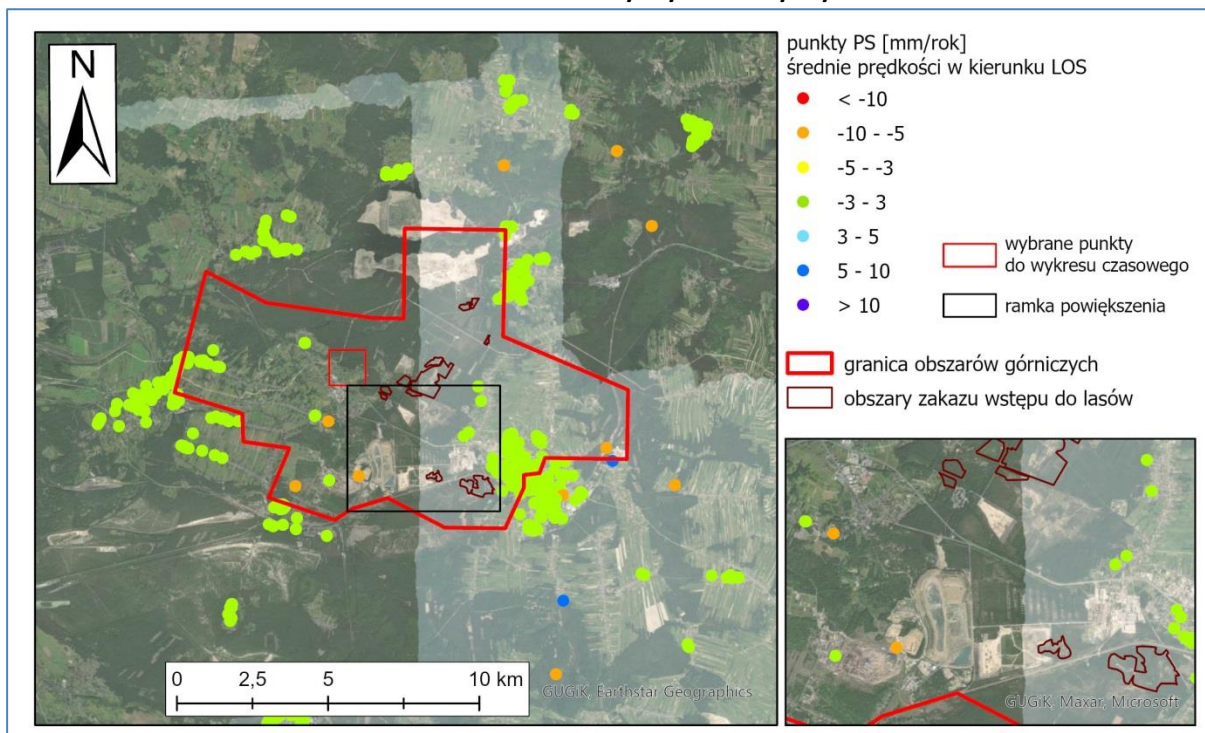
#### 3.3.1. Zestaw ERS track 451 okres 1995/06/15-2000/12/01



Ryc. 3.7. Wyniki przetworzenia PS dla danych ERS track 451. Okres 1995-2000

Nie zarejestrowano przemieszczeń.

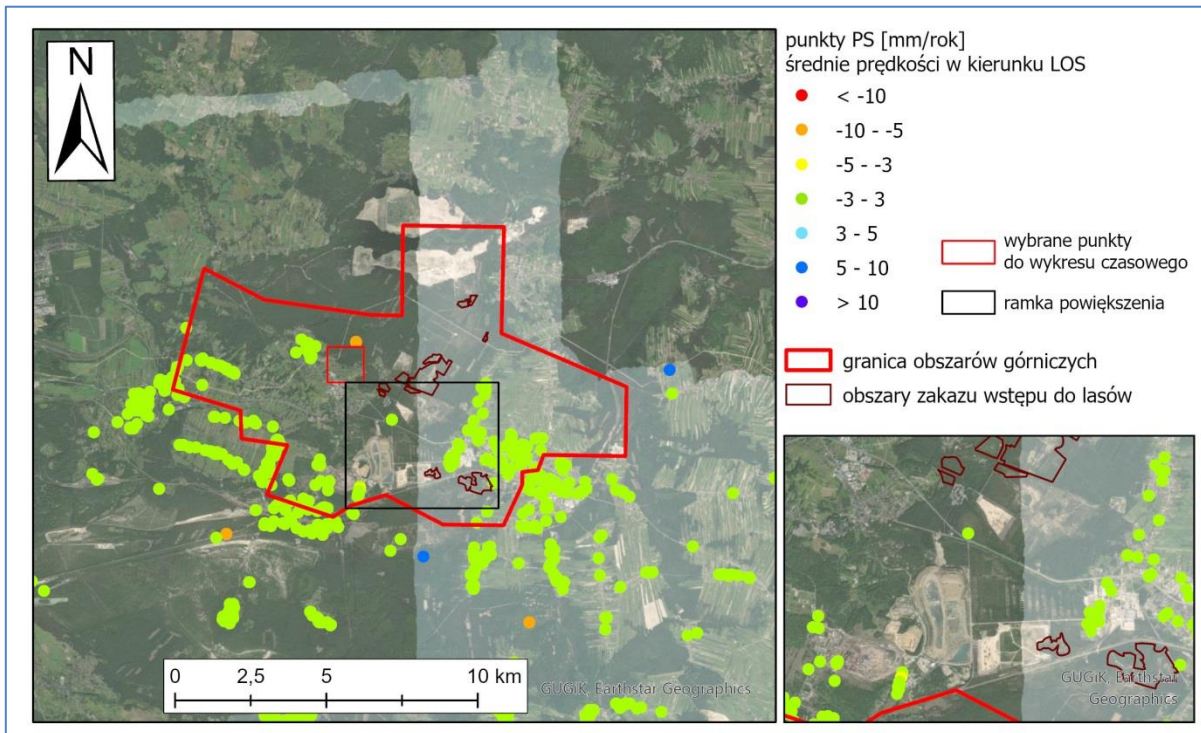
#### 3.3.2. Zestaw ERS track 222 okres 1995/05/30-2000/12/20



Ryc. 3.8. Wyniki przetworzenia PS dla danych ERS track 222. Okres 1995-2000

Nie zarejestrowano przemieszczeń.

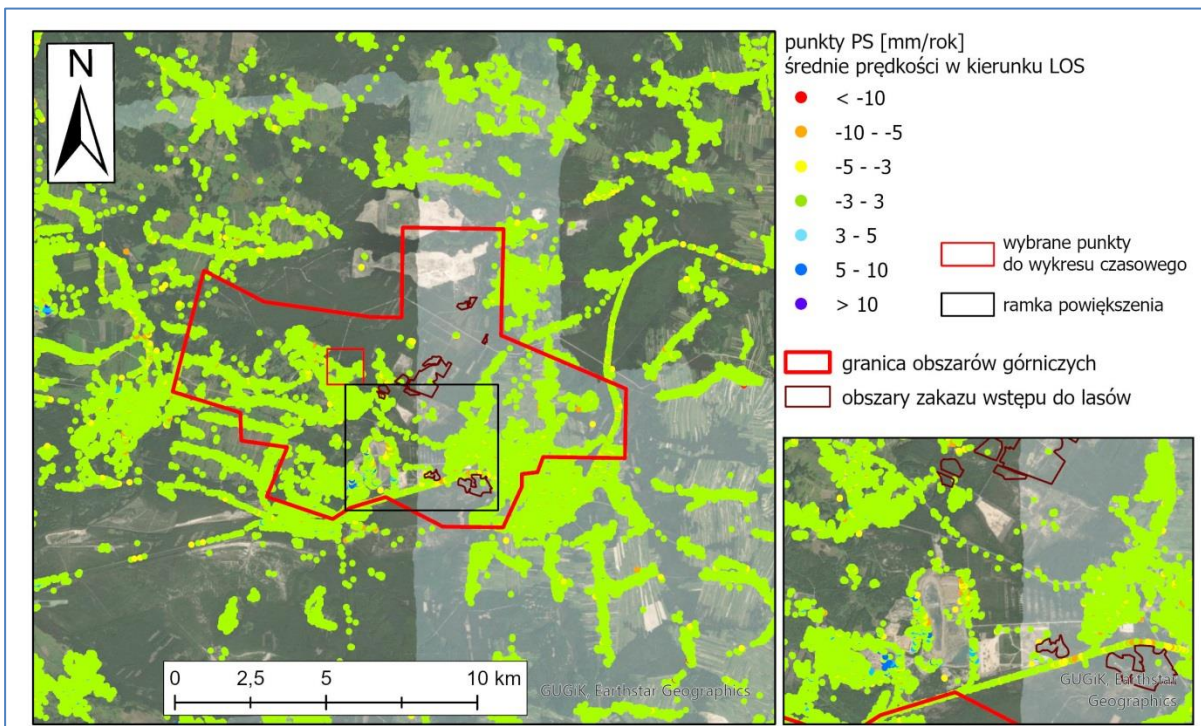
### 3.3.3 Zestaw Envisat track 451 okres 2003/03/21 – 2010/08/06



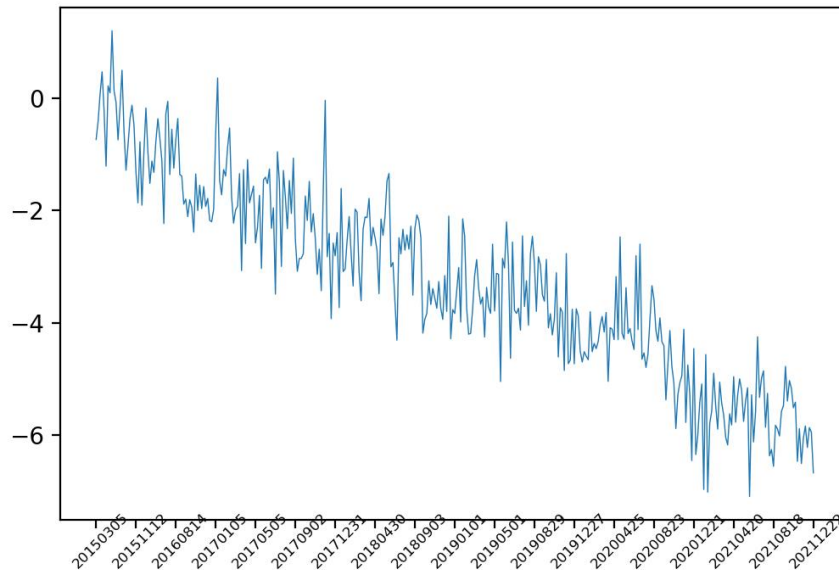
Ryc. 3.9. Wyniki przetworzenia PS dla danych Envisat track 451. Okres 2003-2010

Nie zarejestrowano przemieszczeń.

### 3.3.4. Zestaw EGMS\_L2b\_102 okres 09/02/2015 - 22/12/2021



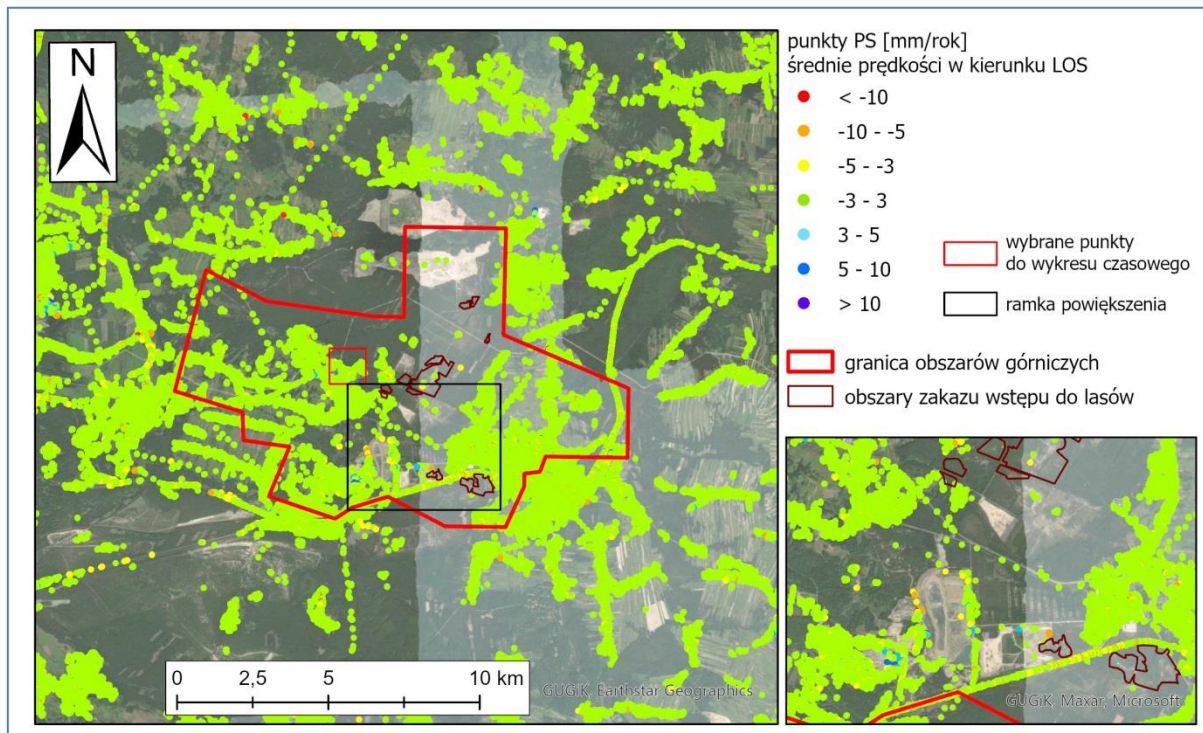
Ryc. 3.10. Wyniki przetworzenia EGMS w kierunku LOS, track 102. Okres 2015-2021



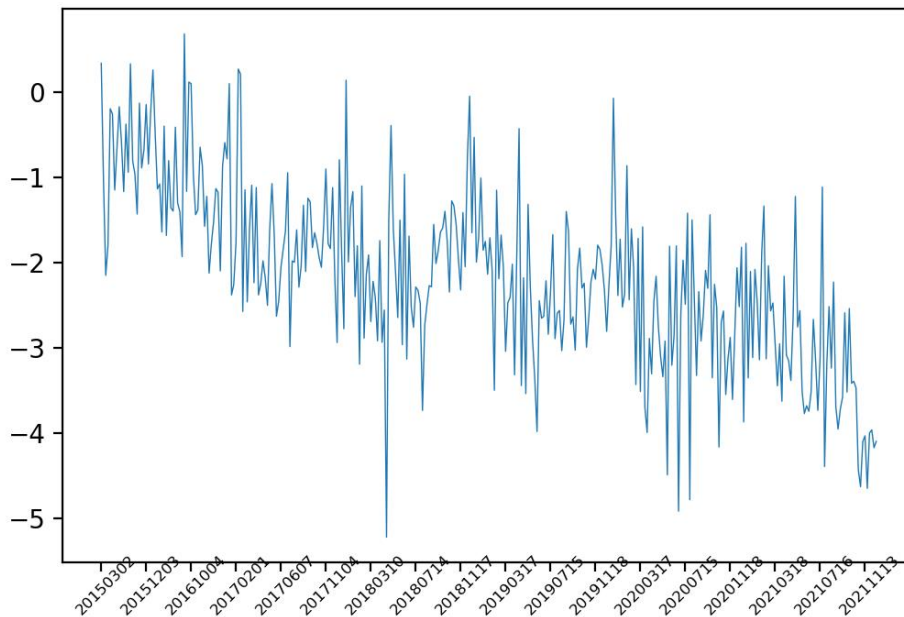
Ryc. 3.11. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.10)

Dane dla okresu 2015-2021 w geometrii ascending wykazują stabilność na obszarze badawczym. Pojedyncze punkty na których zarejestrowano osiadanie lub podnoszenie związane są przyrostem lub ubytkiem mas w obrębie hałdy po górniczej (ramka z powiększeniem po prawej stronie ryc. 3.10). Na wykresie czasowym wybranych punktów pośrodku obszaru badań widać trend lekko osiadający, który pod koniec okresu przetworzenia (w roku 2021) zmniejsza nachylenie.

### 3.3.5. Zestaw EGMS\_L2b\_51 okres 06/02/2015 - 19/12/2021



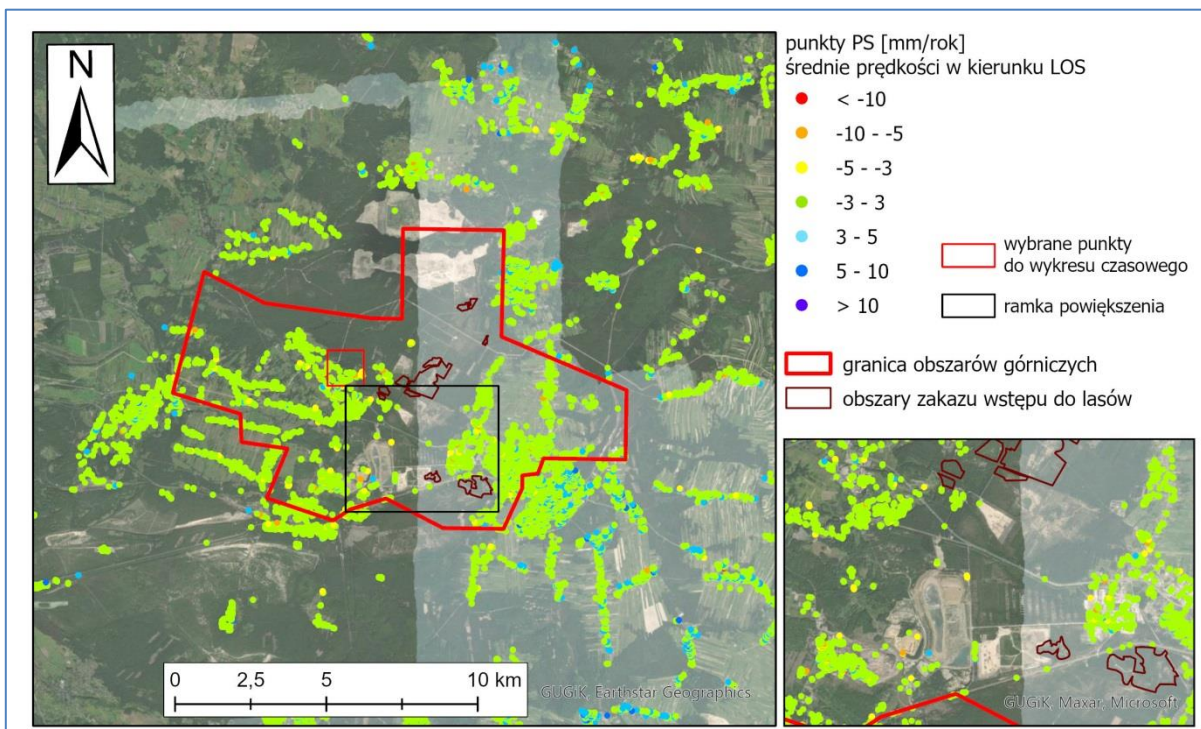
Ryc. 3.12. Wyniki przetworzenia EGMS w kierunku LOS, track 51. Okres 2015-2021



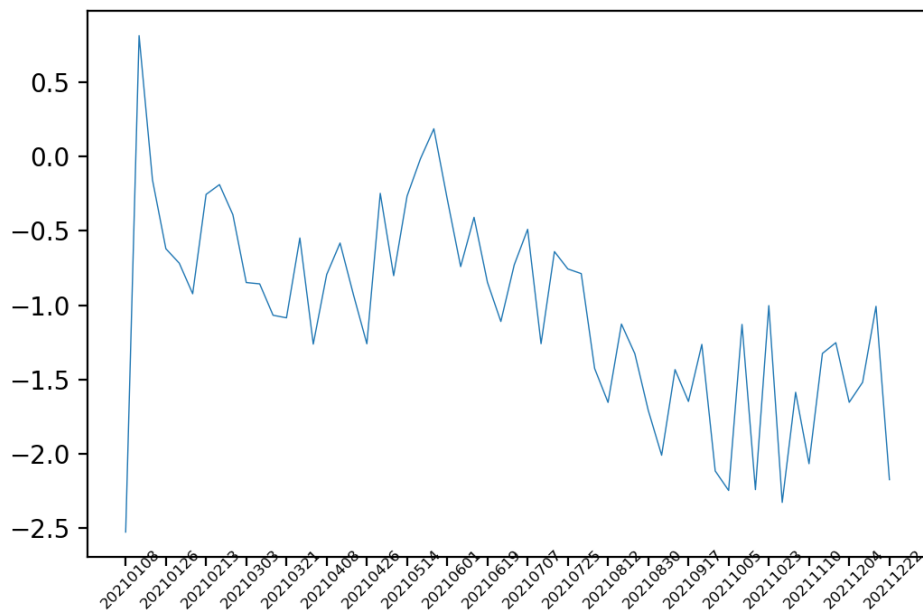
Ryc. 3.13. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.12)

Dane dla okresu 2015-2021 w geometrii descending również wykazują stabilność, podobnie jak dane w geometrii ascending. Pojedyncze punkty na których zarejestrowano osiadanie lub podnoszenie związane są przyrostem lub ubytkiem mas w obrębie hałdy po górniczej. Na wykresie czasowym wybranych punktów pośrodku obszaru badań widać trend lekko osiadający.

### 3.3.6 Zestaw Sentinel track 102 okres 2021/01/02-2021/12/22



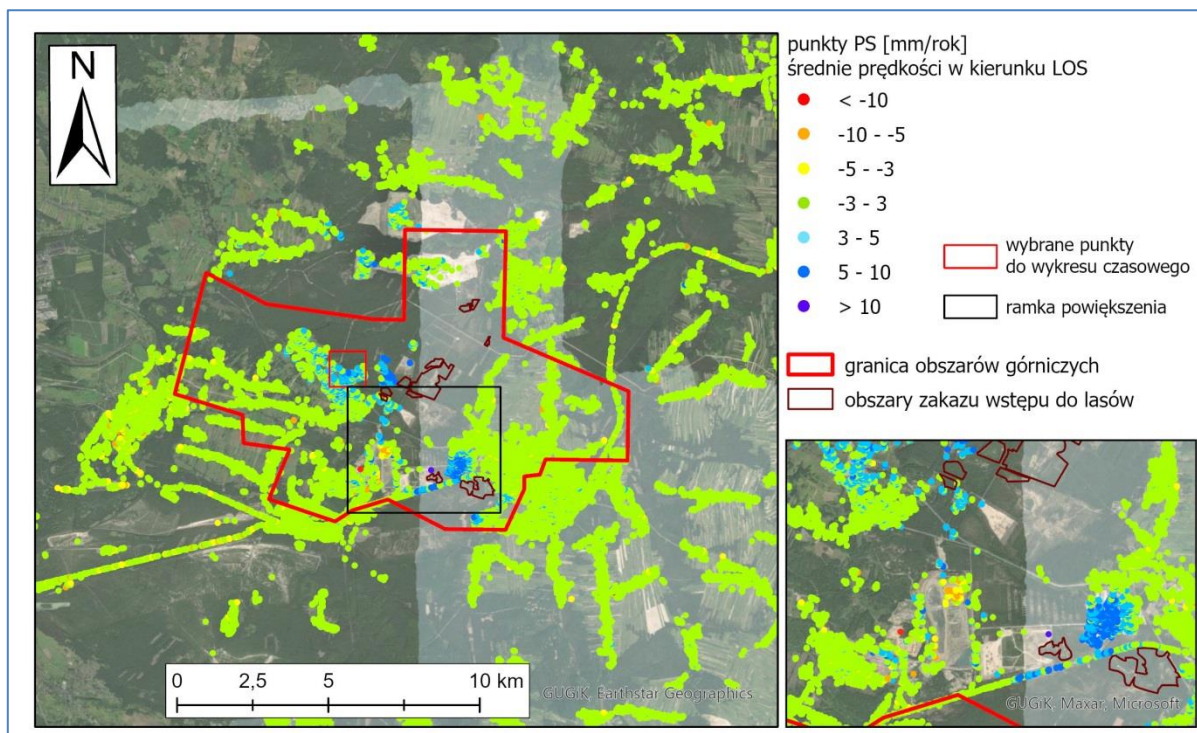
Ryc. 3.14. Wyniki przetworzenia Sentinel track 102. Okres 2021



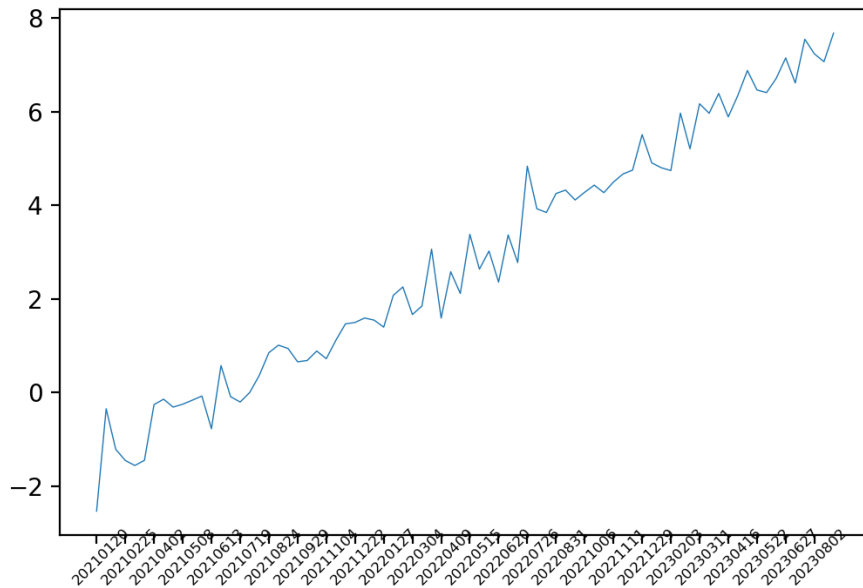
Ryc. 3.15. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.14)

Dane przedstawiają przetworzenie tych samych scen, co dla zestawu EGMS Sentinel track 102, ale tylko dla roku 2021. Przetworzenie miało na celu bardziej szczegółowe zbadanie deformacji, które miały miejsce tylko w roku 2021. Wykres czasowy zmian położenia wybranych punktów na środku badanego obszaru wykazuje stabilność i brak wyraźnego trendu przemieszczeń, podobnie jak większość punktów na całym obszarze.

### 3.3.7. Zestaw Sentinel track 102 okres 2021/12/22 -2023/08/26



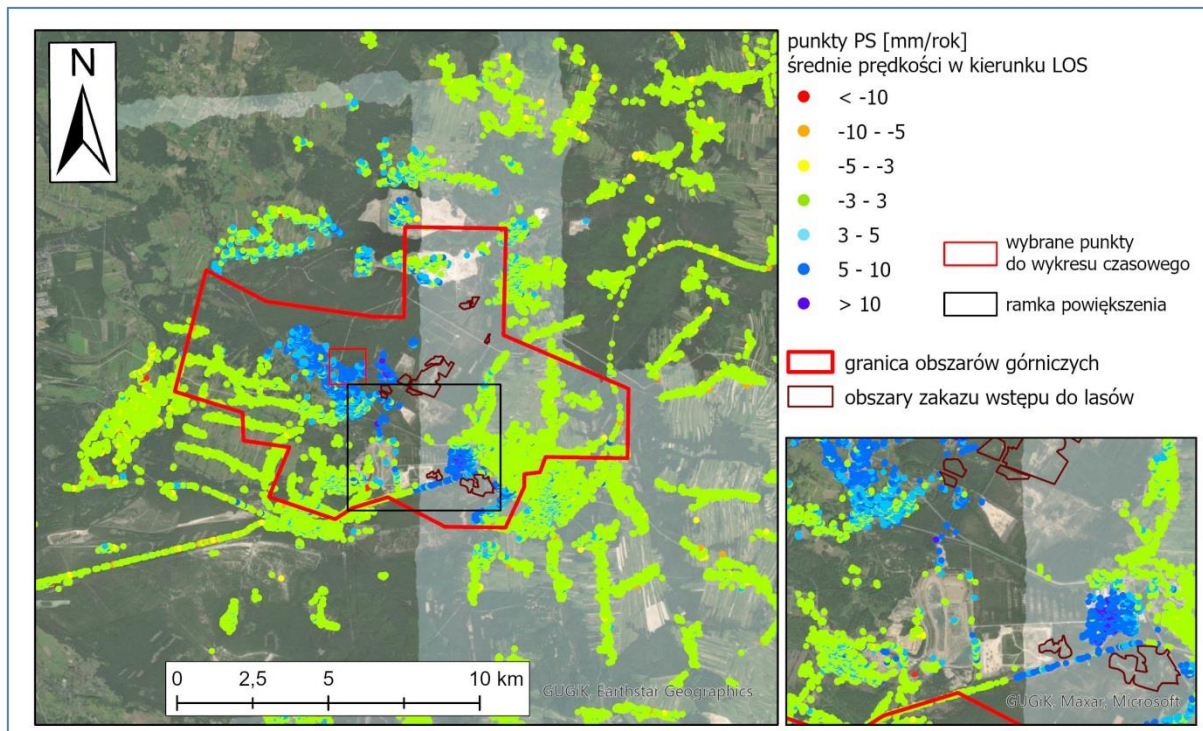
Ryc. 3.16. Wyniki przetworzenia Sentinel track 102. Okres 2021 - 08.2023



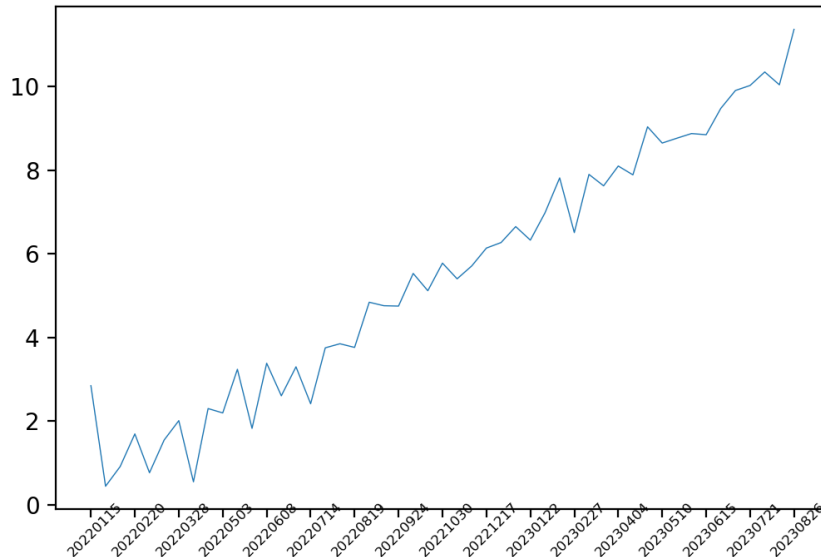
**Ryc. 3.17. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.16)**

Dane przedstawiają przetworzenie tych samych scen, co dla zestawu EGMS Sentinel track 102, ale tylko dla okresu 2021 – połowa 2023. Przetworzenie miało na celu bardziej szczegółowe zbadania deformacji, które miały miejsce w okresie zamknięcia obszarów górniczych. Wykres czasowy zmian położenia wybranych punktów na środku badanego obszaru wykazuje niewielkie podnoszenie. Obszar niewielkiego podnoszenia widoczny jest w środkowej części badanego rejonu. Punkty wykazujące ruch dodatni formują się w grupę w kształcie elipsy.

### 3.3.8. Zestaw Sentinel track 102 okres 2022/01/03 – 2023/08/26



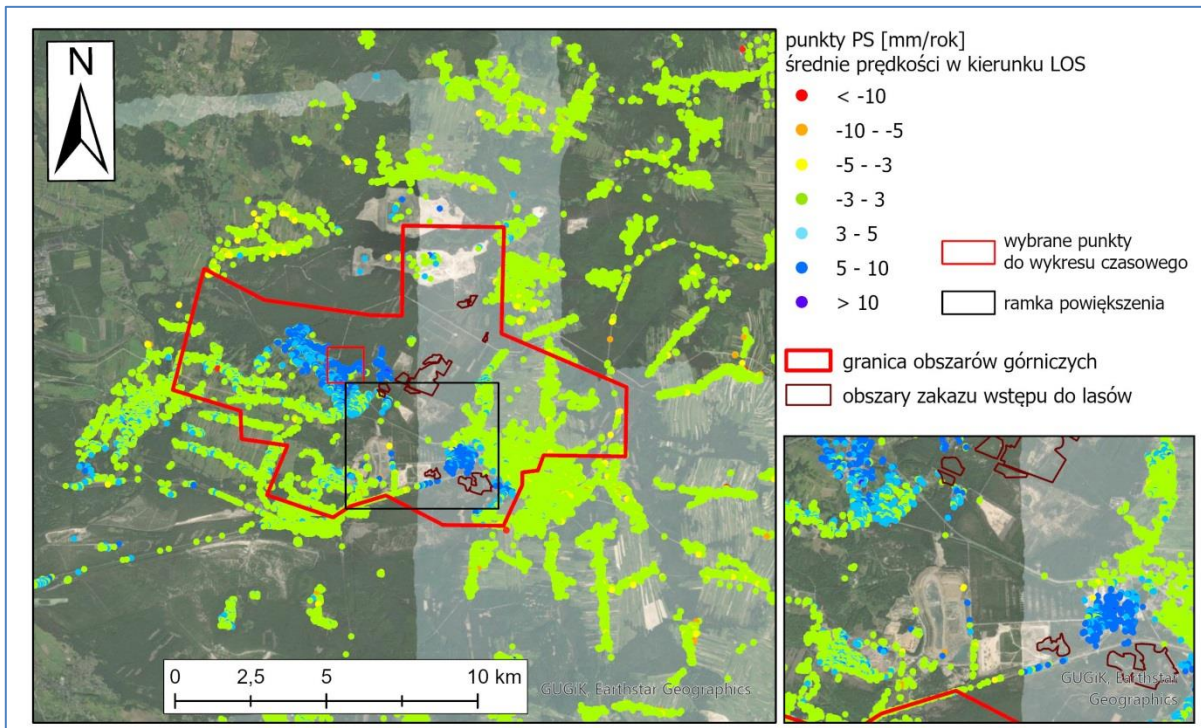
**Ryc. 3.18. Wyniki przetworzenia Sentinel track 102. Okres 2022 – 08.2023**



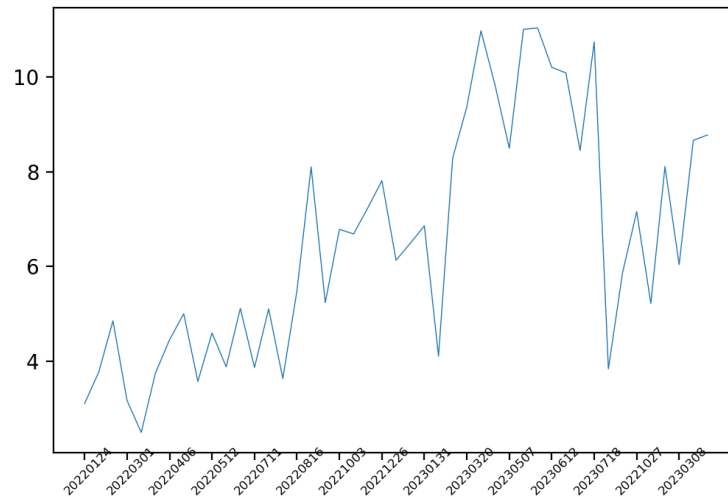
Ryc. 3.19. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.18)

Dane przedstawiają przetworzenie tych samych scen, co dla zestawu EGMS Sentinel track 102, ale tylko dla okresu 2022 – połowa 2023. Przetworzenie miało na celu bardziej szczegółowe zbadania deformacji, które miały miejsce w okresie po zamknięciu obszarów górniczych. Wykres czasowy zmian położenia wybranych punktów na środku badanego obszaru wykazuje niewielkie podnoszenie. Obszar niewielkiego podnoszenia widoczny jest w środkowej części badanego rejonu. Punkty wykazujące ruch dodatni formują się w grupę w kształcie elipsy, mają wartości nieznacznie większe niż dla okresu łącznie z 2021 (2021-08.2023) i obejmują większy obszar.

