

ANTROPOGENICZNE ZMIANY RZEŻBY NA TERENACH GÓRNICZYCH STAREGO ZAGŁĘBIA MIEDZIOWEGO (SYNKLINORIUM PÓŁNOCNOSUDECKIE) W ŚWIELE ANALIZ GEOMORFOMETRYCZNYCH NMT LiDAR I DANYCH ARCHIWALNYCH

ANTHROPOGENIC CHANGES OF THE “OLD COPPER BASIN” AREA LANDSCAPE (NORTH-SUDETIC SYNCLINORIUM) IN THE LIGHT OF LiDAR-BASED GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS AND ARCHIVAL DATA

ALEKSANDER KOWALSKI¹, KRZYSZTOF MACIEJAK², JURAND WOJEWODA¹, ADAM KOZŁOWSKI¹, PAWEŁ RACZYŃSKI¹

Abstrakt. O ile parametry złożowe, historia oraz techniki eksploatacji cechsztyńskich złóż rud miedzi w synklinorium północnosudeckim były przedmiotem licznych opracowań, zagadnieniu przekształceń rzeźby terenu na obszarze tzw. Starego Zagłębia Miedziowego nie poświęcono jak dotąd szczególnej uwagi. Niniejsza praca ma na celu uzupełnienie tej luki. W artykule opisano morfologię i przeprowadzono szczegółowe analizy geomorfometryczne form pogórnich związanych bezpośrednio z eksploatacją rud miedzi i składowaniem odpadów poeksploatacyjnych na obszarze Zagłębia. W analizie i opisie form powierzchni wykorzystano dane archiwalne, ale przede wszystkim nowe metody i możliwości związane z przetwarzaniem wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT LiDAR – ang. *Light Detection and Ranging*), które są uznawane obecnie za najwierniejsze i najdokładniejsze odwzorowanie powierzchni ziemi dostępne w formie numerycznej. Na obszarze badań wyróżniono i opisano następujące antropogeniczne formy rzeźby: wielkoskalowe deformacje powierzchni terenu (niecki osiadań i zapadliska), małoskalowe deformacje powierzchni terenu (pingi), kamieniołomy oraz formy związane ze składowaniem produktów ubocznych wydobywania i przeróbki rud miedzi – zbiorniki odpadów poflotacyjnych i hałdy. Wieloaspektowe podejście badawcze pozwoliło m.in. na zobrazowanie rozkładu przestrzennego form, oszacowanie parametrów wolumetrycznych, a także wytypowanie perspektyw rekultywacji i ochrony niektórych obiektów.

Słowa kluczowe: geomorfometria, obszary pogórnice, NMT LiDAR, Stare Zagłębie Miedziowe, Sudety.

Abstract. While the history, techniques of exploitation and deposit parameters of the copper ores in the North-Sudetic Synclinorium have been the subject of numerous investigations, the transformations of the terrain in the so-called “Old Copper Basin” (Lower Silesia, SW Poland) have not been analysed in detail before. This paper is intended to complement this gap. The authors present the results of the detailed geomorphometric analysis of the post-mining forms related directly to the copper mining. The LiDAR-based, high-resolution Digital Terrain Models (DTMs), which have been used in the analysis and description of the landforms, are currently considered as the most accurate and precise 3D-spatial data available in the numerical form. The following anthropogenic forms are distinguished in the study area: large- and small-scale ground deformations (depressions and small sinkholes), abandoned quarries, and forms associated with the exploitation and storage of the flotation wastes – post-flotation tailings and dumps. Our investigations have allowed visualization of the spatial distribution of the forms, estimation of their total volume as well as perspectives of their reclamation and protection.

Key words: geomorphometry, post-mining areas, DTM LiDAR, the “Old Copper Basin”, Sudetes.

¹ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: aleksander.kowalski@uwr.edu.pl, jurand.wojewoda@uwr.edu.pl, adam.kozlowski.91@gmail.com; pawel.raczynski@uwr.edu.pl.

² Badacz historii górnictwa; e-mail: krzysztof@maciejak.pl.

WSTĘP

Wielkoskalowe przekształcenia rzeźby terenu są nieodłącznym i najłatwiej dostrzegalnym efektem działalności górniczej. Zmiany ukształtowania powierzchni terenu na obszarach wydobywania surowców obejmują formy związane z udostępnianiem i budową kopalń, ale przede wszystkim z etapem eksploatacji kopalni i składowania odpadów poeksploatacyjnych. Kształt i zasięg form, które powstają w wyniku tych procesów zależy od skali i sposobu eksploatacji, przeróbki surowca oraz ukształtowania powierzchni terenu. Z eksploatacją powierzchniową związane są najczęściej wyrobiska odkrywkowe i towarzyszące im hałdy. Do form związanych bezpośrednio z podziemną działalnością górniczą należą głównie wielkoskalowe deformacje powierzchni terenu, które są skutkiem pionowych i poziomych przemieszczeń skał ponad przestrzeniami eksploatacyjnymi w górotworze. W literaturze stosuje się podział na deformacje ciągle i nieciągłe (Szpetkowski, 1978). Podział ten uwzględnia różny stopień odkształceń powierzchni terenów górniczych, który jest uzależniony od wielu powiązanych ze sobą czynników, m.in. od mechanicznych i reologicznych własności skał, głębokości i miąższości eksploatowanych pokładów, warunków hydrogeologicznych, rodzaju i szybkości eksploatacji, a także sposobu kierowania stropem (Borecki, 1980). Do deformacji nieciągłych należą m.in. szczeliny, rozpadliny, zapadliska i leje, które powstają w wyniku nagłego obniżenia powierzchni terenu, najczęściej na obszarach o skrajnie płytkiej eksploatacji podziemnej. Deformacje ciągle to tzw. niecki osiadań, powstające przez powolne, narastające uginanie się skał ponad wyrobiskami eksploatowanymi metodą zawалу lub ugięcia stropu (Chudek i in., 1979). Na kształt i zasięg niecek osiadań wpływają przede wszystkim głębokość i zasięg eksploatacji.

Pogórnice formy terenu związane ze składowaniem produktów ubocznych wydobywania i przeróbki kopalni obejmują przede wszystkim hałdy i zwałowiska skał płonnych, a w przypadku surowców metalicznych (np. rud miedzi) i energetycznych poddawanych procesowi flotacji (np. węgla odzyskiwanego z tzw. mułu węglowego) – zbiorniki odpadów przerobczych (poflotacyjnych). Zważywszy na fakt, że odpady pogórnice obejmują ok. 75–80% całości odpadów przemysłowych wytwarzanych w Polsce (Traczyk, 1997), skala przekształceń powierzchni terenu związana z procesem ich unieszkodliwiania i składowania jest również znacząca. Szacuje się, że składowiska odpadów poflotacyjnych przemysłu miedziowego zajmują obszar 2300 ha (Łuszczkiewicz, 2000), przy łącznej powierzchni 180 000 ha terenów górniczych i pogórnicznych w Polsce (Korban,

2011). Warty podkreślenia jest również fakt, że wpływ działalności górniczej wykracza daleko poza zmiany ukształtowania powierzchni terenu, skutkując także zaburzeniem bilansu wód podziemnych i powierzchniowych, zmianami hydrogeochemicznymi, zanieczyszczeniem gleb, powietrza atmosferycznego, a w konsekwencji degradacją szaty roślinnej i szeroko pojętego środowiska przyrodniczego.

Zagadnieniu przekształceń rzeźby terenu na obszarze Starego Zagłębia Miedziowego jak dotąd nie poświęcano w literaturze szczególnej uwagi. Pojedyncze wzmianki o formach powierzchni terenu pojawiały się w opracowaniach dotyczących historii górnictwa na obszarze badań (Festenberg-Packisch, 1881; Wutke, 1901; Fechner, 1903; Bey-schlag, 1918; Scupin, 1925; Piątek, Piątek, 1998; Maciejak, Maciejak, 2013), a także w pracach problemowych dotyczących rekultywacji obszarów pogórnicznych (Kijewski, Downorowicz, 1987; Łuszczkiewicz, 2000; Kotarska, 2012). W niniejszej pracy opisano morfologię i przeprowadzono szczegółowe analizy geomorfometryczne form pogórnicznych związanych bezpośrednio z eksploatacją rud miedzi i składowaniem odpadów poeksploatacyjnych na obszarze tzw. Starego Zagłębia Miedziowego. Pominięto przekształcenia terenu związane z budową kopalń oraz z infrastrukturą kopalnianą. W analizie i opisie ukształtowania powierzchni obszarów poeksploatacyjnych wykorzystano dane archiwalne, a także nowe metody i możliwości związane z przetwarzaniem wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT) LiDAR (ang. *Light Detection and Ranging*), które są obecnie uznawane za najwierniejsze i najdokładniejsze odwzorowanie powierzchni ziemi dostępne w formie numerycznej (Jucha, Marszałek, 2016). Udostępnienie NMT LiDAR przyczyniło się w ostatnich latach do reinterpretacji i rozpoznania wielu nowych form rzeźby (np. Migoń i in., 2013), w tym m.in. form osuwiskowych (Baldo i in., 2009; Wójcik i in., 2013; Migoń i in., 2014; Kowalski, 2017). Modele LiDAR są również wykorzystywane do badań antropogenicznych form użytkowania terenu, w tym przede wszystkim w badaniach archeologicznych (Banaszek, 2014). Ponadto, wysokorozdzielcze modele LiDAR znalazły zastosowanie w badaniach geologicznych (np. Webster i in., 2006; Engelkemeir, Khan, 2008; Wojewoda i in., 2011), w tym przede wszystkim w powierzchniowej kartografii geologicznej (Wojewoda, 2016; Kowalski, Wojewoda, 2016). Wzrost popularności numerycznych modeli wysokościowych jest związany głównie z nowymi możliwościami interpretacji i wykrywania elementów rzeźby ukrytych pod zwartą pokrywą roślinną.

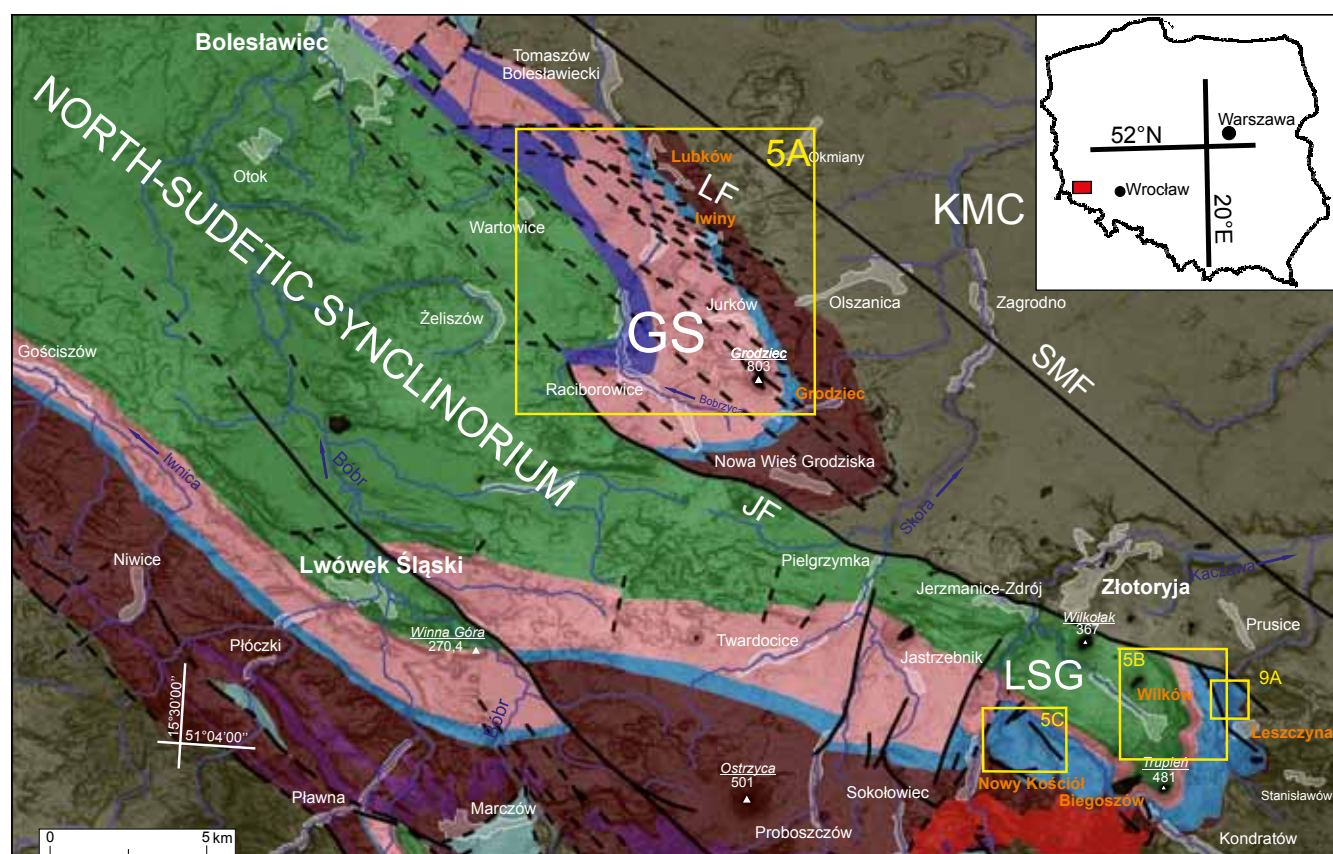
POŁOŻENIE I BUDOWA GEOLOGICZNA OBSZARU BADAŃ