### 3.3.9. Zestaw Sentinel track 51 okres 2022/01/12 – 2023/07/30



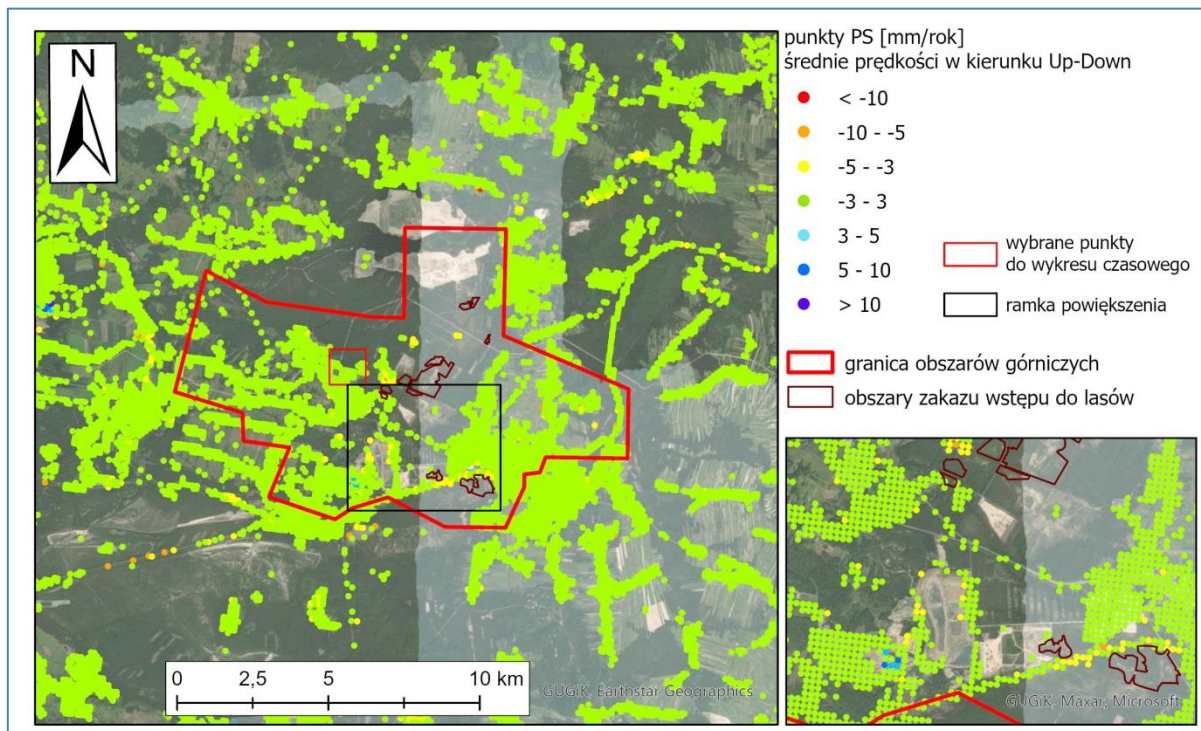
Ryc. 3.20 Wyniki przetworzenia Sentinel track 51. Okres 2022 – 08.2023



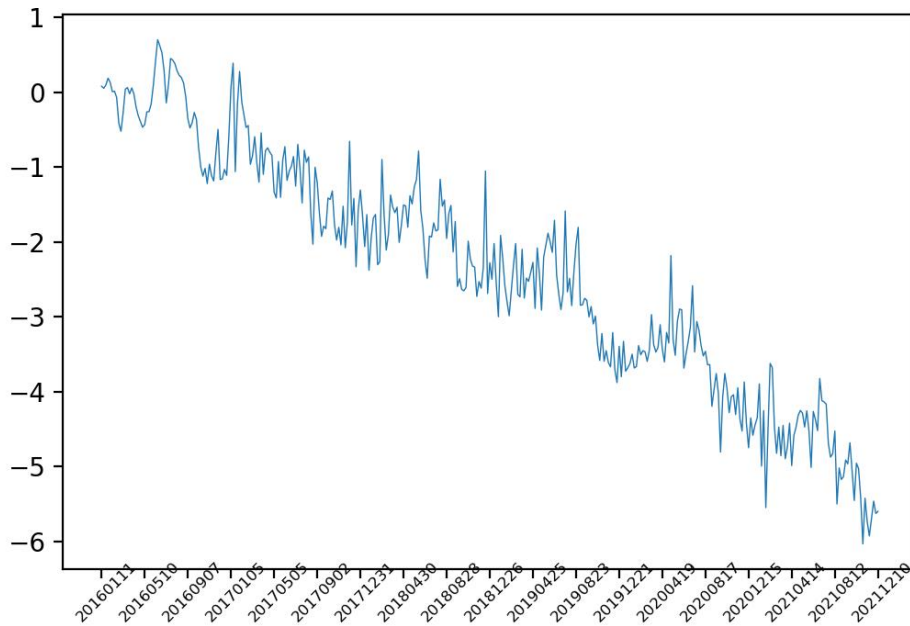
Ryc. 3.21. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.20)

Dane przedstawiają przetworzenie tych samych scen, co dla zestawu EGMS Sentinel track 51, ale tylko dla okresu 2022 – połowa 2023. Jest to ten sam okres co dla zestawu Sentinel track 102 (rozdział poprzedni), ale dla geometrii descending. Przetworzenie miało na celu potwierdzenie podnoszenia zarejestrowanego w środkowej części obszaru badawczego. Wykres czasowy zmian położenia wybranych punktów na środku badanego obszaru wykazuje niewielkie podnoszenie. Obszar niewielkiego podnoszenia widoczny jest w środkowej części badanego rejonu. Punkty wykazujące ruch dodatni formują się w grupę w kształcie elipsy o zasięgu bardzo zbliżonym do punktów podnoszących się zarejestrowanych w geometrii ascending.

### 3.3.10. Zestaw EGMS\_L3 kierunek pionowy (Up-Down) okres 2016-2021



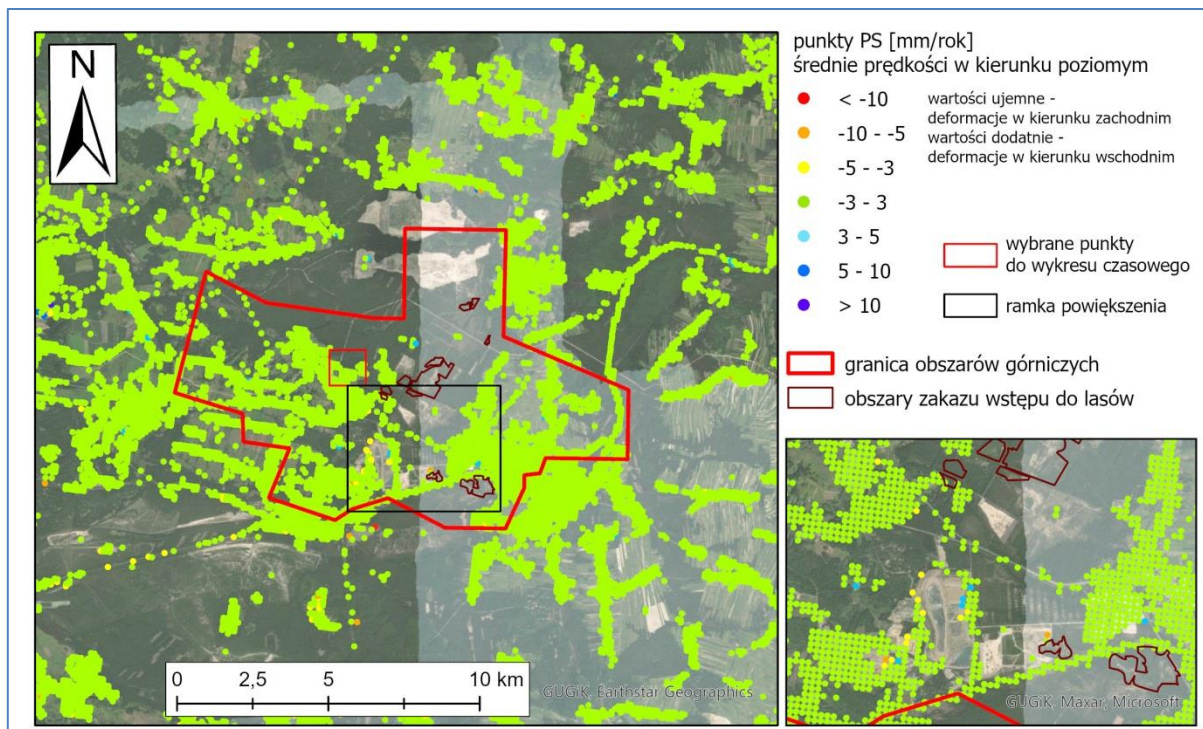
Ryc. 3.22. Zestaw danych EGMS\_L3 kierunek pionowy. Okres 2016-2021



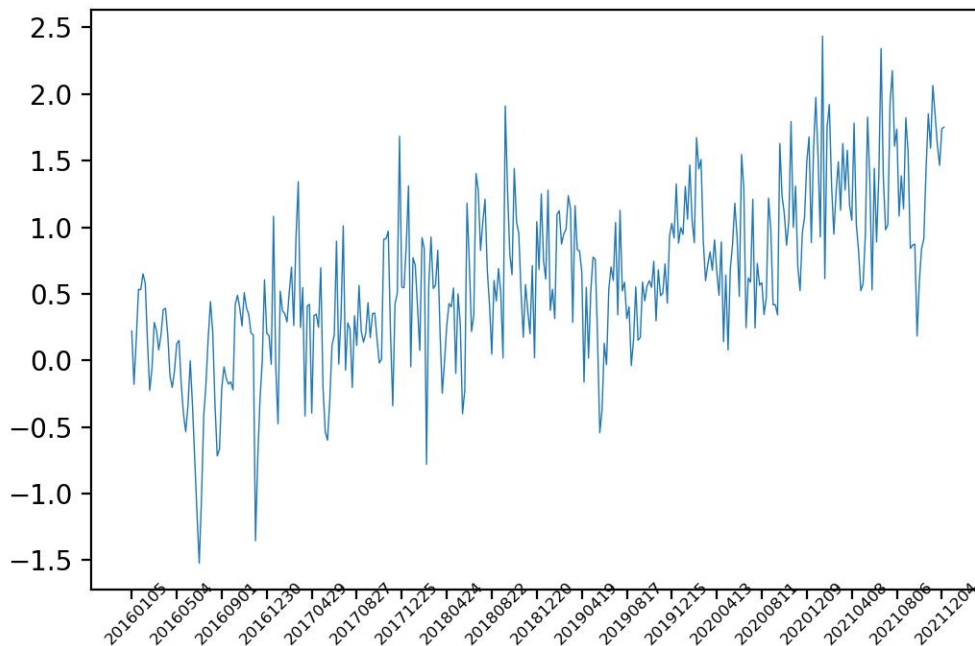
Ryc. 3.23. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.22)

Wartości punktów PS z przetworzeń z serwisu EGMS dla okresu 2016-2021 przeliczone do kierunku pionowego wykazują stabilność. Niewielkie wartości przemieszczeń zarejestrowano na obszarze hałdy po górniczej oraz na torach w miejscowości Olkusz. Wykres czasowy uśrednionych zmian położenia wybranych punktów na środku obszaru wykazuje niewielki trend osiadający.

### 3.3.11. Zestaw EGMS\_L3 kierunek poziomy (East-West) okres 2016-2021



Ryc. 3.24 Zestaw danych EGMS\_L3 kierunek poziomym. Okres 2016-2021

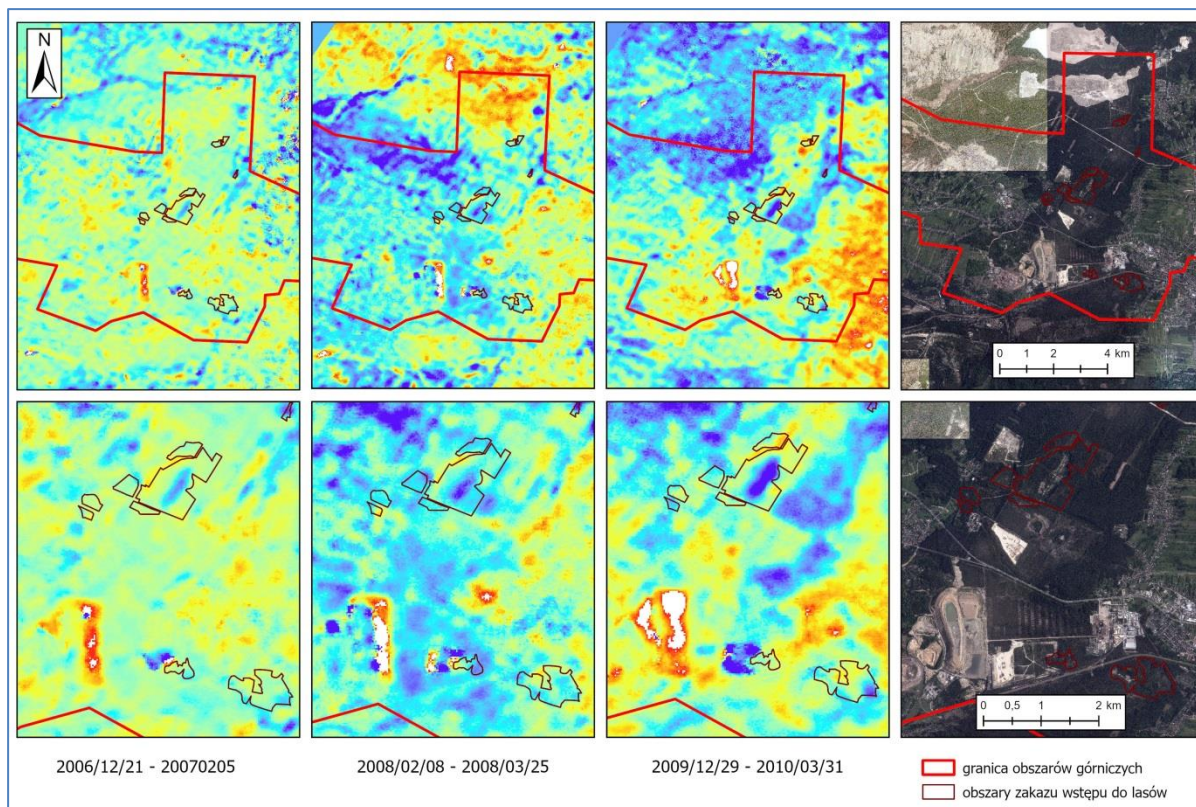


Ryc. 3.25. Uśredniony wykres czasowy zmian położenia punktów w czerwonej ramce (ryc. 3.24)

Wartości punktów PS z przetworzeń z serwisu EGMS dla okresu 2015-2021 przeliczone do kierunku poziomego wykazują stabilność. Wykres czasowy uśrednionych zmian położenia wybranych punktów na środku obszaru wykazuje niewielki trend dodatni (przemieszczenia w kierunku wschodnim).

### 3.3.12. Zestaw ALOS\_FBS\_624 okres 2006/12/21 – 2011/01/01

Przetworzenia InSAR scen satelity ALOS miały na celu zbadania przemieszczeń terenu zachodzących w przeszłości. Niestety mała dostępność scen (8 scen dla okresu 2006-2011) oraz długie odstępy czasowe pomiędzy scenami pozwoliły na wykonanie tylko przetworzeń tradycyjnych DInSAR (interferogramy różnicowe). Pokrycie terenu wysoką roślinnością sprawia, iż koherencja dla uzyskanych interferogramów jest bardzo niska a ich czytelność znikoma. W raporcie przedstawiono wyniki dla trzech najbardziej czytelnych interferogramów. W raporcie przedstawiono obrazy fazy interferogramów różnicowych, bez jej odpakowania i przełożenia na wartości deformacji. Odpakowanie fazy przy tak niskiej koherencji było bardzo utrudnione, a otrzymane wartości deformacji mało wiarygodne. Niemniej jednak obraz fazy interferogramu różnicowego pozwala w pewnym stopniu na interpretację zmian, które zaszły na powierzchni terenu.

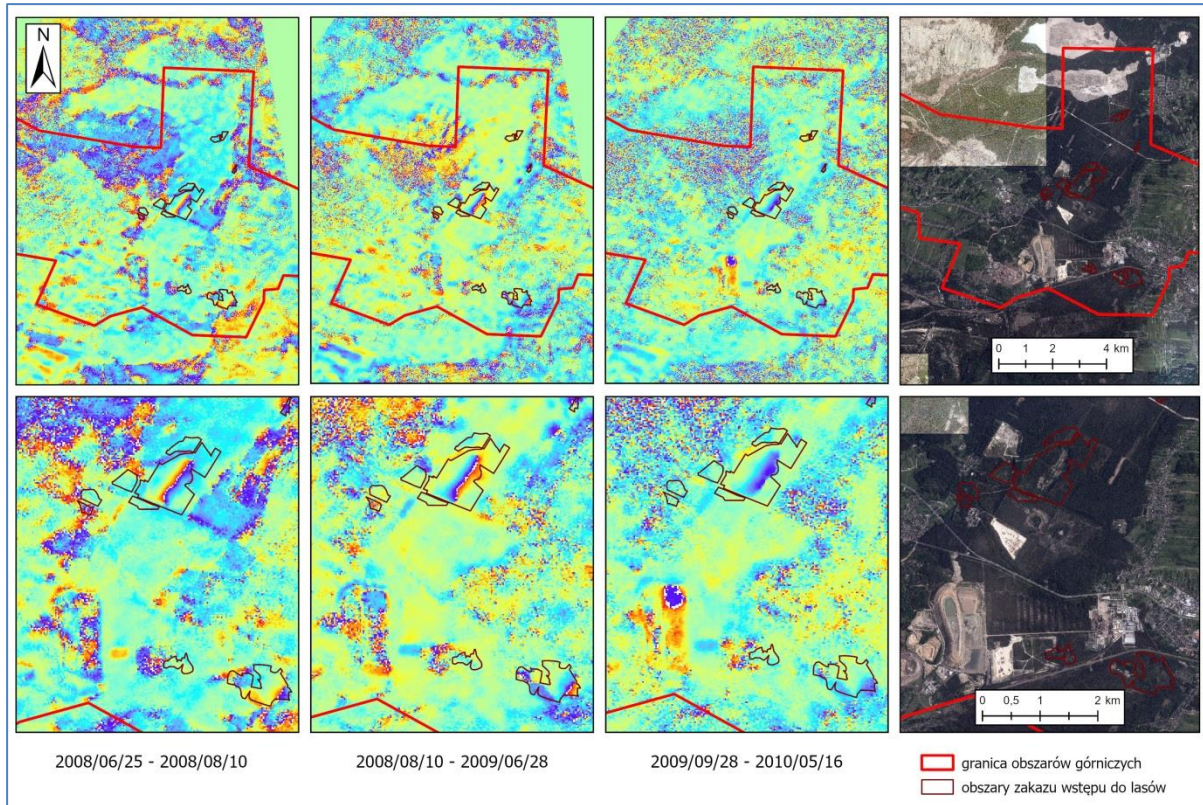


Ryc. 3.26 Trzy interferogramy różnicowe ze scen ALOS PALSAR FBS (obraz fazy) oraz ortofotomapa. Góra: obszar badań, dół: Zoom rejonu hałdy. Interferogramy otrzymane w programie ENVI SARscape

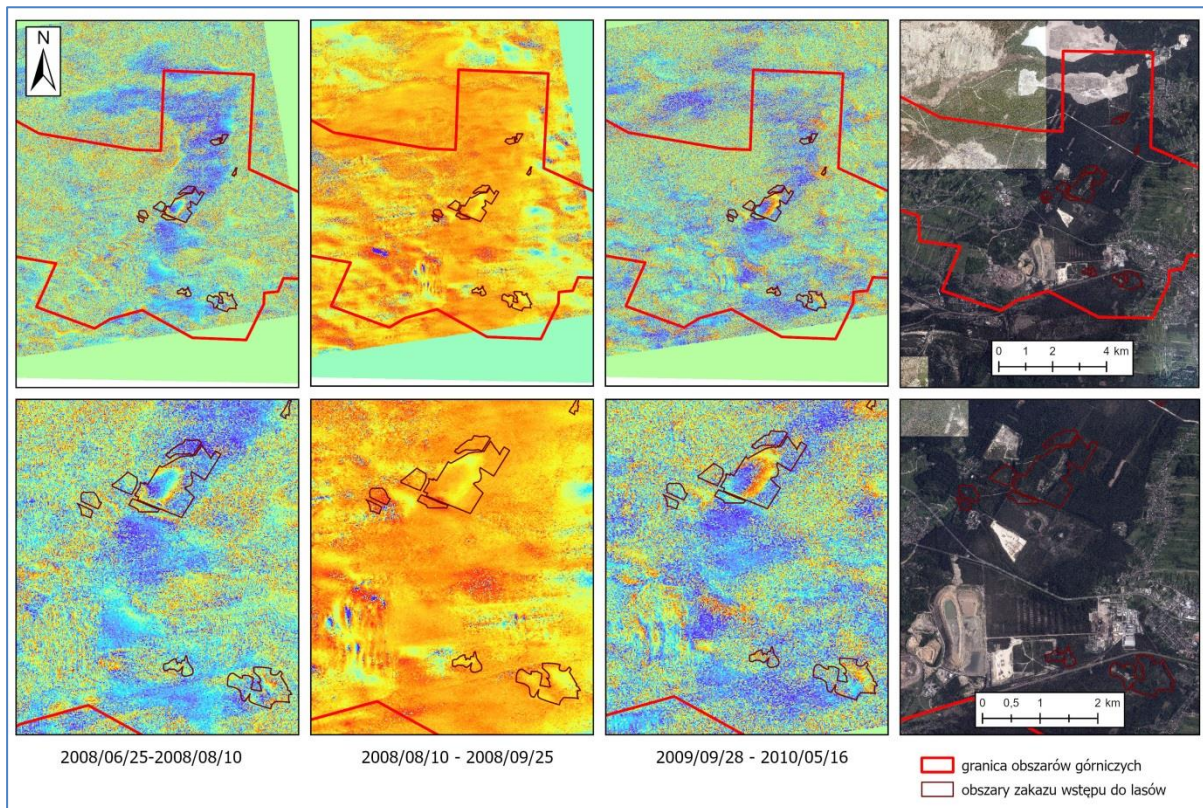
Na interferogramach widać zmiany powierzchni terenu w obrębia hałdy oraz byłej piaskowni (obecnie teren zakazu wstępu do lasu).

### 3.3.13. Zestaw ALOS\_FBD\_624 okres 2007/06/23 – 2010/07/01

Podobnie jak dla scen ALOS FBS, przetworzenia InSAR scen satelity ALOS dual polarization (FBD) miały na celu zbadania przemieszczeń terenu zachodzących w przeszłości. Również dla tego trybu obrazowania wystąpiła mała dostępność scen (10 scen dla okresu 2007-2010) oraz długie odstępy czasowe pomiędzy scenami. Wykonano tylko przetworzenia tradycyjne DInSAR (interferogramy różnicowe). Pokrycie terenu wysoką roślinnością sprawia, iż koherencja dla uzyskanych interferogramów jest bardzo niska a ich czytelność znikoma. W raporcie przedstawiono wyniki dla trzech najbardziej czytelnych interferogramów. Na ryc. 27 przedstawiono obrazy fazy interferogramów różnicowych, bez jej odpakowania i przełożenia na wartości deformacji. Odpakowanie fazy przy tak niskiej koherencji było bardzo utrudnione, a otrzymane wartości deformacji mało wiarygodne. Niemniej jednak obraz fazy interferogramu różnicowego pozwala w pewnym stopniu na interpretację zmian, które zaszły na powierzchni terenu.



Ryc. 3.27. Trzy interferogramy różnicowe ze scen ALOS PALSAR FBD (obraz fazy) oraz ortofotomapa. Góra: obszar badań, dół: Zoom rejonu hałdy. Interferogramy otrzymane w programie ENVI SARscape



Ryc. 3.28. Trzy interferogramy różnicowe ze scen ALOS PALSAR FBD (obraz fazy) oraz ortofotomapa. Góra: obszar badań, dół: Zoom rejonu hałdy. Interferogramy otrzymane w programie ESA SNAP

Również na tych interferogramach widać zmiany powierzchni terenu związane z eksploatacją piasku oraz na terenie hałdy.

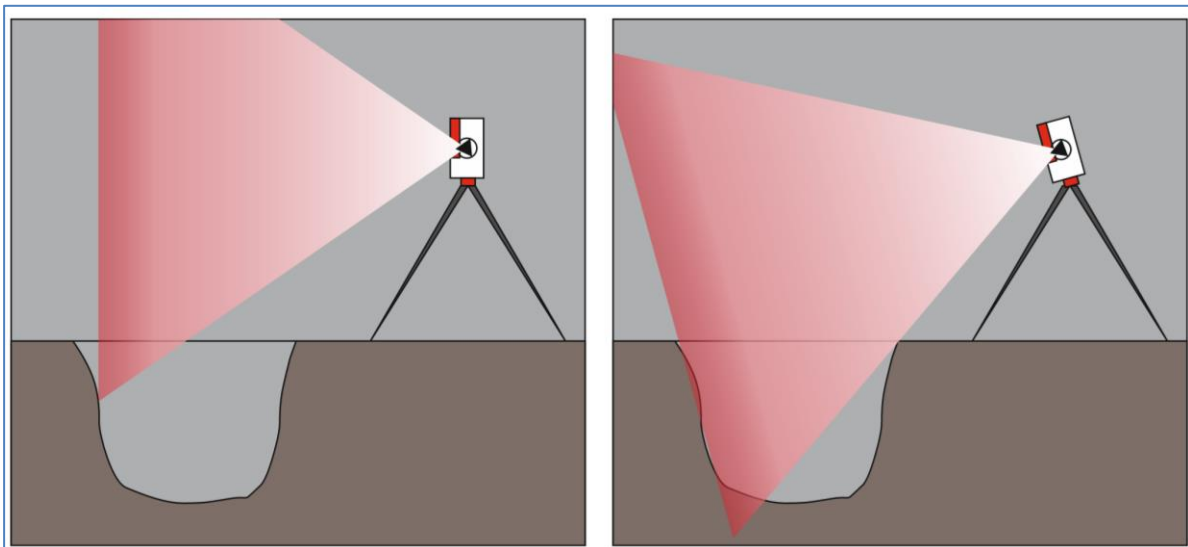
## 4 NAZIEMNY SKANING LASEROWY

---

Naziemny skaniny 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.

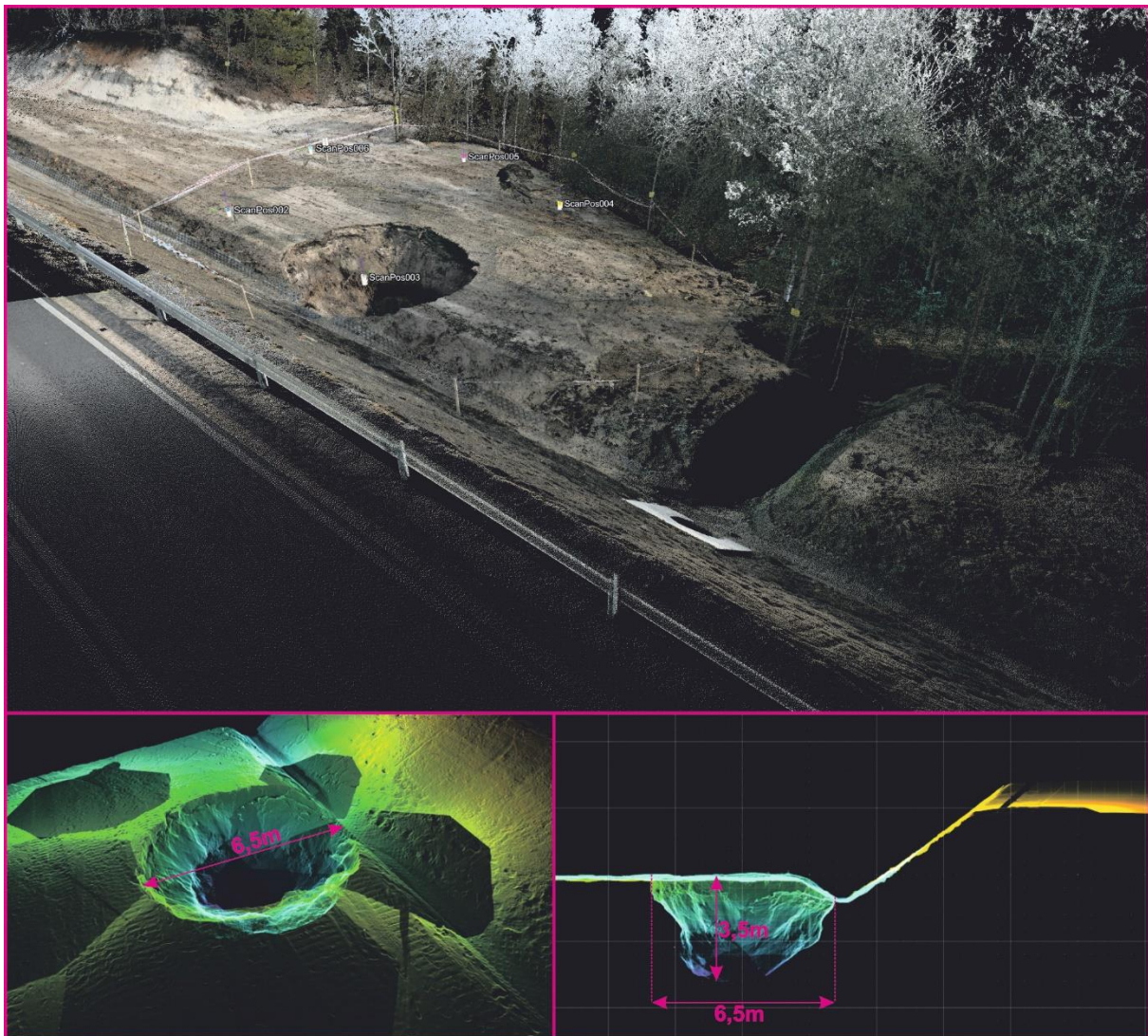
Skanowanie laserowe zapadlisk umożliwia przeprowadzenie pomiaru pełnej geometrii zapadliska (średnica, głębokość, objętość, kąty zapadania ścian itp.) w sposób bezpieczny dla sprzętu i operatora. Zebranie danych odbywa się z kilku bądź kilkunastu stanowisk rozmieszczonych wokół krawędzi zapadliska. Pochylenie osi skanera zapewnia otrzymanie danych nawet w przypadku form bardzo głębokich i o niewielkiej średnicy (ryc. 4.1).

Skanowanie naziemne wykonywano głównie dla nowych zapadlisk, które wystąpiły w pobliżu zabudowy i infrastruktury. Zapadliska skanowano tuż po ich pojawieniu się, a przed likwidacją. Dane uzyskane przy pomocy skanowania laserowego wykorzystano do uzupełnienia parametrów geometrycznych zapadlisk w cyfrowej bazie danych, które posłużyły do dalszych analiz.



Ryc. 4.1. Naziemne skanowanie laserowe zapadliska z zastosowaniem „kołyski” do pochylania osi skanera

Pierwsze zeskanowane zapadlisko powstało 23 lutego 2023 r. w sąsiedztwie nowo wybudowanej obwodnicy Bolesławia stanowiącej drogę powiatową. Ze względu na możliwość powstania kolejnych zapadlisk droga została wyłączona z użytkowania. Przeprowadzone pomiary terenowe oraz badania skanerem laserowym pozwoliły na oszacowanie szerokości zapadliska od 5,0 do 6,5 m. Podczas prowadzonej inwentaryzacji określono maksymalną głębokość zapadliska w przedziale 3,0-3,5 m (ryc. 4.2).

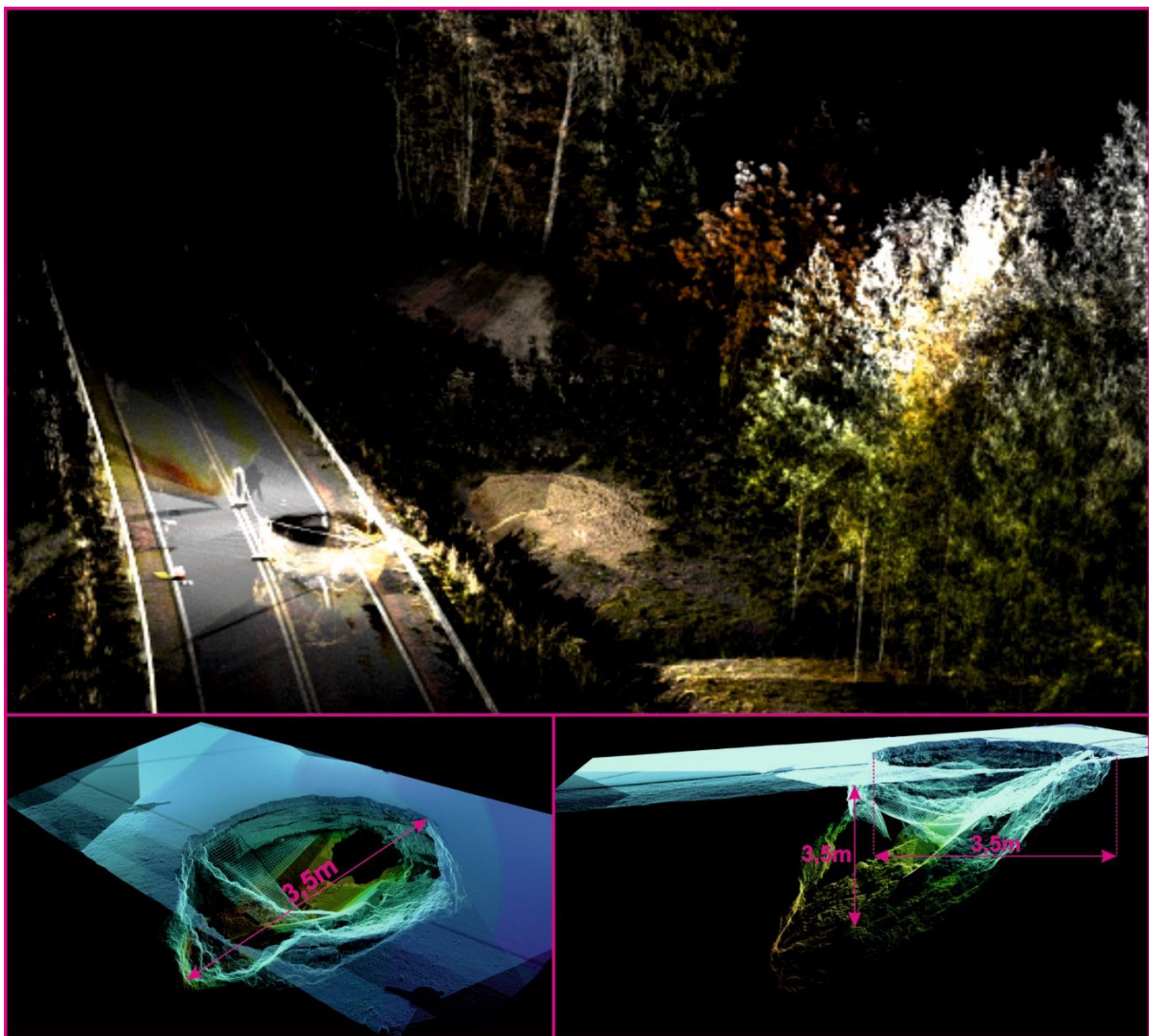


**Ryc. 4.2. Zobrazowanie chmury punktów z rejonu zapadliska przy korpusie drogowym obwodnicy Bolesławia**

W maju 2023 roku powstało zapadlisko w obrębie korpusu drogowego nad istniejącym przepustem, który nie uległ uszkodzeniu (ryc. 4.3). Zapadnięciu uległy warstwy konstrukcyjne drogi oraz nawierzchnia asfaltowa (fot. 4.1). Zapadlisko znajdowało się w osi przepustu drogowego, który jednak nie wykazywał poważnych uszkodzeń poza lokalnymi deformacjami, co wynikało z zabezpieczenia konstrukcyjnego wykonanego podczas budowy obwodnicy ponad

przepustem, natomiast lej powstałego zapadliska skierowany był na południe – poza strefę przepustu.

Przeprowadzone pomiary terenowe pozwoliły na oszacowanie szerokości zapadliska od 3,0 do 3,5 m oraz głębokości w przedziale 2,0 - 3,5 m. Zasypane piaskiem zapadlisko powstałe w lutym 2023 roku w bezpośrednim sąsiedztwie korpusu drogowego charakteryzowało się cylindrycznymi spękaniami, które świadczą o dalszym zapadaniu się gruntu i możliwości jego kolejnego uaktywnienia (ryc. 4.3). Podczas prowadzonej wizji terenowej obwodnicy Bolesława nie stwierdzono oznak spękań nawierzchni asfaltowej, czy też poboczy drogi. Korpus drogowy poza lokalnymi strefami osunięć typowymi w gruntach sypkich nie wykazywał śladów przemieszczeń, czy też deformacji.