Obszar Starego Zagłębia Miedziowego jest położony w południowo-zachodniej Polsce, w województwie dolnośląskim, na terenie dwóch mezoregionów fizycznogeogra-

ficznych (Kondracki, 2002) – Pogórza Kaczawskiego w Sudetach Zachodnich (S część obszaru) oraz Równiny Chojnowskiej, będącej częścią Niziny Śląsko-Lużyckiej (N część

obszaru, okolice Iwin). Kopalnie Starego Zagłębia znajdują się w obrębie dwóch jednostek geologiczno-strukturalnych, określanych w literaturze jako synklina Grodzka (GS) i półrów Leszczyny (LSG; np. Gunia, Milewicz, 1962; Cyerman, 2004). Są to regionalne jednostki niższego rzędu, stanowiące odpowiednio północny i południowo-wschodni fragment synklinorium północnosudeckiego (fig. 1). Obie jednostki są zbudowane ze skał wulkanicznych i osadowych karbonu górnego, permu (czerwonego spągowca i cechszty-

nu) i triasu (półnego piaskowca i wapienia muszlowego), które są przykryte przez niezgodnie zalegające utwory kredy górnej (cenomanu i turonu, koniaku i santonu). Skały osadowe zalegają bezpośrednio na podłożu metamorficznym (KMC) i są miejscami poprzecinane żyłami neogeńskich bazaltoidów, które tworzą obecnie wzgórza ostańcowe (por. fig. 1). Granice synklinorium północnosudeckiego mają w przewadze charakter tektoniczny. Półrów Leszczyny ograniczony jest od północy uskokiem Jerzmanic (JF), który od-



 bazaltoidy (neogen) <i>basaltoids (Neogene)</i>	 trachybazalty (perm dolny) <i>trachybasalts (Lower Permian)</i>
 piaskowce, mułowce wapieniste, wapień (kreda górna) <i>sandstones, calcareous mudstones, limestones (Upper Cretaceous)</i>	 zlepieńce, piaskowce, mułowce (karbon górny) <i>conglomerates, sandstones, mudstones (Upper Carboniferous)</i>
 wapień (trias środkowy - wapień muszlowy) <i>limestones (Middle Triassic - Muschelkalk)</i>	 skały metamorficzne (kambr-sylur) <i>metamorphic rocks (Cambrian-Silurian)</i>
 piaskowce arkozowe (trias dolny - pstry piaskowiec) <i>arkosic sandstones (Lower Triassic - Buntsandstein)</i>	 uskoki (pewne i przypuszczalne) <i>faults (confirmed and inferred)</i>
 mułowce, ilowce, piaskowce, wapień, margle (cechsztyń) <i>mudstones, claystones, sandstones, limestones, marls (Zechstein)</i>	 Iwiny ośrodki górnicze (Cu) <i>mining areas (Cu)</i>
 piaskowce i zlepieńce (czerwony spągowiec) <i>sandstones and conglomerates (Rotliegend)</i>	 Ostrzyca 501 szczyt <i>summit</i>
 riolity (perm dolny) <i>rhyolites (Lower Permian)</i>	

Fig. 1. Położenie i budowa geologiczna obszaru Starego Zagłębia Miedziowego

Objaśnienia: LSG – półrów Leszczyny; GS – synklina Grodzka; KMC – metamorfik kaczawski; JF – uskoki Jerzmanic; LF – uskoki Lubichowa; SMF – uskoki sudecki brzeżny. Podkład – NMT SRTM 90 × 90 m. Mapa geologiczna na podstawie opracowań kartograficznych (Kłos, 1971; Marszałek, Zaczek, 1971; Sawicki, 1995; Cyerman, 2004)

Location and geological setting of the „Old Copper Basin” area

Explanations: LSG – Leszczyna Semi-Graben; GS – Grodzica Syncline; KMC – Kaczawa Metamorphic Complex; JF – Jerzmanice Fault; LF – Lubichów Faults; SMF – Sudetic Marginal Fault. Map is superimposed over SRTM DEM with resolution of 90 metres. Geological map based on Kłos, 1971; Marszałek, Zaczek, 1971; Sawicki, 1995; Cyerman, 2004

dziela południowo-wschodnią część synklinorium północnosudeckiego od skał metamorfiku kaczawskiego. Na wschodzie utwory permu, budujące LSG, zalegają bezpośrednio na podłożu metamorficznym. W kierunku północno-zachodnim JF ogranicza utwory kredy, odsłaniające się w centralnej części synklinorium północnosudeckiego od GS. Część północna synkliny Grodzca jest ograniczona od KMC szeregiem dyslokacji określanymi jako uskoki Lubichowa (LF).

Skały permokarbonu w synklinorium północnosudeckim są rozdzielane według kryteriów litostratygraficznych (fig. 2). W dolnej części obejmują one trzy formacje: ze Świerzawy, z Wielisławki i z Bolesławca, które mają charakter megacyklotemów (Śliwiński i in., 2003). Utwory cechsztynu występujące na obszarze badań są interpretowane jako osady brzeżnych partii basenu ewaporatowego (Raczyński, 1997). Utwory te wykazują wysoką zmienność facjalną w zależności od położenia względem brzegu basenu cechsztyńskiego. Umożliwiło to wyznaczenie wielu lokalnych jednostek litostratygraficznych, ułatwiających dokładny podział profilu.

Odmienność wykształcenia osadów utrudnia jednak ich korelację w skali ponadlokalnej. Dlatego też na potrzeby kartografii górniczej i opisów w dokumentacjach geologicznych wykorzystywano tradycyjne podziały stratygraficzne stosowane od początku XX w. (Machoń, 1967; Skowronek, 1967).

Z perspektywy złożowej, w synklinorium północnosudeckim profil skał budujących tę strukturę można podzielić na podłoże złoża, strefę złożową i nadkład (fig. 2). Podłoże tworzą skały osadowe i wulkaniczne permokarbonu (karbon górny i/lub czerwony spągowiec i najniższy cechsztyń). Strefa złożowa obejmuje część dolnego cechsztynu (wapień cechsztyński Ca1). Nadkład tworzy górna część cechsztynu (tzw. seria piaszczysto-mułowcowa) oraz utwory triasu i kredy. W zależności od regionu eksploatacji, nadkład nad wyrobiskami górniczymi ma miąższość od kilku metrów (wschodnia część LSG; kopalnia Lena) do przeszło 800 m (południowa część obszaru górniczego kopalni Konrad).

Złoże miedzi znajduje się w niższej części wapienia cechsztyńskiego (Ca1), który jest zaliczany do węglanowych utworów pierwszego cyklotemu cechsztyńskiego (Werra; PZ1). Pełny profil wapienia cechsztyńskiego na obszarze synklinorium północnosudeckiego obejmuje wapień podstawowy (0–7 m), margle plamiste (0,5–5,0 m), margle miedzionośne (0,5–3,5 m), margle ołowionośne (2–7 m) oraz wapień i dolomity (2–20 m). W profilu dominuje regresywne następstwo facjalne. W rejonie Leszczyny, Stanisławowa i Kondratowa można zaobserwować ślady dwóch spadków poziomu morza, połączonych z subaeralną erozją węglanów (Śliwiński, 1988).

Cechsztyńskie złoża miedzi synklinorium północnosudeckiego należą do polimetalicznych złóż typu stratoidalnego (np. Oszczepalski, Rydzewski, 1991; Oszczepalski, 1999). Stratygraficznie odpowiadają w przybliżeniu pokładom eksploatowanym obecnie w kopalniach KGHM na monoklinie przedsudeckiej. Najwyraźniejsza różnica dotyczy pionowego zasięgu mineralizacji polimetalicznej w profilu litologicznym. Na monoklinie przedsudeckiej okruszczowane są piaskowce białego spągowca, lupek miedzionośny aż do niższej części wapieni i dolomitów cechsztyńskich. W kopalniach położonych na terenie synklinorium północnosudeckiego eksploatowano jedynie rudy miedzi z części serii marglisto-wapiennej, położonej 2–8 m powyżej spągu utworów cechsztynu. Ku zachodowi strefa okruszczowana zbliżała się do spągu cechsztynu, jednak nigdzie nie eksploatowano rud piaskowcowych. Specyficzny dla synklinorium północnosudeckiego jest także rodzaj skał okruszczowanych. Seria złożowa to przede wszystkim osady mułowcowo-wapienne. W rejonie kopalni Nowy Kościół serię tę rozdzielano na osiem warstw margli (oznaczanych cyframi 1–8) i osiem warstw wapieni (oznaczanych literami a–h). Ułatwiało to korelację podczas robót górniczych. Wapień „h”, wyznaczający strop margli miedzionośnych, charakteryzuje się zwiększoną miąższością i może stanowić dobry horyzont korelacyjny dla dużej części synklinorium północnosudeckiego. Jego miąższość jest zwykle ok. dwa razy większa niż maksymalna miąższość innych przeławień wapieni w obrębie margli miedzionośnych i ołowionośnych.

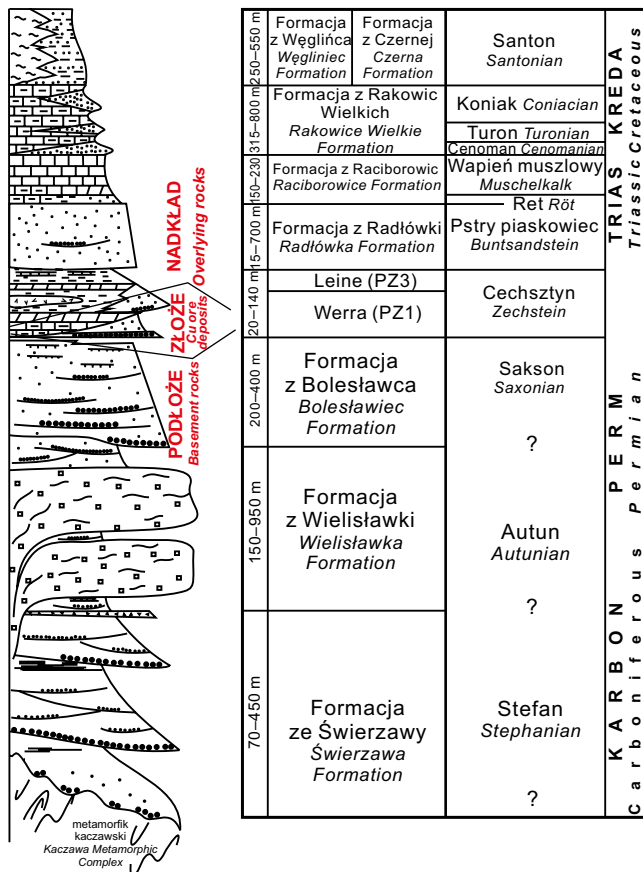


Fig. 2. Profil litostratygraficzny synklinorium północnosudeckiego (część wschodnia i centralna) (wg Śliwińskiego i in., 2003)

Stratigraphic log of the North-Sudetic Synclinorium (eastern and central parts) (according to Śliwiński *et al.*, 2003)

ZARYS HISTORII STAREGO ZAGŁĘBIA MIEDZIOWEGO

Historia górnictwa rud miedzi w synklinorium północno-sudeckim liczy ponad 600 lat (Dziekoński, 1972). Do najstarszych górniczych opracowań kartograficznych, na których zaznaczone są kopalnie rud miedzi w tym rejonie należy „Szkic rozpoznawczy złotoryjskich kopalń” (fig. 3) z 1625 r. Na mapie zaznaczono kamieniołom, kopalnie miedzi księcia Henryka (niem. *Herzog Heinrich Kupfer Zeche*) oraz stare kopalnie (niem. *Alte Gruben*). Nazwy te pojawiły się ponownie na planie sytuacyjnym dawnego górnictwa rejonu Złotoryi z 1825 r., w obszarze między Prusicami, Kozią Górą a Leszczyną. Pierwsze zachowane informacje pisane na temat górnictwa miedzi pochodzą z 25.05.1346 r. i wiążą się z wypożyczeniem przez księcia Bolka II Hansowi von der Warte praw lennych do dwóch dóbr: Warty i Iwin, ze wszelkimi prawami i wolnościami, w tym do wydobywania złota, srebra, ołowiu, miedzi i innego górnictwa (Wutke, 1900). 1.08.1360 r. podobny przywilej górniczy otrzymał natomiast właściciel Wilkowa. Już w 1429 r. w Złotoryi uzyskano sześć cetnarów miedzi (ok. 300 kg) z rudy spod Prusic (Wutke, 1900). Z 1506 r. pochodzi informacja o sprzedaży miedzi w rejonie Nowego Kościoła (Wutke, 1900).

W XVIII i XIX w. między Prusicami a Leszczyną działały sztolnie: Prusicka (niem. *Prausnitzer Stollen*) oraz Wilkowska Dolna (niem. *Wolfsdorfer untere Stollen*) i Wilkowska Górna (niem. *Wolfsdorfer obere Stollen*), które wchłonęła następnie kopalnia Daniel (niem. *Kupferschiefergrube Daniel*). Zapewne z tym kompleksem związany był system trzech osadników w Stęporkowej Dolinie. Jedną z najstarszych kopalni w tej części Pogórza Kaczawskiego była sztolnia Charakter (niem. *Charakterstollen*). W drugiej połowie

XIX w. znalazła się ona w jednym kompleksie wraz z kopalnią Ciche Szczęście (niem. *Stilles Glück*) na polu górniczym o tej samej nazwie. W skład pola wchodziły również sztolnie: Leszczyńska (niem. *Haasel, Alter Stollen*), Henryk (niem. *Heinrich Stollen*) i Środkowa (niem. *Mittel Stollen*) (Maciejak, Maciejak, 2013). Niewiele wiadomo o lokalizacji kopalni Gotthard. W drugiej połowie XIX w. prowadzona działalność górnicza na terenie półrowu Leszczyny opierała się już o konkretne pola wydobywcze, których nazwy często wiązały się z dawnymi kopalniami: *Karl Schacht, Neu Mansfeld, Heinrich Segen, Glück Auf, Katzbach, Neue Hoffnung, Grünspan I-IV, Silesia, Göppert, Gotthard, Stilles Glück, Daniel* (fig. 4).