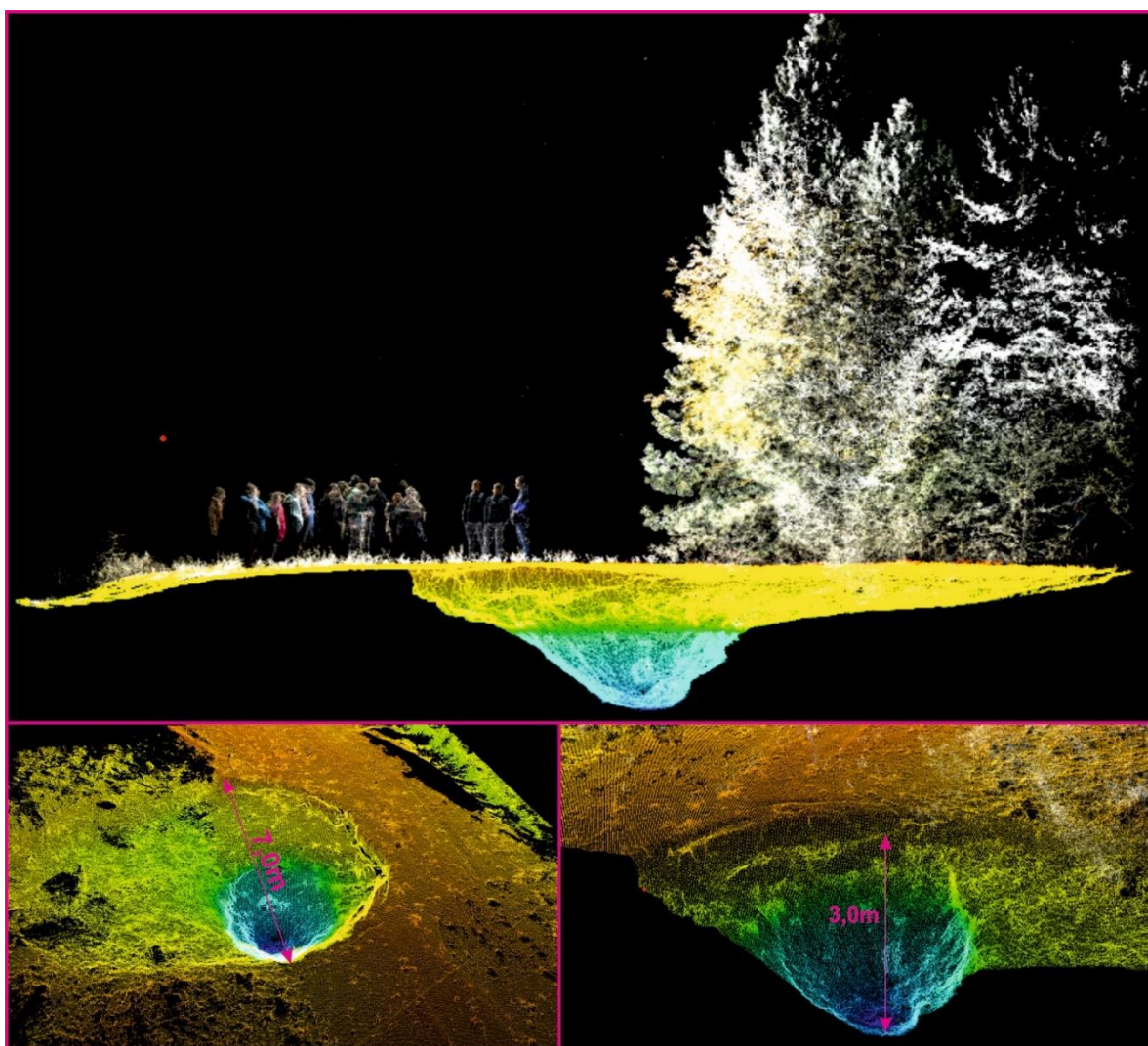


**Ryc. 4.3. Zobrazowanie chmury punktów z rejonu zapadliska w korpusie drogowym obwodnicy Bolesława. Widoczne na wschód zasypane zapadlisko w sąsiedztwie korpusu drogi**



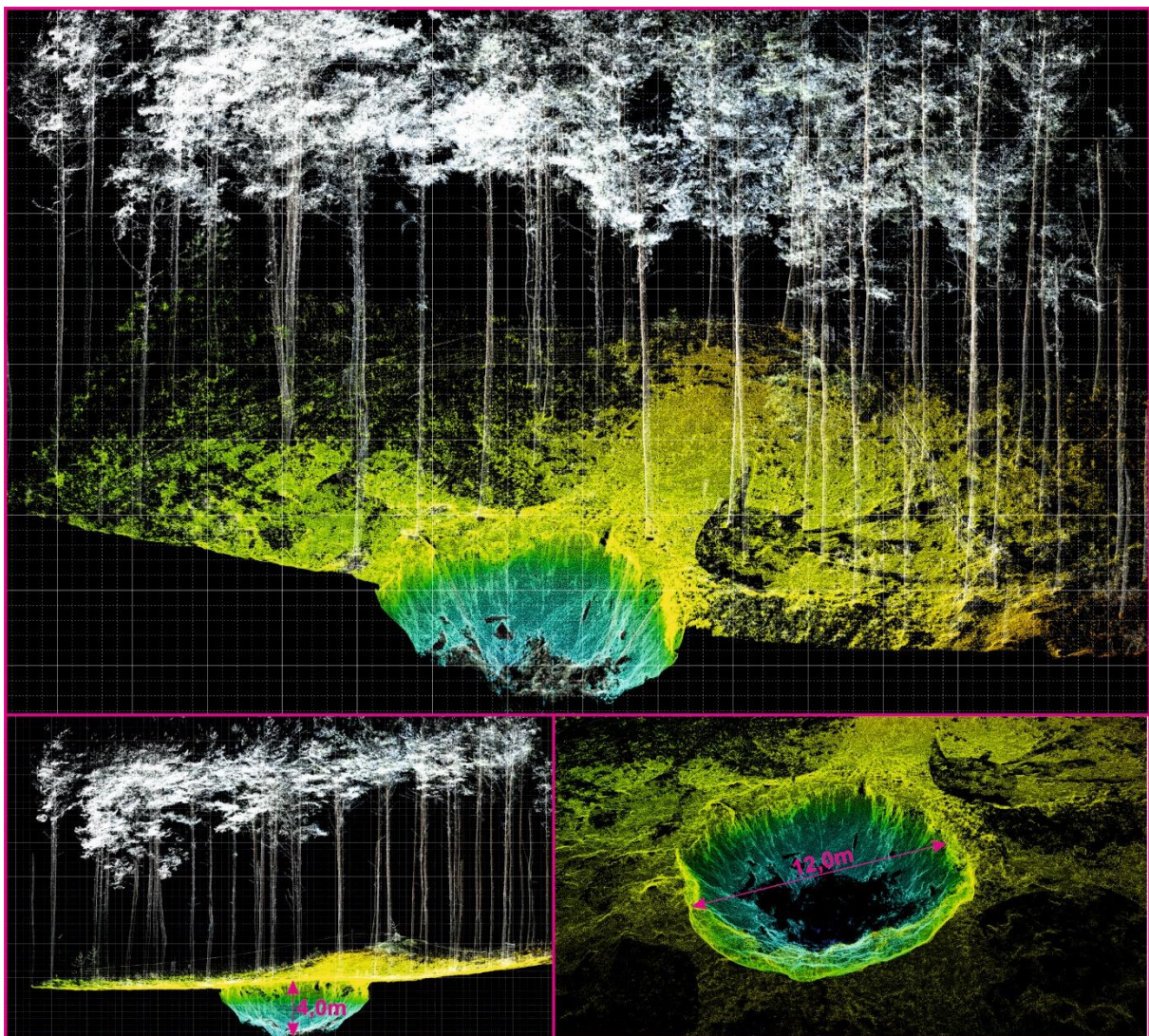
Fot. 4.1. Zapadlisko w obrębie korpusu drogowego

W rejonie obwodnicy Bolesława prowadzono także pomiary jesienią 2023 roku, gdzie tworzyły się kolejne zapadliska. Podczas podnoszenia się poziomu zwierciadła wód podziemnych w początkowym odcinku obwodnicy Bolesława powstawały kolejne deformacje (ryc. 4.4).



Ryc. 4.4. Zobrazowanie chmury punktów z rejonu zapadliska na zachód od korpusu drogowego obwodnicy Bolesława

W sierpniu 2023 roku powstało zapadlisko w obrębie lasu w odległości około 140 m na północny wschód od przebiegu gazociągu DN1000 MOP 8,4 MPA – odcinek eksploatacyjny Tworzeń-Braciejówka. Miało średnicę około 12 m i głębokość 4 m (ryc. 4.5, fot. 4.2). W późniejszym okresie nie obserwowano procesu powiększania lejka zapadliskowego, a prowadzone prace inwentaryzacyjne nie wskazywały na występowanie zapadlisk w sąsiedztwie gazociągu. W ramach przesłanych pism z Operatorem Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. informowaliśmy właściciela sieci o ryzyku powstania nowych zapadlisk w sąsiedztwie gazociągu, które ocenialiśmy jako bardzo niskie. Pozyskane dane NMT z końca 2024 roku potwierdzają przyjęte wstępnie założenia i pozyskane dane wskazują, że na terenie i w sąsiedztwie gazociągu nie występują zapadliska.



**Ryc. 4.5. Zobrazowanie chmury punktów z rejonu zapadliska w obszarze leśnym w odległości 140m od wysokociśnieniowego gazociągu**



Fot. 4.2. Zapadlisko w odległości 140 m od gazociągu DN 1000



Ryc. 4.6. Zobrazowanie chmury punktów z rejonu cmentarza w Bolesławiu

Ze względu na prowadzoną eksploatację historyczną w południowej części cmentarza w Bolesławiu wykonano naziemny skaniny laserowy. Dokładność wyznaczenia pozycji wynosiła do 2 cm. Rozdzielczość skanowania wynosiła 70 mm/100m. Z uwagi na zbyt małą ilość punktów reprezentujących odbicie od gruntu pomiędzy nagrobkami, miarodajne wyniki uzyskano jedynie dla wschodniej części skanowanego obszaru (ryc. 4.6).

## 5 FOTOGRAMETRIA Z PUŁAPU „DRONA”

---

Jedną ze skutecznych metod monitorowania oraz pomiarów powierzchni terenu jest fotogrametria, czyli technika pozyskiwania informacji o obiektach i terenie na podstawie zdjęć lotniczych lub satelitarnych. Opiera się ono na zasadach geometrii rzutowej, dzięki którym możliwe jest przekształcenie zdjęcia lotniczego, będącego rzutem środkowym (perspektywicznym), w rzut ortogonalny. Cechami charakterystycznymi tego rzutu jest poprawne odwzorowanie terenu oraz geometrii obiektów, eliminując deformacje wynikające z perspektywy.

Istotnym elementem fotogrametrii jest stereoskopia, wykorzystująca zdjęcia stereoparowe (stereogramy), czyli obrazy tego samego obszaru lub obiektu wykonane z różnych położeń pozwalając na uzyskanie widzenia przestrzennego i rekonstrukcji modelu 3D. Dzięki temu można precyzyjnie analizować rzeźbę terenu, mierzyć wysokości obiektów i wykrywać zmiany w czasie.

Jedną z kluczowych zalet fotogrametrii jest możliwość wykorzystania archiwalnych zdjęć lotniczych, które są pozyskiwane i gromadzone od lat 50. XX wieku. Pozwala to na analizę długoterminowych zmian krajobrazu, urbanizacji czy procesów geomorfologicznych. Nowoczesne algorytmy rekonstrukcji 3D, stosowane w oprogramowaniu fotogrametrycznym, takie jak *Structure from Motion (SfM)* czy metoda wyrównania wiązek rzutów (*Bundle Adjustment*), pozwalają na precyzyjne odtworzenie geometrii terenu nawet z pojedynczych zdjęć lub nieregularnych obrazów cyfrowych.

Mimo licznych zalet fotogrametria posiada również ograniczenia. Warunki atmosferyczne takie jak opady, silny wiatr czy mgła, mogą utrudniać lub uniemożliwiać pozyskiwanie wysokiej jakości obrazów, a gęsta roślinność – szczególnie lasy o zwartej pokrywie – mogą uniemożliwić dokładne odwzorowanie powierzchni terenu. W takich przypadkach konieczne jest uzupełnienie danych o inne techniki np. skaniny laserowy LiDAR, który pozwala na penetrację roślinności i uzyskanie modelu rzeźby terenu niezależnie od jej pokrycia.

W badaniach zapadlisk w rejonie olkuskim zastosowano fotogrametrię niskiego pułapu z użyciem systemu bezzałogowego statku powietrznego (SBSP) oraz fotogrametrię lotniczą wykorzystując archiwalne zdjęcia lotnicze.

Pomiary z użyciem UAV (ang. *Unmanned Aerial Vehicle*) miały na celu wykonanie inwentaryzacji powierzchni terenu w celu identyfikacji nowych lejów zapadliskowych oraz udokumentowanie znanych obiektów wykrytych innymi metodami. Nalot fotogrametryczny obejmował kilka obszarów o różnych zasięgach, których łączna powierzchnia wynosi ok. 818 ha. Pomiary zrealizowano w okresie od lipca do listopada 2024 roku. Misje fotolotniczne UAV wykonano platformą DJI Phantom 4 Advanced wyposażoną w kamerę FC6310R z obiektywem o ogniskowej 8,8 mm oraz matrycą wielkości 1 cala. Dron wyposażony jest w system nawigacji satelitarnej GPS/GLONASS oraz jednostkę inercyjną IMU (ang. *inertial measurement unit*). Umożliwia to pozyskiwanie parametrów elementów orientacji zewnętrznej (EOZ) takich jak współrzędne środków rzutów zdjęć oraz ich kąty skrętów  $\omega$ ,  $\phi$  oraz  $\kappa$ , które zapisywane są w metadanych obrazów cyfrowych. Odbywa się to w procesie zwanym geotagowaniem zdjęć. Dane te wykorzystywane są w trakcie ich obróbki fotogrametrycznej w specjalistycznych programach realizujących proces aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek lub technologią *Structure from Motion*, wspieraną techniką *Bundle Adjustment (BA)*. Jest to proces obliczeniowy zmierzający do precyzyjnego wyznaczenia położenia wykonanych zdjęć cyfrowych przez UAV w przestrzeni 3D.

W celu zapewnienia centymetrowej dokładności opracowań fotogrametrycznych zastosowano fotopunkty, które założono i pomierzono bezpośrednio w terenie za pomocą odbiornika GNSS RTK Emlid Reach RS2+. Odbiornik korzystał ze strumienia sieciowych danych korekcyjnych (RTN4G\_VRS\_RTCM32), przesyłanych protokołem NTRIP w formacie RTCM. Usługa udostępniania sieciowych danych korekcyjnych RTN (ang. *Real-Time Network*) jest realizowana przez podstawowy serwis systemu ASG-EUPOS, dostarczający dane korekcyjne do pomiarów w czasie rzeczywistym. Umożliwia to wykonanie pomiarów z najwyższą dokładnością w jednolitym układzie odniesienia. Dokładność serwisu NAWGEO dla danych korekcyjnych RTN w pomiarach GNSS RTK wynosi do 0,03 m dla współrzędnych poziomych oraz do 0,05 m dla współrzędnych pionowych.

Przetwarzanie zdjęć cyfrowych pozyskanych techniką fotogrametrii niskiego pułapu z wykorzystaniem fotopunktów (polowej osnowy fotogrametrycznej) zrealizowano w programie *Agisoft Metashape Professional*. Proces ten obejmuje takie etapy jak dopasowanie obrazów cyfrowych, aerotriangulację oraz korekcję błędów geometrycznych. Aerotriangulacja to proces numerycznej orientacji zdjęć lotniczych lub wykonanych przez SBSP, który umożliwia precyzyjne pozycjonowanie obrazów w przestrzeni trójwymiarowej i ich dopasowanie do układu

współrzędnych geodezyjnych. Zastosowanie fotopunktów umożliwiło wykonanie wyrównanie bloku zdjęć metodą *Bundle Adjustment*, uzyskując wysoką dokładność georeferencji, jednocześnie umożliwiając wyznaczanie położenia oraz geometrii obiektów z wysoką precyzją. Georeferencja zdjęć polega na przypisaniu każdemu zdjęciu dokładnych współrzędnych geograficznych. W wyniku przetwarzania danych otrzymano gęstą chmurę punktów, cyfrowy model pokrycia terenu (ang. *Digital Elevation Model - DEM*) oraz ortomozaikę. Chmura punktów to wielomilionowy zbiór punktów w przestrzeni trójwymiarowej, w którym każdy punkt posiada współrzędne XYZ w określonym państwowym lub lokalnym systemie odniesień przestrzennych. Wymienione podkłady zastosowano do prac związanych ze szczegółową analizą powierzchni terenu w celu inwentaryzacji już wykrytych jak i nowych, niezidentyfikowanych lejów zapadliskowych. Dodatkowo wykorzystano archiwalne ortofotomapy w celu przeprowadzenia analizy trendów w czasie, na podstawie której możliwej jest monitorowanie rozwoju i dynamiki zapadlisk.

Ze względu na wykonanie misji fotogrametrycznych dla różnych obszarów w innych okresach czasowych w rejonie olkuskim, dla potrzeb raportu wprowadzono dane identyfikacyjne dla obszarów poddanych pomiarom (tab. 5.1).

**Tabela 5.1. Informacje dotyczące obszarów objętych nalotami fotogrametrycznymi**

ID obszaru	Lokalizacja	Powierzchnia (ha)	Data nalotu
HUT_01	Hutki, pow. olkuski	108,79	18.07.2024
HUT_02	Hutki, pow. olkuski	107,00	15.10.2024
HUT_03	Hutki, pow. olkuski	88,49	16.10.2024
BOL_02	Bukowno, pow. olkuski	150,04	06.11.2024
BOL_03	Bukowno, pow. olkuski	217,83	07.11.2024
OLK_01	Olkusz, ul. Wspólna	73,43	11.10.2024
BOL_01	Bolesław, pow. olkuski	181,47	10.10.2024

Dla każdego nalotu została wygenerowana chmura punktów, numeryczny model pokrycia terenu oraz ortomozaika o rozdzielczości 5 cm/piksel. Dla wszystkich plików cyfrowych przyjęto układ odniesienia ETRF2000-PL strefa 7. Wygenerowane podkłady cyfrowe zastosowano do analizy terenu w celu identyfikacji jego nieciągłości, pęknięć i deformacji powierzchni. Naloty fotogrametryczne zrealizowano na wysokości 120 m względem powierzchni terenu, w którym zastosowano minimalne pokrycie podłużne między zdjęciami wynoszące 70%. Dla każdego obszaru zostały podane takie parametry dokładnościowe projektów fotogrametrycznych jak średni błąd dopasowania fotopunktów do ich rzeczywistych współrzędnych ( $RMSE_{GCP}$ ) oraz rozdzielczość przestrzenna cyfrowego modelu terenu (GSD). Średni błąd dopasowania fotopunktów do ich rzeczywistych współrzędnych pokazuje, jak dobrze program dopasował model wygenerowany w procesie aerotriangulacji do rzeczywistych współrzędnych terenowych, pomierzonych za pomocą odbiornika GNSS RTK bezpośrednio w terenie. Natomiast podkład cyfrowego modelu terenu został wykorzystany w procesie ortorektyfikacji zdjęć, aby skorygować

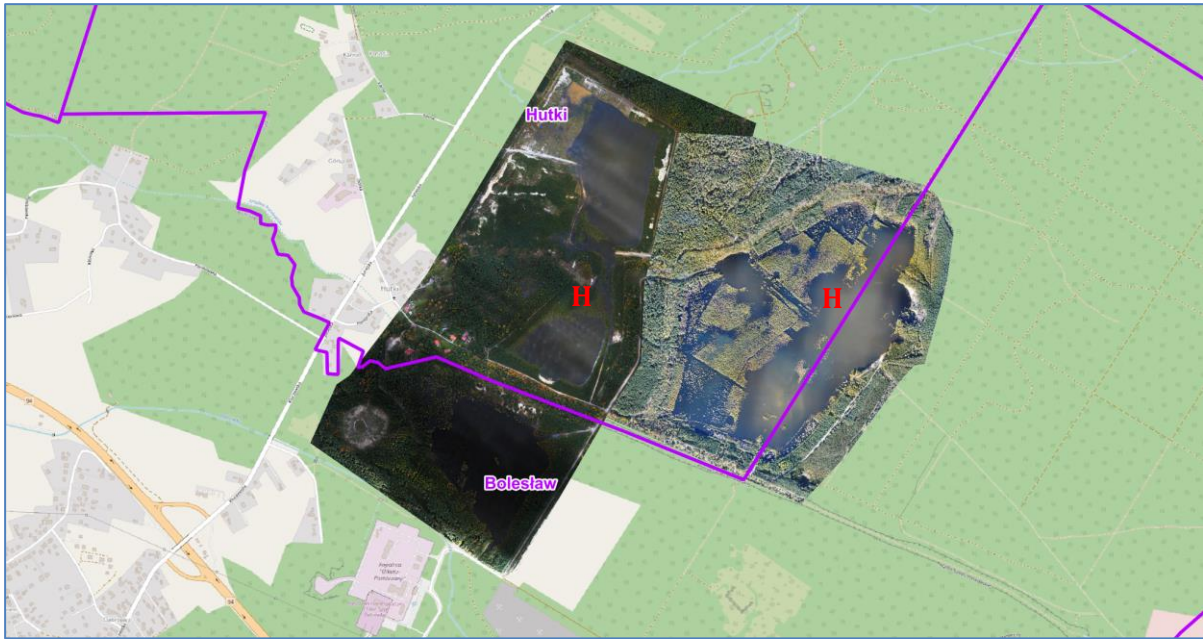
wpływ rzeźby terenu i uzyskać georeferencyjną ortomozaikę o wysokiej dokładności. Dzięki temu procesowi zdjęcia zostają przekształcane z rzutu perspektywicznego na rzut ortogonalny, a następnie poddawane są procesowi mozaikowania.

Pierwszy obszar poddany analizie to teren obejmujący miejscowość Hutki oraz Bolesław w powiecie olkuskim (id: HUT\_01) (ryc. 5.1). Nalot fotogrametryczny obejmował powierzchnię ok. 109 ha i został zrealizowany 18.07.2024 roku. Łącznie pozyskano 1703 zdjęcia cyfrowe. W procesie aerotriangulacji wykorzystano osiem fotopunktów, w wyniku czego otrzymano błąd średniokwadratowy  $RMSE_{GCP}$  wynoszący 13 mm. Wynik ten wskazuje, że otrzymano wysoką precyzję dopasowania fotopunktów do rzeczywistego układu terenowego. Do utworzenia ortomozaiki zastosowano cyfrowy model terenu o rozdzielczości 10.2 cm/piksel i gęstości punktów 96.3 punkty na  $m^2$ .



**Ryc. 5.1. Zasięg ortomozaiki dla obszaru HUT\_01 o rozdzielczości 0,035 m na podstawie zdjęć z SBSP pozyskanych w lipcu 2024 roku**

Ponowny nalot fotogrametryczny nad analizowanym obszarem (id: HUT\_02 oraz HUT\_03) zrealizowano 15-16.10.2024 roku (ryc. 5.2). Zasięg został poszerzony o 86 ha w kierunku zachodnim oraz południowo-zachodnim. Przyjęto te same parametry jak dla nalotu zrealizowanego w lipcu 2024 roku. Aby uzyskać wysoką dokładność projektu założono oraz pomierzono dodatkowe trzy fotopunkty, poszerzając sieć polowej osnowy fotogrametrycznej założonej podczas realizacji pierwszej sesji pomiarowej dla obszaru HUT\_01. Błąd  $RMSE_{GCP}$  dla tego opracowania wyniósł 4.1 mm, natomiast do wygenerowania ortomozaiki zastosowano plik DEM o rozdzielczości 6.4 cm/piksel i gęstości punktów wynoszącej 245 punkty/ $m^2$ .



Ryc. 5.2. Zasięg ortomozaik dla obszarów HUT\_02 oraz HUT\_03 o rozdzielczości 0.05 m na podstawie zdjęć z SBSP pozyskanych w październiku 2024 roku

Zasięg drugiego obszaru (id: BOL\_01) poddanemu pomiarowi techniką fotogrametrii niskiego pułapu znajdował się w miejscowości Bolesław (ryc. 5.3). Zdjęcia cyfrowe pozyskano nad terenem odkrywki pola eksploatacyjnego „Bolesław” w dniu 10.10.2024 roku. W projekcie wykorzystano 6 fotopunktów. Ortomozaikę oraz numeryczny model pokrycia terenu wygenerowano dla powierzchni wynoszącej ponad 181 ha. Błąd  $RMSE_{GCP}$  dla tego opracowania wyniósł 1.6 mm, natomiast do wygenerowania ortomozaiki zastosowano plik DEM o rozdzielczości 13.1 cm/piksel i gęstości punktów wynoszącej 58.7 punkty/m<sup>2</sup>.



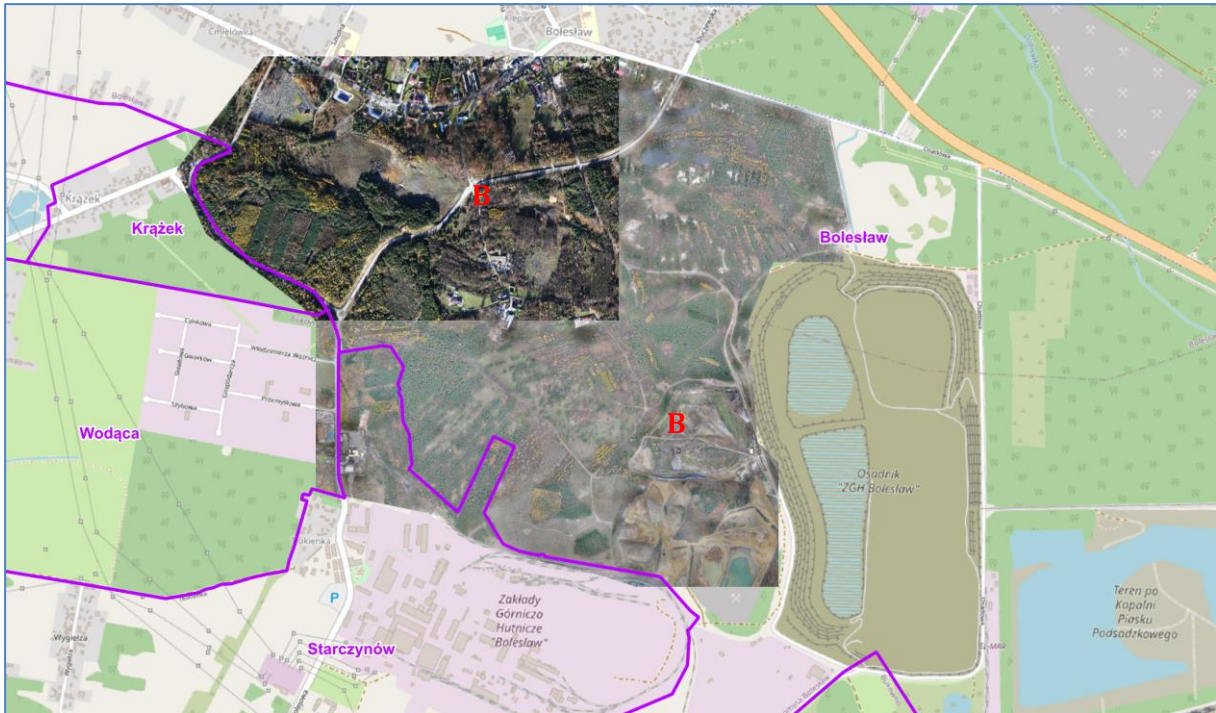
Ryc. 5.3. Zasięg ortomozaiki dla obszaru BOL\_1 o rozdzielczości 0.05 m na podstawie zdjęć z SBSP pozyskanych w październiku 2024 roku

Zasięg trzeciego obszaru (id: OLK\_01) obejmował zachodnią część miasta Olkusz (ryc. 5.4). Zdjęcia cyfrowe pozyskano nad terenem nieczynnej piaskowni po zachodniej stronie ulicy Żuradzkiej na terenie zalesionym. Misja fotogrametryczna została zrealizowana w dniu 10.10.2024 roku. Do projektu fotogrametrycznego zastosowano osnowę fotogrametryczną składającą się z 8 fotopunktów. Ortomozaikę oraz numeryczny model pokrycia terenu wygenerowano dla powierzchni wynoszącej ponad 73 ha. Błąd  $RMSE_{GCP}$  dla tego opracowania wyniósł 1.4 mm, natomiast do wygenerowania ortomozaiki zastosowano plik DEM o rozdzielczości 5.9 cm/piksel i gęstości punktów wynoszącej 288 punkty/m<sup>2</sup>.



**Ryc. 5.4. Zasięg ortomozaiki dla obszaru OLK\_01 o rozdzielczości 0.05 m na podstawie zdjęć z SBSP pozyskanych w październiku 2024 roku**

Ostatni zasięg obejmował zachodnią oraz południowo-zachodnią stronę miejscowości Bolesław (id: BOL\_02 oraz BOL\_03). Teren poddany pomiarowy znajdował się między cmentarzem w Bolesławiu, ul. Główną, Osadnikiem „ZGH Bolesław”, Zakładami Górniczo-Hutniczymi „Bolesław” oraz wzdłuż wschodniej granicy jednostek ewidencyjnych Wodąca oraz Krążek (ryc. 5.5). Nalot fotogrametryczny został wykonany 6 i 7 listopada 2024 roku. W projekcie zastosowano 8 fotopunktów. Ortomozaikę oraz numeryczny model pokrycia terenu wygenerowano dla powierzchni wynoszącej ok. 368 ha. Dla obszaru BOL\_02 błąd  $RMSE_{GCP}$  wyniósł 2.1 mm oraz zastosowano plik DEM o rozdzielczości 7.3 cm/piksel i gęstości punktów wynoszącej 189 punkty/m<sup>2</sup>. Natomiast dla obszaru BOL\_03 parametry wyniosły odpowiednio 3.7 mm, 18.7 cm/piksel oraz gęstość punktów równą 28.6 pkt/m<sup>2</sup>.



Ryc. 5.5. Zasięgi ortomozaik dla obszarów BOL\_02 oraz BOL\_03 o rozdzielczości 0.05 m na podstawie zdjęć z SBSP pozyskanych w listopadzie 2024 roku

## 6 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 4. 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 (ryc. 6.1).

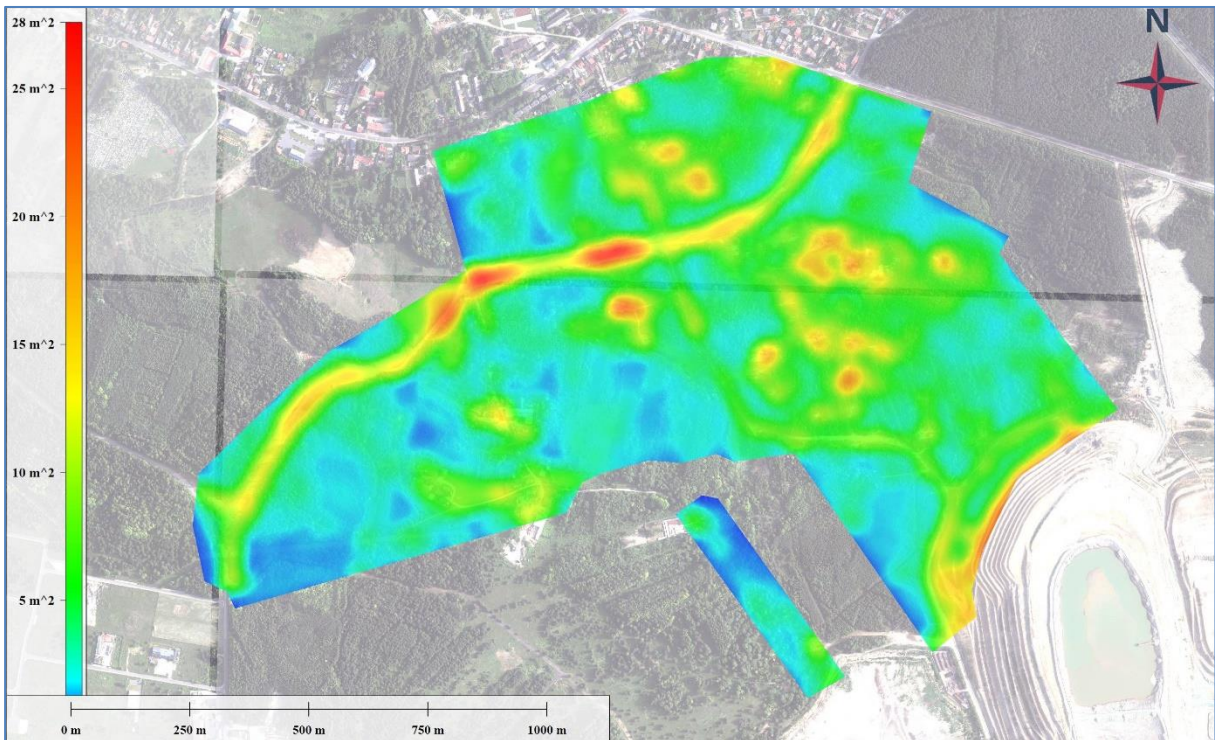
W przypadku skanowania laserowego z użyciem UAV oprócz systemu GNSS mającego na celu wyznaczenie położenia statku w trakcie lotu wykorzystywana jest jednostka inercyjna (IMU), której zadaniem jest pomiar kątów wychylenia skanera oraz przyspieszenia. Dane z tych dwóch systemów służą do wyznaczenia trajektorii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

Pomiar rejonów narażonych na rozwój zapadlisk wykonano statkiem powietrznym marki DJI Matrice 300RTK wyposażonym w skaner laserowy DJI Zenmuse 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 5–6.10.2023 r., podczas których wykonano 7 skanów obejmujących powierzchnię 5,2 km<sup>2</sup> (ryc. 6.2).



Ryc. 6.1. Przykładowy pomiar terenu objętego zapadliska z użyciem UAV

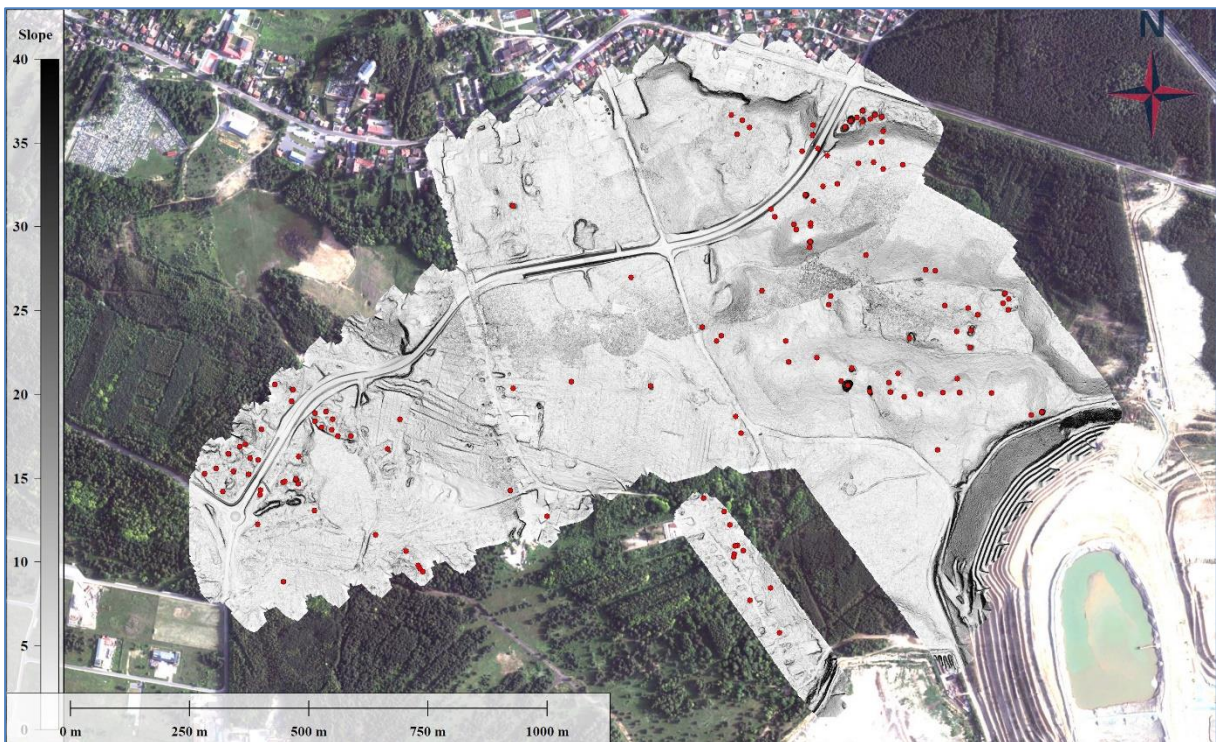


Ryc. 6.2. Mapa gęstości punktów reprezentujących powierzchnię terenu wykorzystanych do wygenerowania NMT

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 wysokościowej chmury punktów w system

wysokości PL-EVRF2007-NH wykorzystano 144 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 3,5 pkt/m<sup>2</sup> (ryc. 6.2). Największa gęstość punktów występuje na terenach odkrytych, w obrębie których uzyskano maksymalnie 28 pkt/m<sup>2</sup>. Najmniejsze wartości gęstości występują na obszarach leśnych ze zwartą roślinnością, na których uzyskano kilka pkt/m<sup>2</sup>. Na podstawie sklasyfikowanej chmury punktów wygenerowano NMT o rozdzielczości 0,5 m, przy pomocy którego wytypowano 134 potencjalnych form zapadliskowych (ryc. 6.3). W wyniku prac terenowych części z nich nie potwierdzono. Formy widoczne jako zagłębienia były wynikiem błędów NMT związanych z małą ilością punktów reprezentujących grunt w miejscach występowania gęstej roślinności oraz błędów samej klasyfikacji chmury punktów. Model ten został wykorzystany również do analiz różnicowych (zobacz rozdział 8).



Ryc. 6.3. NMT wygenerowany z danych LIDAR UAV wraz z interpretacją form zapadliskowych

## 7 ANALIZA HISTORYCZNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH

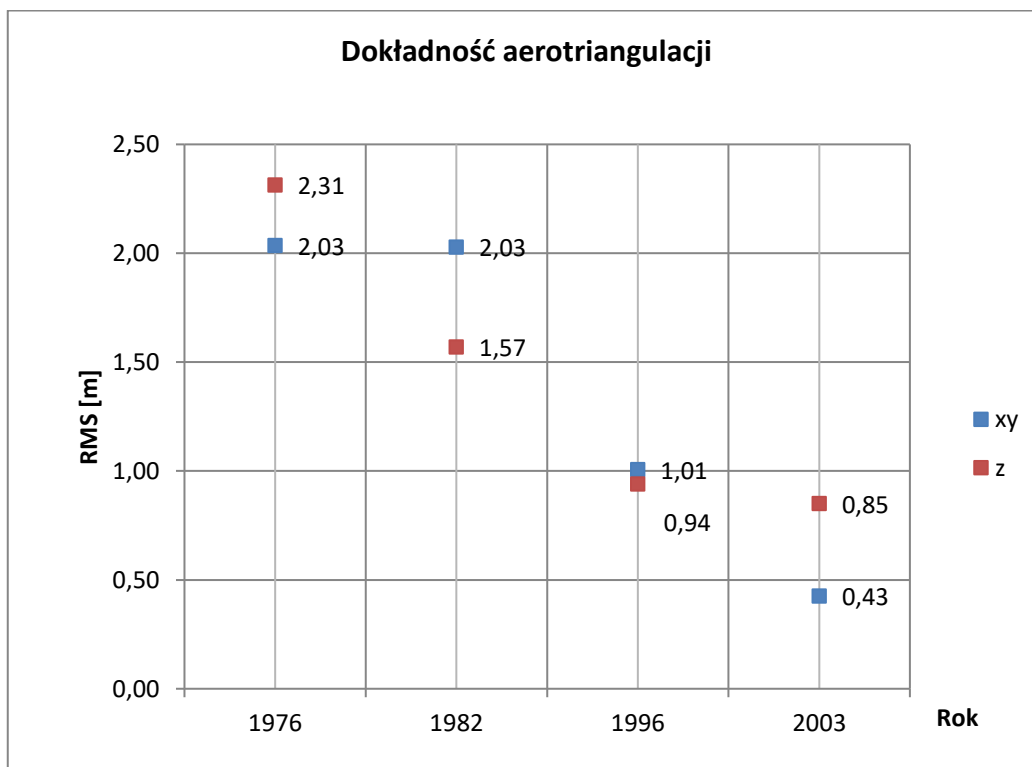
W celu zidentyfikowania miejsc, w których w przeszłości wystąpiły zapadliska wykonano analizę archiwalnych zdjęć lotniczych, które pozyskano z zasobu GUGiK. Zdjęcia wykonywano w różnych nalotach i o różnej skali co powodowało, że czasem badany obszar analizowany był w kilku częściach złożonych z szeregów, a nie jednego zwartego bloku zdjęć obejmującego cały

obszar. Zdjęcia z roku 1996 jako jedyne cechują się skalą barwną RGB, natomiast pozostałe wykonano kamerą panchromatyczną (Tab. 7.1).

**Tab. 7.1 Podstawowe informację o zdjęciach lotniczych wykorzystanych do analizy**

Rok wykonania zdjęcia	Typ	Liczba zdjęć	Skala	Opis
1976	B/W	78	1:5 500 1:16 000 1:17 000	Cały obszar oprócz centralnej części (miejscowość Hutki)
1982	B/W	106	1:10 000 1:16 000	Cały obszar objęty opracowaniem (z wyłączeniem obszaru utajnionego)
1996	RGB	37	1:26 000	Cały obszar z wyjątkiem południowej części
2003	B/W	130	1:13 000	Cały obszar objęty opracowaniem

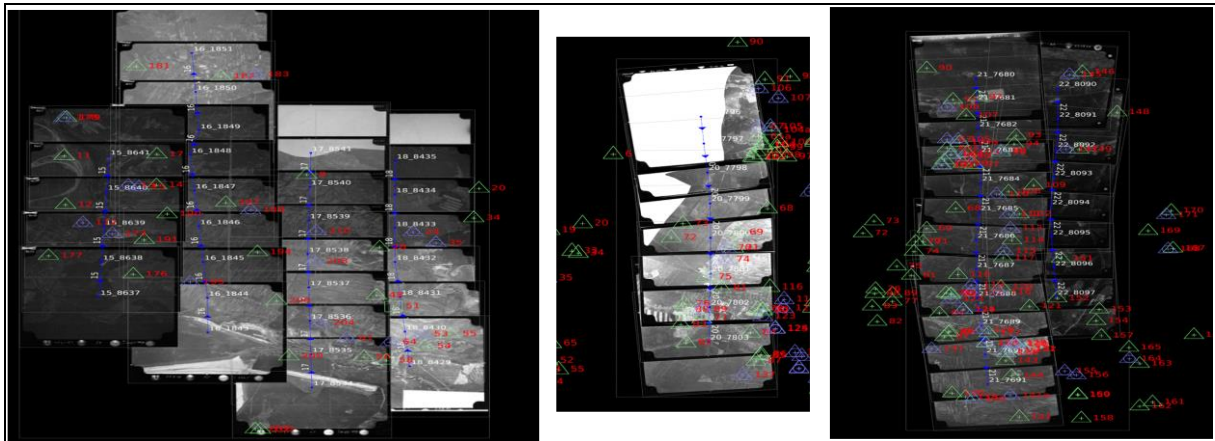
Do opracowania danych wykorzystano cyfrową stację fotogrametryczną INPHO. Aerotriangulację metodą niezależnych wiązek wykonano w oparciu o osnowę naziemną, która dla całego obszaru składała się z 211 punktów. Ze względu na różne pokrycie obszaru zdjęciami i zmienną widoczność oraz trwałość punktów w czasie, konfiguracja punktów osnowy w opracowaniu zdjęć w różnych okresach była inna. Dokładność wpasowania w układ terenowy (PL-1992) była tym lepsza im nowsze były zdjęcia (Ryc. 7.1).



**Ryc. 7.1 Wartości błędów sytuacyjnych i wysokościowych na punktach kontrolnych dla opracowywanych zdjęć lotniczych (Tab. 7.1)**

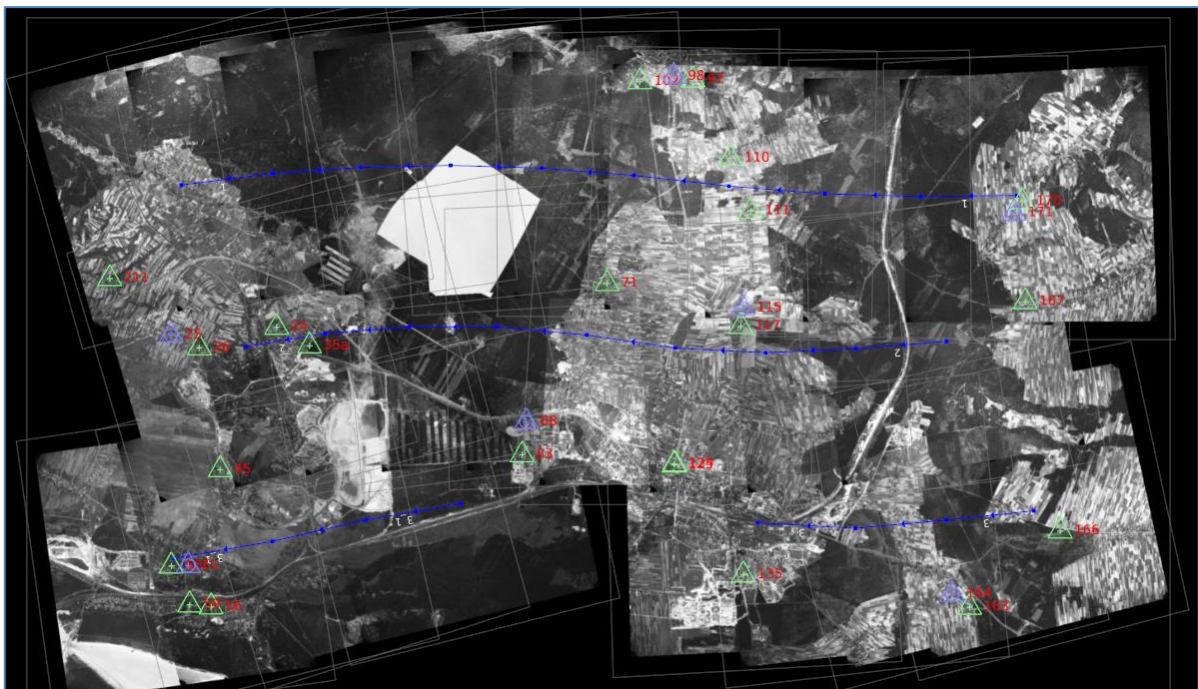
## Charakterystyka zdjęć archiwalnych

Obszar olkuski w 1976 r został sfotografowany 3-krotnie zdjęciami o różnej skali. Przeważająca część (centralna oraz wschodnia) odwzorowana jest na zdjęciach w skali 1:16 000 i 1: 17 000. Tylko jeden szereg od strony zachodniej zarejestrowany został zdjęciami w skali 1:5 500. Północna i centralna część badanego terenu w tym okresie była objęta klauzulą tajności stąd brak danych o zapadliskach dla tego obszaru (Ryc. 7.2).



Ryc. 7.2. Rozmieszczenie zdjęć lotniczych wykonanych w roku 1976 dla obszaru olkuskiego

W 1982 r naloty nad badanym obszarem wykonano dwukrotnie, podczas których pozyskano zdjęcia w skali 1:10 000 oraz w skali 1:16 000 (Ryc. 7.3). Północna część w okolicach miejscowości Hutki została wymazana ze zdjęć ze względu na poufny charakter tego obszaru.



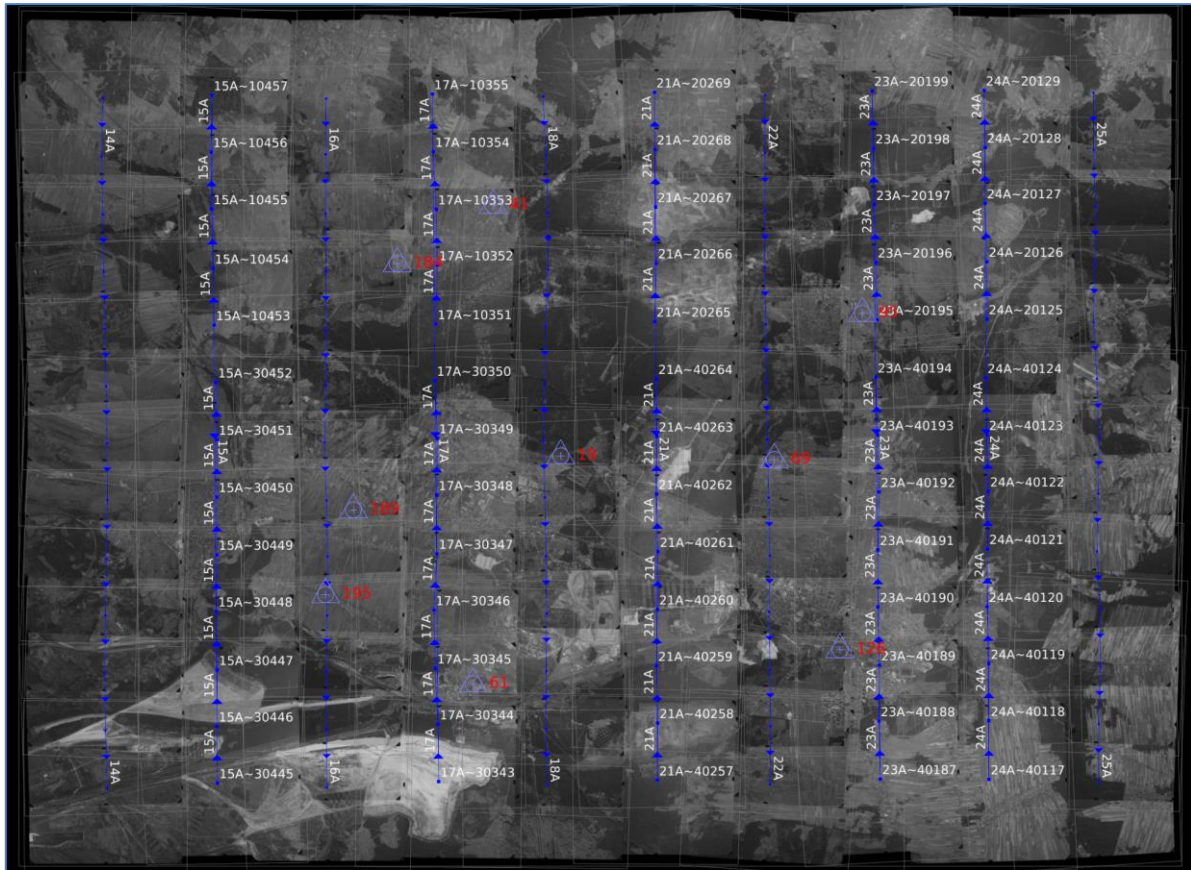
Ryc. 7.3. Rozmieszczenie zdjęć lotniczych wykonanych w roku 1982 dla obszaru olkuskiego

W 1996 r naloty nad badanym obszarem wykonano 1 raz, podczas którego pozyskano zdjęcia w rozdzielczości 1:26 000 na filmie kolorowym. Nalot nie obejmował południowo-wschodniej części obszaru (Ryc. 7.4).



Ryc. 7.4. Rozmieszczenie zdjęć lotniczych wykonanych w roku 1996 dla obszaru olkuskiego

W 2003 r badany obszar został w całości objęty nalotami, podczas których wykonano zdjęcia panchromatyczne w skali 1: 13 000 (Ryc. 7.5).

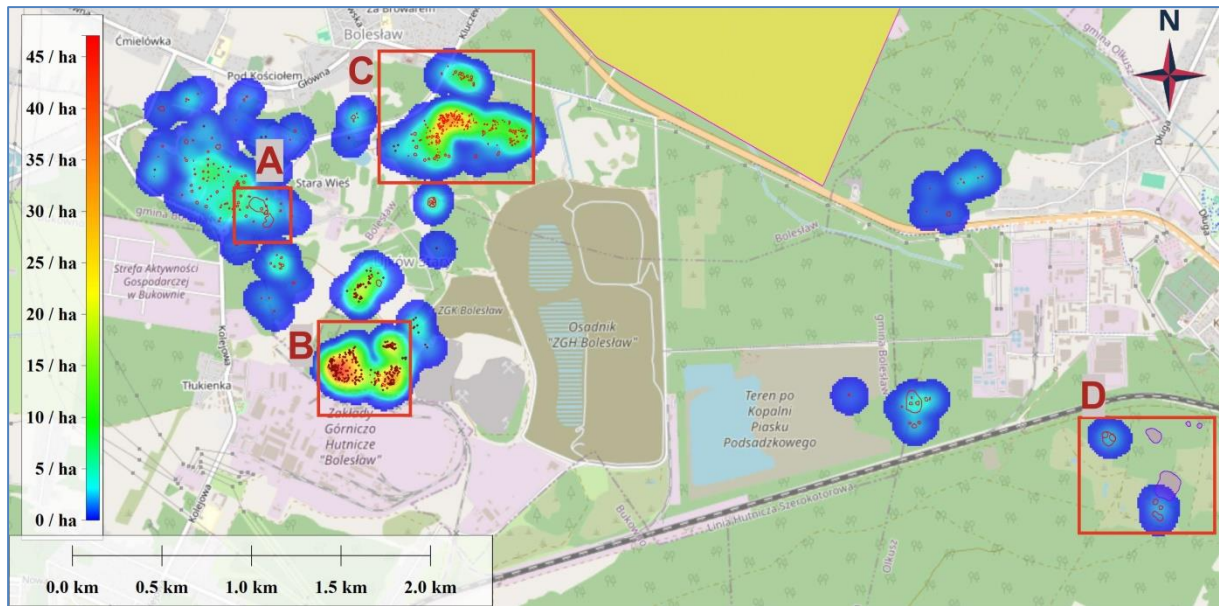


Ryc. 7.5. Rozmieszczenie zdjęć lotniczych wykonanych w roku 2003 dla obszaru olkuskiego

Zapadliska identyfikowano głównie podczas obserwacji stereoskopowych, wspomagając się rysunkiem warstwicowym oraz NMT wygenerowanym z archiwalnych zdjęć. Na obszarze oprócz zapadlisk rozpoznano zagłębienia o niepewnej genezie. Mogły być to zagłębienia związane z eksploatacją powierzchniową lub innymi działaniami antropogenicznymi. Obszary te nie zostały uwzględnione w analizie. Czynnikiem uniemożliwiającym jednoznaczne porównanie liczby zapadlisk było różne pokrycie badanego obszaru zdjęciami lotniczymi oraz stosowanie klauzuli poufności, co spowodowało, że rejon od miejscowości Hutki po Pustynię Błędowską nie był widoczny.

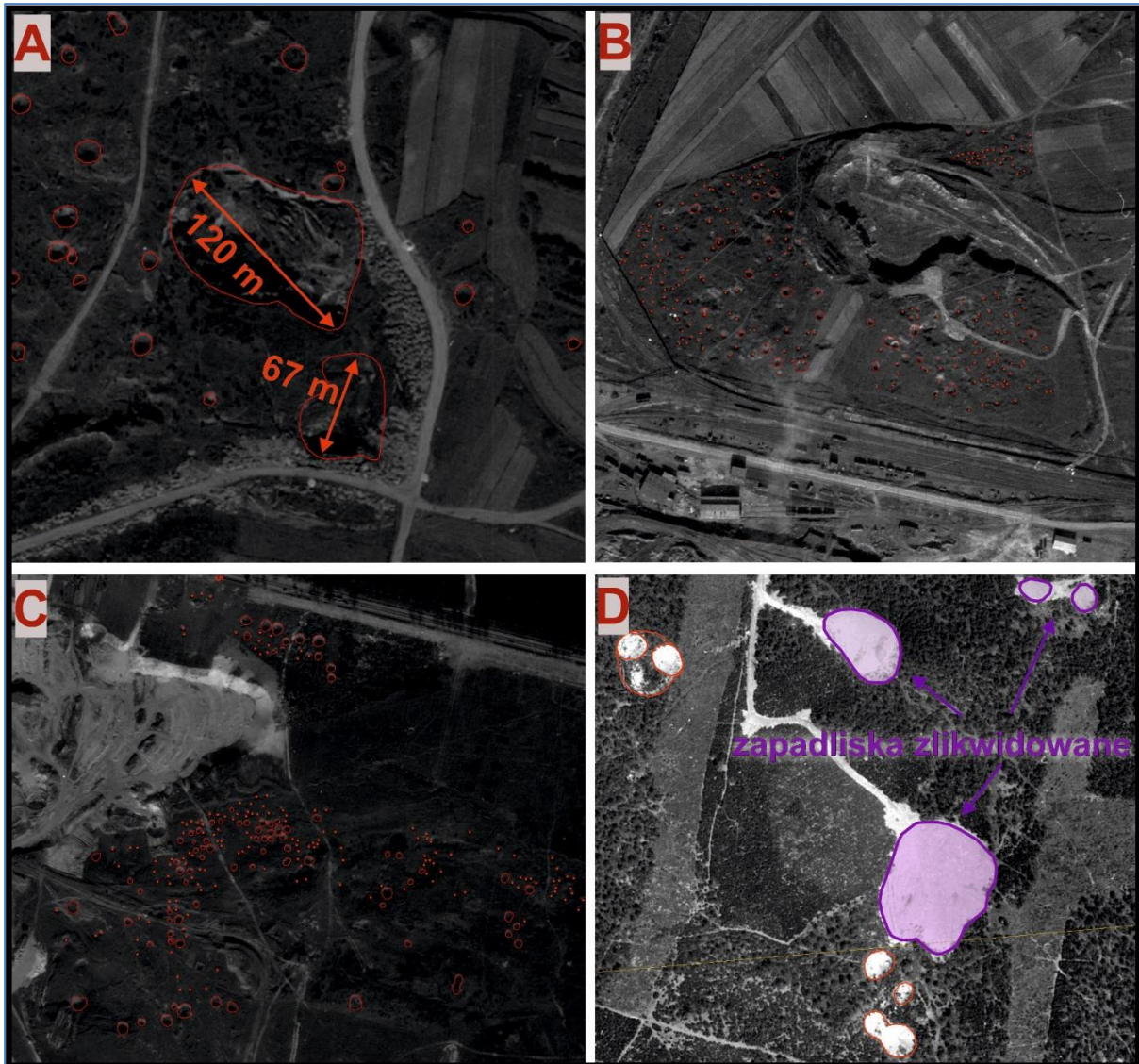
### Rozwój zapadlisk w okresie 1976-2003

Na najstarszych wykorzystanych do analizy zdjęciach pochodzących z 1976 r. rozpoznano 611 zapadlisk (Ryc. 7.6). Ich lokalizacja koreluje się z zasięgiem dawnej eksploatacji w kopalniach: Bolesławskiej, Ulisses, Jerzy, Józef, które są w zasięgu obszarów górniczych Olkusz, Olkusz II, Bolesław, Pomorzany III. W przypadku 334 form możliwe było wyznaczenie zasięgu i określenie podstawowych parametrów takich jak: wymiary, głębokość i powierzchnia. Większość z tych zapadlisk to formy o powierzchni poniżej 100 m<sup>2</sup>, jedynie 10 zapadlisk ma powierzchnię większą niż 0,1 ha.



Ryc. 7.6. Mapa gęstości zapadlisk wraz z ich rozmieszczeniem w 1976 roku na tle mapy topograficznej

Największe i najgłębsze zapadlisko zarejestrowano na NW od miejscowości Ujków Stary (Ryc. 7.6\_1 A). Jego powierzchnia i głębokość wynosiła odpowiednio 0,9 ha oraz ponad 20 m. Część zapadlisk to bardzo małe formy, niekiedy połączone ze sobą, w przypadku których trudno było wyznaczyć zasięg ze względu na rozdzielczość zdjęć. Takich form, oznaczonych punktowo, zarejestrowano aż 277, a ich największe nagromadzenie znajdowało się na N od Zakładów Górnictwa Hutniczych „Bolesław” (Ryc. 7.6\_1 B). Duże nagromadzenie zapadlisk widoczne jest SE od Bolesława (Ryc. 7.6\_1 C). W większości występują tam zapadliska małe o średnicy leja poniżej 10 m. Mniej liczne są zapadliska o średnicy od 10 do 14 m. W tym rejonie zarejestrowano jedną formę złożoną z kilku mniejszych lejów o łącznej średnicy 55m. Na zdjęciach zarejestrowano również 4 zapadliska, które zostały zlikwidowane (Ryc. 7.6\_1 D). Jedno z nich uaktywniło się w 2023 r.

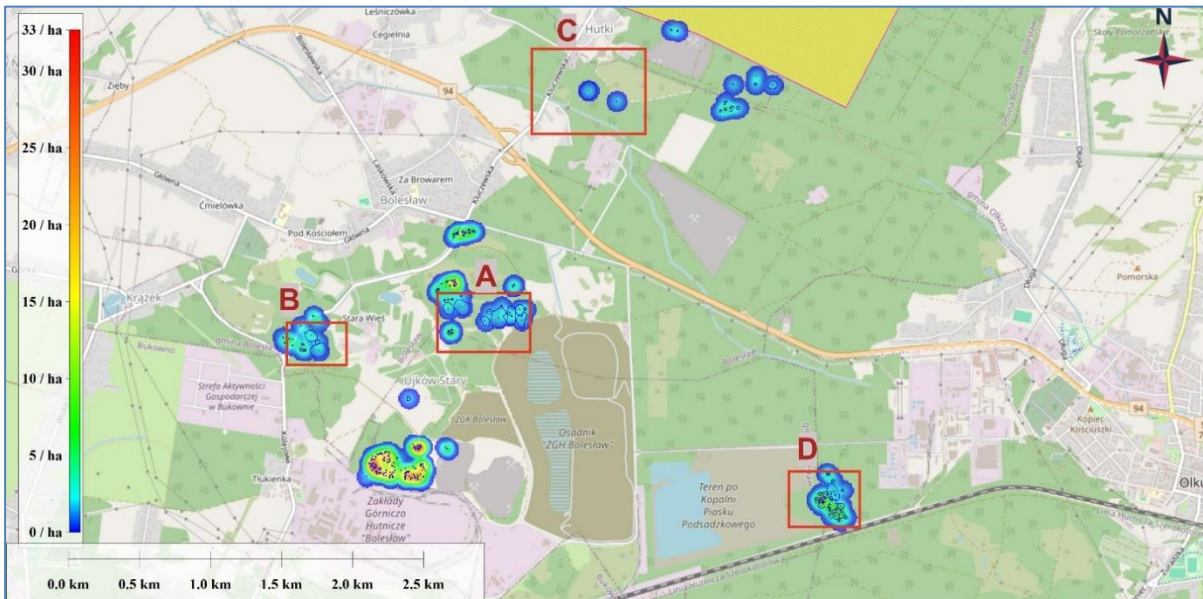


Ryc. 7.6\_1. Przykładowe rejon występowania zapadlisk na zdjęciach lotniczych z 1976 r.: A- największe i najgłębsze zapadlisko znajdujące się na NW od miejscowości Ujków Stary; B- obszar o dużej gęstości małych zapadlisk znajdujących się na N od ZGH Bolesław; C- obszar z dużą liczbą zapadlisk na SE od Bolesława; D- obszar na S od Olkusza

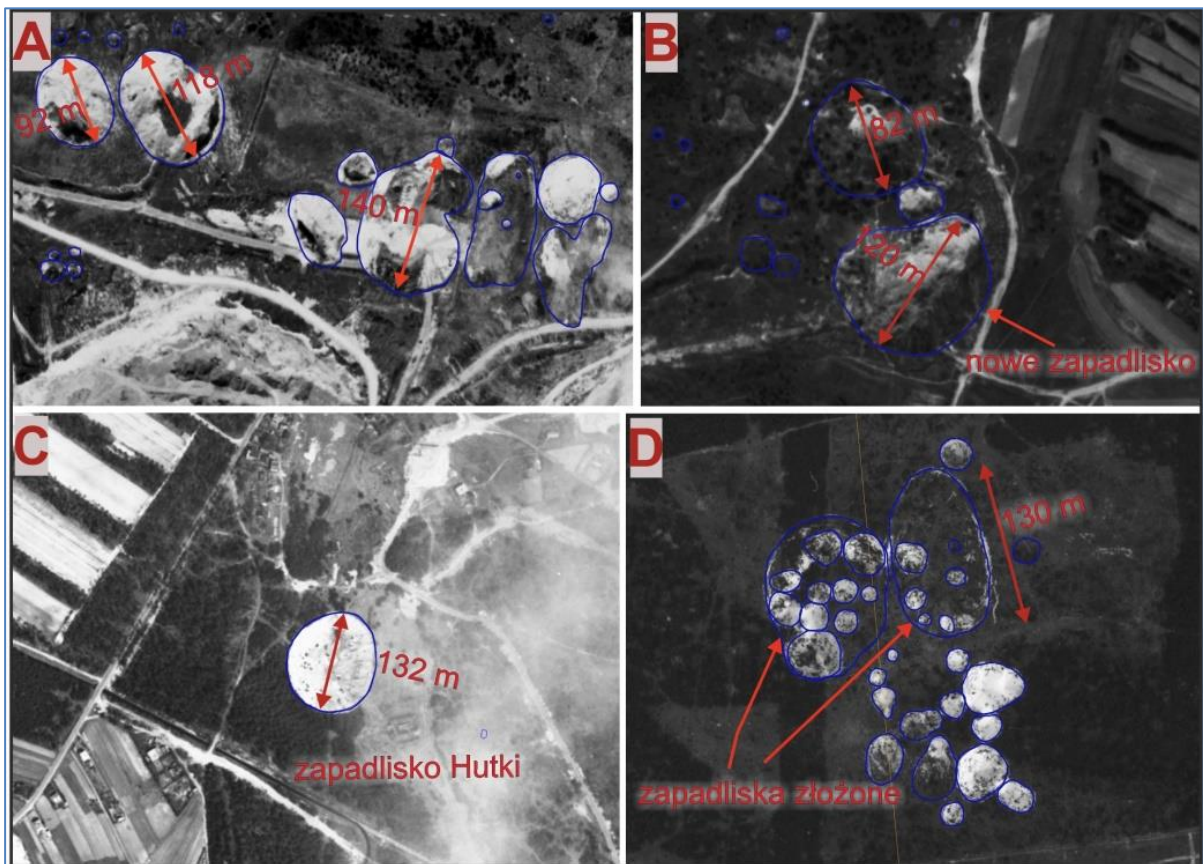
Na zdjęciach z roku 1982 zarejestrowano 252 zapadliska, które zajmują łącznie 10,7 ha (Ryc. 7.7). Zdecydowana większość, bo aż 235 to formy o powierzchni poniżej 0,1 ha, z których 181 to formy o powierzchni poniżej 100 m<sup>2</sup>. Na zdjęciach widoczny jest rozwój form o znacznych rozmiarach, których największe nagromadzenie znajduje się na SE od Bolesławia (Ryc. 7.8A).

Zapadliska w tym rejonie osiągają średnicę ponad 100 m a największe nawet 140 m. Duże zapadlisko widoczne na zdjęciach w 1976 w okolicach Ujkowa Starego zwiększyło rozmiary, a w bezpośrednim sąsiedztwie od strony południowej rozwinęła się kolejna duża forma o głębokości 39 m (Ryc. 7.8B). W stosunku do 1976 r nastąpił spadek liczby zapadlisk, a duża część istniejących w przeszłości form została zlikwidowana (rejon kopalni Ulisses, rejon na S od Olkusza). Na obszarze na S od miejscowości Hutki powstało izolowane, duże zapadlisko o średnicy 130 m (Ryc.

7.8C). W granicach obszaru górniczego Olkusz II (na SW od Olkusza) powiększył się teren, na którym obserwowane są nowe zapadliska. W rejonie tym powstały złożone duże formy, w obrębie których występują mniejsze leje (Ryc. 7.8D).

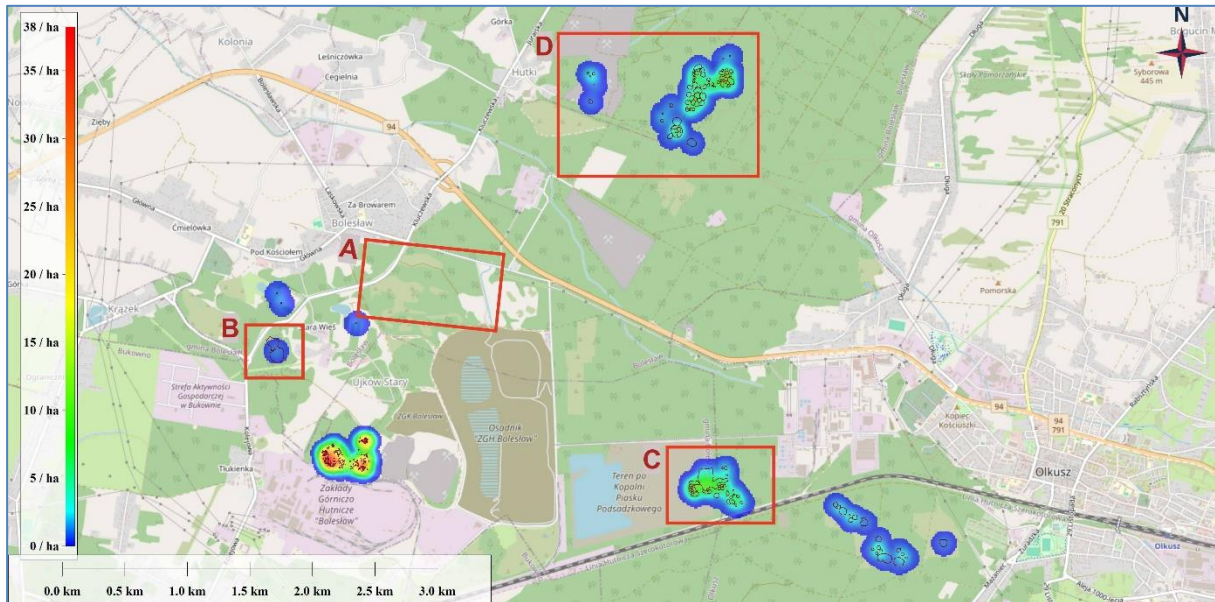


Ryc. 7.7. Mapa gęstości zapadlisk wraz z ich rozmieszczeniem w 1982 r na tle mapy topograficznej



Ryc. 7.8. Przykładowe rejonowe występowanie zapadlisk na zdjęciach lotniczych z 1982 r.: A- obszar na SE od Bolesława; B- obszar pomiędzy miejscowościami Ujków Stary i Stara Wieś; C- obszar na S od miejscowości Hutki; D- obszar na SW od Olkusza

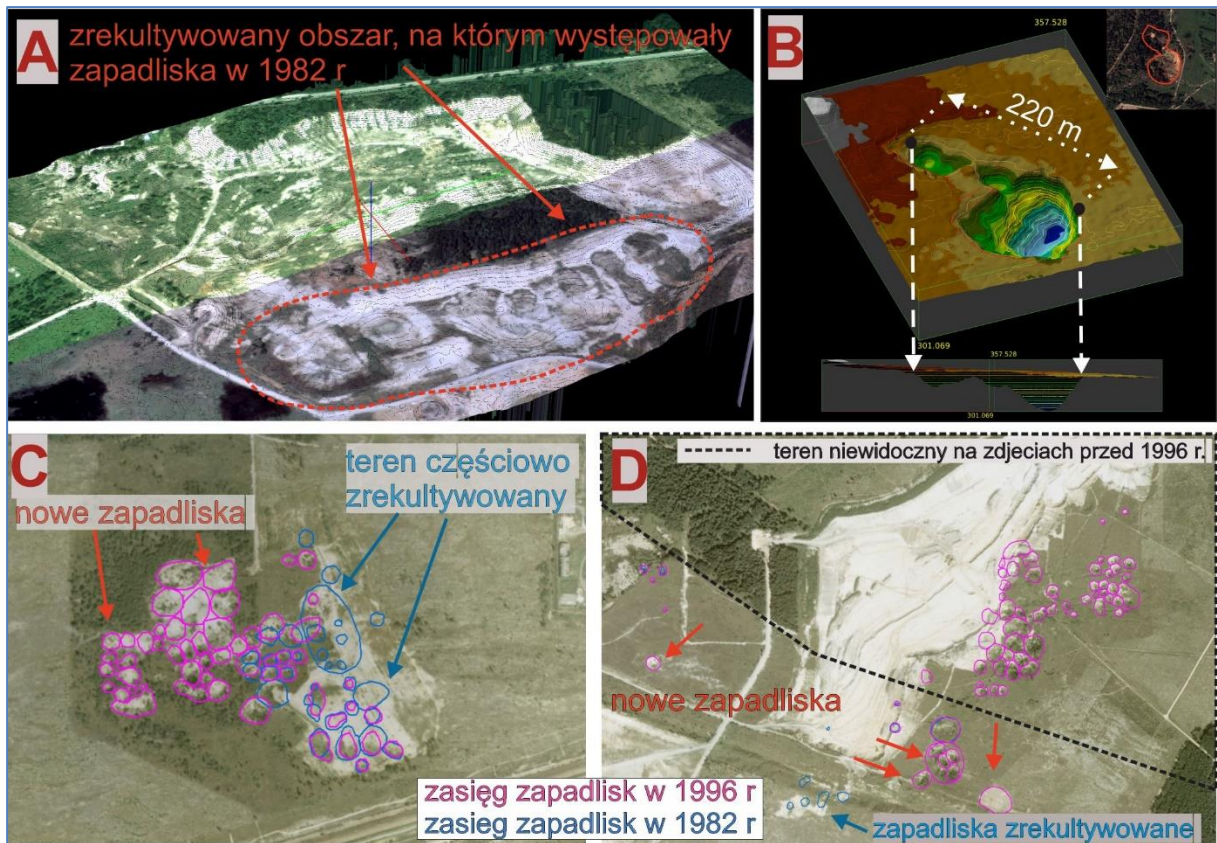
Na zdjęciach lotniczych z 1996 roku rozpoznano 150 zapadlisk o łącznej powierzchni 14,3 ha. Największa gęstość zapadlisk występuje na N od ZGH Bolesław (Ryc. 7.9). Liczba zapadlisk tam występująca jest niedoszacowana ze względu na przeobrażenia antropogeniczne terenu i rozdzielczość terenową zdjęć lotniczych, przez co duża liczba małych zapadlisk nie była możliwa do identyfikacji.



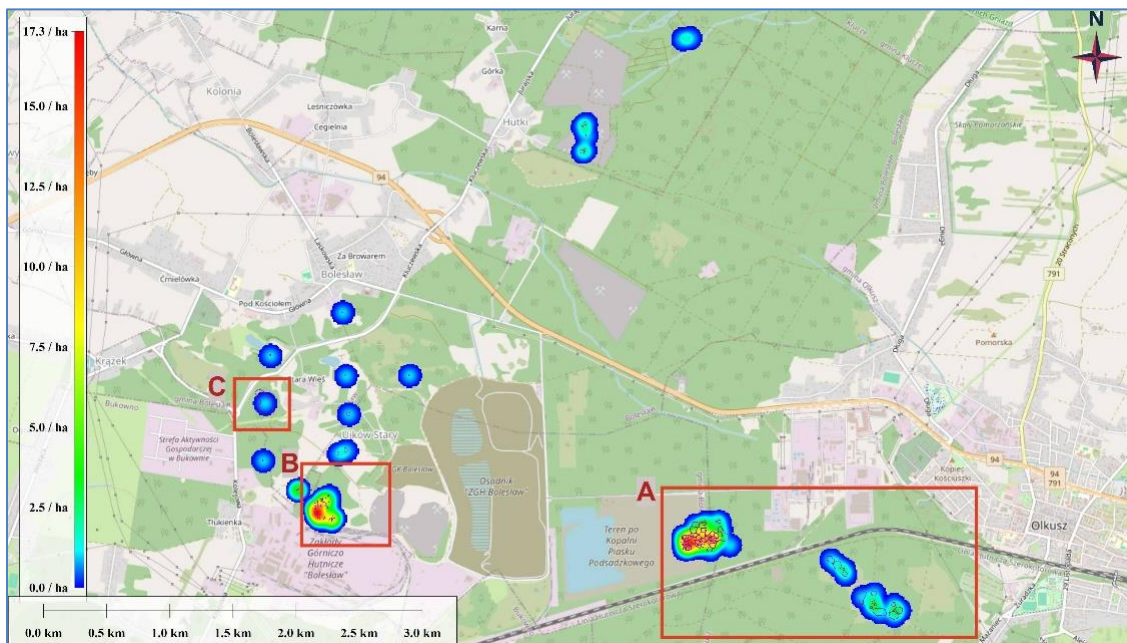
Ryc. 7.9. Mapa gęstości zapadlisk wraz z ich rozmieszczeniem w 1996 r. na tle mapy topograficznej

W okresie 1982-1996 zlikwidowane zostały zapadliska w rejonie Bolesławia (Ryc. 7.10A). Na zdjęciach z 1996 zaobserwowano nieliczne i małe formy. Doszło także do rozwoju zapadliska w okolicy Starej Wsi w wyniku czego powstała jedna forma łącząca 3 leje zapadliskowe (Ryc. 7.10B). W 1996 roku zaobserwowano większą liczbę zapadlisk w rejonie miejscowości Hutki (Ryc. 7.10D) oraz w obszarze górniczym Olkusz II na SW od Olkusza (Ryc. 7.10C). W miejscowości Hutki zlikwidowane zostało duże izolowane zapadlisko widoczne na zdjęciach lotniczych z 1982 r.