Przez kolejne wieki wielokrotnie podejmowano prace górnicze w rejonie Biegoszowa, Kondratowa, Nowego Kościoła, Wilkowa, Leszczyny i Prusic. Najpoważniejsze z nich rozpoczęły się w 1863 r. nad Prusickim Potokiem na bazie robót spółki *Haaseler Bergbau und Kupferhütten-Gesellschaft* (Piątek, Piątek, 1998). Złoża udostępniono nowymi sztolniami, zbudowano również nową hutę. W okresie 1866–1883 z wydobytych między Leszczyną a Prusicami 85 000 ton rudy wyprodukowano 1100 ton miedzi i ok. 3437 kg srebra (Beyschlag, 1918). Ogółem rozkruszono, wliczając w to starsze górnictwo, ok. 100 000 m² powierzchni pokładów rudy miedzi wraz ze skałą płonną. Przeciętna zawartość kruszców w 1 tonie wynosiła do 1,3% miedzi i 40 g srebra. U progu XX w. szacowano, że dla kolejnych górniczych pokoleń zostawiono w złożach 673 000 ton miedzi i 2384 ton srebra (Scupin, 1925)



Fig. 3. Fragment mapy obszaru górniczego okolic Złotoryi z 1625 r.

Objaśnienia: 1 – Prusice, 2 – kamieniołomy, 3 – kopalnia miedzi księcia Henryka, 4 – stare kopalnie, 5 – Wilcza Góra (Quiring, 1919)

Historic map of the Złotoryja mining area (1625)

Explanations: 1 – Prusice, 2 – quarries, 3 – Prince Henryk Copper Mine, 4 – old mines, 5 – Wilcza Góra (Quiring, 1919)



Fig. 4. Pola wydobywcze w południowej części półrowu Leszczyny

Objaśnienia: 1 – Karl Schacht, 2 – Neu Mansfeld, 3 – Heinrich Segen, 4 – Glück Auf, 5 – Katzbach, 6 – Neue Hoffnung, 7–7c Grünsparn I–IV, 8 – Silesia, 9 – Göppert, 10 – Gotthard, 11 – Stilles Glück, 12 – Daniel (Projekt wstępny..., 1952)

Mining fields in the southern part of the Leszczyna Semi-Graben

Explanations: 1 – Karl Schacht, 2 – Neu Mansfeld, 3 – Heinrich Segen, 4 – Glück Auf, 5 – Katzbach, 6 – Neue Hoffnung, 7–7c Grünsparn I–IV, 8 – Silesia, 9 – Göppert, 10 – Gotthard, 11 – Stilles Glück, 12 – Daniel (Projekt wstępny..., 1952)

Na przełomie lat 20. i 30. XX w. rozpoczęły się zakrojone na szeroką skalę badania geologiczne nad złożami rud miedzi w synklinorium północnosudeckim. W części wschodniej zaplanowano 20 głębokich wierceń między Nowym Kościołem a Leszczyną, a w synklinie Grodzca – 15 wierceń między Grodzcem, Olszanicą, Iwinami i Wartą Bolesławiecką. Na podstawie wyników wierceń, mając na względzie sytuację geopolityczną w Niemczech i Europie, zapadła decyzja o budowie kopalń rud miedzi między Złotoryją a Bolesławcem. W 1938 r. założono przedsiębiorstwo BUHAG – (niem. *Berg und Huetten Aktiengesellschaft*), którego udziały objęły firma *Bergwerksgesellschaft Georg von Giesche's Erben* z Wrocławia i Ministerstwo Gospodarki Rzeszy (niem. *Reichswirtschaftsministerium*).

ZAKŁADY GÓRNICZE LENA / HEGEWALD

W ramach przedsięwzięcia w 1936 r. przygotowano projekt budowy kopalni opartej o szyb centralny w lesie *Hegewald* między Leszczyną a Wilkowem w okolicach Złotoryi, a także o złoża rozpoznane wschodnimi chodnikami dawnej

kopalni Daniel, na lewym brzegu Prusickiego Potoku. W latach 1937–1938 przy geologicznym rozpoznaniu tego złoża pracowało ponad 350 osób. Budowę głównego szybu kopalni o nazwie *Hegewald* rozpoczęto na początku 1938 r. W 1939 r. szyb miał 5,1 m średnicy oraz 75 m głębokości (na 220 m zaprojektowanych). Ostateczna głębokość szybu sięgała 217 m. Stanęła nad nim stalowa wieża wysokości 30 m z czterema kołami. Wydrążono także dwie upadowe o długości 780 m. W marglach miedzionośnych długość chodników badawczych dochodziła do 3 km. Firma zatrudniała już wówczas blisko 470 osób. W pobliskim Wilkowie wybudowano od podstaw osiedle górnicze.

Wozy z urobkiem rudy wyciągano upadowymi. Po przejściu przez młyny i kruszarki surowiec trafiał do flotacji. Tylko w pierwszym roku z 16 642 ton skały otrzymano 645 ton koncentratu. W planach zakładano budowę systemu stawów osadowych. Ostatecznie niemiecki kompleks posiadał jeden staw. Do końca 1944 r. pozyskano 24 tys. ton miedzi. Z nadjeściem frontu na przełomie 1944 i 1945 r. maszyny wywieziono w głąb Niemiec, a kopalnię zatopiono. Powojenne prace związane z odwodnieniem i ponownym udostępnie-

niem chodników zakończono w 1950 r. Oficjalnie przedsiębiorstwo pod nazwą Zakłady Górnicze Lena powołano ministerialną decyzją 1.01.1950 r. Od początku działalności kopalnia zatrudniała od 1600 do 1700 pracowników, a w 1959 r. – 2160. Wydobycie dochodziło do 650 tys. ton, a w 1964 r. wyniosło 710 tys. ton rudy. Do 1959 r. osady z procesu flotacji transportowano do stawu osadowego Lena nr 1, który miał pojemność 4,2 mln m³ i zajmował obszar 41 ha. Mimo że kopalnia funkcjonowała do końca 1973 r., to urządzenia flotacyjne zamknięto dopiero w maju 1976 r., albowiem przez ten czas do zakładu przerobczego dowożono rudę z Nowego Zagłębia Miedziowego. W kopalni Lena wydobyto 14 468 129 ton rudy miedzi (Paździora, 2008).

ZAKŁADY GÓRNICZE KONRAD

Na złożu miedzi w rejonie Grodzca natknięto się nie później niż na przełomie XIX i XX w. W kamieniołomach zaobserwowano wówczas wapienie, które „miały na powierzchni i w szczelinach wytrącenia malachitu i azurytu do wielkości grochu” (Scupin, 1925). Po wykonaniu głębokich wierceń firma BUHAG rozpoczęła pierwsze prace w synklinie Grodzca 18.11.1938 r. drążeniem szybu *Mühlberg bei Alzenau* w rejonie Garnczar na zachód od Olszanicy (nazwanego później „K-II”) do głębokości 211 m. Jego budowę zakończono 19.12.1940 r. Wyprowadzono z niego dwa poziomy wydobywcze – 156 i 200 m. W 1944 r. z poziomu 156 m wydobyto pierwsze tony rudy. Drążono również szyby: w Iwinach (nazwany później „K-I”, w 1945 osiągnął 133 m) i w rejonie Lubkowa („L-I” – 115 m i „L-II” – 134 m), między Lubkowem, Wartą Bolesławiecką a Iwinami. We wrześniu 1944 r. połączono szyby L-I i L-II przekopem na głębokości 68 m. W tym samym roku wyrobiska zalała woda. Do końca II wojny światowej Niemcy nie zdążyli już uruchomić wydobywania rudy miedzi.

Podobnie jak ZG Lena, tak Zakłady Górnicze Konrad reaktywowano 1.01.1950 r. Mimo że pierwsze prace nad odwodnieniem wyrobisk podjęto już w 1948 r., ostatecznie zakończono je 4 lata później. W 1950 r. rozpoczęto wydobycie. Rok później w rejonie szybu ruszyły prace przygotowawcze pod budowę zakładu wzbogacania rud, a w kolejnym rozpoczęto budowę kompleksu obiektów flotacji, który rozpoczął prace w listopadzie 1953 r. Do 1962 r. szyb „K-I” zglębiono do 240 m, udostępniono złożu w rejonie szybu „K-II”, a w następnych dziewięciu latach złożu między poziomem 240 m a 550 m. Rekordowe wydobycie – 1 437 540 ton osiągnięto w 1976 r. Była to wówczas największa kopalnia rud miedzi w Europie. W okresie 1972–1979 przygotowano się do eksploatacji między poziomem 550 a 830 m. Na początku 1987 r. w Ministerstwie Przemysłu zapadła decyzja o likwidacji ZG Konrad. Nie brakowało opinii, że podjęto ją zbyt pochopnie. Rudę zaprzestano eksploatować z końcem 1989 r., a kopalniana spółka zajęła się produkcją wyrobów gumowych, pompowaniem wody, a także wydobyciem anhydrytu. Tym samym przekreślono decyzję o budowie nowej kopalni Bolesławiec – złożu Wartowice miało być udostępnione szy-

bami „B-I” w Raciborowicach, „B-II” w Żeliszowie i „B-II” w Kruszynie (Paździora, 2016). W latach 1953–1989 Konrad dał 37 914 702 ton rudy – 212 894 ton miedzi w koncentracji oraz 756 735 kg srebra (Paździora, 2008).

ZAKŁADY GÓRNICZE LUBICHÓW

Sąsiednią do Konrada kopalnię o nazwie Zakłady Górnicze Lubichów w rejonie Lubkowa powołano do życia 1.01.1956 r. W latach 1958–1962 złożu udostępniono czternaście szybami – głównymi („L-I” i „L-III”) oraz pomocniczymi („L-II” i „L-IV”). W 1960 r. kopalnię włączono w strukturę ZG Konrad. W 1975 r. wydobycie zakończono. Do likwidacji przeznaczono szyby „L-III” i „L-IV”, a „L-I” i „L-II” zostawiono na potrzeby wydobycia anhydrytu, którego eksploatacja ruszyła w 1984 r., a zakończono ją w 2016 r.

KOPALNIA UPADOWA GRODZIEC

Z Konradem związana była również Kopalnia Upadowa Grodziec. Jej budowę rozpoczęto w 1949 r. w rejonie Grodzca, na północny wschód od zabytkowego pałacu. Wydrążono dwie upadowe (A i B), po czym stwierdzono konieczność budowy dwóch kolejnych (C i D), położonych ok. 250 m na północ. Drążono z nich chodniki, przygotowując złożu do eksploatacji ścianowej. Urobek transportowano kolejką wąskotorową przez Olszanicę Osiedle do zakładu wzbogacania rud w Iwinach. W 1960 r. kopalnię połączono upadową z szybem „K-II”, z którego następnie prowadził przekop do „K-I”. Prace wydobywcze trwały do 1963 r. Z Upadowej Grodziec pozyskano 39,2 tys. ton rudy.

ZAKŁADY GÓRNICZE NOWY KOŚCIÓŁ

Eksploatację rud miedzi w rejonie miejscowości Nowy Kościół prowadzono na niewielką skalę z przerwami co najmniej od początku XVI w. do końca I wojny światowej, kiedy to rudę pozyskiwano metodą odkrywkową ze ścian kamieniołomu wapienia (por. rozdział: Kamieniołomy). Na większą skalę roboty rozpoczęto na przełomie lat 40. i 50. XX w. W celu rozpoznania złożu w okresie 1949–1956 r. wywiercono 85 otworów. Dnia 10.01.1951 r. Państwowa Komisja Planowania Gospodarczego wydała zgodę na lokalizację zakładów górniczych rud miedzi w Nowym Kościele. Złożu badano sztolniami w Nowym Kościele i Biegoszowie.

W początkowym okresie działalności kopalni zrezygnowano z budowy niewielkiego zbiornika osadów poflotacyjnych w starym kamieniołomie wapienia i postanowiono ostatecznie transportować urobek do zakładu wzbogacania rud przy kopalni Konrad. W 1954 r. zakończono budowę kopalni, której wstępne wydobycie uruchomiono w kwietniu. Do końca 1954 r. wydobyto 20,9 tys. ton rudy miedzi. 1.01.1957 r. Zakład Górniczy Nowy Kościół w budowie przekształcono w przedsiębiorstwo eksploatacyjne. W trakcie działalności kopalni wydrążono sześć upadowych. W rejonie północnego krańca upadowej IV, w 1958 r. zglębiono

szyb „Waclaw” (90 m), wykorzystywany głównie do celów wentylacyjnych, a następnie odwadniających. Z dniem 31.12.1967 r. zakończono eksploatację, mimo że przygotowano do udostępnienia tzw. Pole Zachodnie. W całym okre-

sie działalności kopalni, tj. w latach 1954–1967, Zakłady Górnicze Nowy Kościół wydobyły 4 025 647 ton rudy miedzi o średniej zawartości 0,51% Cu, co stanowiło 20 690 ton czystej miedzi w rudzie (Paździora, 2008).

METODY BADAŃ

Badania dotyczące antropogenicznych form rzeźby na obszarze Starego Zagłębia Miedziowego były podzielone na kilka etapów. Pierwszym etapem rozpoznania form pogórnich były prace terenowe przeprowadzone w latach 2015–2017. Formy rzeźby dokumentowano i opisywano przy pomocy odbiorników GPS Nomad Trimble (aplikacja ArcPad 10.2) oraz PENTAGRAM PathFinder Logger P3106. Przeprowadzono kwerendę zasobów archiwalnych zgromadzonych w Archiwum Państwowym w Katowicach oraz w Archiwum Państwowym we Wrocławiu – Oddziale w Legnicy, a także w Narodowym Archiwum Geologicznym Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (Oddział we Wrocławiu).