Na zdjęciach w 2003 r. stwierdzono występowanie 139 zapadlisk o łącznej powierzchni 12,5 ha. (Ryc. 7.11). Największą gęstość zapadlisk stwierdzono w obrębie obszaru górniczego Olkusz II, gdzie rozwinęły się złożone formy, wewnątrz których widoczne są mniejsze leje (Ryc. 7.12A). Lokalizacja większości mniejszych form zgadza się z lokalizacją form widocznych na zdjęciach wykonanych w 1996 roku, tylko niektóre zapadliska istniejące w 1996 r. zostały zlikwidowane.

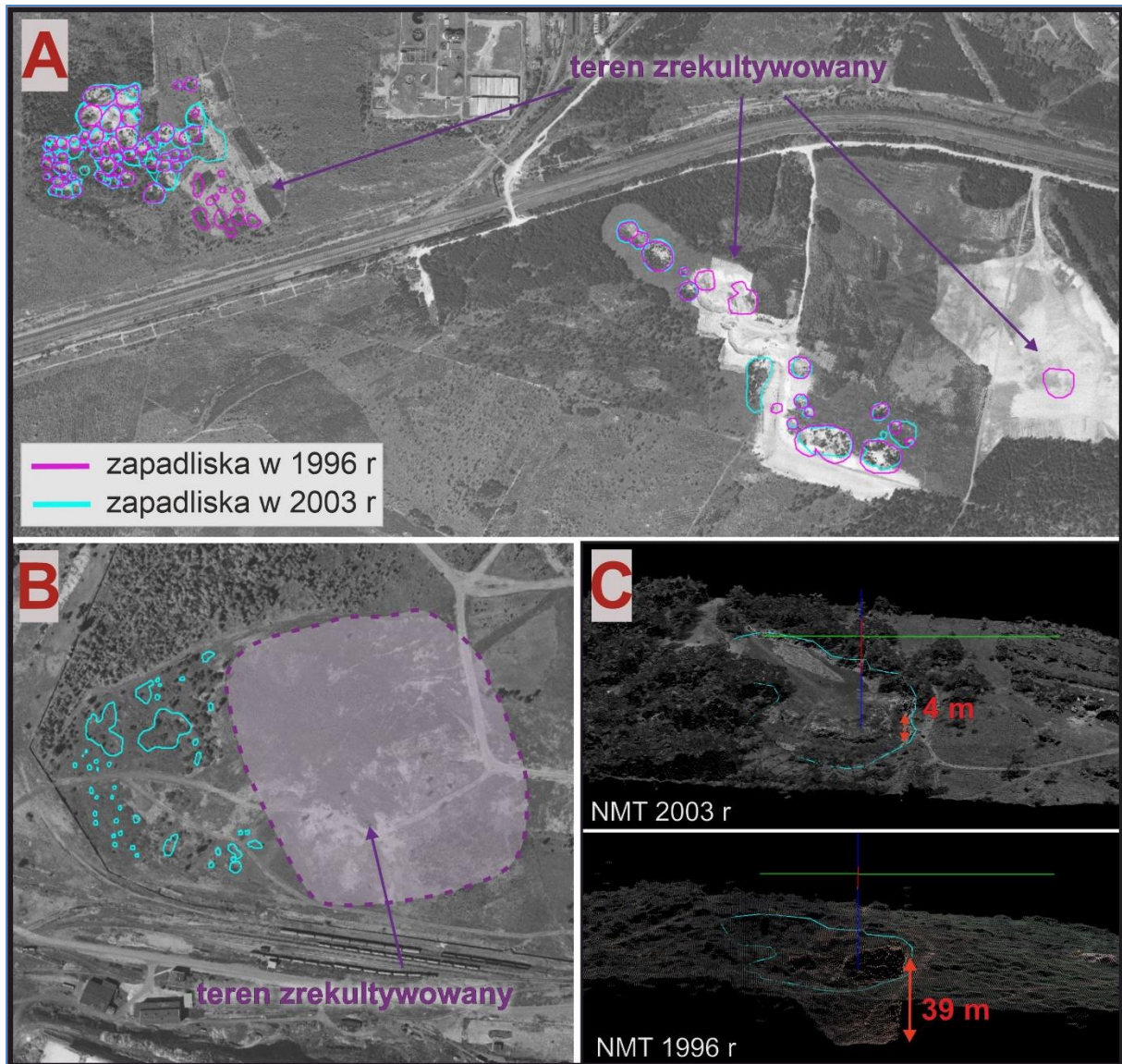


Ryc. 7.10. Przykładowe rejon występowania zapadlisk na zdjęciach lotniczych z 1996 r.: A- obszar na SE od Bolesława na tle teksturowanego NMT; B- złożone z trzech lejów zapadlisko zlokalizowane pomiędzy miejscowościami Ujków Stary i Stara Wieś; C- obszar na SW od Olkusza; D- obszar na E od miejscowości Hutki



Ryc. 7.11. Mapa gęstości zapadlisk wraz z ich rozmieszczeniem w 2003 roku na tle mapy topograficznej

Duże nagromadzenie zapadlisk znajduje się na N od ZGH Bolesław (Ryc. 7.12B). Podobnie jak w latach poprzednich stwierdzono tam małe zapadliska o średnicy leja ok 1 m. Niektóre formy, widoczne na zdjęciach w poprzednich latach, połączyły się tworząc leje większych rozmiarów. Wschodnia część tego obszaru została zrehabilitowana. Na obszarze obejmującym miejscowości Ujków Stary i Stara Wieś stwierdzono występowanie nielicznych rozproszonych zapadlisk. Duże zapadlisko rozwijające się w poprzednich latach jest w trakcie likwidowania i w momencie wykonania zdjęć proces ten był na ukończeniu (Ryc. 7.12C).



Ryc. 7.12 Przykładowe rejony występowania zapadlisk na zdjęciach lotniczych z 2003 r.: A- obszar na SW od Olkusza; B- częściowo zrehabilitowany obszar na N od ZGH Bolesław, na którym w przeszłości występowały małe zapadliska; C- zapadlisko pomiędzy miejscowościami Ujków Stary i Stara Wieś

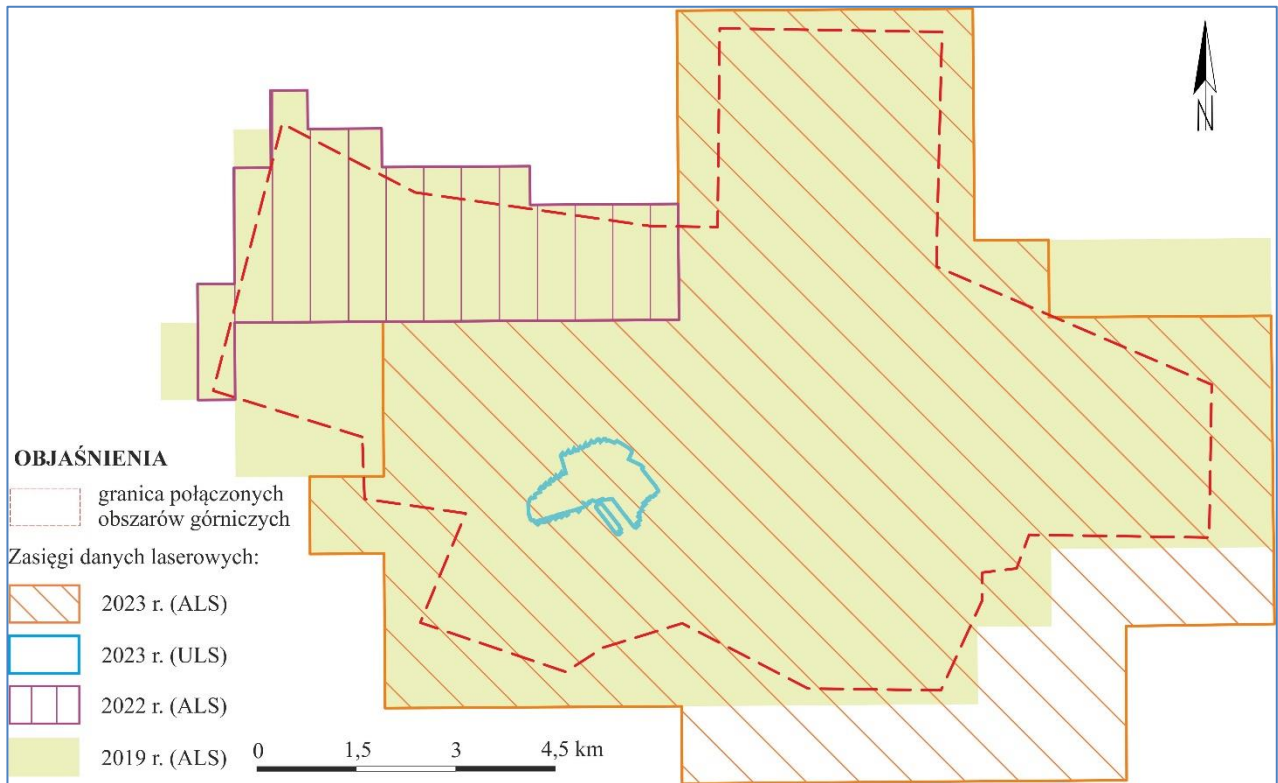
## 8 ROZWÓJ ZAPADLISK NA PODSTAWIE ANALIZ RÓŻNICOWYCH MODELII TERENU

---

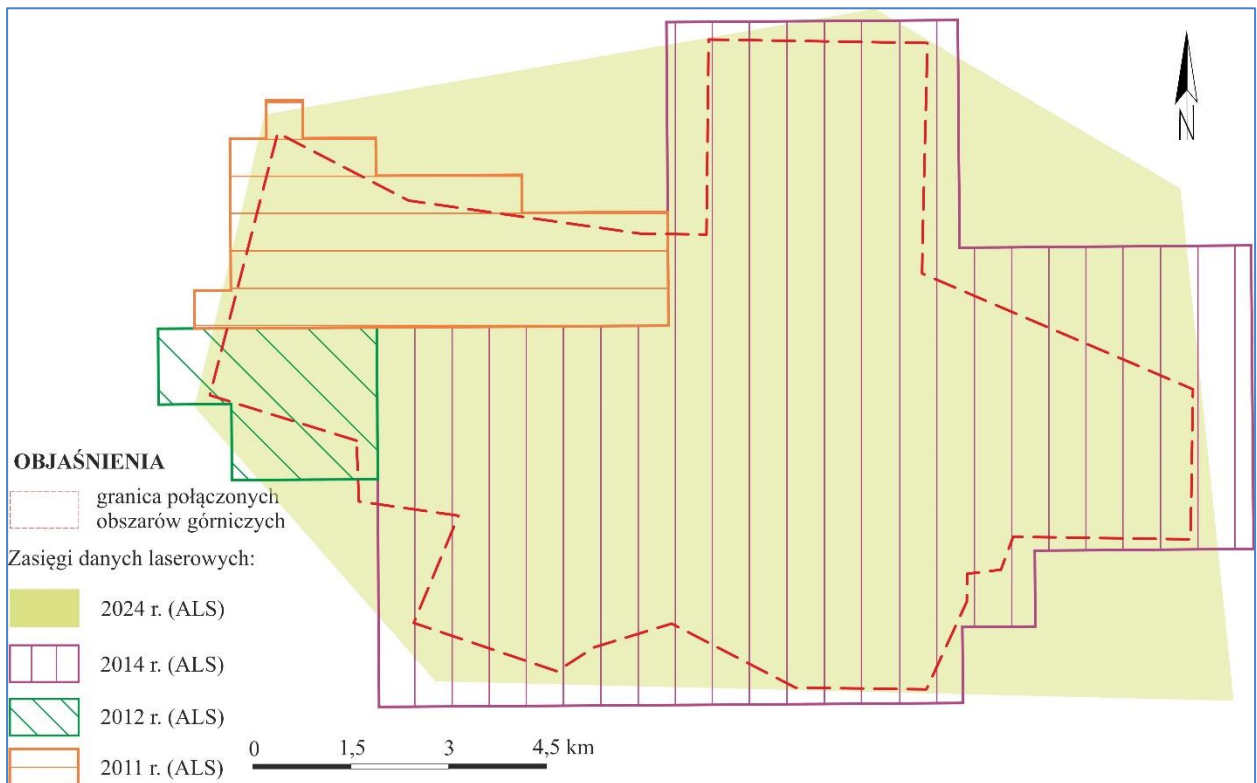
---

W raporcie przedstawiono wyniki analiz różnicowych modeli terenu (RMT) dla rejonów, gdzie na podstawie danych LIDAR stwierdzono powstawanie nowych zapadlisk, uaktywnienie istniejących lub historycznych. Wyniki analiz numerycznych modeli terenu na potrzeby niniejszego raportu oparte są na danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS). Na potrzeby doprecyzowania wyników wykonano dodatkowe skanowanie powierzchni terenu z pułapu UAV w Bolesławiu. Analizowane dane ALS pozyskano z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK). Dla badanego obszaru wykorzystano dane LIDAR pozyskane z pułapu lotniczego w latach 2011, 2012, 2014, 2019, 2022, 2023. Dla całego analizowanego terenu 3 listopada 2024 roku wykonano na zlecenie PIG-PIB nalot lotniczy, który pozwolił na pozyskanie danych z lotniczego skaningu laserowego (ryc. 8.1, ryc. 8.2).

Pozyskane w procesie lotniczego skanowania laserowego dane występują w postaci tzw. „chmur punktów”, w których każdy punkt ma określoną współrzędną poziomą oraz współrzędną pionową. W analizach wykorzystano tylko punkty sklasyfikowane jako „grunt”, reprezentujące powierzchnię terenu. Na ich podstawie wygenerowano numeryczne modele terenu (NMT) w rozdzielczości 0,5 m stosując interpolację TIN. Dokładność NMT jest zależna od gęstości punktów, sposobu interpolacji oraz od stopnia pokrycia terenu roślinnością i zabudową. Dokładność wysokościowa NMT dla terenów utwardzonych jest obarczona niewielkim błędem nieprzekraczającym 3 cm, natomiast w przypadku obszarów pokrytych gęstą roślinnością błąd ten czasami może przekraczać 20 cm. Dalsze analizy polegały na wykonaniu różnicowych modeli terenu (RMT). Model różnicowy uzyskuje się porównując dane z co najmniej dwóch nalotów ALS wykonanych na tym samym terenie, w różnym czasie. Przedstawia on różnice wysokościowe między NMT uzyskanym w wyniku nalotu młodszego, a NMT wygenerowanym na podstawie danych z nalotu starszego. Dokładność takich modeli jest zwykle obarczona błędem rzędu decymetrów, jest ona jednak wystarczająca do zarejestrowania nowopowstałych zapadlisk i innych ewentualnych deformacji. Utworzono RMT głównie dla okresów 2014 – 2019, 2019 – 2023 oraz 2023 – 2024.



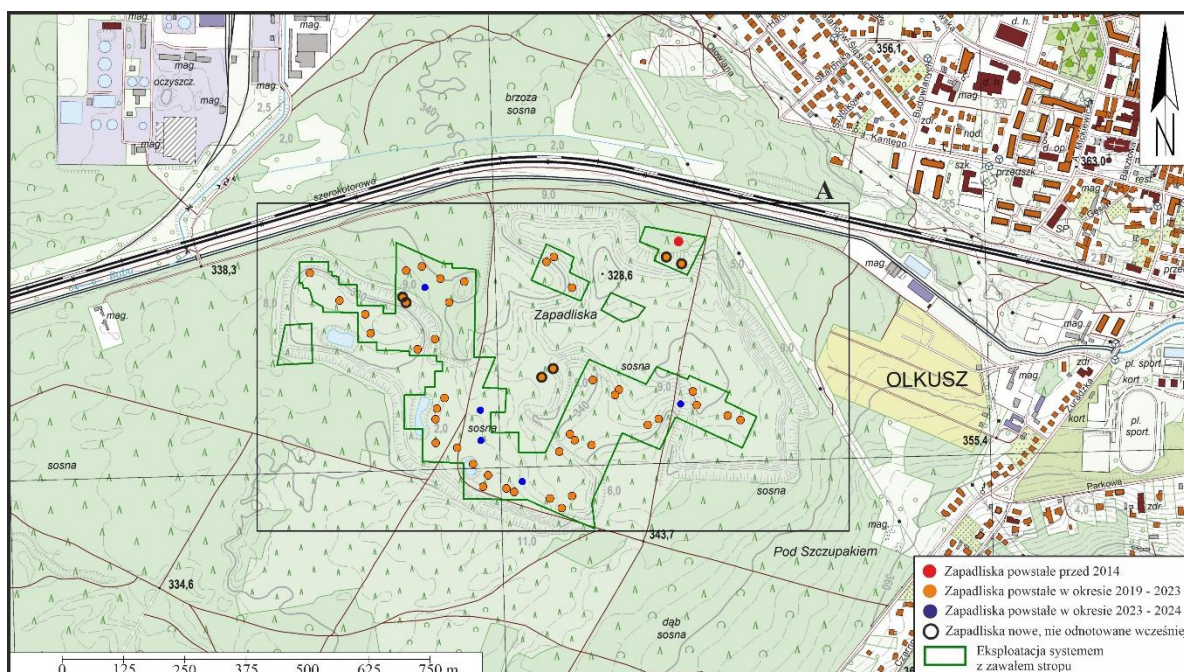
Ryc. 8.1. Zasięgi danych ALS i ULS w obrębie analizowanego obszaru dla 2023, 2022, 2019 r.



Ryc. 8.2. Zasięgi danych ALS i w obrębie analizowanego obszaru dla 2024, 2014, 2012, 2011 r.

## **Nieczynna piaskownia na zachód od ogrodów działkowych przy ul. Żuradzkiej (Obszar A)**

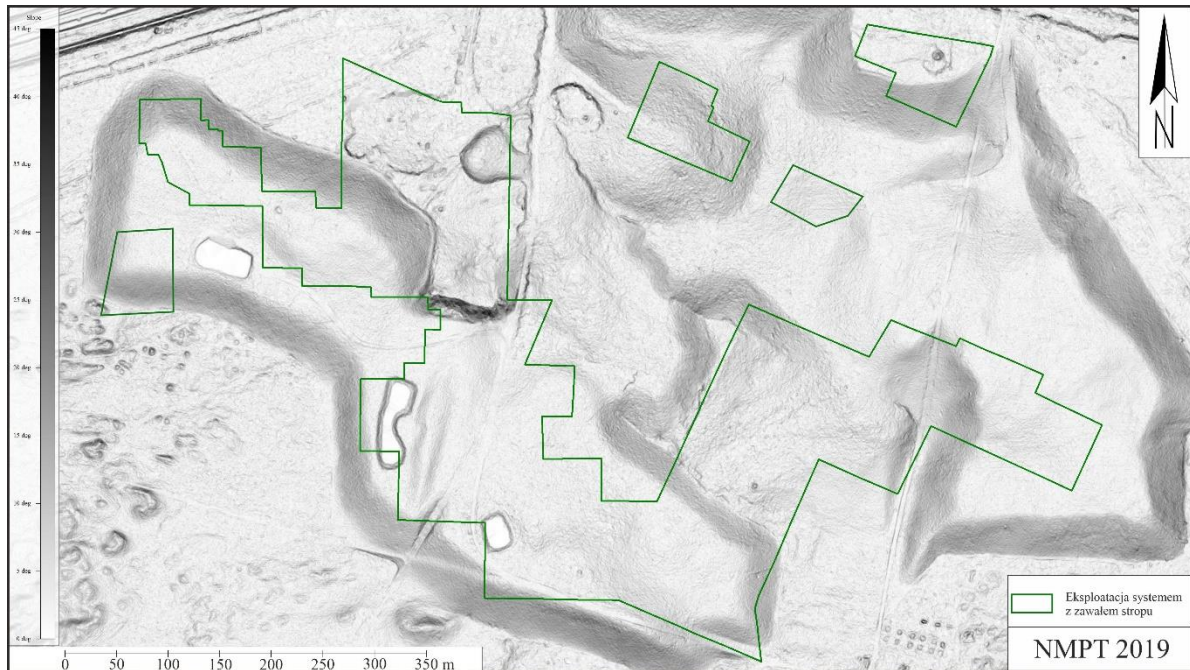
Obszar zlokalizowany jest na zachód od ogrodów działkowych przy ul. Żuradzkiej w Olkuszu (ryc. 8.3). Zapadliska powstały w nieczynnej zalesionej piaskowni, której kształt w części zachodniej i południowej pokrywa się z obszarem eksploatacji systemem z zawałem stropu. W północno – wschodniej części obszaru widoczne jest niewielkie zapadlisko powstałe przed 2014 r. Pomiędzy 11.2014 a 10.2019 nie zaobserwowano żadnych zapadlisk, natomiast w okresie 10.2019 – 11.2024 powstały na tym obszarze 52 zapadliska (ryc. 8.4). W oparciu o analizę RMT stwierdzono że pomiędzy 10.2019 – 04.2023 powstało 47 zapadlisk, natomiast 04.2023 – 11.2024 jedynie 5. Zapadliska to w większości formy powstałe w wyniku reaktywacji starych zapadlisk, które zostały w przeszłości zasypane i zrehabilitowane częściowo w ramach działalności piaskowni, jedynie 6 zapadlisk to formy nowe nie odnotowane w żadnych źródłach.



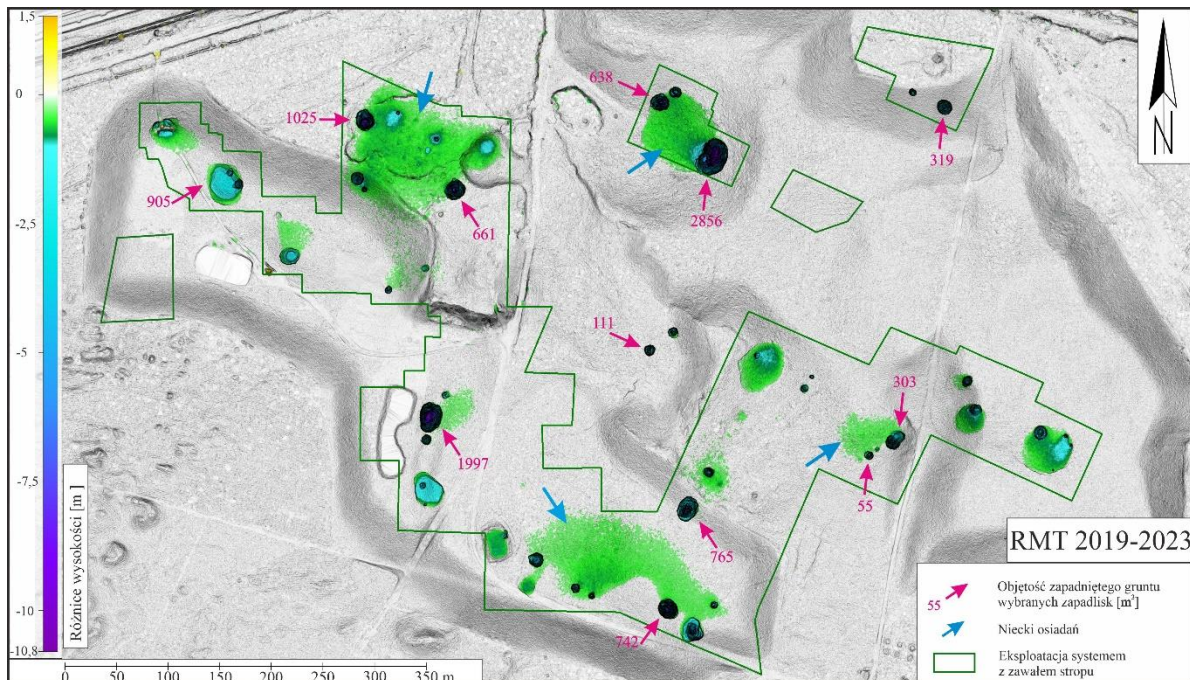
**Ryc. 8.3. Mapa lokalizacyjna obszaru A na podkładzie BDOT10 (źródło: GUGiK)**

Okres między październikiem 2019 r., a kwietniem 2023 r. charakteryzuje się najintensywniejszym tempem powstawania zapadlisk, z których największe posiadało wymiary 38 x 24 m oraz głębokość ok. 9 m. W północnej jak i południowej części pomiędzy zapadliskami utworzyły się niecki osiadań o wartościach ugięć dochodzących miejscami do 0,8 m (ryc. 8.5). Na pozostałym obszarze obniżenia formują się jedynie wokół brzegów zapadlisk. W kolejnym okresie od kwietnia 2023 r. do listopada 2024 r. zauważalny jest duży spadek dynamiki powstawania nowych zapadlisk, widoczne są jedynie zmiany w obrębie już powstałych form w postaci ich pogłębiania lub obsypywania niestabilnych skarp do leja (ryc. 8.6). Zapadliska oraz niecki praktycznie nie wychodzą poza obszary wyznaczone dla eksploatacji z zawałem stropu, powstały

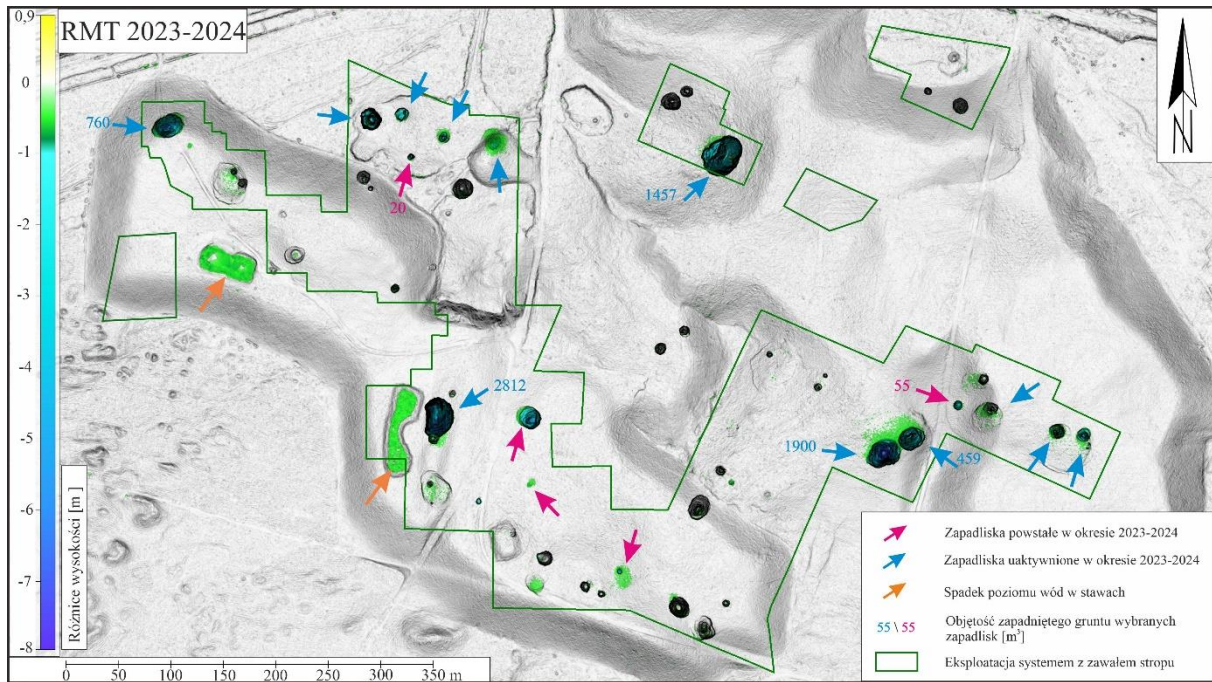
tak jedynie dwa zapadliska o średnicy 11 m. W granicach jakich zapadliska aktualnie powstawały nie stwarzają zagrożenia dla przebiegającej na północy linii kolejowej, jak również sieci elektroenergetycznej na wschodzie.



Ryc. 8.4. Numeryczny model powierzchni terenu z 2019 r. dla obszaru A



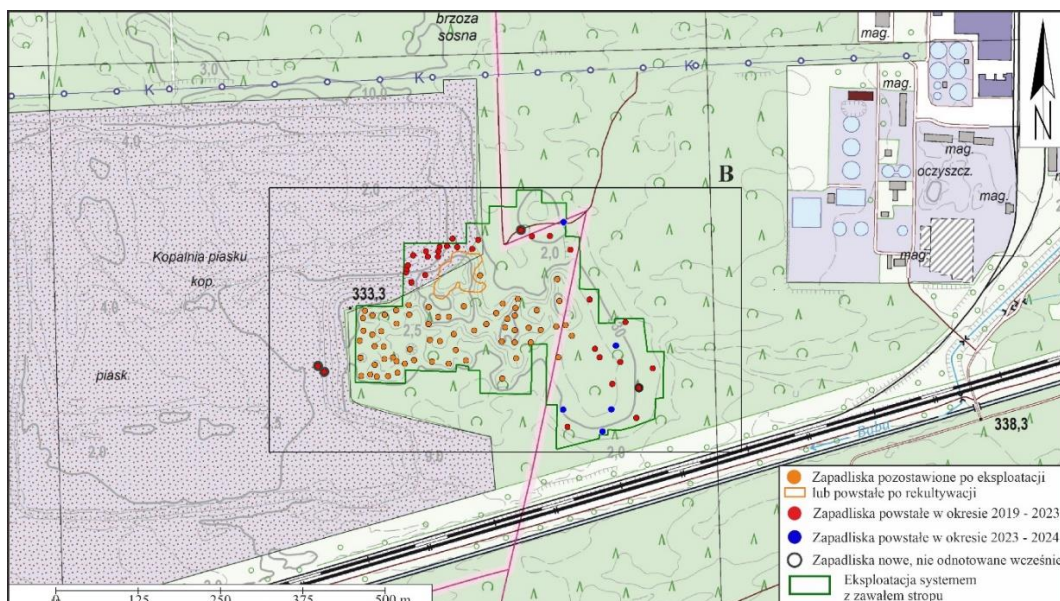
Ryc. 8.5. RMT 2019 - 2023 dla obszaru A



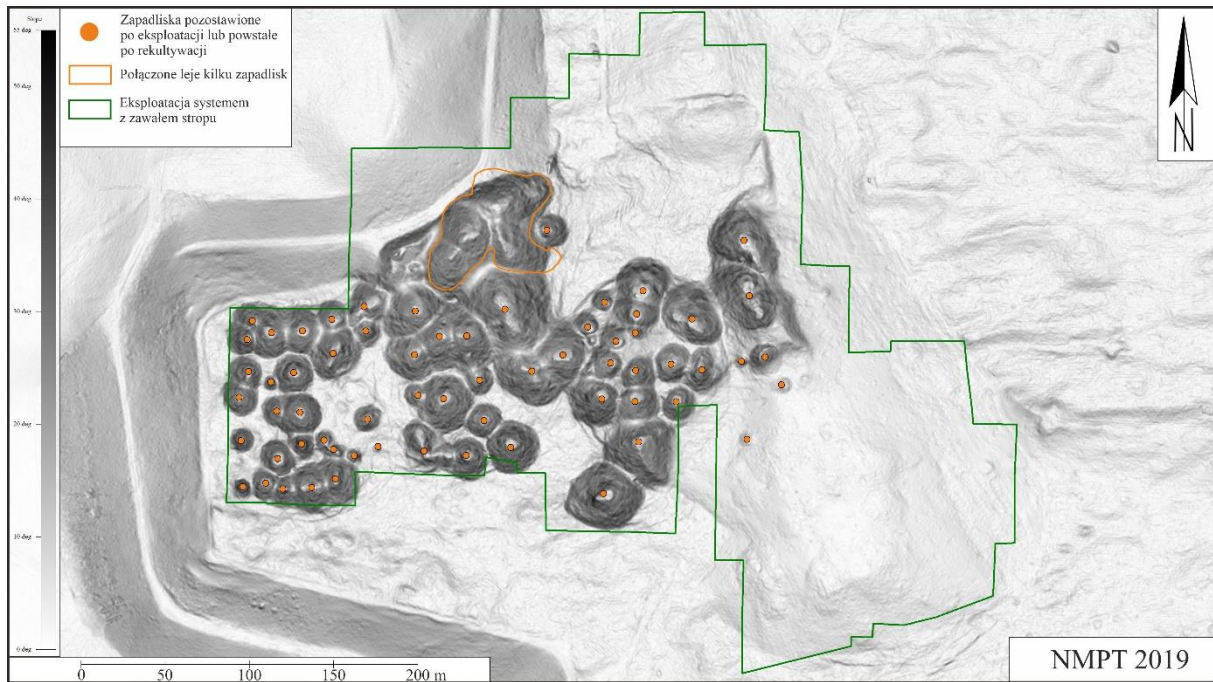
Ryc. 8.6. RMT 2023 – 2024 dla obszaru A

### **Teren na wschód od zbiornika przy ul. Osadowej (Obszar B)**

Kolejny obszar zlokalizowany jest na wschód od powstającego zbiornika przy ulicy Osadowej na granicy gmin Olkusz i Bolesław (ryc. 8.7). Zapadliska od strony zbiornika są formami niezrekultywowanymi pozostawionymi po eksploatacji systemem z zawałem stropu (ryc. 8.8). Część wschodnia została poddana rekultywacji pozostawiając ślad po pracach w postaci dużej niecki, podobnie w części północnej, gdzie po rekultywacji uaktywnione formy pozostawiono. Na obszarze tym występują 102 zapadliska z czego 65 to formy stare pozostawione po zakończonej eksploatacji, 32 powstałe w okresie 10.2019 – 04.2023, a 5 w okresie 04.2023 – 11.2024.