Drugim etapem prac była inwentaryzacja i weryfikacja form rzeźby zaznaczonych na mapach topograficznych i w dokumentacjach archiwalnych. Weryfikację przeprowadzono na podstawie analiz rastrowych, numerycznych modeli terenu (NMT) LiDAR o rozdzielczości ok. 1×1 m. Dane wyjściowe do modeli pochodziły z lotniczego skaningu laserowego (ang. ALS – *Airborne Laser Scanning*), wykonywanego w latach 2011–2014 w ramach projektu ISOK (*Internetowy System Osłony Kraju Przed Nadzwyczajnymi Zagrożeniami*). Lotniczy skaningu laserowy jest jedną z metod teledetekcyjnych, która opiera się na procesie odbicia i rejestracji wygenerowanej wcześniej wiązki laserowej przez odbiornik znajdujący się na pokładzie samolotu (Wehr, Lohr, 1999). Pozycja urządzenia pomiarowego jest stale monitorowana i rejestrowana przy pomocy odbiornika pozycjonującego GPS. Wyniki skaningu w postaci nieregularnej chmury punktów (format .txt) zostały udostępnione przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK) w Warszawie. Dane punktowe poddano procesowi aproksymacji w celu ujęcia punktów w regularną, kwadratową siatkę (tzw. GRID), w której każdemu punktowi znajdującemu się na przecięciu linii siatki są przypisane wartości współrzędnych x,y,z. Rozdzielczość pionowa (z) analizowanych modeli terenu wynosi średnio 0,05–0,15 m, przy maksymalnym błędzie wysokości nieprzekraczającym 0,3 m (Raport dostawy..., 2011). Utworzone modele wysokości (ang. DEMs – *Digital Elevation Models*), po procesie filtracji (usunięcia) obiektów pokrycia terenu (pokrywy roślinnej, zabudowań), przekształcono do formy rastrowej. Umożliwiło to wykonanie map cieniowanego reliefu (ang. *shaded relief maps*) w skali szarości, o różnym stopniu przewyższenia (ang. *exaggeration*), kącie i kierunku oświetlenia. Dla badanych obszarów wykonano także tzw. modele 2,5 D, mapy poziomicowe o cięciu 1 m, mapy spadków i mapy kierunków nachylenia stoku. Mapy cieniowanego reliefu porówna-

no z dostępnymi zdjęciami satelitarnymi. Do analiz i obróbki modeli LiDAR wykorzystano oprogramowanie SAGA GiS v. 3.0, MicroDEM v. 2015.8.21, Surfer (Golden Software) v. 9.0 i Move (Midland Valley) v. 2016.1.

W zależności od rodzaju przekształceń powierzchni terenu (por. rozdział: Formy rzeźby terenu związane z działalnością górnictwem) zastosowano różne metody geomorfometryczne, które pozwoliły na wyznaczenie precyzyjnego zasięgu form pogórnich, określenie ich szczegółowych parametrów morfologicznych oraz wykonanie obliczeń wolumetrycznych. Standardową procedurą było generowanie map poziomicowych o cięciu 1 m, wykonanie przekrojów morfologicznych, a także map spadków i kierunku nachylenia (ekspozycji) stoków. W przypadku obszarów, na których wystąpiły ruchy pionowe, związane z tworzeniem się zapadlisk i niecek osiadań, podjęto próby odtworzenia pierwotnej rzeźby terenu (por. Kowalski, Maciejak, 2016). W tym celu usunięto punkty wysokościowe wchodzące w skład modelu LiDAR na obszarach występowania ruchów pionowych. Na obszarach tych interpolowano nową siatkę punktów o rozdzielczości 1×1 m na podstawie pozostałego fragmentu terenu nieobjętego ruchami pionowymi. Rekonstrukcja pierwotnej rzeźby stoku (przede wszystkim odcinków wypukłych i wklęsłych) była również możliwa dzięki analizie archiwalnych materiałów kartograficznych, które powstały przed rozpoczęciem eksploatacji. Chmura punktów wykonana na podstawie tej procedury posłużyła do wykonania nowego modelu powierzchni. Uzyskane wartości ruchów pionowych (por. rozdział: Wielkoskalowe deformacje powierzchni terenu – niecki osiadań i zapadliska) porównano do wartości pomiarów geodezyjnych w czasie eksploatacji prowadzonej w latach 60. XX w. (Kopalnia Nowy Kościół; Dychtowitz i in., 1966).

Analogiczne analizy wykonano dla wypukłych form rzeźby, takich jak hałdy i zwałowiska. Podobnie jak w przypadku zapadlisk i niecek osiadań, usunięto punkty tworzące NMT LiDAR terenu przykrytego odpadami i zrekonstruowano pierwotną rzeźbę terenu. Mapy różnicowe umożliwiły zobrazowanie rzeczywistego rozkładu miąższości hałd. Wykonano także obliczenia wolumetryczne, które pozwoliły na oszacowanie objętości materiału skalnego składowanego na hałdach. Przeprowadzono podstawowe analizy geomorfometryczne składowisk odpadów poflotacyjnych. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom związanym z perspektywami ich dalszej rekultywacji. Przeprowadzono analizy powierzchni poszczególnych zbiorników ze szczególnym uwzględnieniem sieci współczesnego drenażu i rozmieszczenia obszarów bezodpływowych. W tym celu wyznaczono

tw. wtórne wskaźniki geomorfometryczne, tj. topograficzny wskaźnik wilgotności (ang. *Topographic Wetness Index*) oraz wyznaczono miejsca powierzchniowej koncentracji wód opadowych w zagłębieniach bezodpływowych. Pozwoliło to

na oszacowanie dominujących kierunków drenażu na częściowo osuszonych powierzchniach zbiorników poflotacyjnych.

FORMY RZEŻBY TERENU ZWIĄZANE Z DZIAŁALNOŚCIĄ GÓRNICZĄ

WIELKOSKALOWE DEFORMACJE POWIERZCHNI TERENU – NIECKI OSIADAŃ I ZAPADLIKA

Deformacje powierzchni terenów górniczych, takie jak niecki osiadań i zapadliska, występowały na obszarach górniczych wszystkich kopalń Starego Zagłębia Miedziowego (por. [fig. 5](#)). Szkody górnicze w Starym Zagłębiu były na bieżąco opisywane przez służby miernicze kopalń w trakcie prowadzonej eksploatacji (Dychtowicz i in., 1966; Błażejczak, 1968). Na bieżąco wykonywano powierzchniowe pomiary geodezyjne, które miały na celu określenie współczynnika osiadania terenów górniczych przy różnych sposobach prowadzonej eksploatacji. Wyznaczano również kąty zasięgu bezpośredniego wpływu eksploatacji oraz czas trwania osiadań ponad przestrzeniami eksploatacyjnymi w górotworze (Jarosiński, 1971). W tym celu wykorzystywano repery ziemne, które niwelowano początkowo co tydzień (Dychtowicz i in., 1966), w późniejszym okresie eksploatacji co miesiąc lub co kwartał (Jarosiński, 1971). Największe koszty związane z usuwaniem szkód górniczych, w tym wydatki związane z ubytkiem wód gruntowych w powstających lejach depresji, ponosiły Zakłady Górnicze Konrad – do 1968 r. wypłacono ok. 35 mln zł odszkodowań. Koszty związane ze szkodami wywołanymi przez działalność kopalń Lena i Nowy Kościół były znacznie niższe i wynosiły odpowiednio ok. 2 mln i 800 tys. zł do 1967 r.

Deformacje powierzchni terenu o największych amplitudach pionowych obserwowano na obszarach kopalń Nowy Kościół, Lena i Upadowa Grodziec. Było to spowodowane sposobem prowadzonej eksploatacji z elastycznym ugięciem się stropu, ale przede wszystkim płytką eksploatacją z zawalem stropu na głębokości od 20 do 70 m.

Najbardziej kompletne i szczegółowe pomiary geodezyjne wykonywano na obszarze kopalni Nowy Kościół po 1960 r. (Dychtowicz i in., 1966; Błażejczak, 1968), głównie ze względu na stosunkowo mały obszar eksploatacji. Przy postępie eksploatacji 23–35 m/miesiąc, na dwóch ciągach deniwelacyjnych, odnotowano najwyższe współczynniki osiadania, sięgające 0,9 przy eksploatacji na zawal i 0,8 przy eksploatacji z elastycznym ugięciem stropu (Jarosiński, 1971). Podczas postępu prac górniczych nad przodkiem ścianowym powstawały równoległe szczeliny o głębokości do 1,5 i szerokości 4–5 m. Tworzyły się one szczególnie w miejscach, gdzie głębokość prac była mniejsza niż 60 m, a miąższość nadkładu piaszczysto-mułowcowego utworów cechsztynu wynosiła od 5 do 40 m. Formy te występowały na powierzchni powyżej wyrobisk ścianowych wypełnianych kasztem (Plan likwidacji..., 1968). Podczas wydobywania

na głębszym poziomie eksploatacyjnym położonym w części północnej kopalni (nadkład do 70 m) powstawały nieckowate zagłębienia o głębokości do ok. 2,1 m, w których okresowo gromadziła się woda utrudniająca prowadzenie działalności rolniczej (Błażejczak, 1968). Powierzchniowe deformacje terenu związane z eksploatacją w kopalni Nowy Kościół są widoczne na powierzchni terenu do dzisiaj ([fig. 6A](#); Kowalski, Maciejak, 2016). Deformacje występujące na obszarze 1,055 km² przyjmują formę prostokątnych lub wielokątnych w zarysie obniżen / zapadlisk o dłuższych bokach o długości od 120 do 460 m. Pojedyncze formy mają całkowitą powierzchnię od 5910 do 84 800 m² i są ograniczone wałami o nachyleniu stoków wewnętrznych od 1,8 do 8,8°. Największe wartości obniżen w obrębie zapadlisk (do ok. 2,4 m), stwierdzone na podstawie analiz geomorfometrycznych, występują w południowej części obszaru badań (formy nr 11, 14, 15, 16; por. [fig. 6A](#) oraz Kowalski, Maciejak, 2016), a najmniejsze (do ok. 0,8 m) w północnej (obniżenia o łagodnych zarysach nr 1, 2, 3). W najniższych częściach zapadlisk do dzisiaj gromadzi się woda, tworząc okresowe zastoiska ([fig. 6B](#)).

Na terenach eksploatacyjnych kopalni Lena prowadzono pomiary niwelacyjne od 1955 do 1962 r., głównie w północnej i wschodniej części obszaru górniczego, na której do dzisiaj prowadzona jest działalność rolnicza (Plan likwidacji..., 1973). Obliczony współczynnik osiadania wynosił 0,7 dla eksploatacji prowadzonej z ugięciem się stropu, na głębokości od 120 do ok. 230 m (Jarosiński, 1971). Podobne współczynniki uzyskano dla eksploatacji prowadzonej z całkowitym zawałem stropu w zachodniej części obszaru badań na głębokości do 378 m, w okolicy Nowego Osiedla w Wilkowie (Plan likwidacji..., 1973). Pomiarów nie prowadzono we wschodniej części obszaru górniczego, gdzie eksploatowano najpłycej zalegające złoża, głównie z uwagi na silne zalesienie. Deformacje powierzchni terenu na obszarze kopalni Lena nie przynosiły znacznych szkód w infrastrukturze, a dodatkowe koszty ponoszone przez kopalnię obejmowały jedynie budowę wodociągu w miejscowości Leszczyna i w mniejszym stopniu odszkodowania związane ze zniszczeniami nielicznych budynków na Nowym Osiedlu w pobliskim Wilkowie (Jarosiński, 1971). Deformacje obserwowane w trakcie działalności kopalni nie są obecnie widoczne na powierzchni terenu (por. [fig. 5B](#)). Ze względu na użytkowanie rolnicze obszarów pomiarowych, punkty osnowy geodezyjnej były systematycznie uszkodzane i niszczone. W związku z tym nie uzyskano kompletnych pomiarów i rozkładu deformacji na obszarze kopalni Lena.