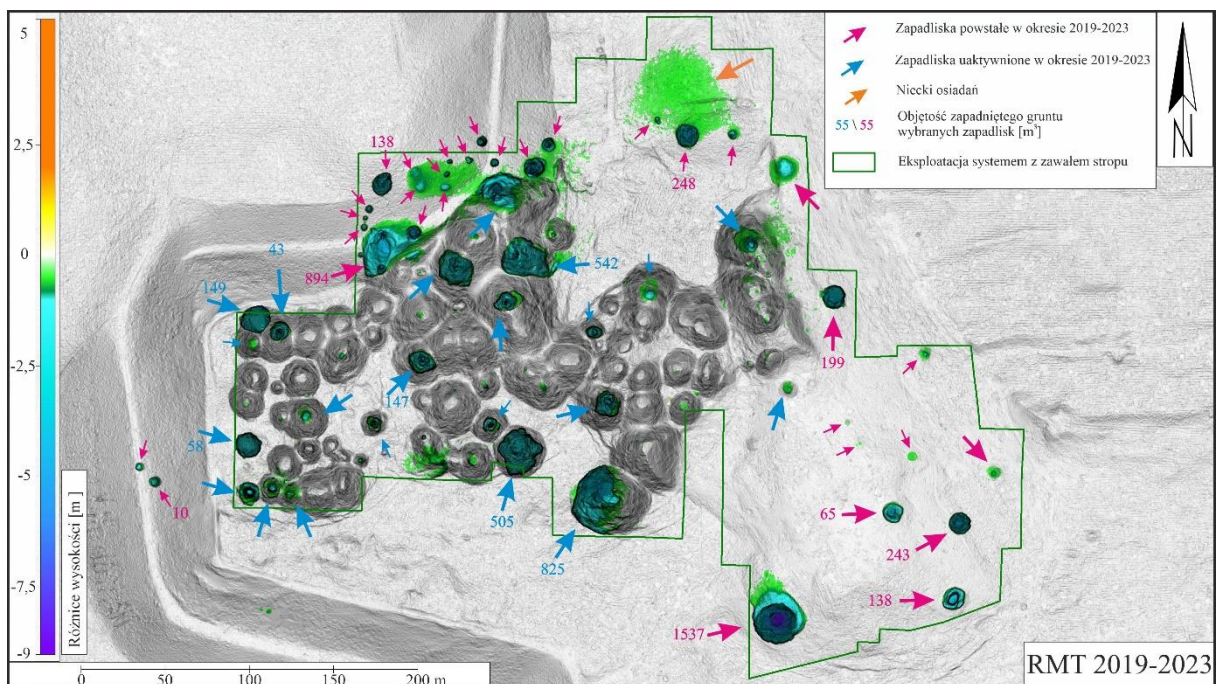


Ryc. 8.7. Mapa lokalizacyjna obszaru B na podkładzie BDOT10 (źródło: GUGiK)



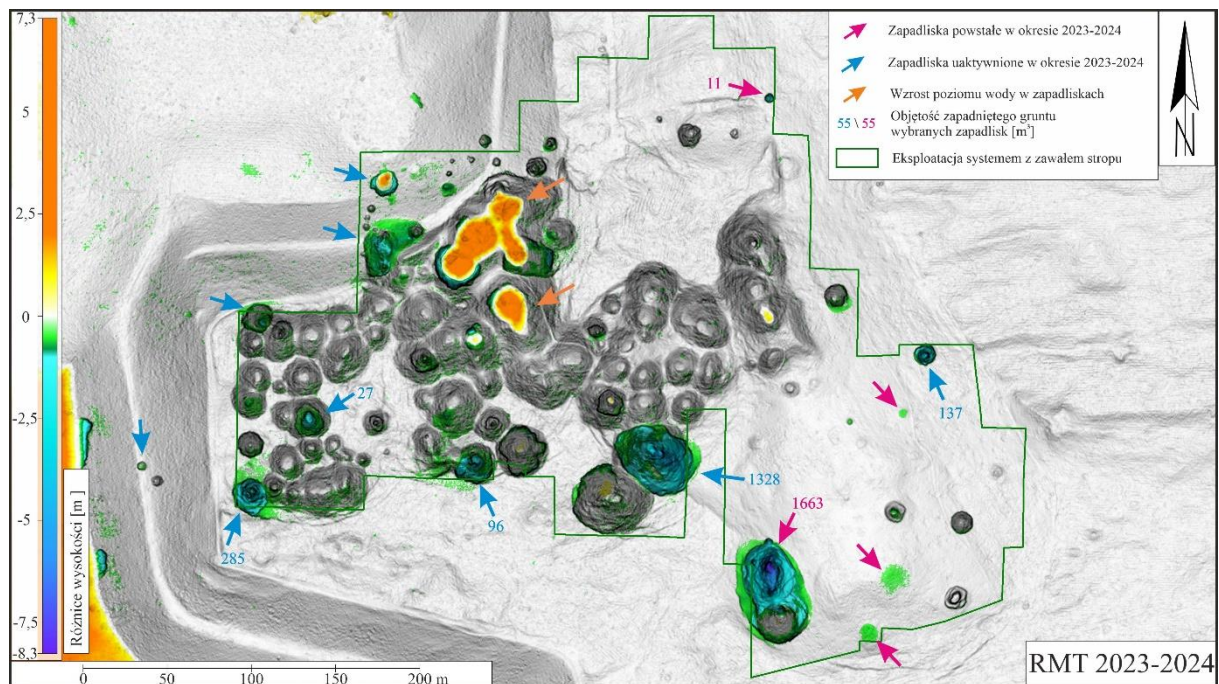
Ryc. 8.8. Numeryczny model powierzchni terenu z 2019 r. dla obszaru B

Pierwsze formy zapadliskowe widoczne na różnicowych modelach terenu powstały pomiędzy październikiem 2019 r. a kwietniem 2023 r (ryc. 8.9). Z 65 starych form zapadliskowych pozostawionych po eksploatacji uaktywniły się 22, powstało 28 w miejscu starych zrehabilitowanych i zasypanych zapadlisk oraz 4 nowe nie odnotowane w żadnych źródłach. W północnej części uformowały się dwie niecki osiadań z czego jedna zlokalizowana na skarpie formującego się zbiornika wodnego.



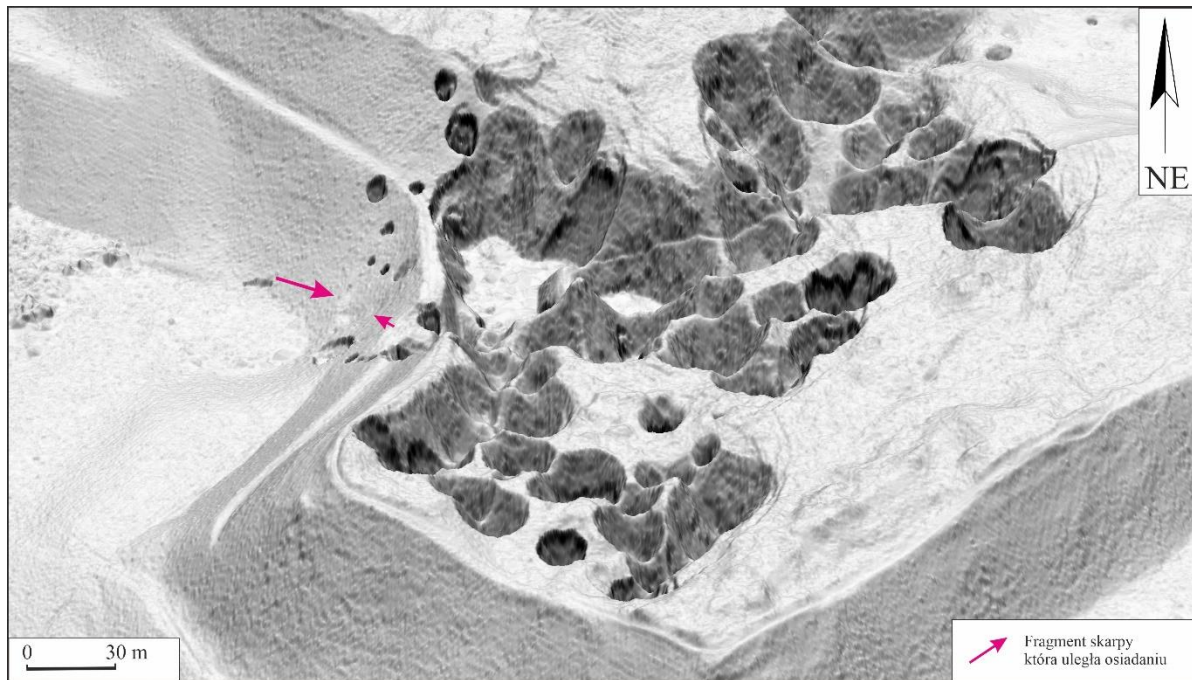
Ryc. 8.9. RMT 2019 - 2023 dla obszaru B

Pozostawione niezrekultywowane zapadliska są przykładem ukazującym jak wygląda uaktywnienie starych form, gdzie zapadnięciu ulega niemal sam środek starego leja. W okresie pomiędzy kwietniem 2023 r., a listopadem 2024 r. nastąpiło zmniejszenie intensywności tworzenia i uaktywniania, powstało jedynie 5 nowych zapadlisk, 9 uległo uaktywnieniu, natomiast w pozostałych obserwowano obsypywanie się stromych i niestabilnych skarp lejów zapadliskowych (ryc. 8.10).



Ryc. 8.10. RMT 2023 - 2024 dla obszaru B

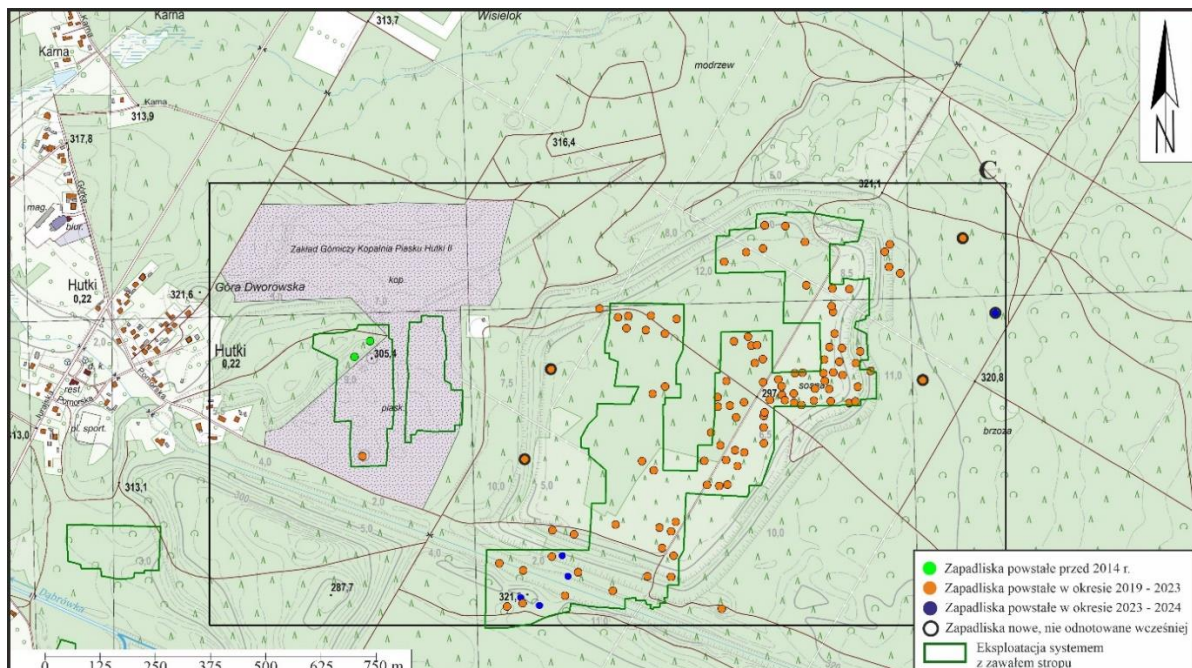
W północnej części w pobliżu skarpy zbiornika leje zapadliskowe połączyły się w jeden duży, który wypełnił się wodą, pomimo że poziom wody w zbiorniku był ledwo widoczny na jego dnie. W miejscu tym lej zapadliskowy oddzielony jest od powstającego zbiornika niewielkim fragmentem uformowanej skarpy, w obrębie której widoczne są niewielkie zapadliska, jak również uległa ona osiadaniu (ryc. 8.11). Przy podniesieniu się poziomu wody w zbiorniku najprawdopodobniej fragment ten ulegnie osunięciu, po którym utworzy się nowa linia brzegowa zbiornika.



Ryc. 8.11. Model 3D wygenerowany z numerycznego modelu powierzchni terenu z 2024 r. przedstawiający fragment osiadającej skarpy

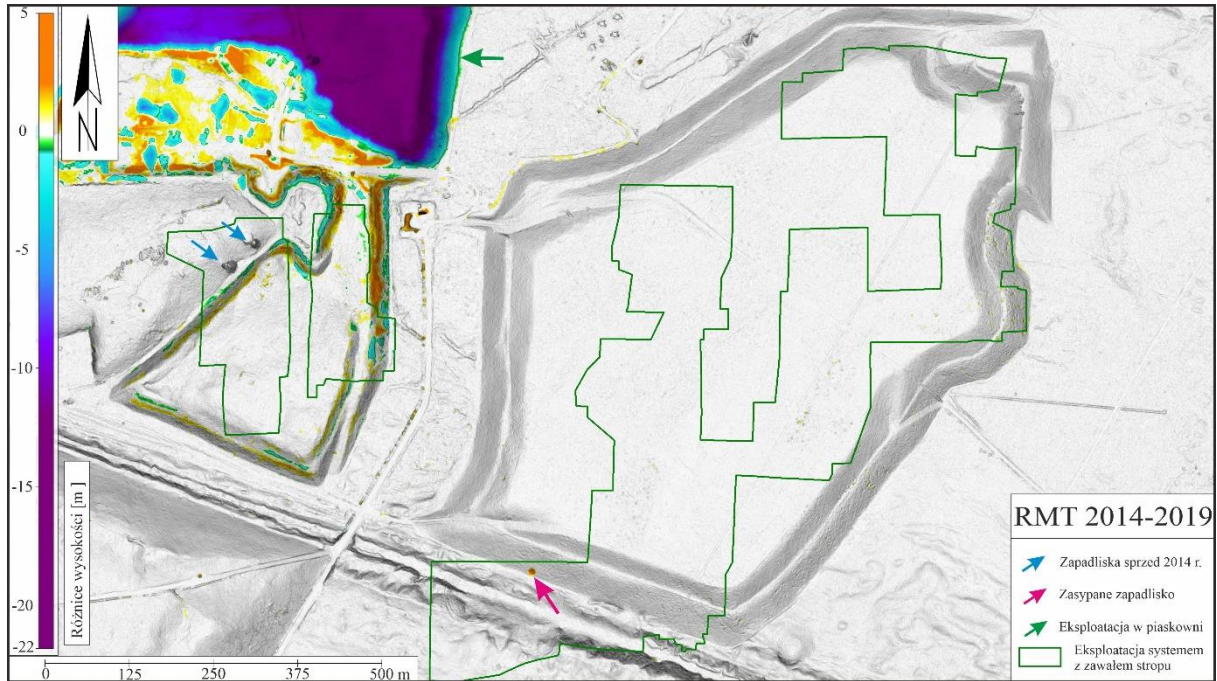
### Nieczynne piaskownie na północny wschód o szybu „Dąbrówka” (Obszar C)

Obszar obejmuje tereny leśne zlokalizowane na północny – wschód od szybu „Dąbrówka” w sąsiedztwie roznosu sztolni Ponikowskiej (ryc. 8.12). Na tym terenie prowadzono eksploatację systemem z zawałem stropu i obserwowana jest największa ilość zapadlisk. Występują one w większości w dnach dwóch piaskowni, jedynie miejscami częściowo zachodząc na skarpy nieczynnych wyrobisk oraz na południu obejmują fragment roznosu sztolni Ponikowskiej.

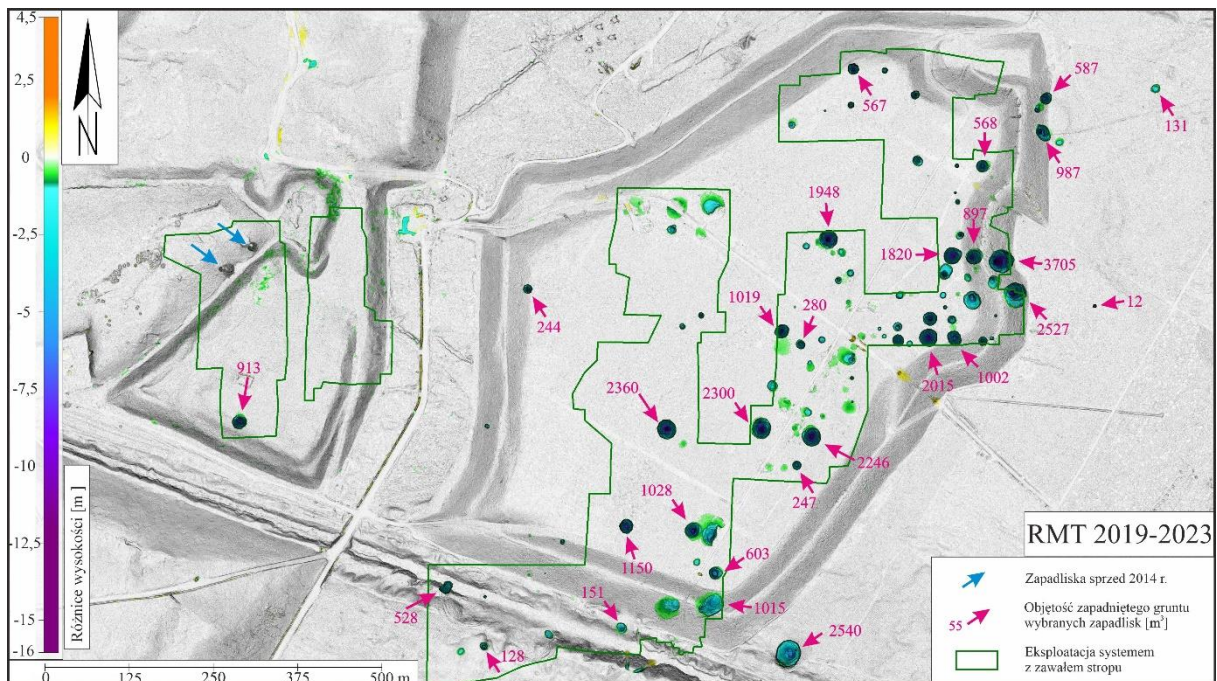


Ryc. 8.12. Mapa lokalizacyjna obszaru C na podkładzie BDOT10 (źródło: GUGiK)

Na różnicowym modelu terenu z okresu 11.2014 – 10.2019 widoczne jest jedno zapadlisko na południowej skarpie większej piaskowni, które zostało zasypane oraz dwa zapadliska we wschodniej części mniejszego zbiornika, które powstały przed 2014 r. (ryc. 8.13). W okresie pomiędzy październikiem 2019 r. a kwietniem 2023 r. na obszarze tym powstało 107 zapadlisk oraz ugięć terenu (ryc. 8.14).

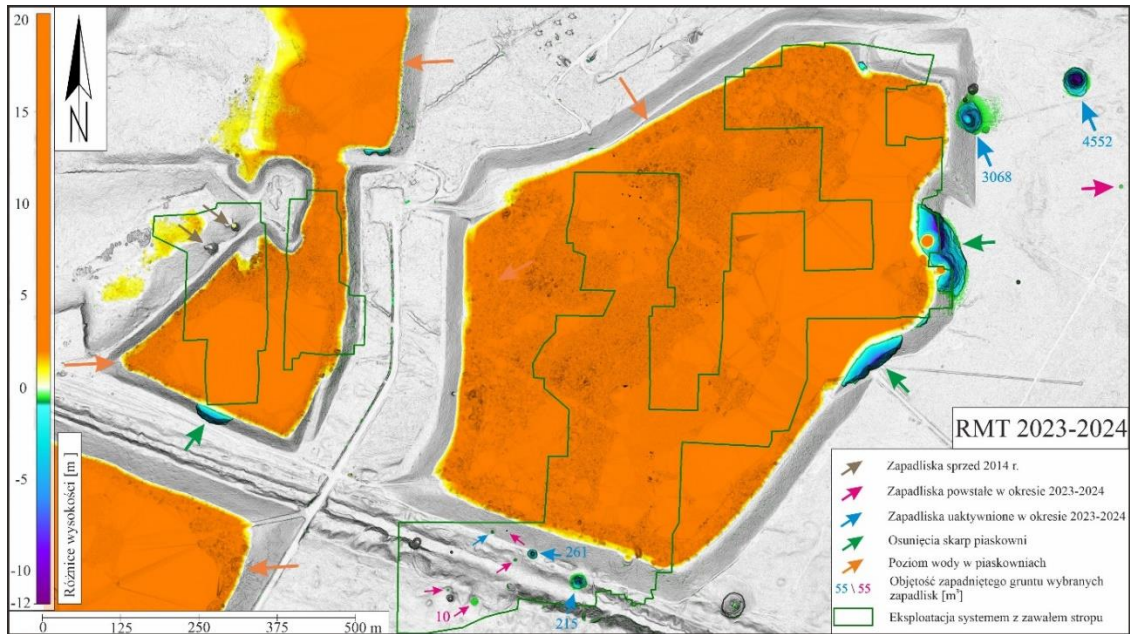


Ryc. 8.13. RMT 2014 – 2019 dla obszaru C



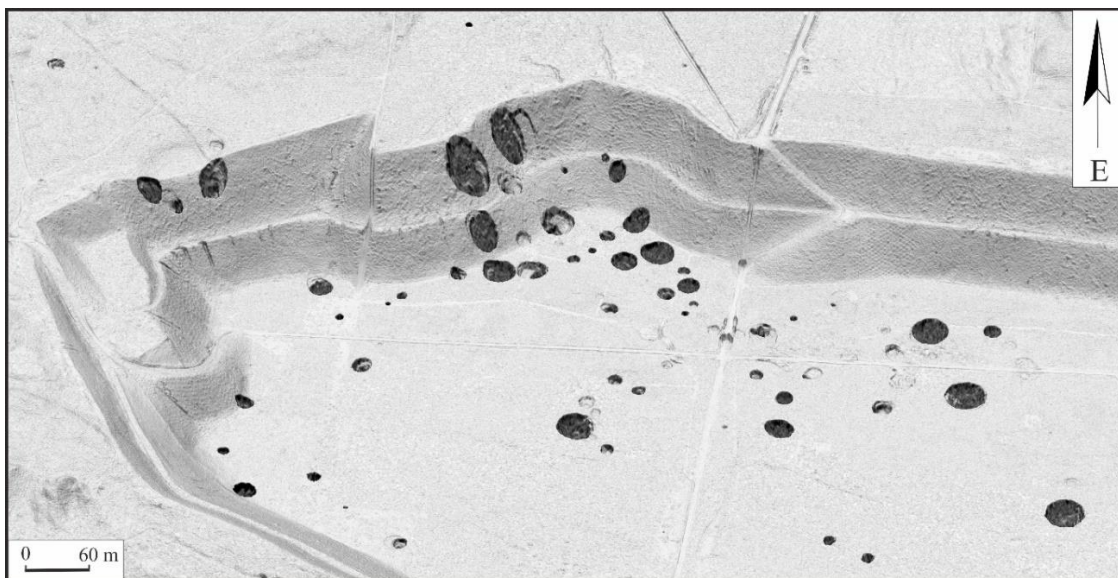
Ryc. 8.14. RMT 2019 – 2023 dla obszaru C

Zapadliska to w większości formy, które uległy odmłodzeniu z form starszych, zasypanych lub zrehabilitowanych poprzez działalność piaskowni, jedynie 5 zapadlisk nie jest odnotowanych w żadnych źródłach. W okresie od kwietnia 2023 r. do listopada 2024 r. powstało 5 niewielkich form oraz rozwój kilku na południe i północny – wschód od większego zbiornika (ryc. 8.15).

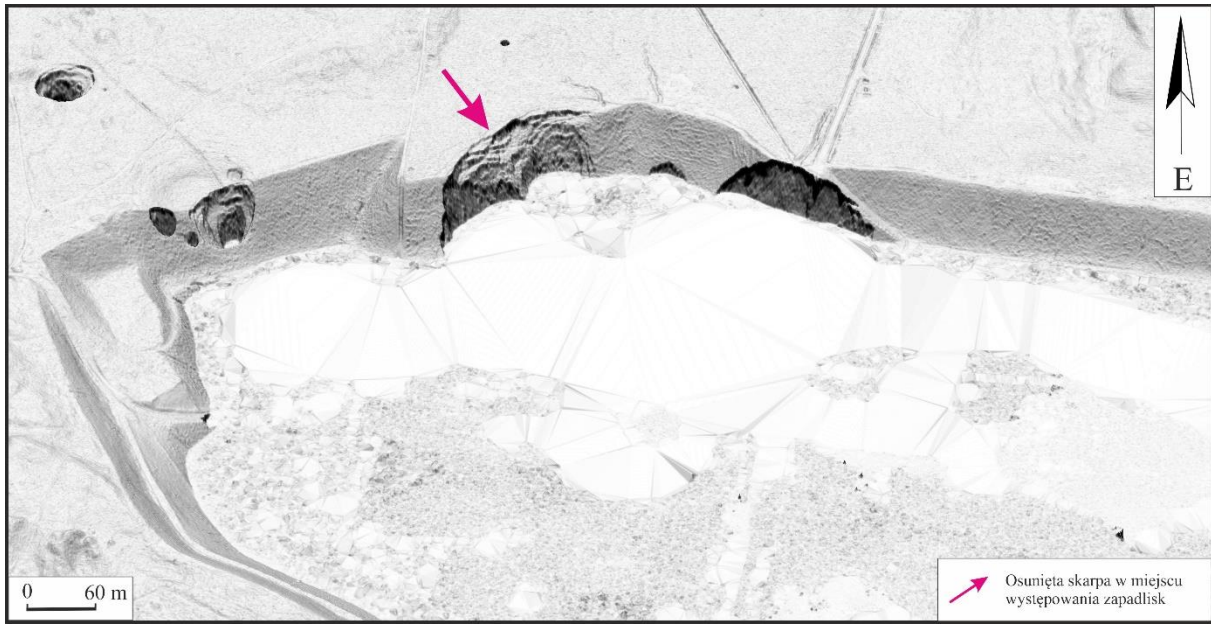


Ryc. 8.15. RMT 2023 – 2024 dla obszaru C

Ze względu na podniesienie się w wyrobiskach zwierciadła wody dalsza obserwacja powstałych na dnie form zapadliskowych nie jest możliwa. Na NMT wykonanym w 2023 r. na północno – wschodniej skarpie i dnie większego wyrobiska widocznych jest 8 zapadlisk, w miejscu tym w lipcu 2024 r. w wyniku podnoszenia się zwierciadła wody skarpa ta uległa osunięciu do wody (ryc. 8.16, 8.17).



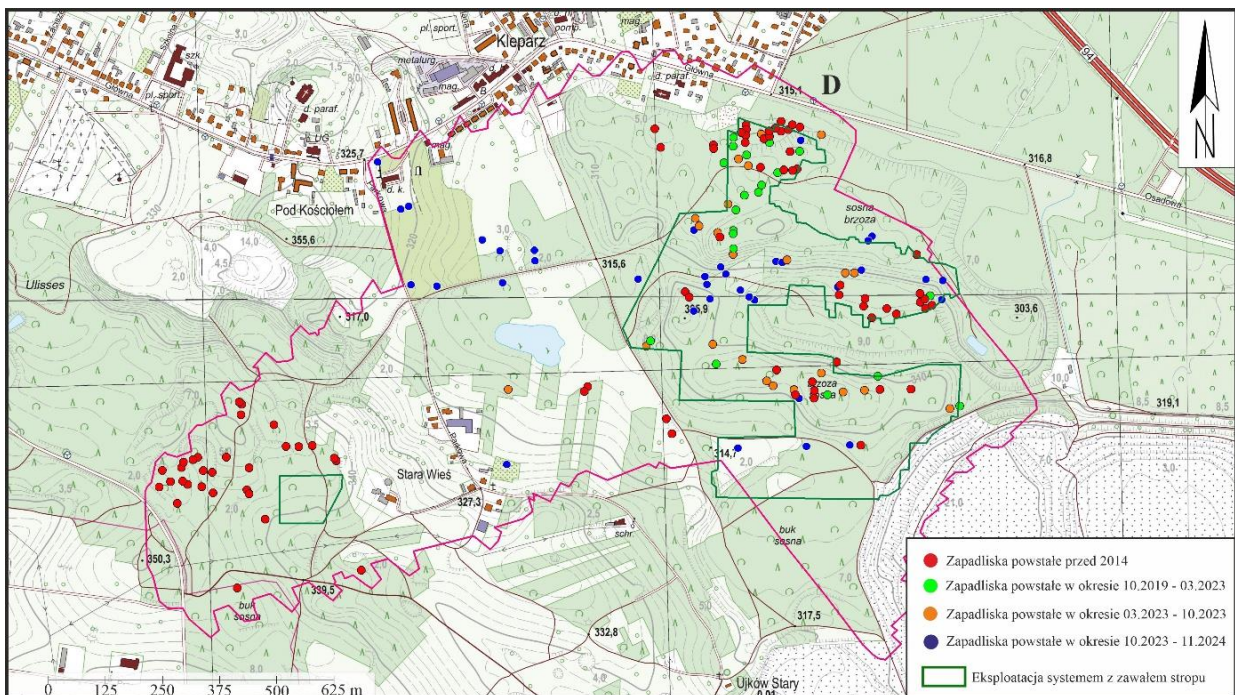
Ryc. 8.16. Model 3D wygenerowany z numerycznego modelu powierzchni terenu z 2023 r. obrazujący północno - wschodnią skarpę większego wyrobiska



Ryc. 8.17. Model 3D wygenerowany z numerycznego modelu powierzchni terenu z 2024 r. obrazujący północno - wschodnią skarpe większego wyrobiska z osuniętą częścią skarpy

### Bolesław (Obszar D)

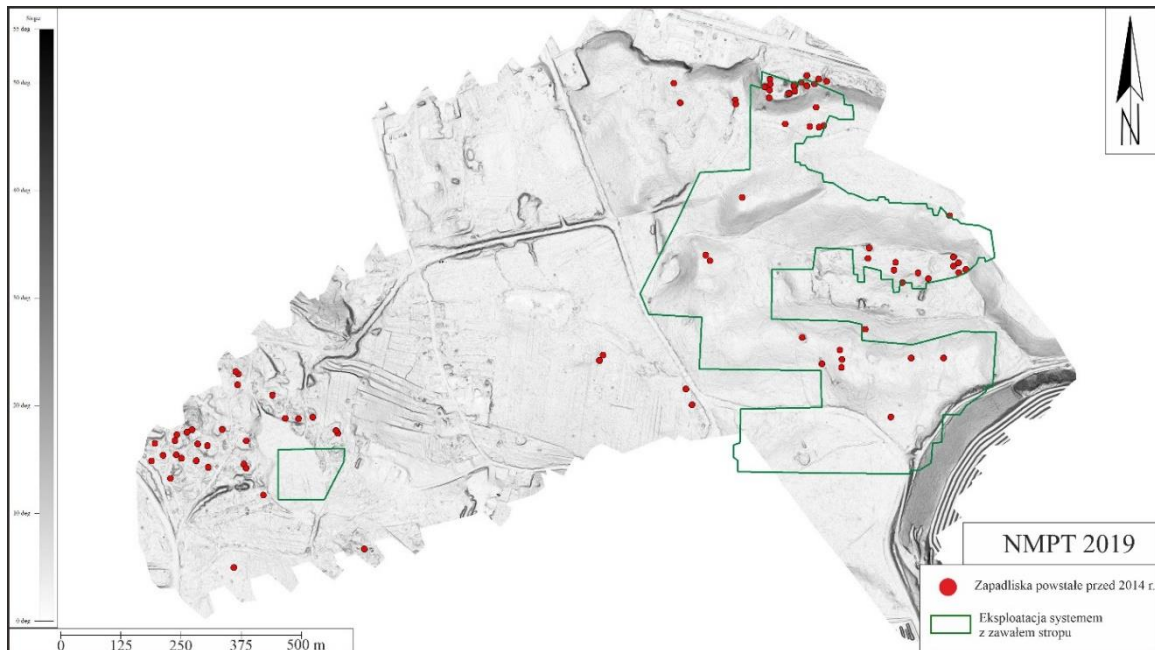
Obszar zlokalizowany jest na południe od ul. Głównej pomiędzy dworem w Bolesławiu a hałdą odpadów poflotacyjnych (ryc. 8.18). Zapadliska powstały głównie na obszarze zalesionym za wyjątkiem kilku w rejonie parku dworskiego oraz tartaku.



Ryc. 8.18. Mapa lokalacyjna obszaru D na podkładzie BDOT10 (źródło: GUGiK)

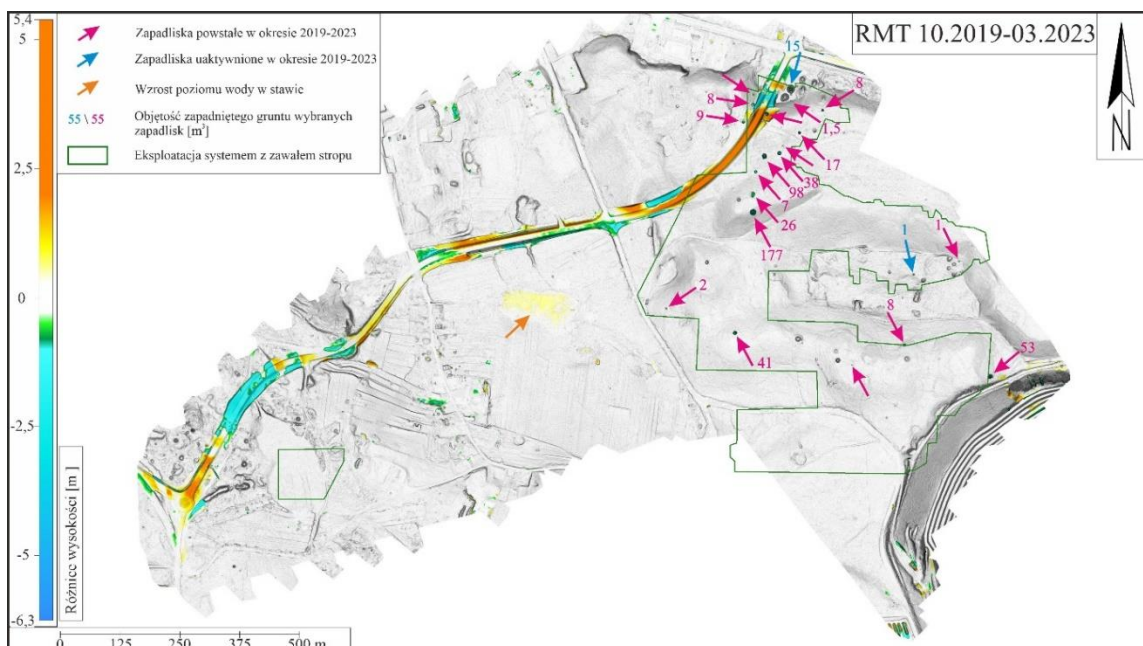
Zapadliska w części południowo - zachodniej są formami niezrekultywowanymi pozostawionymi po eksploatacji. Część wschodnia została poddana rekultywacji, po której

uaktywnione formy zapadliskowe pozostawiono (ryc. 8.19). Na obszarze tym wyznaczono 159 zapadlisk z czego 82 to formy sprzed 2014 r., 20 powstało w okresie 10.2019 – 03.2023, 23 w okresie 03.2023 – 10.2023 oraz 34 w okresie 10.2023 – 11.2024.



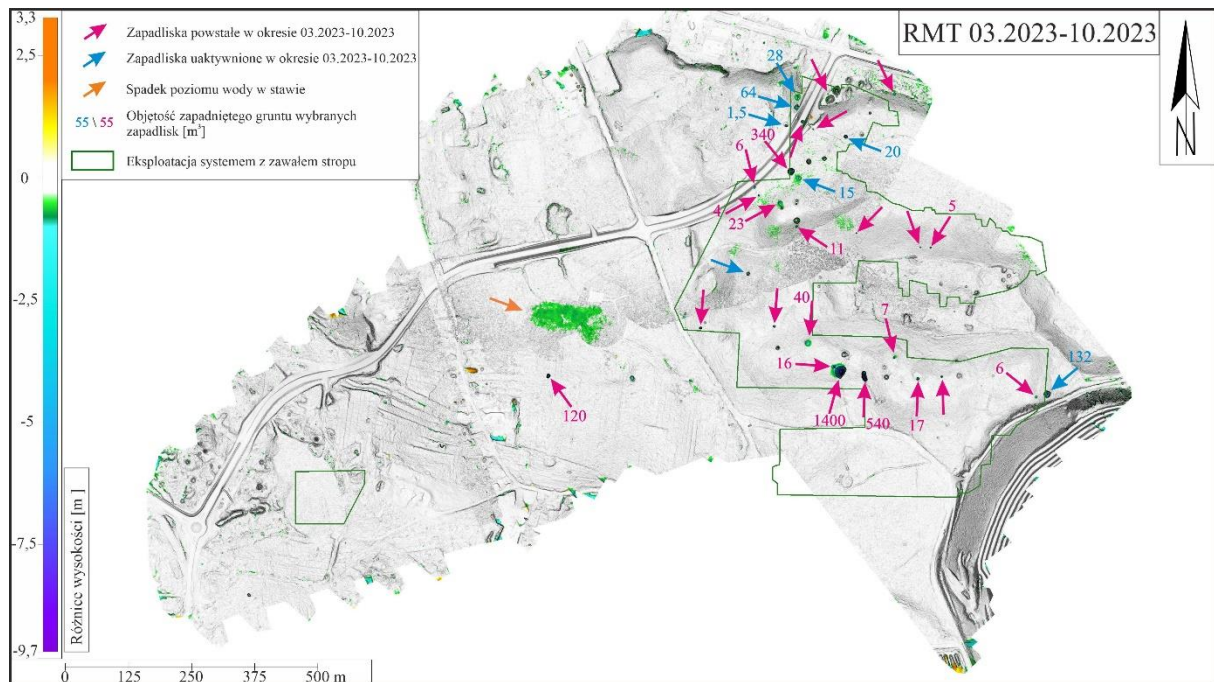
Ryc. 8.19. Numeryczny model powierzchni terenu z 2019 r. dla obszaru D

Pierwsze formy zapadliskowe widoczne na różnicowych modelach terenu pojawiły się pomiędzy październikiem 2019 r. a marcem 2023 r. Było to 20 nowych zapadlisk oraz 2, które uległy uaktywnieniu (ryc. 8.20). Zapadliska z tego okresu powstawały głównie w północno - wschodniej części obszaru w obrębie eksploatacji z zawalaniem stropu. Ubytek gruntu w największym z powstałych w tym okresie zapadlisk wyniósł 177 m<sup>3</sup>.