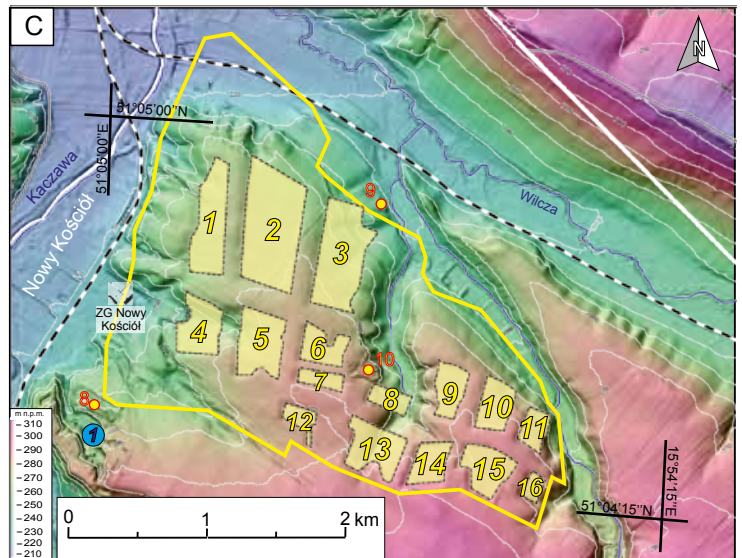
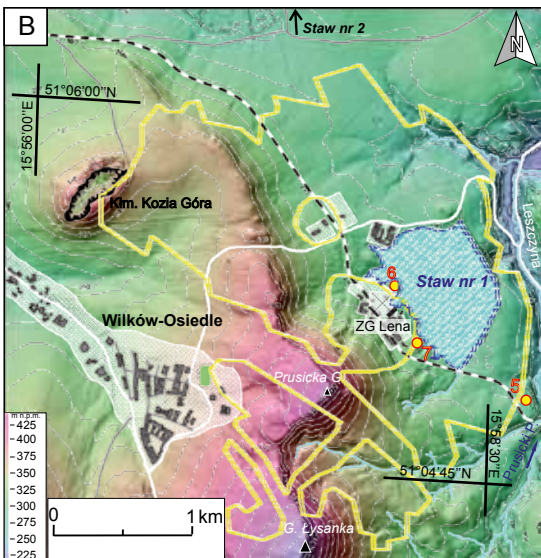
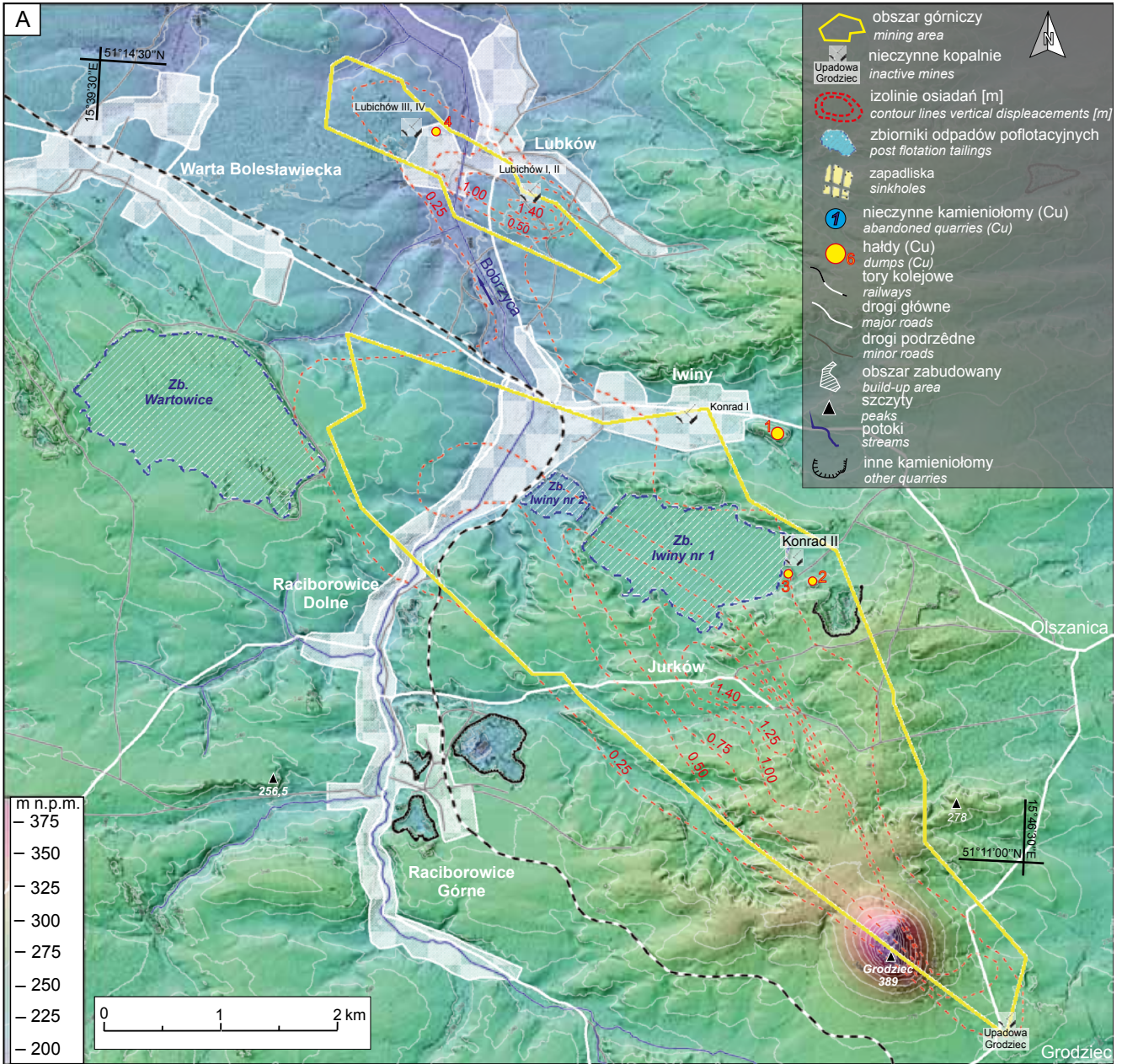


Fig. 5. Tereny górnicze Starego Zagłębia Miedziowego

A – obszar kopalni Konrad, Lubichów i Upadowa Grodziec, izolinie wartości przemieszczeń pionowych w obrębie wielkoskalowych obniżen powierzchni terenu na podstawie: Głowacki, 2009; **B** – obszar kopalni Lena; **C** – obszar kopalni Nowy Kościół, numery i zasięg zapadlisk i niecek osiadań na podstawie: Kowalski, Maciejak, 2016. Podkłady map: NMT LiDAR 1 × 1 m. Na mapach zaznaczono formy terenu opisane w tekście

Mining areas of the “Old Copper Basin”

A – the Konrad, Lubichów and Upadowa Grodziec Copper Mines. Contour lines of the total vertical displacements within large-scale depressions based on Głowacki, 2009; **B** – mining area of the Lena Copper Mine; **C** – mining area of the Nowy Kościół Copper Mine. Spatial distribution and values of vertical displacements within distinctive sinkholes based on: Kowalski, Maciejak, 2016. Maps are superimposed over LiDAR DEM with resolution of 1 metre. Morphological forms described in the text have been marked on the maps



Podczas eksploatacji w kopalniach Konrad prowadzono obserwacje geodezyjne od 1962 r. Pomiary odkształceń wykonywano dla obszarów o płytkiej eksploatacji (70–200 m), prowadzonej z ugięciem stropu w kopalni Upadowa Grodziec, złóż eksploatowanych z metodą na zawal (głębokość ok. 175 m) w kopalni Lubichów oraz z podsadzką płynną stosowaną w kopalniach Konrad I i II (głębokość 150 m). Geodezyjne pomiary wykonywano również po zaprzestaniu eksploatacji (Głowacki, Milczarek, 2013). Łączna długość geodezyjnych linii pomiarowych wyniosła 220,75 km przy 241 punktach niwelacyjnych (Głowacki, Milczarek, 2013). W zależności od stosowanych metod eksploatacji obliczony współczynnik osiadania wynosił 0,083–0,094 przy eksploatacji z podsadzką płynną, 0,713–0,829 przy metodzie z ugięciem stropu oraz 0,721–0,749 przy eksploatacji z zawalem stropu (Głowacki, 2009). Wszystkie zarejestrowane deformacje terenu miały ciągły charakter. Największe wartości przemieszczeń pionowych – ok. 1,4 m – odnotowano na polu eksploatacyjnym kopalni Lubichów i centralnej części pola Konrad (por. fig. 5A). Ze względu na brak deforma-

cji nieciągłych i szerokopromienny zasięg obniżen (wielkoobszarowe niecki osiadań), odkształceń powierzchniowych nie stwierdzono podczas badań terenowych i analiz NMT LiDAR. Wyjątek stanowią jedynie małe zapadliska w sąsiedztwie wylotu Upadowej Grodziec (fig. 7.)

MAŁOSKALOWE DEFORMACJE POWIERZCHNI TERENU – PINGI

Do najstarszych i zarazem najmniejszych pogórnich form rzeźby terenu występujących na terenie Starego Zagłębia Miedziowego należą tzw. pingi (Maciejak, Maciejak, 2013), czyli zapadliska w kształcie leja będące pozostałością po eksploatacji rud miedzi tzw. metodą duklową (Piątek, Piątek, 1998). Dokładna data powstania wyrobisk nie jest znana – szacuje się, że mogą one pochodzić nawet z XIII w. (Piątek, Piątek, *op. cit.*). Zapadliska powstawały w miejscu zawalonych, pionowych szybów wydobywczych o średnicy ok. 1,5 m, które były zabezpieczane drewnianymi obudowaniami. Poniżej szybu znajdowało się niewielkie wyrobisko pod-

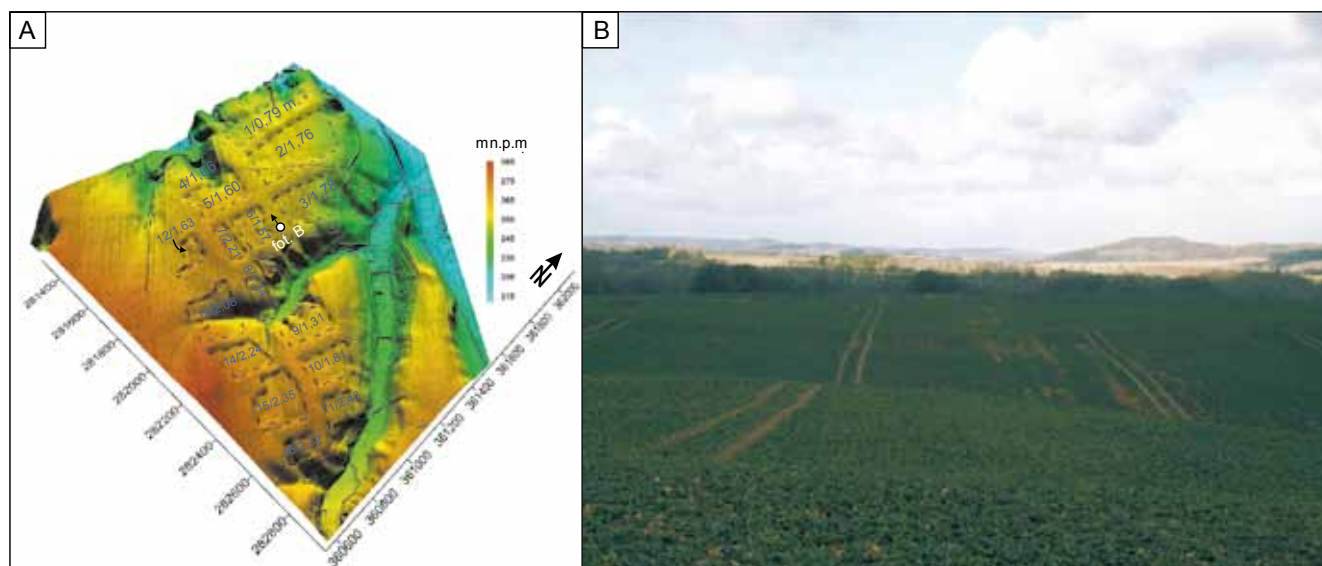


Fig. 6. A. Deformacje powierzchni obszaru kopalni Nowy Kościół przedstawione na blokdigramie (NMT LiDAR 1 × 1 m). Na obszarach pojedynczych zapadlisk (linie przerywane) umieszczono numer zapadliska oraz wartość przemieszczeń pionowych (na podstawie: Kowalski, Maciejak, 2016). **B.** Widok na zachodnie pole górnicze kopalni Nowy Kościół. Widoczne liczne zapadliska, przejawiające się występowaniem podmokłości na polach uprawnych

A. Deformations of the Nowy Kościół Copper Mine area (blockdiagram based on LiDAR DEM 1 × 1 m). Within distinctive sinkholes (dashed lines), their numbers and total displacement values are marked (based on Kowalski, Maciejak, 2016). **B.** View on the western mining field of the Nowy Kościół Copper Mine. Numerous sinkholes and depressions are highlighted by wetlands



Fig. 7. Zapadlisko nad wyrobiskiem górniczym przy jednym z gospodarstw w Grodźcu, 1995 r.

A sinkhole above the Upadowa Grodziec Copper Mine area. Archival photo (1995)



ziemne, z którego wydobywano materiał skalny przy pomocy drewnianych kołowrotów wyciągowych (fig. 8). Przy szybie znajdowała się najczęściej niewielka hałda skały płonnej.

Największe zgrupowanie pingów znajduje się w okolicach Leszczyny, na polu górniczym Ciche Szczęście (niem. *Stilles Glück*), we wschodniej i południowej części spłaszczenia szczytowego Młynika Dużego (334 m n.p.m.; fig. 9A). Szybiki występują w nieregularnym pasie o łącznej długości 650 m i szerokości do 320 m. Najbardziej na zachód wysunięte zapadliska znajdują się w amfiteatralnym wcięciu zachodniego stoku Młynika Dużego, powyżej zawalonego wylotu sztolni Charakter. Od południa pole pingów jest ograniczone suchą doliną dochodzącą od wschodu do doliny Prusickiego Potoku, a od północy pojedyncze formy stwierdzono powyżej kamieniołomu wapienia. Zgrupowania pingów mają kształt zgodny z biegiem wychodni wapniastych utworów miedzionośnych cechsztynu. Pojedyncze szybiki stwierdzono również w dnie doliny Prusickiego Potoku, a także na jej zachodnich zboczach (Stolarczyk i in., 2015).



Fig. 8. A. Przekrój przez średniowieczną kopalnię, obrazujący trzy pionowe szyby z podziemnymi wyrobiskami. Rycina zamieszczona w pracy Agricoli (1556), polski przedruk (2000). B. Współczesna forma rzeźby terenu, powstała przez zapadnięcie szybu z wyrobiskiem. Pole pingów na wierzchołku Młynika Dużego w okolicy Leszczyny (por. fig. 9)

A. Underground mining during the Middle Ages according to Agricola (1556), a reprint (2000). B. A present landform which was formed due to the collapsed shaft (field of sinkholes on Młynik Duży peak, Leszczyna area; cf. Fig. 9)

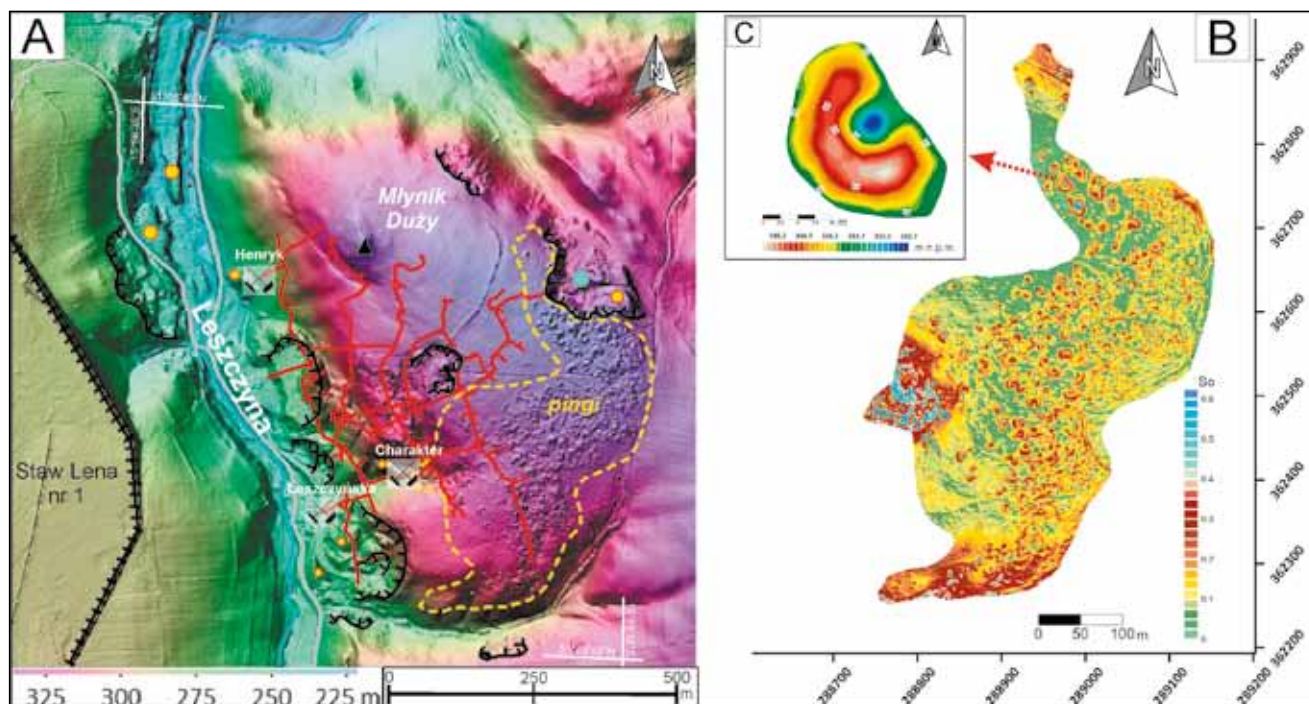


Fig. 9. A. Obszar wydobywania miedzi na stokach Młynika Dużego w okolicach Leszczyny. Czerwonymi liniami oznaczono przebieg wyrobisk kopalni Ciche Szczęście (niem. *Stilles Glück*). Oznaczenia form rzeźby zgodnie z legendą zamieszczoną na **fig. 5**. **B.** Mapa mikroreliefu powierzchni terenu (standardowe odchylenie rzeźby) na obszarze pola pingów. **C.** Rozkład wysokości m n.p.m. w obrębie pojedynczej formy zapadliskowej

A. Mining field on Młynik Duży hill in the vicinity of Leszczyna. Shaft and pits of the Stilles Glück Mine are marked by red lines. Landforms according to legend in **Fig. 5**. **B.** Microrelief map (standard deviation) on the small sinkholes area. **C.** Distribution of elevations within a single sinkhole

Na polu szybików występują formy o złożonej morfologii (**fig. 9B**). Najczęściej są to zagłębienia, których maksymalna średnica nie przekracza 20 m, a głębokość sięga 4 m (**fig. 9C**). Występowanie największych i najgłębszych form potwierdzono w okolicach kamieniołomu wapienia, w północno-wschodniej części pola. Bardzo często z większymi zapadliskami sąsiadują płytsze formy o średnicy do 2 m. Do okrągłego lub owalnego w zarysach zapadliska przylega zazwyczaj półkolisty wał usypiskowy („warpa”) o wysokości do 1,5 m i długości do 40 m. Niektóre z wałów przyjmują formy większych hałd o nieregularnych zarysach. W północnej części obszaru występują formy o wydłużonym lub gwiaździstym kształcie i wysokości do 2 m. We wschodniej części pola znajdują się płytkie i nieregularnie rozmieszczone szybiki, które nakładają się na siebie i tworzą charakterystyczny, pagórkowaty relief powierzchni terenu.

Mniejsze pola pingów stwierdzono również na innych obszarach występowania wychodni cechu cyny w północy Leszczyny. Formy te stwierdzono w bocznych dolinkach odchodzących od drogi między Nowym Kościołem a Sokółowcem, a także nad Czermnica (Maciejak, Maciejak, 2016). W XVIII i XIX w. były one także widoczne w rejonie Biegoszowa (Scupin, 1925), nieliczne pozostały koło Kondratowa.

KAMIENIOŁOMY

Płytką eksploatacją powierzchniową była możliwa jedynie w południowej części Starego Zagłębia Miedziowego i była związana z początkowymi etapami eksploatacji rud miedzi na małą skalę w XVIII i XIX wieku. Prowadzono ją w miejscowościach Prusice, Leszczyna i Nowy Kościół. Eksploatowano tam głównie wychodnie margli miedzionośnych. W 1576 r. w kamieniołomie koło Prusic natrafiono na żyłę siarczków miedzi, z której uzyskano dla cesarza Rudolfa II markę złota z 1 cetnara urobku. Według kolejnej informacji – z 5.05.1625 r. – za tą samą wsią istniał kamieniołom, przy którym w czasach księcia Henryka I wydobywano rudę miedzi (Wutke, 1901). Z 1660 r. pochodzą informacje o wznowieniu prac wydobywczych w tym rejonie po wizycie księcia Ludwika nad Prusickim Potokiem. Jej krótki opis przekazał za innymi autorami Fibiger (1704): „idąc przez wieś o nazwie Leszczyna, mijają się wiele starych szybów i sztolni, i to w takiej ilości, że wszystko wskazuje na to, że w dawnych czasach musiały tu mieć miejsce bardzo intensywne prace”. Książę wszedł wówczas do jednej z nieczynnych sztolni za młynem nad potokiem. Margle miedzionośne eksploatowano na szerszą skalę metodą odkrywkową w rejo-

nie Nowego Kościoła na początku XX w. w tutejszym kamieniołomie wapienia (Scupin, 1925). Ze ścian wyrobiska urobek pozyskiwano za pomocą łomów, kilofów i klinów.

Duża kruchość margli miedzionośnych sprzyjała eksploatacji. Skały płonne trafiały na hałdę położoną powyżej kamieniołomu. Metodą przesiewania i płukania rudy na stołach koncentracyjnych otrzymywano koncentrat o zawartości ok. 5–10% Cu, który sprzedawano do hut (Maciejak, Maciejak, 2013). Zainteresowanie tymi złożami wzrosło w czasie I wojny światowej – od 1915 r., między innymi dzięki zaangażowaniu w proces wydobywania i przeróbki na miejscu przez spółkę *Kriegsmetall A.G.* Wapienie i margle eksploatowane w kamieniołomie w Nowym Kościele były również wykorzystywane na potrzeby cementowni. W rejonie Prusic i Leszczyny rudy miedzi pozyskiwano metodą odkrywkową w kamieniołomach wapienia. Były to zazwyczaj płytkie wyrobiska o łącznej wysokości ścian nieprzekraczających 15 m (fig. 10). Warto podkreślić, że z kamieniołomów w rejonie Leszczyny drążono sztolnie zgodnie z biegiem i upadem utworów cechsztynu (por. fig. 9). Na rudy miedzi natrafiono również w wapieniach eksploatowanych pod Grodzcem, co przyczyniło się do odkrycia złóż synkliny Grodzca i rozpoczęcia wierceń na szeroką skalę.

FORMY ZWIĄZANE ZE SKŁADOWANIEM ODPADÓW POEKSPLOATACYJNYCH

Zbiorniki poflotacyjne

Flotacja jest obecnie jedyną metodą wzbogacania rud w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym, głównie z uwagi na wysokie rozproszenie minerałów rudnych oraz małą średnicę ziaren siarczków miedzi (<0,06 mm), występujących w skale macierzystej (Żylińska-Dusza i in., 1996). Na dużą skalę metodę flotacji zastosowano po raz pierwszy w latach 40. XX w. w nowo powstałym zakładzie przeróbki przy kopalni *Hegewald* (Lena). W pierwszym okresie powojennej działalności Zakładów Górniczych Lena, do 1953 r.

włącznie, bazowano na schemacie wzbogacania rud, wypracowanym w czasie II wojny światowej (Bar, 1973). Drugi, nowo powstały zakład przeróbki rud miedzi w Starym Zagłębiu mieścił się przy kopalni Konrad i rozpoczął swą działalność w III kwartale 1953 r., a w 1963 r. działało tam już pięć ciągów produkcyjnych o zdolności przerobowej 1800 tys. ton rudy rocznie (Bar, 1973).

Niski stopień okruszczenia związkami miedzi (średnio 1,1% Cu w synklinie Grodzca i 0,6% Cu w półrowie Leszczyny) wpływał bezpośrednio na ilość wytwarzanych odpadów, które stanowiły ok. 94–96% masy wydobywanych rud (Łuszczkiewicz, 2000). W Starym Zagłębiu Miedziowym produkty uboczne flotacji składowano w pięciu zbiornikach unieszkodliwiania odpadów: dwóch obiektach ZG Lena (Lena nr 1 i Lena nr 2) oraz trzech zbiornikach wykorzystywanych przez ZG Konrad (Iwiny nr 1, Iwiny nr 2, Wartowice). Wszystkie zbiorniki są obecnie nieczynne i zostały częściowo zrekultywowane. Parametry morfometryczne zbiorników przedstawiono w tabeli 1.

Największym zbiornikiem unieszkodliwiania odpadów poflotacyjnych na obszarze Starego Zagłębia Miedziowego jest obiekt Wartowice (fig. 5A, 11A, 12A), który został oddany do użytku w 1970 r. na obszarze ZG Konrad (Bar, 1973). Na obszarze składowiska znajduje się obecnie 19,3 mln m³ odpadów poflotacyjnych. Obiekt powstał w naturalnym, bezodpływowym zagłębieniu terenu na południe od miejscowości Warta Bolesławiecka. Zbiornik został od północy przegrodzony półkolistą zaporą ziemno-betonową o wysokości do 32 m. W części południowo-wschodniej zbiornika znajdują się nieczynne kamieniołomy piaskowca, które wraz z przyległymi hałdami zostały przykryte osadami poflotacyjnymi (fig. 12A). Na północnych skłonach zbiornika, nachylonych pod średnim kątem ok. 1,63°, rozwinęła się charakterystyczna sieć drenażu, obejmująca koryta okresowych cieków uchodzących do zastoiska zlokalizowanego w centrum osadnika (fig. 12B, 13A). Koryta mają meandrujący kształt i są wcięte na głębokość od 0,1 do 0,9 m. Liczne próby osuszenia zbiornika zrealizowano tylko w brzeżnych czę-

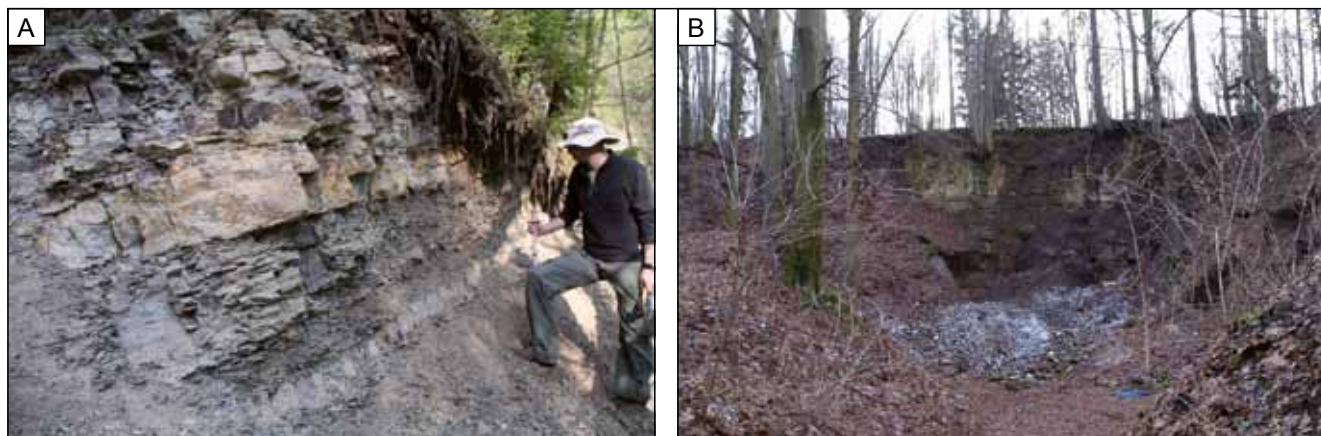


Fig. 10. Płytkie, jednopoziomowe wyrobiska kamieniołomu w Nowym Kościele (A) i Prusicach (B). Lokalizacja form zaznaczona na figurach 5C i 9A

Shallow, one-level quarries in Nowy Kościół (A) and Prusice (B). Location of forms are marked in Figures 5C and 9A

Tabela 1

Charakterystyka morfometryczna zbiorników odpadów poflotacyjnych na terenie Starego Zagłębia Miedziowego

Morphometry of the post-flotation tailings in the "Old Copper Basin" area

Zbiornik odpadów poflotacyjnych	Pow. [m ²]	Maks. wys. zapory [m]	Maks. dł. zbiornika	Maks. szer. zbiornika [m]	Maks. wys. [m n.p.m.]	Min. wys. [m n.p.m.]	Objętość [mln m ³]
Lena I	441 400	36,0	720	917	282,3	276,0	4,2
Lena II	1 040 000	31,0	1230	1150	274,7	238,0	7,8
Iwiny I	1 260 000	24,4	1639	1121	240,8	214,1	12,3
Iwiny II	187 800	6,6	577	432	216,3	206,1	0,12
Wartowice	2 133 000	33,8	2150	1337	256,2	212,4	19,3

ściach obszaru bezodpływowego. Próby rekultywacji przez zalesienie nie przyniosły efektów, a część centralna i południowa jest stale zajmowana przez bezodpływowe zastoiska (fig. 13A).

Dwa zbiorniki osadów poflotacyjnych znajdują się w miejscowości Iwiny w dolinie potoku Bobrzyca, ok. 1 km na południe od infrastruktury ZG Konrad I (fig. 5A, 12C). Pierwszy zbiornik (Iwiny nr 1) ma powierzchnię ok. 126 ha i pojemność 18 mln m³. Powstał na początku lat 50. XX w. przez przegrodzenie górnej części doliny zaporą ziemną o długości ok. 580 m i wysokości do 27 m. Docelową wysokość obwałowania uzyskano w 1967 r., kiedy zbiornik osiągnął pojemność 12,3 mln m³ (Lewiński, Wolski, 1996). Osuszona i częściowo zalesiona powierzchnia zbiornika nachylona jest pod średnim kątem 1,79° w kierunku południowym i południowo-zachodnim (fig. 12D), w stronę zastoiska zlokalizowanego bezpośrednio przy głównej zaporze (fig. 13B).