Ryc. 8.20. RMT 10.2019 – 03.2023 dla obszaru D

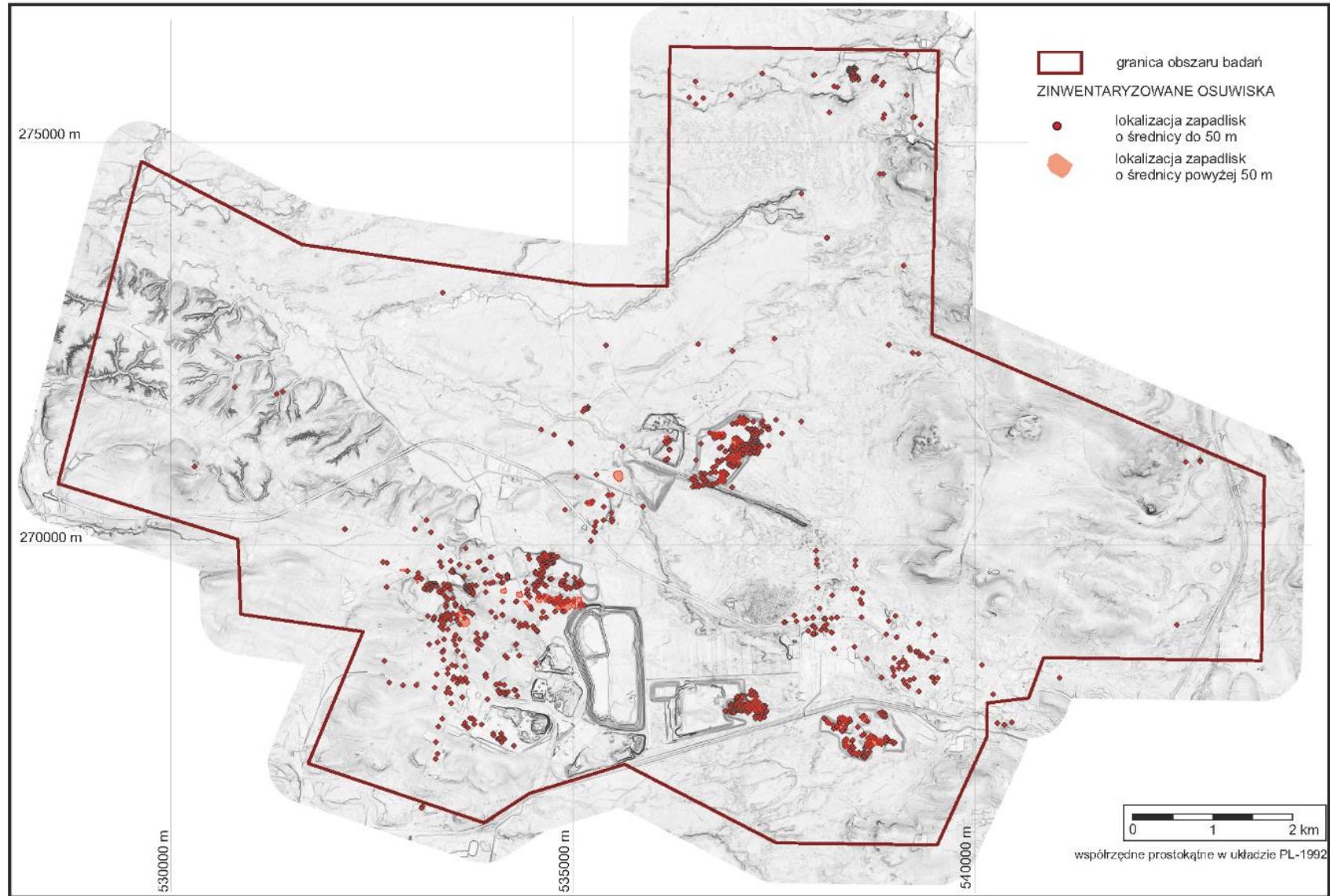
W okresie pomiędzy marcem 2023 r. a październikiem 2023 r. powstały 23 nowe zapadliska, 7 uległo uaktywnieniu natomiast w pozostałych obserwowano obsypywanie się stromych i niestabilnych skarp (ryc. 8.21). Podobnie jak w okresie 2019 – 2023 zapadliska powstawały i uaktywniały się głównie na obszarze gdzie prowadzona była eksploatacja z zawałem stropu. Jedno zapadlisko powstało poza powyżej wymienionym obszarem, około 85 m na południe od niewielkiego stawu przy ul. Głównej. Zapadliska z tego okresu charakteryzują się dużymi objętościami zapadniętego gruntu, z których w największa wyniosła 1400 m<sup>3</sup>.



Ryc. 8.21. RMT 03.2023 – 10.2023 dla obszaru D

Na modelu różnicowym z okresu 10.2023 – 11.2024 widoczne są 34 nowe zapadliska oraz 4 uaktywnione (ryc. 8.22). Największa liczba powstałych oraz uaktywnionych zapadlisk występuje na obszarze, gdzie eksploatacja prowadzona była na zawał stropu. W okresie tym można zaobserwować dużo większą ilość zapadlisk poza eksploatacją na zawał stropu, 2 w parku za dworkiem, 6 wokół nowej obwodnicy przy skrzyżowaniu z ulicą Parkową oraz jedno 70 m na północ od tartaku. Zapadliska z tego okresu charakteryzują się stosunkowo niewielkimi objętościami zapadniętego gruntu, wyjątkiem jest tutaj zapadlisko za dworkiem - 126 m<sup>3</sup> oraz nieopodal tartaku - 224 m<sup>3</sup>. W północno – wschodniej części obszaru ze względu na podnoszący się poziom zwierciadła wód podziemnych część zapadlisk znalazła się pod wodą.





Ryc. 9.1. Mapa zapadlisk w rejonie olkuskim

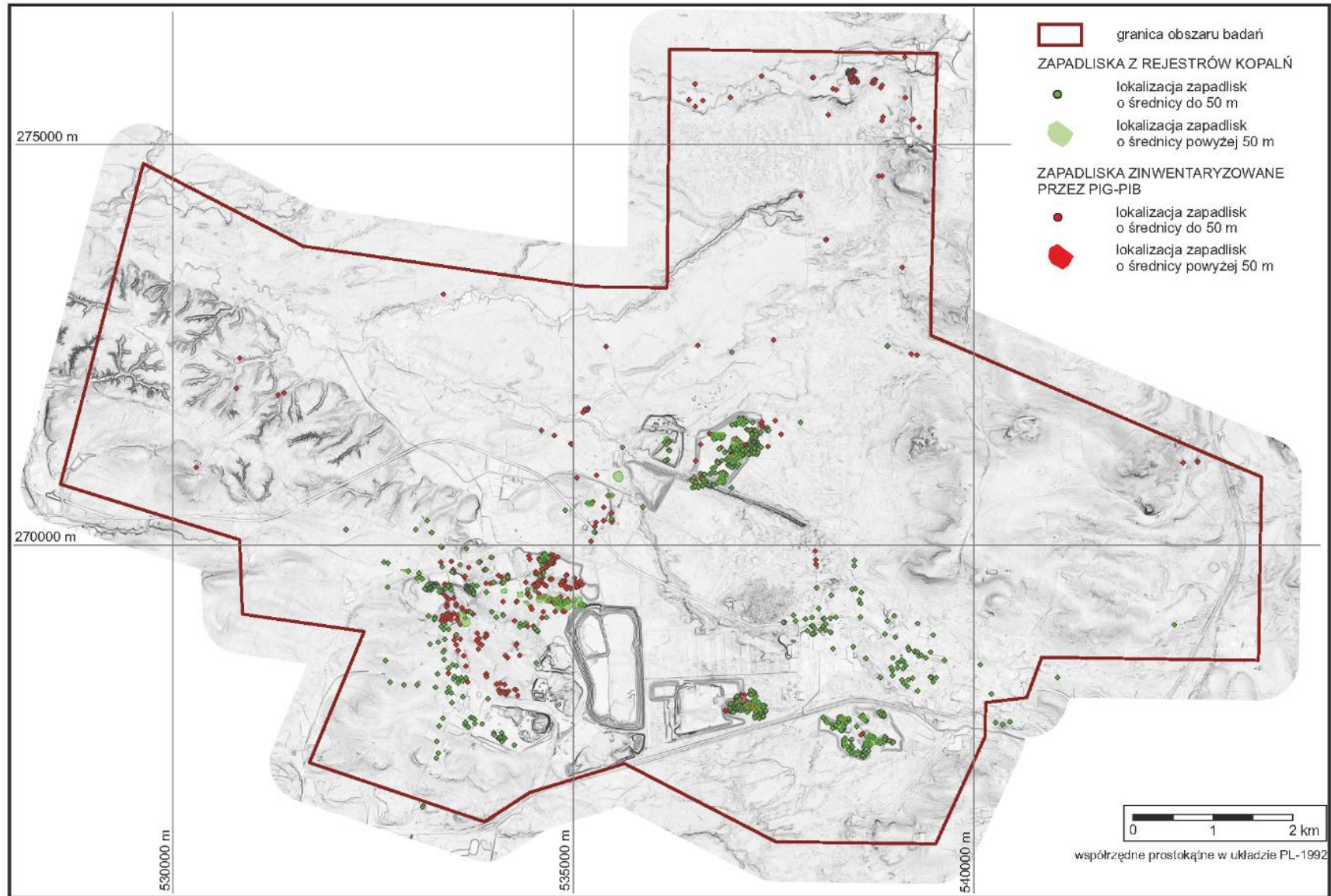
Przy sporządzaniu inwentaryzacji zapadlisk korzystano również z rejestrów zapadlisk dla kopalń „Bolesław”, „Olkusz” oraz „Pomorzany” udostępnionych przez ZGH „Bolesław” S.A. Każdy rejestr składał się z rubryk dotyczących parametrów, uwag o zapadliskach oraz załącznika mapowego, na którym oznaczano zapadliska. Zapadliska z rejestru dla kopalni „Bolesław” zaczęto inwentaryzować od 1969 r., dla kopalni „Olkusz” od 1970 r., dla zakładu „Pomorzany” od 1978 r. Rejestry uzupełniane były na bieżąco po powstaniu zapadliska. Dla niektórych zapadlisk nie określono atrybutów dotyczących ich likwidacji, głębokości, rzadziej średnicy i daty powstania. W związku z brakiem tych informacji określano je jako brak danych (b.d.). Materiały z rejestru dla kopalni „Olkusz” zostały uzupełnione o zapadliska przedstawione w pracy Motyki (2011). Zapadliska z rejestru w większości były likwidowane, niemniej w późniejszym okresie obserwujemy ich reaktywację. Zapadliska z rejestrów obserwowane są na archiwalnych zdjęciach lotniczych. Zestawienie zapadlisk z rejestrów i zinwentaryzowanych przez PIG-PIB zestawiono na rycinie 9.2.

W przypadku zapadlisk o średnicy powyżej 50 m, które na mapach zostały przedstawione powierzchniowo w ich obrębie zdarzają się zapadliska oznaczone punktowo. Zapadliska takie są formami które uległy uaktywnieniu po przeprowadzonej rekultywacji terenu. Takie uaktywnianie dotyczy głównie zapadlisk z rejestrów kopalń ze względu na duże rozmiary zapadlisk pierwotnych powstałych po przeprowadzonym zawale stropu. W pierwszym etapie tworzyło się duże powierzchniowe zapadliska, w obrębie którego w okresie późniejszym dochodziło do powstawania kolejnych mniejszych form zapadliskowych. Dlatego też zapadliska wyznaczone przez PIG – PIB mogą pokrywać się z zapadliskami z rejestru kopalń, przy czym jest to sytuacja, w której zapadlisko uległo uaktywnieniu wspólnie.

Na podstawie różnicowych modeli terenu wykonanych w okresie pomiędzy 2023 r. – 2024 r. stwierdzono powstanie 59 zapadlisk, jak również uaktywnienie już powstałych. W większości zapadliska powstawały na terenach gdzie prowadzona była eksploatacja na zawał stropu, w okresie tym powstało na takich obszarach 41 zapadlisk. Dla zadania planowane są naloty lotnicze na wiosnę i jesień 2025 roku oraz wiosnę 2026 roku. Uzyskane dane pozwolą na określenie dynamiki powstawania nowych zapadlisk, a wyniki uzyskane z modeli różnicowych opracowanych na podstawie poszczególnych nalogów zostaną przedstawione w opracowaniu końcowym w 2026 roku.

### **Geneza i rozmieszczenie zapadlisk**

W wyniku przeprowadzonych badań, na obszarze oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu zinwentaryzowano 1260 zapadlisk. Zdecydowana większość lejów zapadliskowych powstała na obszarach dawnej lub współczesnej eksploatacji górniczej w wyniku zapadania



Ryc. 9.2. Mapa zapadlisk w rejonie olkuskim z podziałem na rejestry zapadliskowe

się stropu dawnych lub współczesnych wyrobisk i sięgnięcia strefy zawału do powierzchni terenu. Pod względem genezy większość z nich związana jest z prowadzoną eksploatacją systemem z zawałem stropu, gdzie stwierdzono około 700 zapadlisk (55,5%). Formy te zlokalizowane są głównie na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych w rejonie Hutek, na południowy zachód od Olkusza oraz na południe od miejscowości Bolesław. Część z nich ma związek z pozostałymi elementami infrastruktury kopalnianej (chodnikami, przekopami, upadowymi itp.). Zlokalizowane są one w większości poza terenami zagospodarowanymi. Analiza danych archiwalnych skorelowana z obecnie zinwentaryzowanymi zapadliskami pozwala na określenie, że około 36% zapadlisk to formy, które uległy reaktywacji. Proces ten występuje i będzie występował szczególnie w rejonach zalewanych przez wodę oraz na obszarach prowadzonej eksploatacji systemem z zawałem stropu.

Prowadzona inwentaryzacja zapadlisk w obrębie zagospodarowanej części miejscowości Bolesław wskazuje, że tworzą się one w rejonie szybów, szybików, które zostały zasypane. Najczęściej zasypanie to odbywało się w sposób niekontrolowany, a obecnie ze względu na podnoszenie się zwierciadła wody obserwowany jest proces ich reaktywacji. Cechą charakterystyczną tych zapadlisk jest równomierne obniżanie powierzchni terenu. Na obszarach zurbanizowanych miejscowości Bolesław nie są obecnie widoczne powierzchniowe oznaki zapadania wyrobisk.

Problemy związane z zapadaniem się powierzchni w rejonie olkuskim zwiększały się w miarę rozwoju eksploatacji rud cynku i ołowiu. Proces ten wynikał z powiększania się zasięgu wpływu odwadniania kopalń „Olkusz” i „Pomorzany”, a ilość zapadlisk na powierzchni terenu rosła, co związane było z systemem prowadzenia eksploatacji na zawał stropu (Tyc, 1990). Większość z nich utworzyła się w wyniku likwidacji poeksploatacyjnych wyrobisk górniczych. Pierwsze tego typu zapadliska, które powstały nad wyrobiskami górniczymi kopalni „Olkusz” zostały opisane przez Wilka i in. (1973). Cytowani autorzy wykazali, że o miejscach powstania zapadlisk zdecydowało występowanie rozległych stref brekcji i wypełnionych form krasowych, które bardzo osłabiały mechaniczną wytrzymałość górotworu triasowego (Motyka, 2011).

Odrębną grupą zapadlisk stanowią te, które powstały poza obszarami bezpośrednich wpływów eksploatacji górniczej współczesnej i historycznej. W olkuskim rejonie kopalnictwa rud cynku i ołowiu tego rodzaju lejki zapadliskowe utworzyły się w 1970 roku w północnej części Witeradowa oraz w rejonie Kluczy (Motyka, 2011), co związane było z procesami sufozji w wypełnionych formach krasowych. Ryzyko wystąpienia lejków zapadliskowych w rejonie olkuskim zwiększa się dodatkowo na obszarach zabudowanych na wychodniach węglanowych skał triasowych, głównie dolomitów, gdzie w tych skałach występują różnego rodzaju wypełnione

formy krasowe, podatne na procesy sufozji, które są zwykle w sposób naturalny inicjowane przez infiltrację opadów atmosferycznych, szczególnie w okresie topnienia pokrywy śniegowej albo obfitych deszczy (Motyka, 1988).

Tego typu zapadliska zostały zarejestrowane w północnej części badanego obszaru na zachód od miejscowości Klucze-Osada. Ostateczna geneza poszczególnych zapadlisk zostanie określona w opracowaniu końcowym dotyczącym poszczególnych gmin, gdzie zostaną zinwentaryzowane wszystkie zapadliska w ujęciu gminnym.

### **Związek zapadlisk z eksploatacją systemem z zawałem stropu**

Przeprowadzona inwentaryzacja wskazuje, że większość zapadlisk związana jest z prowadzoną eksploatacją systemem z zawałem stropu. Zinwentaryzowano około 700 takich zapadlisk co stanowi 55,5 % wszystkich zinwentaryzowanych deformacji. Koncentrują się one na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych (ryc. 9.3). Część z nich ma związek z pozostałymi elementami infrastruktury kopalnianej (chodnikami, przekopami, upadowymi itp.). Zlokalizowane są one w większości poza terenami zagospodarowanymi (ryc. 9.3).

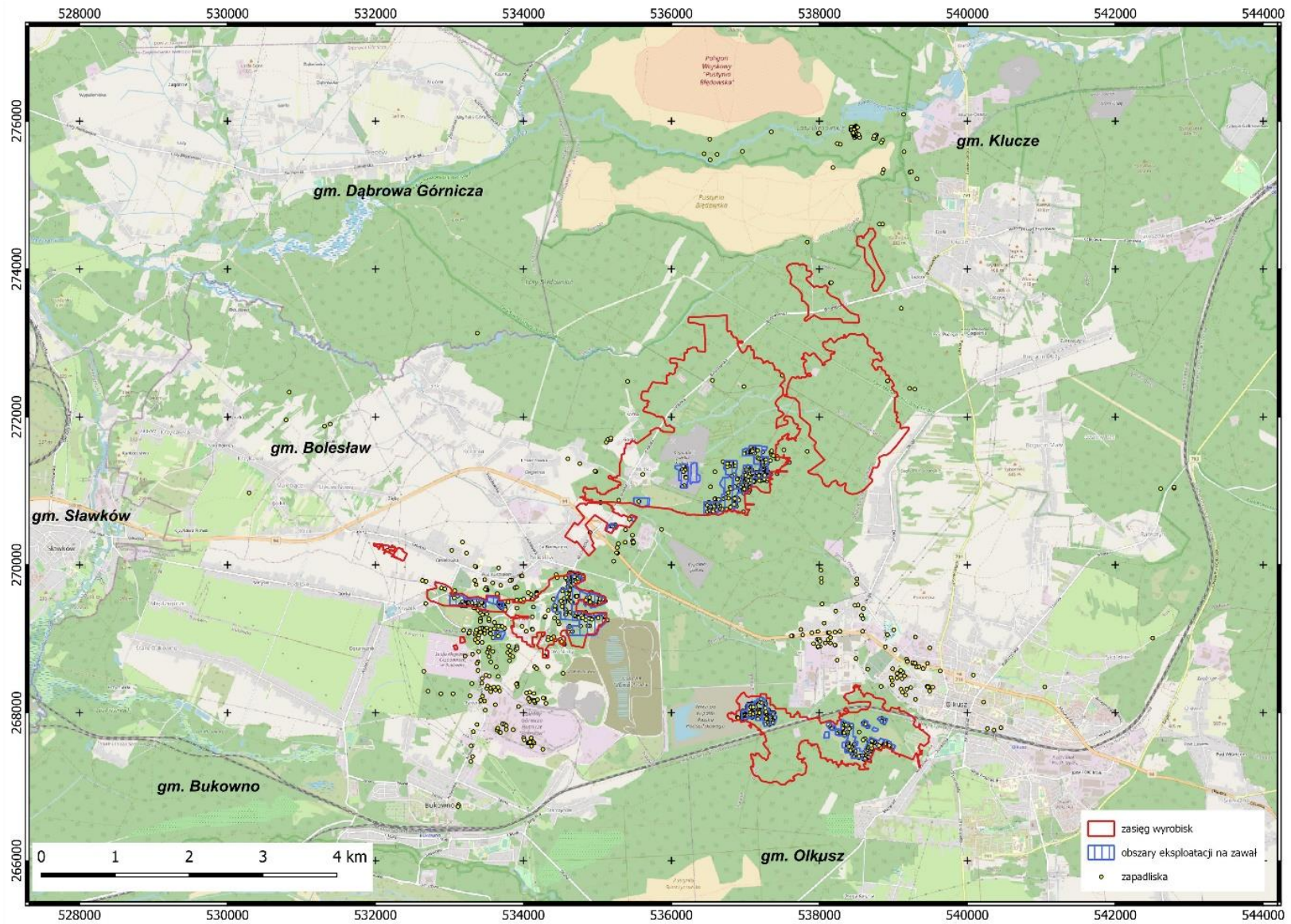
Zwraca się uwagę, że w przeszłości na terenach objętych eksploatacją systemem z zawałem stropu występowała znacznie większa liczba zapadlisk niżli obecnie zinwentaryzowana. Wynika to z faktu wykonywania zdjęć archiwalnych w konkretnych latach. Ze względu na ich lokalizację w obszarach niezagospodarowanych nie stanowią one istotnego zagrożenia związanego z możliwością ich reaktywacji. W raporcie na koniec 2026 roku zakłada się kwerendę archiwalnych zdjęć pod kątem możliwości zweryfikowania lokalizacji starych, zlikwidowanych zapadlisk na terenie badań.

### **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.

Na podstawie pomiarów terenowych, analizy numerycznych modelu terenu oraz innych danych archiwalnych określono maksymalną średnicę dla 1154 zapadlisk spośród 1260 zinwentaryzowanych form (ryc. 9.4). W związku z prowadzoną likwidacją dla 106 zapadlisk nie było możliwe pozyskanie informacji o ich maksymalnej średnicy. Zapadlisk o średnicy równej i mniejszej niż 5 m zaobserwowano 428 (34%), 28 % form (348) charakteryzuje średnica maksymalna w przedziale 5-10 m, a 12 % (151) stanowią zapadliska o średnicy 10-15 m. Kolejne 7% (89) to przedział 15-20 m, a zapadliska o średnicy większej niż 20 m (138) stanowią 11%.

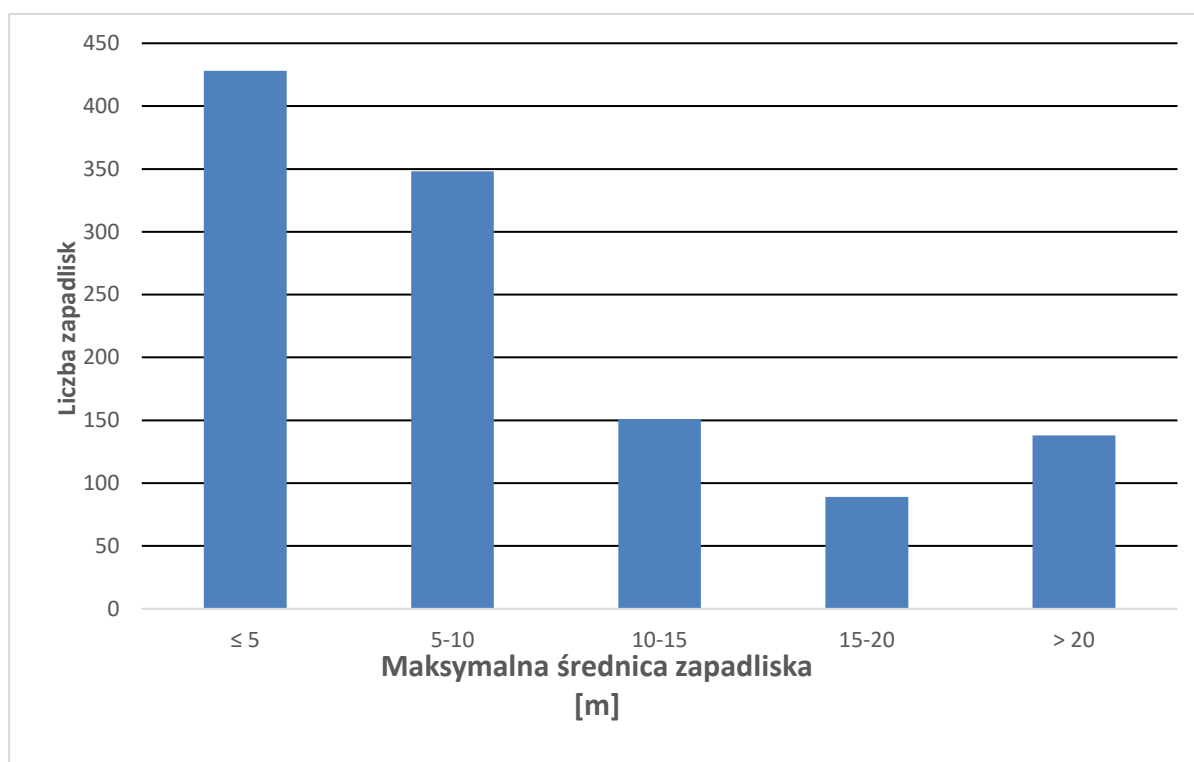
Raport z prac analitycznych o deformacjach terenu  
dla rejonu oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim



Ryc. 9.3. Mapa zasięgu wyrobisk z obszarami eksploatacji systemem z zawalę stropu

Generalnie zauważalna jest tendencja ujemna, wraz ze wzrostem wielkości omawianego parametru ilość zapadlisk maleje. Nie dotyczy to ostatniej grupy zapadlisk o średnicy ponad 20 m, co wynika z faktu prowadzonej eksploatacji systemem z zawałem stropu co powodowało tworzenie się dużej ilości wielkoobszarowych form.

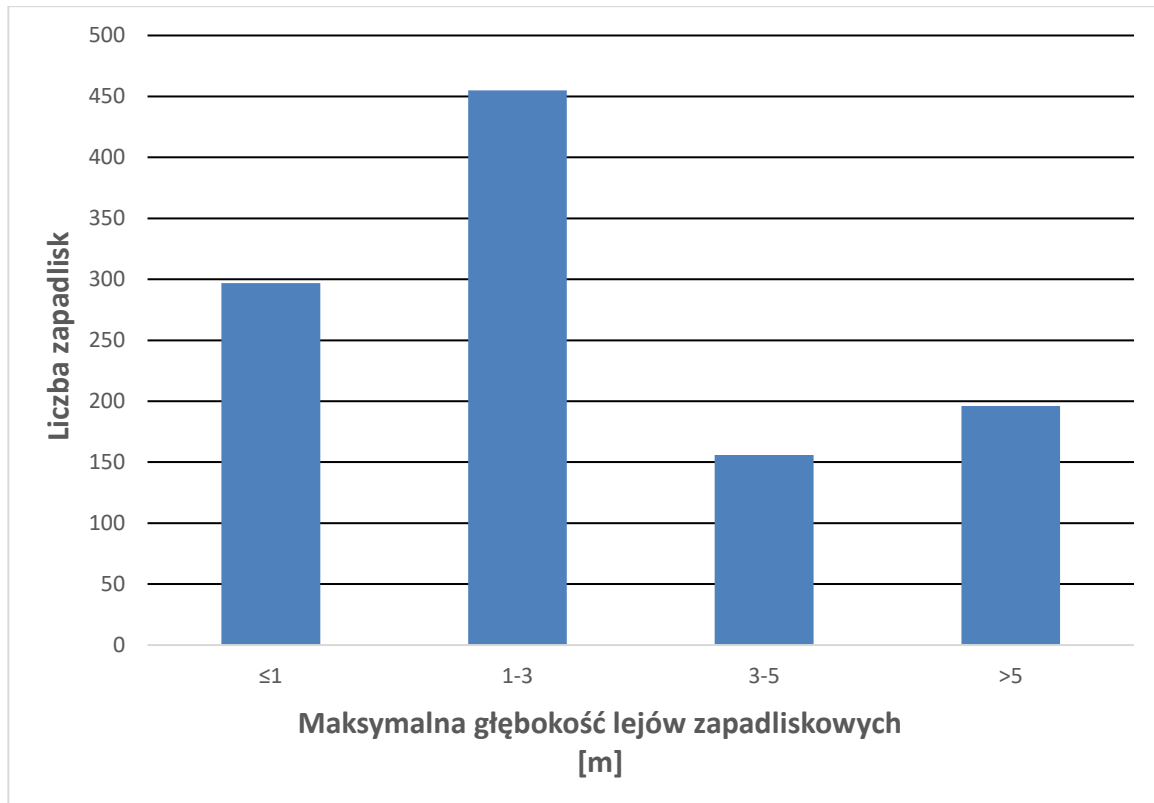
Pod względem głębokości leja zapadliskowego (ryc. 9.5) dominują formy do 3 m (752 zapadliska – 60%). Ze względu na likwidację zapadlisk brak jest danych o głębokości 156 form. Znaczącą grupę stanowią zapadliska o głębokości lejów powyżej 5 m co wynika z faktu prowadzonej eksploatacji systemem z zawałem stropu co przyczyniało się do powstawania głębokich i rozległych form (196 zapadlisk – 16%).



Ryc. 9.4. Rozkład maksymalnych średnic zapadlisk

Analizując liczne materiały źródłowe (różnowiekowe numeryczne modele terenu, rejestry zapadlisk kopalń, zdjęcia archiwalne, itp.), możliwe było szacunkowe określenie wieku zapadlisk tj. przybliżonego (a w niektórych przypadkach dokładnego) czasu ich powstania. Jedynie w przypadku 82 form (spośród 1 260) nie udało się pozyskać takich informacji.

Z analizy pozyskanych informacji wynika, iż tendencja do powstawania zapadlisk od czasów ich opisywania do czasów obecnych rośnie. Przynajmniej wpływ na ten wzrost ma szczegółowa inwentaryzacja, a także nowocześniejsze metody jakimi teraz dysponujemy.



Ryc. 9.5. Rozkład maksymalnych głębokości lejów zapadliskowych

#### **Związek zapadlisk z geometrią wyrobiska**

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. Istotna jest 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). W przypadku prowadzonej eksploatacji z wypełnieniem wyrobisk podszadką hydrauliczną problem ten nie występuje na szeroką skalę. Przy czym należy zwrócić uwagę, że większość prowadzonej eksploatacji historycznej na terenie badań posiada wyrobiska, które nie były podszadzane. Jednocześnie na obszarach zagospodarowanych takie przypadki nie są rejestrowane, niemniej w obszarach niezagospodarowanych i lasach dochodzi do tego typu zjawisk. Szczegółowe dane dotyczące parametrów wyrobisk zostaną przedstawione w opracowaniu końcowym.

#### **Zapadliska „istotne”**

Spośród zarejestrowanych zapadlisk wyodrębniono te, których dalszy rozwój może stanowić zagrożenie dla zabudowy i infrastruktury, uwzględniając bufor wokół obiektów o szerokości 20

m. Dla zapadlisk o średnicy powyżej 50 m, bufor ten został wyznaczony od krawędzi lejów zapadliskowych. W przypadku zapadlisk o średnicy mniejszej niż 50 m, dla których znane są parametry długości i szerokości leja, bufor został obliczony od okręgów wyznaczających ich najdłuższe średnice. Przy zapadliskach, dla których brak jest danych o wymiarach przestrzennych przyjęto bufor 20 m względem współrzędnych ich lokalizacji.

Względem tak przyjętych buforów, spośród 1260 zarejestrowanych zapadlisk 216 z nich (17%) uznano za istotne, których dalszy rozwój może stanowić zagrożenie dla zabudowy i infrastruktury. Są to głównie zapadliska zlokalizowane we wschodniej części obszaru badań (rejon Olkusza, Starego Olkusza) oraz w pasie między Hutkami, Bolesławiem i infrastrukturą ZGH „Bolesław” (ryc. 9.6). Pozostałe 1044 zapadliska (83%) znajdują się w przewadze na terenach leśnych.

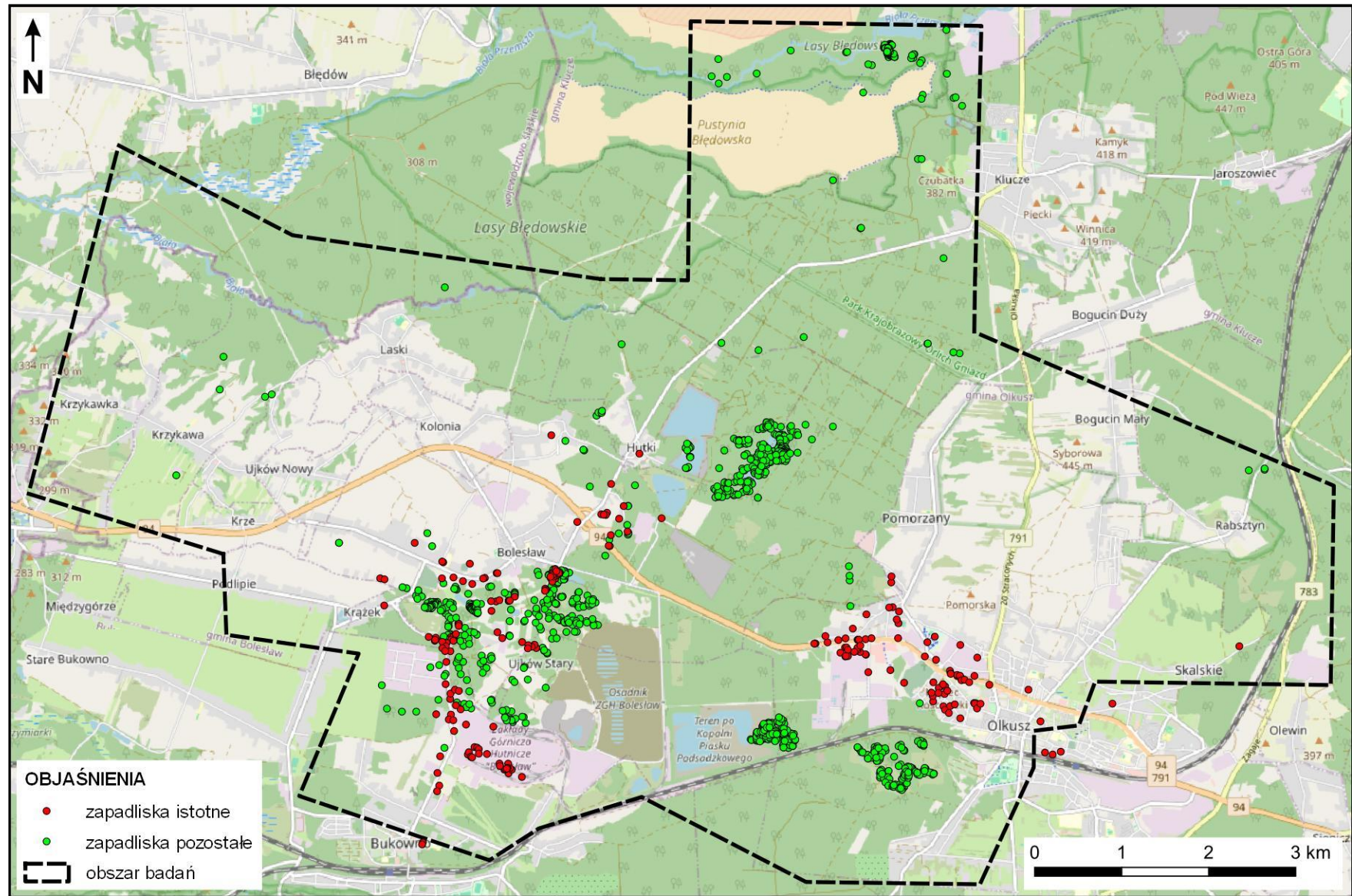
Należy zwrócić uwagę, że wszystkie zapadliska „istotne” (87) na terenie miejscowości Olkusz to stare formy w obrębie których obecnie nie stwierdzono śladów reaktywacji. Podobna sytuacja dotyczy rejonu miejscowości Bolesław, gdzie większość starych zapadlisk nie uległa uaktywnieniu. Znaczna część zapadlisk istotnych znajduje się w sąsiedztwie nowo wybudowanej obwodnicy Bolesławia.

### **BAZA DANYCH O ZPADLISKACH**

Szczegółowe dane dotyczące poszczególnych zapadlisk zamieszczono w cyfrowej bazie danych, która jest udostępniona na Portalu Mapowym PIG-PIB (<https://geologia.pgi.gov.pl/zapadliska/>; warstwa „GDT – zapadliska”). Dane dotyczące zapadlisk odnoszą się do stanu badań na dzień 28.02.2025 r. 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.

Raport z prac analitycznych o deformacjach terenu  
dla rejonu oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim



Ryc. 9.6 Rejon występowania zapadlisk „istotnych” na podkładzie OpenStreetMap

Należy zaznaczyć, że z uwagi na trwające badania PIG – PIB jak i również dynamikę zjawiska (powstawanie kolejnych form), dane dotyczące ilości i lokalizacji zapadlisk oraz ich atrybutów mogą ulegać zmianom. Ostateczne informacje dotyczące ilości zapadlisk zostaną przedstawione w opracowaniu podsumowującym przeprowadzone prace na koniec 2026 roku.