Odpady zrzucano do zbiornika przy pomocy dwóch rurociągów, których wyloty znajdowały się w północnej części osadnika. Podczas wypełniania zbiornika osadami utrzymywano jego stałe zatopienie. 13.12.1967 r. o godz. 3:00

w nocy doszło do przerwania głównego wału piętrzącego, co doprowadziło do gwałtownego wypływu 4,6 mln m³ upłynionych osadów. Wyrwa w zaporze miała długość 68 m u podstawy i 134 m w koronie. Dolina Bobrzycy została zalana na długości 19 km w pasie o szerokości 50–220 m. Pod wodą znalazły się wsie Iwiny, Raciborowice Dolne, Lubków, Tomaszów Bolesławiecki, Kraśnik i Dąbrowa. Zginęło wówczas 18 mieszkańców oraz zwierzęta gospodarskie. Na zalanym obszarze znalazło się 121 domów mieszkalnych, 407 budynków gospodarczych, drogi i tory kolejowe. Po katastrofie obwałowanie zbiornika odbudowano, dodatkowo wzmacniając wewnętrzne strony wałów płytami betonowymi (Lewiński, Wolski, 1996). Ostatni etap użytkowania zbiornika obejmował lata 1968–1971.

W trakcie rekonstrukcji zniszczonego obwałowania zbiornika nr 1 przystąpiono do budowy zbiornika nr 2, który znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowań południowej części Iwin (fig. 5A, 11B, 12C). Zapora ziemna o maksymalnej wysokości 6,6 m przegradza dolinę Bobrzycy poniżej zbiornika nr 1. Od północy i wschodu zbiornik ograniczają obwałowania o wysokości ok. 2 m, a od poł-



Fig. 11. A. Powierzchnia zbiornika odpadów poflotacyjnych Wartowice rozcięta przez koryta okresowych cieków. B. Częściowo rekultywowany zbiornik odpadów poflotacyjnych Iwiny nr 2

A. Surface of the post-flotation tailing in Wartowice cut by channels of intermittent streams. B. Partially reclaimed post-flotation tailing in Iwiny (No. 2).

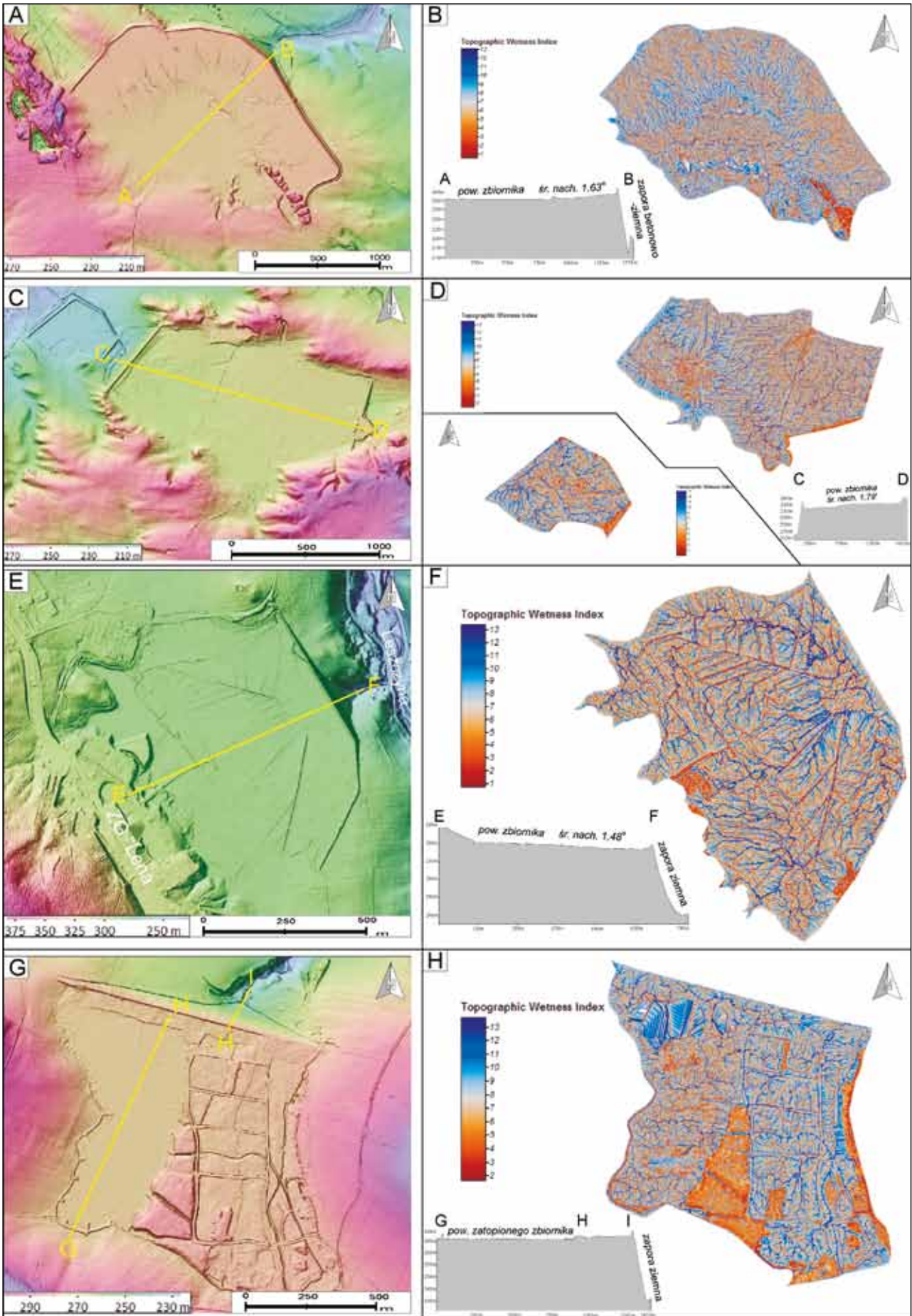


Fig. 12. Mapy cieniowanego reliefu (z lewej; ang. *shaded relief maps*) i mapy rozkładu topograficznego parametru wilgotności (z prawej; ang. *Topographic Wetness Index*) obrazujące kierunki drenażu w obrębie zbiorników odpadów poflotacyjnych: Wartowice (A, B); Iwiny nr 1 i 2 (C, D); Lena nr 1 (E, F); Lena nr 2 (G, H). Przekroje morfologiczne wykonane na podstawie NMT LiDAR 1 × 1 m

Shaded relief maps (to the left) and Topographic Wetness Index maps (to the right) presenting drainage patterns within post-flotation tailings: Wartowice (A, B); Iwiny Nos. 1 and 2 (C, D); Lena No. 1 (E, F); Lena No. 2 (G, H). Cross-sections based on LiDAR DEM 1 × 1 m

dnia granicę zbiornika stanowi naturalna rzeźba terenu. Powierzchnia terenu utworzona przez wypełnienie zbiornika osadami ma średnie nachylenie ok. $1,79^\circ$ w kierunku do centrum zbiornika (fig. 12D, 13B). Zbiornik poddano procesowi rekultywacji przez częściowe osuszenie i zalesienie.

Zbiornik Lena nr 1 był projektowany na podstawie założeń konstrukcji z końca lat 30. XX w., kiedy to powstały plany budowy kaskadowego systemu stawów osadowych. Po II wojnie światowej powrócono do rozbudowy zbiornika, który eksploatowano z przerwami do 1958 r. Zbiornik przylega od wschodu do infrastruktury ZG Lena, ma powierzchnię ok. 44 ha (wraz z obwałowaniami) i pojemność 4,2 mln m³. Powstał w wyniku przegrodzenia równoleżnikowo zorientowanej doliny bezimiennego, lewobrzeżnego dopływu Prusickiej Potoku, zaporą ziemną o wysokości do

36 m. Północne i zachodnie obrzeżenie zbiornika stanowią naturalne wzniesienia oraz stoki Prusickiej Góry, a od wschodu i południa staw ograniczają ziemne wały o wysokości od 1 do 2 m (fig. 12E). Powierzchnia terenu utworzona przez wypełnienie zbiornika osadami ma średnie nachylenie ok. $1,38^\circ$ w kierunku północno-wschodnim. Wody opadowe są odprowadzane siecią drenażową (fig. 12F). W drugiej połowie lat 50. XX w., w północno-zachodniej części zbiornika eksploatowano odpady poflotacyjne do produkcji „nawozów mikroelementowych”, jednak po nieudanych próbach ich zastosowania, zrezygnowano z eksploatacji (Skiba i in., 1975). Obecnie zbiornik jest niemal w całości porośnięty lasem, a w częściach zachodniej i północno-wschodniej utrzymują się okresowe zastoiska (fig. 13C).

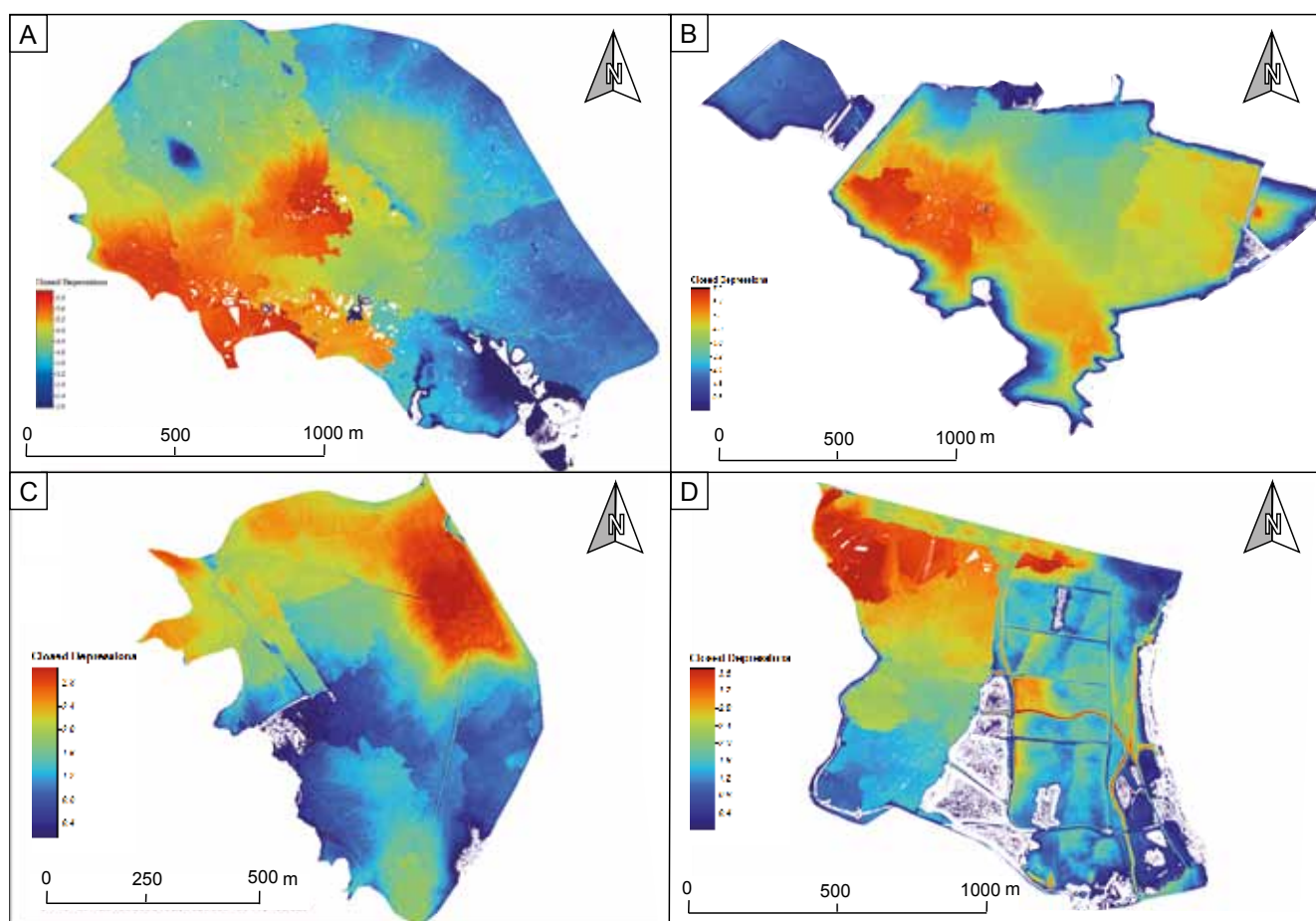


Fig. 13. Mapy zagłębień bezodpływowych (ang. *closed depressions*) w obrębie zbiorników odpadów poflotacyjnych: Wartowice (A); Iwiny nr 1, 2 (B); Lena nr 1 (C) i Lena nr 2 (D)

Maps of closed depressions within post-flotation tailings: Wartowice (A); Iwiny Nos. 1 and 2 (B); Lena No. 1 (C) and Lena No. 2 (D).

W wyniku całkowitego wypełnienia zbiornika Lena nr 1 osadami poflotacyjnymi w 1958 r., od 1959 r. rozpoczęto wypełnianie stawu Lena nr 2 zlokalizowanego ok. 1,5 km na NW od stawu nr 1 (fig. 5B, 12G). Zbiornik Lena nr 2 powstał w wyniku przegrodzenia górnego odcinka doliny potoku Szreniawa między bazaltoidowymi wzniesieniami Dębina i Kostrza zaporą ziemną o prostoliniowym kształcie i wysokości maksymalnej 31 m. Powierzchnia docelowa zbiornika wynosiła 114,6 ha, a złożona objętość osadów poflotacyjnych miała sięgać 12,2 mln m³ (Bar, 1973). Rzeczywista objętość odpadów wynosi jednak 7,8 mln m³ (Lewiński, Wolski, 1996). Zbiornik ograniczono bocznymi obwałowaniami ziemnymi od zachodu, a od wschodu i południa barierę stanowi naturalna rzeźba terenu. Od połowy lat 80. XX w., w części wschodniej zbiornika składowano produkty przeróbki kruszywa bazaltowego z pobliskich kamieniołomów na Wilczej i Koziej Górze, przysypując odpady poflotacyjne warstwą odpadów bazaltowych o miąższości do 3 m. Efekty procesu nadbudowywania powierzchni zbiornika odpadami bazaltowymi są szczególnie dobrze widoczne w rzeźbie terenu (fig. 12G, H). Obecnie teren ten jest porośnięty lasem. Część zachodnia została zrehabilitowana i zatopiona (fig. 13D).