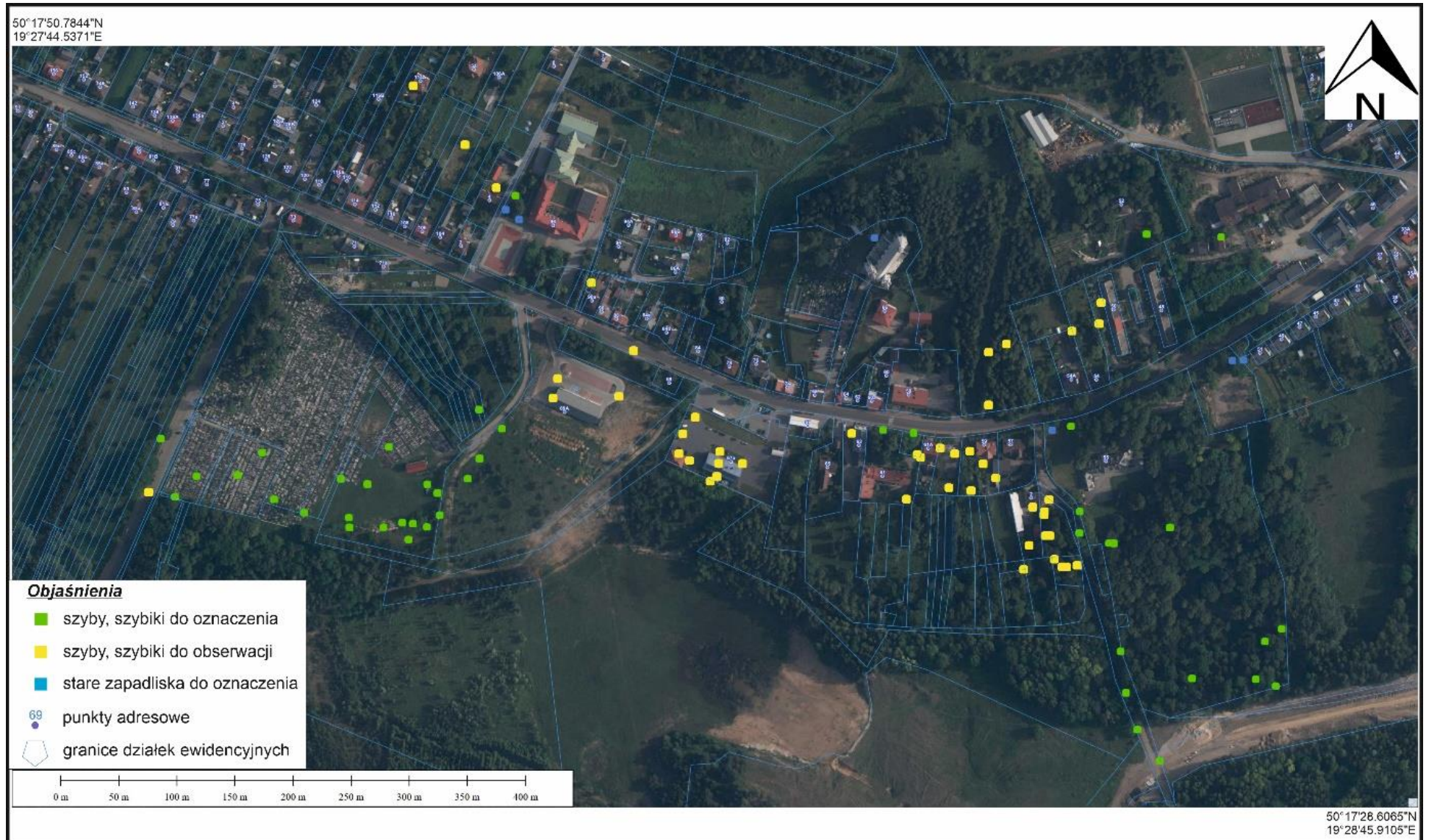
## 10 MAPA OBSZARÓW ZAGROŻONYCH POWSTANIEM ZAPADLISK NA TERENIE MIEJSCOWOŚCI BOLESŁAW

---

Mapa obszarów zagrożonych powstaniem zapadlisk na terenie miejscowości Bolesław została sporządzona na podstawie dostępnych danych archiwalnych związanych z prowadzoną eksploatacją na terenie miejscowości Bolesław oraz szeregu prac terenowych. Mapa ta została ograniczona następującymi współrzędnymi: 50°17'50.7844"N; 19°27'44.5371"E oraz 50°17'28.6065"N; 19°28'45.9105"E (ryc. 10.1).

Uzyskiwane dane z prowadzonej inwentaryzacji zapadlisk wskazują, że w obrębie zagospodarowanej części miejscowości Bolesław zapadliska tworzą się w rejonie szybów, szybików, które zostały zasypane. Najczęściej zasypanie to odbywało się w sposób niekontrolowany i obecnie obserwowany jest proces ich reaktywacji. Wynika to z faktu podnoszenia się zwierciadła wody podziemnej w skutek czego dochodzi do upłynnienia najczęściej piaszczystego zasypu szybiku i powstania w jego dolnej części wolnej przestrzeni. Kolejnym etapem rozwoju zapadlisk jest osuwanie się zasypu, co doprowadza do powstania obniżenia na powierzchni terenu. Cechą charakterystyczną powstających zapadlisk jest równomierne obniżenie powierzchni terenu. Zjawiska takie widoczne są w zapadlisku w pasie zieleni na drodze krajowej DK 94, w sąsiedztwie cmentarza w Bolesławiu, czy też w budynku gospodarczym naprzeciwko siedziby Urzędu Gminy w Bolesławiu. Charakterystyczną cechą tych zapadlisk jest fakt, że po ich zasypaniu następuje dalszy proces konsolidacji zasypu i na powierzchni tworzy się wolna przestrzeń, na skutek kolejnych procesów osiadania zasypu. Po kilkukrotnym procesie zasypywania zapadliska na drodze DK94, czy też zapadliska naprzeciw UG. obecnie nie obserwujemy obniżeń – zasyp szybików uległ konsolidacji.

W obszarach zagospodarowanych miejscowości Bolesław obserwujemy od 2023 roku przede wszystkim taki typ zapadlisk, który związany jest z zapadaniem gruntów w obrębie istniejących szybów, szybików. Na obszarach zurbanizowanych nie są obecnie widoczne powierzchniowe oznaki zapadania wyrobisk. Dobrym przykładem jest tutaj cmentarz w Bolesławiu. Przeprowadzone wiercenia i badania geofizyczne na terenie cmentarza pozwoliły na identyfikację pustek poeksploatacyjnych. Dla części cmentarza, gdzie te pustki występują zostały przeprowadzone różnego rodzaju badania począwszy od satelitarnej interferometrii radarowej,



Ryc. 10.1. Mapa obszarów zagrożonych powstaniem zapadlisk na terenie zagospodarowanej części miejscowości Bolesław

skaningu laserowego, analizy zdjęć archiwalnych i na podstawie uzyskanych danych należy stwierdzić, że od czasu działalności kopalni Ulisses na powierzchni terenu w obrębie tej części cmentarza nie zostały zidentyfikowane zapadliska.

W południowo wschodniej części cmentarza w Bolesławiu na podstawie zdjęć archiwalnych z 1976 roku zostało udokumentowane 5 zapadlisk, które pokrywają się z przedstawionymi na mapie lokalizacjami szybików. Dane dotyczące zdjęć archiwalnych zostaną uszczegółowione na etapie sporządzania mapy końcowej w roku 2026.

Na terenie miejscowości Bolesław znajduje się znaczna ilość szybików, przy czym w większości są one zlokalizowane poza terenami zabudowanymi. Na Mapie obszarów zagrożonych powstaniem zapadlisk na terenie miejscowości Bolesław przedstawiono lokalizacje szybików, które mogą się uaktywnić w obszarach zurbanizowanych, ze względu na podnoszący się poziom zwierciadła wód podziemnych. Dokładność map archiwalnych jest bardzo niska i wskazane lokalizacje mogą być obarczone błędem położenia rzędu 10-20 m. Należy zaznaczyć, że na obecną chwilę tylko w kilku z nich utworzyły się zapadliska. Niemniej dla obszarów zagospodarowanych i ogólnodostępnych zgodnie z ustaleniami z UG Bolesław oraz ZGH Bolesław S.A. sugeruje się oznaczenie takich terenów, których jest 44. Wskazano także 6 lokalizacji w obszarach zagospodarowanych, gdzie zapadliska wystąpiły w przeszłości i może dojść do ich reaktywacji. Na mapie zostały także zobrazowane lokalizacje szybików, które powinny być obserwowane – 47 miejsc. Związane jest to z faktem lokalizacji szybików w obrębie zwartej zabudowy lub pod obiektami. W przypadku stwierdzenia oznak spękania powierzchni terenu, czy też budynku, ten fakt należy bezzwłocznie zgłosić do odpowiednich służb ratunkowych (straż pożarna, policja).

Jak istotną kwestią jest analiza danych archiwalnych i ich odpowiednia interpretacja wskazuje powstałe w październiku 2024 roku zapadlisko o numerze 1849 (zał. 1). Zapadlisko powstało w obrębie korpusu (pas rozdziału) DK 94 w miejscowości Bolesław – km 292+230 (fot. 10.1, ryc. 10.2). Miało ono średnicę około 2,0 m i około 0,5 m głębokości. Ściany leja zapadliskowego zbudowane były z utworów piaszczystych. Podczas badań nie stwierdzono śladów spękań w obrębie korpusu drogowego, jak również na terenach sąsiednich. Charakterystyczną cechą były występujące na wschód od drogi przyzmy gruntu stanowiące utwory nasypowe. Analiza profilu litologicznego wykonanych płytkich wierceń wskazywała na występowanie utworów nasypowych. Na podstawie danych archiwalnych (<https://geologia.pgi.gov.pl/mapy>) stwierdzono, że pod gruntami czwartorzędowymi o miąższości rzędu kilku metrów występują utwory triasowe reprezentowane przez dolomity i wapienie.



Fot. 10.1. Lej zapadliskowy w pasie zieleni DK 94

Kwerenda dostępnych danych archiwalnych wskazywała, że na przedmiotowym terenie nie była prowadzona eksploatacja górnicza przez ZGH „Bolesław”. Obwodnica stanowiła filar ochronny. Dopiero archiwalna mapa z XIX wieku wskazuje, że w sąsiedztwie obwodnicy prowadzono prace wydobywcze (ryc. 10.2). Brak szczegółowych danych dotyczących głębokości prowadzonej eksploatacji, lecz najprawdopodobniej nie przekraczała ona głębokości 15-20 m p.p.t. (ryc. 10.2). Przeprowadzona kalibracja mapy archiwalnej na numeryczny model terenu wskazuje na wielkości błędu rzędu 10-15 m. Tak znaczna wartość wynika z braku punktów stałych do których można dowiązać archiwalną mapę.

Analiza morfologii terenu w sąsiedztwie drogi i na mapie archiwalnej wskazuje na występowanie szybików i otworów wiertniczych, które zostały zinwentaryzowane na tym terenie. Na północ od zapadliska występował historyczny szyb o głębokości około 18 m. Został on najprawdopodobniej zasypany, a możliwe że znajduje się on w rejonie obecnej studzienki kanalizacji opadowej. Na mapie archiwalnej (ryc. 10.2) występuje także nitkowe wyrobisko w obrębie którego najprawdopodobniej wydobywano rudę. Analiza jego kształtu wskazuje, że było ono prowadzone w obrębie utworów skalnych. Brak wyrobisk poprzecznych wskazuje, że w rejonie drogi nie była prowadzona intensywna eksploatacja. Analiza morfologii terenu przy zakładanym błędzie kalibracji daje podstawę do stwierdzenia, że wyrobisko może występować

jedynie do granicy pasa drogowego, na co wskazują utwory nasypowe występujące w tej części obszaru. Ze względu na wielkość wyrobiska i drażnienie go w skałach, przeprowadzona analiza ryzyka powstania zapadliska w tym rejonie została określana jako nieznaczna. Większym zagrożeniem były szybiki i szyb, które najprawdopodobniej zostały zasypane. Powstałe zapadlisko stanowi najprawdopodobniej jedno z takich wyrobisk, gdzie na skutek konsolidacji utworów nasypowych i rozluźnienia dolnych warstw nasypowych poprzez podnoszenie się zwierciadła wód podziemnych nastąpiło zapadnięcie gruntów.



Ryc. 10.2. Mapa archiwalnej eksploatacji na podkładzie numerycznego modelu terenu z lokalizacją zapadliska w ciągu DK 94

Po zasypaniu zapadliska następowało dalsze obniżanie materiału zasypowego. Charakterystyczną cechą tego typu zapadlisk jest równomierne osiadanie zasypu na całej szerokości leja, co świadczy o jego genezie. Na początku 2025 roku zostały przeprowadzone przez Generalną dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), Oddział w Krakowie szczegółowe badania geofizyczne rejonu zapadliska. Uzyskane wyniki wskazują, że poza lokalnymi anomaliami związanymi z występowaniem utworów nasypowych nie zostały stwierdzone pustki w górotworze. Poprzez konsolidację gruntu zasypowego nie obserwowane jest także dalsze obniżanie powierzchni terenu w obrębie leja zapadliskowego. Przeprowadzone badania geofizyczne potwierdzają założoną na początku genezę zapadliska i przeprowadzoną analizę

ryzyka możliwości poszerzenia się leja zapadliskowego. Było to o tyle istotne, że zapadlisko znajduje się w sąsiedztwie pasów drogowych, gdzie przez cały okres tworzenia się zapadliska odbywał się ruch samochodów. Przeprowadzone analizy były niezbędne do rekomendacji odpowiednich rozwiązań. Niemniej zwraca się uwagę na dokładność mapy historycznej, która obarczona jest podobnie jak rycina 10.1 błędami kalibracji, które wynikają z dokładności map historycznych.

Przedstawiony przykład wskazuje, jak istotne jest określenie genezy powstającego zapadliska. Powinna się ona opierać na kwerendzie danych archiwalnych i dopiero na tej podstawie można oceniać jakie są ryzyka powiększenia obszaru zapadliska oraz jego głębokości. Przykład zapadliska na drodze krajowej DK 94, czy też zapadlisk w centrum Bolesławia wskazuje potrzebę analizy danych archiwalnych pod kątem możliwości powstania nowych zapadlisk w terenach zagospodarowanych.

## 11 PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

---

1. Opracowanie archiwalnych danych SAR pozwoliło prześledzić rozwój deformacji ciągłych na zadanym obszarze w latach 1995 – 2023. Stwierdzono, że teren oddziaływania kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim nie ulegał znacznym przemieszczeniom. W latach 1995-2015 nie były obserwowane przemieszczenia, poza nielicznymi pojedynczymi punktami. W latach 2015-2021 obserwuje się w centralnej części badań minimalne osiadanie rzędu kilku milimetrów a pod koniec okresu następuje stabilizacja. Pojedyncze punkty na których zarejestrowano osiadanie lub podnoszenie związane są z przyrostem lub ubytkiem mas w obrębie hałdy po górniczej ZGH „Bolesław”. Przeprowadzone analizy dla lat 2022-2023 miały na celu bardziej szczegółowe zbadanie deformacji, które następowały w okresie po zamknięciu obszarów górniczych. W centralnej części obszaru badań obserwuje się kilkumilimetrowe podnoszenie się terenu. Punkty wykazujące ruch dodatni formują się w grupę w kształcie elipsy. Obserwowane minimalne podnoszenie się powierzchni terenu nastąpiło mniej więcej po okresie zamknięcia kopalń i zaprzestania pompowania wody. Powolne wypiętrzanie powierzchni terenu związane jest z odbudowywaniem ciśnień hydraulicznych w górotworze.
2. Dotychczas na obszarze oddziaływania eksploatacji rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim zidentyfikowano 1260 zapadlisk.
3. Pod względem genezy większość zapadlisk związana jest z prowadzoną eksploatacją systemem z zawałem stropu, gdzie stwierdzono około 700 zapadlisk (55,5%). Znajdują się one na obszarach występowania komór poeksploatacyjnych w rejonie Hutek, na

południowy zachód od Olkusza oraz na południe od miejscowości Bolesław. Część z nich ma związek z pozostałymi elementami infrastruktury kopalnianej (chodnikami, przekopami, upadowymi itp.). Są one zlokalizowane w większości poza terenami zagospodarowanymi.

4. Na obszarze badań zostały zinwentaryzowane zapadliska naturalne związane z występowaniem w podłożu skał węglanowych, gdzie w tych skałach występują różnego rodzaju wypełnione formy krasowe, podatne na procesy sufozji, które są zwykle w sposób naturalny inicjowane przez infiltrację opadów atmosferycznych. Tego typu zapadliska zostały zarejestrowane w północnej części badanego obszaru, na zachód od miejscowości Klucze-Osada. Ostateczna geneza poszczególnych zapadlisk zostanie określona w opracowaniu końcowym dotyczącym poszczególnych gmin, gdzie zostaną zinwentaryzowane wszystkie zapadliska w ujęciu gminnym.
5. Główną przyczyną tworzenia się zapadlisk w obszarze olkuskim jest podnoszący się poziom wód podziemnych, szczególnie na obszarach, gdzie prowadzono eksploatację systemem z zawałem stropu oraz na skarpach piaskowni. Czynnikiem sprzyjającym tworzeniu się nowych lejów zapadliskowych lub reaktywacji form już istniejących jest także infiltracja wód w wyniku intensywnych lub długotrwałych opadów deszczu. Najbardziej zagrożone na powstanie zapadlisk tereny są niezagospodarowane i znajdują się w rejonie Hutek, na południowy zachód od Olkusza oraz na południe od miejscowości Bolesław. Na mniejszą skalę może dochodzić też do powstania nowych zapadlisk w innych częściach rejonu badań, przy czym skala tego zjawiska powinna być stosunkowo niska. Powyższa ocena wynika z prowadzonej od 2023 roku inwentaryzacji zapadlisk na terenach zurbanizowanych.
6. Analizy różnicowych modeli terenu na wybranych obszarach wykazały, że najintensywniejszy okres powstawania zapadlisk występował pomiędzy 2019 a 2023 rokiem. W tym okresie widoczna jest bardzo duża liczba nowopowstających zapadlisk głównie na obszarach, gdzie eksploatacja prowadzona była z zawałem stropu. Okres pomiędzy 2023 a 2024 r. charakteryzuje się zmniejszoną intensywnością powstawania nowych zapadlisk, jak również stosunkowo niewielką ilością uaktywnionych. Trend ten widoczny jest na obszarach eksploatacji na południowym – zachodzie Olkusza oraz w rejonie piaskowni w okolicach Hutek, gdzie większość zapadlisk znalazła się pod wodą. W rejonie Bolesławia na każdym z różnicowych modeli terenu widoczny jest utrzymujący się trend powstawania ok. 20 nowych zapadlisk, a w okresie pomiędzy październikiem 2023 r. a listopadem 2024 r. liczba powstających zapadlisk wyniosła 34. W okresie tym widoczna jest też większa liczba zapadlisk tworzących się poza obszarem

eksploatacji z zawałem stropu, szczególnie w miejscach po starej eksploatacji, gdzie w okresie tym woda dotarła do starych zrobów.

7. W wyniku przeprowadzonej inwentaryzacji stwierdzono, że około 36% zapadlisk to formy, które uległy reaktywacji. Proces ten występuje i będzie występował szczególnie w rejonach zalewanych przez wodę oraz na terenach, gdzie prowadzona była eksploatacja systemem z zawałem stropu.
8. Spośród zidentyfikowanych 1260 zapadlisk, 216 z nich (17%) 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 zagospodarowanych. Są to głównie zapadliska zasypane zlokalizowane we wschodniej części obszaru badań (rejon Olkusa, Starego Olkusa) oraz w pasie między Hutkami, Bolesławiem i ZGH „Bolesław”. Pozostałe 1044 zapadliska (83%) znajdują się w przewadze na terenach leśnych.
9. Zwraca się uwagę, że wszystkie zapadliska „istotne” (87) na terenie miejscowości Olkusz to stare formy w obrębie których obecnie nie stwierdzono śladów reaktywacji. Podobna sytuacja dotyczy rejonu miejscowości Bolesław, gdzie większość starych zapadlisk nie uległa uaktywnieniu. Znaczna część zapadlisk istotnych znajduje się w sąsiedztwie nowo wybudowanej obwodnicy „Bolesława”.
10. Inwentaryzacja zapadlisk w obrębie zagospodarowanej części miejscowości Bolesław wskazuje, że tworzą się one w rejonie szybów, szybików, które zostały zasypane. Najczęściej zasypanie to odbywało się w sposób niekontrolowany, a obecnie ze względu na podnoszenie się zwierciadła wody obserwowany jest proces ich reaktywacji. Cechą charakterystyczną tych zapadlisk jest równomierne obniżanie powierzchni terenu. Na obszarach zurbanizowanych miejscowości Bolesław nie są obecnie widoczne powierzchniowe oznaki zapadania wyrobisk poziomych (np. chodników, pochylni, komór eksploatacyjnych, itp.).
11. Opracowano mapę obszarów zagrożonych powstaniem zapadlisk na terenie miejscowości Bolesław, która przedstawia lokalizacje szybów, szybików i starych zapadlisk, które mogą się uaktywnić w obszarach zurbanizowanych, ze względu na podnoszący się poziom zwierciadła wód podziemnych. Mapa ta powinna służyć redukcji ryzyka związanego ze skalą zagrożenia zapadliskowego dla miejscowości Bolesław. Wskazane punkty powinny być obserwowane i w przypadku stwierdzenia oznak spękań powierzchni terenu, czy też budynków należy ten fakt zgłosić do odpowiednich służb ratunkowych (straż pożarna, policja). Na terenie zagospodarowanej części miejscowości Bolesław, od 2023 roku występuje przede wszystkim taki typ zapadlisk, który związany jest z zapadaniem gruntów w obrębie istniejących szybów, szybików (zapadlisko w

budynku gospodarczym naprzeciw Urzędu Gminy, w sąsiedztwie cmentarza, czy też na drodze krajowej 94). Na mapie wskazano łącznie 97 lokalizacji, gdzie możliwe jest powstanie zapadlisk. W rejonie zagospodarowanej części miasta Bolesław od 2023 roku powstało 6 zapadlisk o takiej genezie. W związku z tym skalę zagrożenia ocenia się jako niską, niemniej należy prowadzić obserwację wskazanych punktów na mapie.

12. Jednocześnie zwraca się uwagę jak istotne jest określenie genezy powstającego zapadliska. Powinna się ona opierać na kwerendzie danych archiwalnych i dopiero na tej podstawie można oceniać jakie są ryzyka powiększenia obszaru zapadliska oraz jego głębokości. Przykład zapadliska na drodze krajowej DK 94, czy też zapadlisk w centrum Bolesławia, które błędnie były interpretowane medialnie jako związane z wyrobiskami poziomymi (chodniki, pochylnie, komory eksploatacyjne) wskazuje na potrzebę analizy danych archiwalnych pod kątem możliwości powstania nowych zapadlisk w terenach zagospodarowanych.
13. Zapadlisko „powstałe medialnie” w lutym 2025 roku przy ulicy Parkowej w Bolesławiu w rzeczywistości jest stare i było zasypywane najprawdopodobniej w roku 1982, na co wskazują archiwalne zdjęcia. Jego wymiary dochodziły do około 25 m szerokości. Zapadlisko uaktywniło się między 18.03.2023 a 03.11.2024. Podane daty dotyczą nalotów lotniczych, na podstawie których sporządzono numeryczne modele terenu (NMT). Na danych numerycznych z 18.03.2023 zapadlisko nie zostało zidentyfikowane, natomiast występuje na NMT z 03.11.2024 co wskazuje na czas jego uaktywnienia pomiędzy ww. datami. Należy podkreślić kolejny raz potrzebę analizy dostępnych danych archiwalnych przy interpretacji genezy zapadlisk.
14. Na obecną chwilę nie obserwuje się istotnej propagacji zjawisk zapadliskowych w terenach zabudowanych. Zapadliska występują w większości na terenach, gdzie była prowadzona eksploatacja systemem z zawałem stropu, jak również w obszarach, które nie są zagospodarowane lub stanowią lasy. Do czasu podnoszenia się zwierciadła wody procesy zapadliskowe będą w dalszym ciągu się rozwijać, natomiast zmniejszenie skali powstających deformacji będzie miała miejsce, gdy nastąpi ustabilizowanie poziomu wód podziemnych. Przewiduje się, że po osiągnięciu ostatecznych rzędnych zwierciadła wody będzie następować konsolidacja utworów piaszczystych i skala tworzenia się nowych zapadlisk będzie się zmniejszać.
15. Wyniki zawarte w opracowanych dotychczas raportach na obszarze oddziaływania dawnej KWK „Siersza”, jak również niniejszego raportu dla rejonu olkuskiego powinny być wykorzystywane do redukcji ryzyka związanego z deformacjami nieciągłymi 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 2024 r. poz. 54, 834, 1089, 1222, 1847, 1853, 1881, 1914, 1940, 1946) celem wprowadzenia definicji zapadliska, jak również Ustawę o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. z 2024 r. poz. 1130, 1907, 1940) aby w planach zagospodarowania przestrzennego uwzględniać zarówno miejsca występowania obecnych lub historycznych zapadlisk, jak również terenów zagrożonych powstaniem zapadlisk niezależnie od ich genezy. Takie tereny zagrożone, na których mogą wystąpić zapadliska stanowią miejsca udokumentowanej eksploatacji złóż systemem na zawał, obszary gdzie mogło w przeszłości dochodzić do lokalnej eksploatacji, która nie została udokumentowana, jak również zapadliska naturalne powstałe np. w wyniku procesów krasowych. Tereny zagrożone to także rejon występowania szybów i szybików, które mogą ulec zapadnięciu, jak również obszary z występującymi w podłożu utworami węglanowymi podlegającymi procesom krasowym. 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, niezależnie od ich genezy.

16. W związku z punktem 15 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 2024 r. poz. 725, 834, 1222, 1847, 1881) 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.
17. Ze względu na wzmożoną aktywność zapadlisk w ostatnich latach, jak i pojawianie się lejów poza obszarami 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 rejonie olkuskim.
18. 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/>.

## 12 LITERATURA

---

---

- Adamczyk A.F., Motyka J., 1995 – Problemy metodyczne związane z wyznaczaniem zasięgu leja depresji w rejonach oddziaływania drenażu górniczego. *Współczesne Probl. Hydrogeol.*, 7/2, Kraków-Krynica, str. 209-212.
- Adamczyk Z., Motyka J., 1997 – Wstępna ocena infiltracji wód z rzeki Białej Przemszy i jej dopływów. *Mat. 3o i 4o Międzyn. Szkoły Ochr. Przyr. Obsz. Krasowych, Pálava*, 11-15.09.1995, Smoleń, 03-06.09.1996, *Wyd. Zarz. Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych, Dąbrowa Górnicza*, str. 61-70.
- Adamczyk Z., Duda R., Haładus A., Motyka J., 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski, ark. Olkusz (945) w skali 1:50000 z objaśnieniami. *PIG, Warszawa*.
- Bamler, R., Hartl, P., 1998. Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Probl.* 14, R1–R54.
- Bezkorowajny A., Motyka J., d'Obyrn K., 2019 – Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zakończeniem lub zmianą poziomu odwadniania likwidowanego zakładu górniczego rud cynku i ołowiu Kopalnia „Olkusz – Pomorzany”.
- Bielec B., 1999 – Własności hydrogeologiczne przestrzeni porowej skał związanych w Polsce. *Praca doktorska, AGH w Krakowie*.
- Bukowy S., 1974 – Monoklina śląsko-krakowska i zapadlisko górnośląskie. W: *Budowa geologiczna Polski, T. IV, Tektonika, cz. 1, Niż Polski*, str. 213-233, *Wyd. Geol., Warszawa*.
- Bukowy S., 1994 – Zarys budowy paleozoiku północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W: *Paleozoik północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przew. LXV Zjazdu PTG, Sosnowiec, 22-24 września 1994*, str. 14-30, *Pr. Nauk. UŚl. Nr 1431, Katowice*.
- Buła Z., 2000 – Dolny paleozoik Górnego Śląska i zachodniej Małopolski. *Prace PIG*, 171, 89 str., *Warszawa*.
- Bürgmann, R., Rosen, P.A., Fielding, E.J., 2000. Synthetic Aperture Radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 28, 169–209.
- Cattabeni, M., Monti-Guarnieri, A., Rocca, F., 1994. Estimation and Improvement of Coherence in SAR Interferograms. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS '94*, 720–722.

- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., Crippa, B. 2015. Persistent scatterer interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78-89.
- 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.
- Cudak J., Razowska-Jaworek L., Brodziński I., 2005– Mapa hydrogeologiczna Polski, pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydrodynamika , ark. Jaworzno (944) w skali 1: 50000 z objaśnieniami. PIG-PIB, Warszawa.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., 1999. Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1999. IGARSS '99, 1–3.
- Fuhrmann, T., Garthwaite, M. C., 2019. Resolving three-dimensional surface motion with InSAR: Constraints from multi-geometry data fusion. *Remote Sensing*, 11(3), 241.
- Gałkiewicz T., Śliwiński S., 1985 – Charakterystyka geologiczna śląsko – krakowskich złóż cynkowo – ołowiowych. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, vol. 53, 63-93.
- Gładysz J., Midura A., Lassak I., 1992 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu Krzykawa w kat. A + B + C-1.
- Goldstein, R.M., Zebker, H.A., Werner, C.L., 1988. Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping. *Radio Sci.* 23, 713–720.
- Gorczyca G., Gągulski T., 2005 – Mapa hydrogeologiczna Polski, pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydrodynamika, ark. Olkusz (945) w skali 1: 50000 z objaśnieniami. PIG-PIB, Warszawa.
- Gorczyca G., Zdechlik M., 2006 – Mapa hydrogeologiczna Polski, pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydrodynamika, ark. Ogrodzieniec (913) w skali 1: 50000 z objaśnieniami. PIG-PIB, Warszawa.
- Górka K., 2023 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski, ark. Ogrodzieniec (913) w skali 1:50 000 z objaśnieniami. PIG-PIB, Warszawa.
- Haładus A., Motyka J., Szczepański A., Wilk Z., 1978 – Prognozowanie metodą modelowania analogowego dopływów wody do kopalń pracujących w skałach szczelinowo-krasowych. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 48, 3-4, str. 559-587.
- Hanssen, R.F., 2005. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis* 2nd ed., Heidelberg: Springer Verlag.

- Kotlicka G.N. 1969 – Uwagi o paleogeografii dolnego odcinka pradoliny Przemyszy. Biul. Inst. Geol., 220: 325–345.
- Kurek S., Midura A., 1992 – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu Klucze w kat. C-1 + C-2.
- Kurek S., Paszkowski M., Preidl M., 1991 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski, ark. Jaworzno (944) w skali 1:50 000 z objaśnieniami. PIG, Warszawa.
- Kurek S., Preidl M., 1992 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski, ark. Olkusz (945) w skali 1:50000 z objaśnieniami. PIG, Warszawa.
- Massonnet, D., Feigl, K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Rev. Geophys.* 36, 441–500.
- Molenda D., 1972 – Kopalnie rud ołowiu na terenie złóż śląsko – krakowskich w XVI – XVIII wieku. W: *Z dziejów postępu technicznego w eksploatacji kruszców*. Wyd. Inst. Historii Kultury Materialnej PAN.
- Motyka J., 1988 – Węglanowe osady triasu w olkusko-zawierciańskim rejonie rudnym jako środowisko wód podziemnych. *Zesz. Nauk. AGH, nr 1157, Geologia*, 36, 109 str.
- Motyka J., 1998 – A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland. *Hydrogeol. Jour.*, 6, 4, p. 469-482.
- Motyka J., Czop M., 2011 – Ocena hydrogeologiczna i prognoza skutków po zakończeniu odwadniania zakładu górniczego, a w tym określenie zasięgu obszarów zagrożonych podtopieniem, ich charakteru i czasu występowania, Kraków.
- Motyka J., Rózkowski K., 2003 – Wstępne wyniki badań wpływu ucieczek wody z Białej Przemyszy na zawodnienie kopalń rud cynku i ołowiu „Pomorzany” (południowa Polska). W: *XI międzynarodowy hydrogeologiczny kongres – zbornik*. Ostrava, str. 215-218.
- Motyka J., Wilk Z., 1976 – Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko-krakowska). *Kwart. Geol.*, 20, 2, str. 381-399.
- Motyka J., Wilk Z., 1980 – Olkuski rejon złożowy. Piętra wodonośne i ich charakterystyka. W: *Rózkowski A., Wilk Z. (red.) – Warunki hydrogeologiczne złóż rud cynku i ołowiu regionu śląsko-krakowskiego*. Prace Inst. Geol., Wyd. Geol., Warszawa, str. 151-159.
- Motyka J., Wilk Z., 1984 – Hydraulic structure of karst-fissured Triassic rocks in the vicinity of Olkusz (Poland). *Prace Nauk. Uniw. Śl. nr 704, Kras i speleol.*, 5 (XIV), p. 11-24.

- Motyka J., 2011 – Ekspertyza na temat wpływu starego kopalnictwa rud cynkowo – ołowiowych na powierzchnię terenu w rejonie Olkusza. Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica;
- Niedzielski B., 1993 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej w kat. A + B złoża cynku i ołowiu „Bolesław”.
- Pacholewski A. (red.), 1994 – Dokumentacja hydrogeologiczna zbiornika Olkusz-Zawiercie nr 454. Arch. OG PIG-PIB, Sosnowiec.
- Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski tom I. Wody słodkie, PIG. Warszawa.
- Perissin, D. et al., 2006. On the physical characterization of SAR Permanent Scatterers in urban areas. Proceedings of EUSAR’06.
- Perski, Z., Hanssen, R., 2006. The interpretation of Bam fault kinematics using envisat SAR interferometric data. In European Space Agency, (Special Publication) ESA SP.
- Perski, Z., 1999. Osadania terenu GZW pod wpływem eksploatacji podziemnej określane za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR). Przegląd Geol. 2, 171–174.
- Perski, Z., Ketelaar, G., Mróz, M., 2006. Interpretacja danych ENVISAT/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (Persistent Scatterers). Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 16.
- Popiołek E., Janusz W., Ostrowski J., Krawczyk J., Kotowicz B., Jajko B., 1992 – 1993 – Ocena zagrożenia powierzchni terenu w zasięgu O.G. „Bolesław” z tytułu prowadzonej eksploatacji podziemnej przed 1945 oraz eksploatacji współczesnej, w aspekcie ograniczenia tego zagrożenia.
- Popiołek E., Ostrowski J., Sepiał J., Olas Z., 2000 – Ocena wpływu likwidowanego rejonu „Olkusz” kopalni „Olkusz - Pomorzany” na środowisko i obiekty powierzchniowe. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Zespół Rzeczoznawców.
- Poręba E., 2015 – Dodatek nr 5 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Klucze”.
- Prussak W., 1981 – Wpływ górnictwa rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim na wielkość przepływu Białej Przemszy. Praca doktorska, AGH, Kraków.
- Radwanekek-Bąk B., 2022 – Dodatek nr 7 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Olkusz”.
- Rejestr zapadlisk dla kopalni „Bolesław”
- Rejestr zapadlisk dla kopalni „Olkusz”

Rejestr zapadlisk dla kopalni „Pomorzany”

Sawicki J., 2000 – Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu. Wrocław.

Tyc A., 1990 – Formy zapadliskowe w krasie Olkuskiego Okręgu Rudnego wywołane działalnością górniczą i pompowaniem wód. Zesz. Nauk. AGH, Nr 1368, Sozologia i sozotechnika, z. 32, Kraków.

Walczak K., 1996 – Dodatek nr 3 (rozliczeniowy) do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Krzykawa” w kategorii A + B + C1.

Walczak K., Cieślak B., 2000 – Dodatek nr 6 rozliczeniowy do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Olkusz” w kategorii A + B + C1 + C2.

Walczak K., Socha J., Wnuk R., 1997 – Dodatek nr 3 (rozliczeniowy) do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Bolesław” w kategorii A + B.

Wilk Z., Motyka J., Niewdana J., 1973 – Geologiczne i hydrogeologiczne uwarunkowania powstania zapadlisk na obszarze górniczym jednej z kopalń rud cynkowo – ołowiowych. Biul. IG, nr 277, Z badań hydrogeologicznych w Polsce, t. 3.

Wilk Z., Motyka J., 1977 – Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud. Roczn. Pol. Tow. Geol., 47, 1, str. 115-143.

Wilk Z., Motyka J., 1980 – Zasobność wodna szczelinowo-krasowych utworów wschodniej części monokliny śląsko-krakowskiej. Roczn. Pol. Tow. Geol., 50, 3-4, str. 447-484.

Wilk Z., 1982 – Wpływ zmian warunków hydrogeologicznych spowodowanych działalnością górniczą na wielkość deformacji powierzchni. W: Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Wyd. „Śląsk”, Katowice.

Wilk Z., i in., 1983 – Określenie przyczyn powstawania zapadlisk powierzchniowych na terenach górniczych i ich związek z krasem. AGH w Krakowie im. St. Staszica.

Wilk Z., Motyka J., Borczak S., Makowski Z., 1985 – Własności mikrohydrauliczne utworów wapienia muszlowego i retu południowej części monokliny śląsko-krakowskiej. Ann. Societ. Geol. Pol., 55, 3-4, str. 485-508.

Włodarz B., 2006 – Zabytkowa kopalnia górnictwa kruszcowego w Olkuszu – perspektywy uruchomienia. W: Górnictwo i Geoinżynieria 2006/30/4. AHG w Krakowie s. 131–141.

Wnuk R., 2018a – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Laski”.

Wnuk R., 2018b – Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Pomorzany”.

- Wnuk R., 2018c – Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Bolesław”.
- 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.
- 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.
- Wojciechowski T., Jureczka J., Wódka M., Kamieniarz S., Karwacki K., Perski Z., Sikora R., Nadłonek W., Rolka M., Krieger W., Maślanka R., Zając M., Przyłucka M., Strzemińska K., Nescieruk P., Kos J., 2023c. Raport trzeci z prac analitycznych o deformacjach terenu w Trzebini. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 14 lipca 2023.
- Wójcik T., 2021a – Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Klucze I”.
- Wójcik T., 2021b – Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Pomorzany”.
- Zebker, H.A., Villasenor, J., 1992. Decorrelation in interferometric radar echoes. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 30, 950–959.
- Żaba J., 1999 – Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. Prace Państw. Inst. Geol., 161, 142 str.

#### **Źródła on-line**

- <http://www.gugik.gov.pl/bip/prawo/modele-danych>
- <https://zghboleslaw.pl/pl/kopalniawiedzy/baza-wiedzy/historia/156-zgh-spadkobierca-tradycji-pierwszych-kopaln-rudnych-rejonu-olkusko-boleslawskiego>
- <https://gazetaolkuska.pl/kopalnia-olkusz-pomorzany-ostatnia-w-historii-olkuskiego-gornictwa/>