Hałdy

Ze względu na dominujący udział odpadów poflotacyjnych w procesie przeróbki rudy miedzi, hałdy skał płonnych na obszarze Starego Zagłębia Miedziowego obejmują powierzchniowo niewielką część form rzeźby, związanych ze składowaniem odpadów. Hałdy powstawały głównie podczas procesu głębinienia szybów i drażenia sztolni udostępniających złoża, stąd najczęściej znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy kopalń. Pojedyncze zwałowiska skał płonnych występują w pobliżu większości szybów i sztolni Starego Zagłębia Miedziowego. Niemal wszystkie obiekty

zostały zrehabilitowane przez ich zalesienie. Obliczone parametry morfometryczne hałd podano w tabeli 2.

Największą hałdą występującą na obszarze badań jest forma położona na terenie ZG Konrad, w pobliżu szybu Konrad I, po południowej stronie szosy Iwiny–Olszanica (fig. 5A). Hałda ma kształt pryzmy o maksymalnej długości 432 i szerokości 188 m (fig. 14). W pobliżu szybu Konrad II znajdują się dwie hałdy (fig. 5A). Hałda położona ok. 80 m na NW od szybu ma kształt pryzmy o wysokości ok. 6 m i została częściowo włączona w obręb zbiornika osadów poflotacyjnych Iwiny nr 1. Wschodnia część hałdy przylega do ziemnej zapory ograniczającej zbiornik od wschodu. W odległości ok. 20 m na SE od szybu Konrad II znajduje się w całości zalesiona hałda o stożkowym kształcie, o wysokości ok. 15,6 m i średnicy ok. 150 m. Niewielkie obiekty znajdują się również w sąsiedztwie szybów Lubichów III i IV. Hałda przy szybie Lubichów IV (fig. 5A) jest obecnie wykorzystywana do składowania odpadów przez kopalnię gipsu i anhydrytu. Niewielka hałda znajdowała się również w pobliżu sztolni Upadowej Grodziec. Materiał budujący zwałowisko zużyto jako tłuczeń, a teren hałdy częściowo splantowano.

Hałdy położone w pobliżu kopalń półrowu Leszczyny są także ograniczone do bezpośredniego sąsiedztwa sztolni i szybów (fig. 5B). Do największej hałdy, w której składowano skałę płonną z kopalni Lena prowadziła linia kolejki wąskotorowej. Hałda jest zlokalizowana ok. 600 m na SE od ZG Lena i ma powierzchnię 3,4 ha. W bezpośrednim sąsiedztwie ZG (ok. 100 m na NW i SE od zabudowań kopalni) znajdują się dwie hałdy, które usypano, wykorzystując stoki Prusickiej Góry. Dolna część hałd została w późniejszym okresie działalności kopalni przykryta przez osady zbiornika Lena nr 1. Z kopalnią Nowy Kościół związane są małe hałdy położone na zachodnich zboczach doliny bezimiennego dopływu potoku Wilcza (fig. 5C). Zlokalizowano je przy szybie Wacław, położonym w północnej części złoża oraz u wylotu sztolni wentylacyjnej. Mniejsze hałdy znajdują się w pobliżu

Tabela 2

Charakterystyka morfometryczna największych hałd na terenie Starego Zagłębia Miedziowego

Morphometry of the largest dumps in the "Old Copper Basin" area

Nr hałdy	Hałda	Pow. [m ²]	Maks. dł. [m]	Maks. szer. [m]	Maks. miąższość [m]	Objętość [m ³]
1.	Iwiny / Konrad I	69 200	432	188	28,6	894 150
2.	Konrad II/1	13 690	157	105	15,6	63 150
3.	Konrad II/2	28 400	239	236	6,5	73 700
4.	Lubichów	12 900	132	113	10,6	35 520
5.	Leszczyna S	34 000	305	146	12,5	83 030
6.	Leszczyna N / Lena	7 170	126	112	7,5	23 470
7.	Leszczyna S / Lena	11 740	151	114	15,8	61 300
8.	Nowy Kościół / łom	4 600	170	40	6,4	9 950
9.	Nowy Kościół / szyb Wacław	5 400	152	58	4,6	6 130
10.	Nowy Kościół / szyb wentylacyjny	6 980	120	117	15,2	24 830

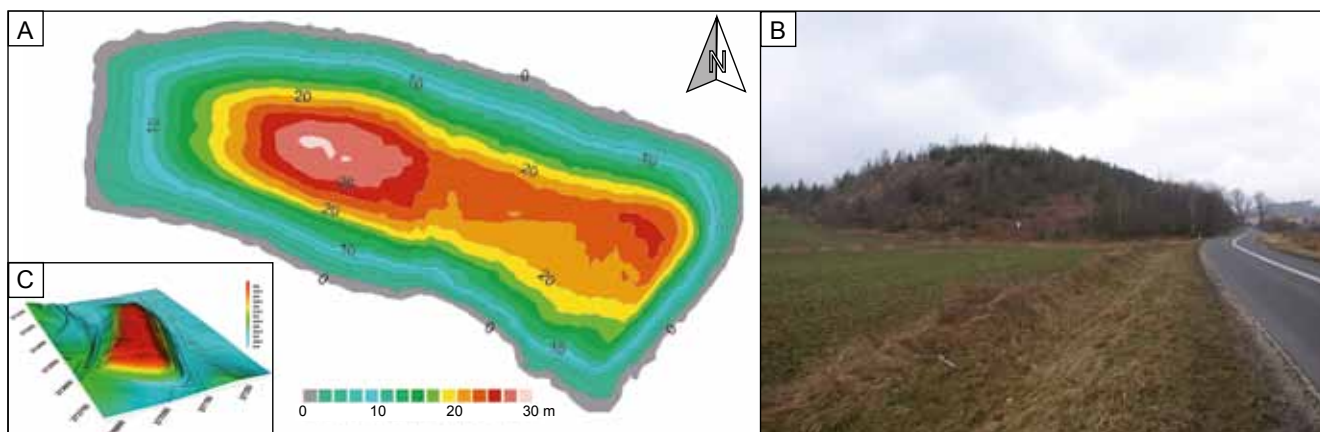


Fig. 14. A. Mapa rozkładu miąższości hałdy szybu Konrad I. B. Hałda widziana od strony wschodniej z szosy Iwiny–Olszanica. C. Blokdiagram obrazujący rozkład wysokości m n.p.m. w obrębie hałdy

A. Thickness distribution map of the dump closed to the Konrad I shaft. B. View from the Iwiny–Olszanica road.
C. Blockdiagram of the dump (based on LiDAR DEM 1 × 1 m)

ZG Nowy Kościół na wschodnim zboczu doliny Kaczawy oraz w pobliżu nieczynnego kamieniołomu na S od kopalni.

Najmniejsze hałdy związane z górnictwem miedzi na obszarze Starego Zagłębia są związane z etapem przedindustrialnym. Największe zgrupowania takich obiektów znajdu-

ją się w okolicach miejscowości Leszczyna, na polu górnym Ciche Szczęście. Hałdy przyjmowały najczęściej formę wydłużonych pryzm o wysokościach do 4 m i są zlokalizowane najczęściej na zboczach dolin u wylotów sztolni (por. fig. 9A).

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Szczegółowe analizy wysokorozdzielczych modeli wysokościowych i danych archiwalnych pozwoliły na precyzyjne wyznaczenie zasięgu, rozprzestrzenienia, a także szeregu parametrów morfometrycznych pojedynczych form morfologicznych terenu. Zweryfikowano rozmiary form opisywanych w dokumentacjach archiwalnych. Analizy wolumetryczne zastosowano do obliczenia objętości skał płonnych zdeponowanych na hałdach i zwałowiskach. Wyróżniono 10 hałd (por. tab. 2), związanych z etapem industrialnym eksploatacji miedzi w Starym Zagłębiu. Na największej, częściowo zrehabilitowanej hałdzie szybu Konrad I w Iwinach, zgromadzono większość odpadów skalnych na obszarze Starego Zagłębia (894 tys. m³). Precyzyjne określenie objętości i rozkładu miąższości materiału zgromadzonego na hałdach ma duże znaczenie, zwłaszcza w kontekście powtórnego wykorzystania zwałowanej skały płonnej i rekultywacji terenów pogórnich. Z kolei inwentaryzacja i zasięg form stanowiących relikty najstarszych prac górniczych (pingi, hałdy przy starych sztolniach, nieczynne kamieniołomy; por. fig. 8, 9) są szczególnie istotne dla ochrony dziedzictwa historycznego i wykorzystania potencjału geoturystycznego regionu.

Szczególą uwagę należy zwrócić na zagadnienia związane z perspektywami rekultywacji największych obiektów składowania odpadów na obszarze Starego Zagłębia – zbiorników poflotacyjnych. Stanowią one obecnie dominujący i niekorzystny element krajobrazu, zwłaszcza w północnej części obszaru badań (zbiorniki Wartowice i Iwiny nr 1, 2).

Przeprowadzone analizy geomorfometryczne pozwoliły na precyzyjne wyznaczenie kierunków drenażu (fig. 12) i obszarów predisponowanych do gromadzenia się wód opadowych (fig. 13). Ma to znaczenie głównie dla perspektyw rekultywacji przez wprowadzenie roślinności na obszary zbiorników. Obecnie zbiorniki te są tylko częściowo zrehabilitowane. Wprowadzenie roślinności utrudniały dotychczas takie czynniki jak intensywne zawodnienie i brak substancji organicznych (Kotarska, 2012). Miejsca nadmiernego gromadzenia się wód opadowych w 3 z 5 zbiorników odpadów (Iwiny nr 1, Lena nr 1 i 2) znajdują się bezpośrednio przy lub w sąsiedztwie głównych zapór (por. fig. 13). Co więcej, zachodnią część zbiornika Lena nr 2 zrehabilitowano przez zatopienie. Taka sytuacja stanowi potencjalne zagrożenie i uznano ją za główną przyczynę katastrofy zbiornika Iwiny nr 1 w 1967 r. (Werno i in., 1986), głównie z uwagi na brak przystosowania zapór zbiorników do piętrzenia wody (Lewiński, Wolski, 1996). Powierzchnia zbiornika Wartowice, wybudowanego po katastrofie, jest nachylona w kierunku przeciwnym w stosunku do zapory (por. fig. 12A, 13A), a powierzchnia zbiornika Iwiny nr 2 stanowi bezodpływowe zagłębienie ze stokami nachylonymi ku jego centrum (fig. 12A, 13B). NMT LiDAR mogą stanowić narzędzie monitoringu stanu zapór ziemnych i potencjalne źródło wykrywania zagrożeń związanych z ich uszkodzeniami. W tym celu, poza obecnie prowadzonym monitoringiem geodezyjnym, należałoby wykonywać cykliczne skanowania laserowe wybranych elementów zbiorników.

Zagadnieniu zastosowania NMT LiDAR w wyznaczaniu wartości pionowych przemieszczeń na terenach podziemnej eksploatacji było poświęcone odrębne opracowanie (Kowalski, Maciejak, 2016). Zbieżność wyników analiz geomorfometrycznych z pomiarami geodezyjnymi prowadzonymi na obszarze kopalni Nowy Kościół (Dychtowicz i in., 1966) wykazała dużą przydatność NMT LiDAR w obliczaniu wartości osiadań. Było to jednak możliwe jedynie w przypadku niewielkich form obejmujących zapadliska i małe niecki powyżej wyrobisk ścianowych oddzielonych filarami ochronnymi. Dodatkowo obszar kopalni Nowy Kościół obejmuje głównie tereny użytkowane rolniczo, bez pokrywy roślinnej, co pozwoliło na uniknięcie błędów odwzorowaniu wysokości spowodowanych np. filtracją chmury punktów (por. Raport dostawy..., 2011). Na obszarach objętych wielkopromiennymi deformacjami powierzchni (niecki osiadań na obszarach górniczych kopalni Konrad i Lubichów) zastosowanie NMT LiDAR nie było możliwe, głównie ze względu na niewielkie wartości przemieszczeń (do 1,4 m; Głowacki, Milczarek, 2013) występujące na dużych obszarach oraz znaczące przekształcenia antropogeniczne (por. fig. 5A). Rekonstrukcja rzeźby dużych obszarów na podstawie topograficznych map arkuszowych była również nieefektywna z uwagi na zbyt niedokładne cięcia poziomicowe (2,5 m) zastosowane na mapach. Brak możliwości wyznaczenia przemieszczeń pionowych na obszarze kopalni Lena był związany z intensywnym zalesieniem, a także innymi elementami pokrycia terenu (pokrywy blokowe, zabudowania). Elementy te są wprawdzie usuwane z modelu na etapie filtracji chmury punktów, lecz proces ten jest związany z największymi błędami wysokościowymi (współrzędna z). W opisanych powyżej dwóch przypadkach, analizy geomorfometryczne NMT LiDAR nie znalazły zastosowania i nie stanowią alternatywnej metody obliczeniowej dla technik geodezyjnych opartych na tradycyjnej niwelacji terenu (np. Głowacki, 2009) lub metod satelitarnej interferometrii radarowej (np. Wojciechowski, 2007).

Styl deformacji i różnice wartości współczynników osiadań zmierzonych dla różnych kopalń (por. fig. 5) wynikają głównie z różnej miąższości nadkładu nad eksploatowanym złożem oraz różnych sposobów likwidacji wyrobisk. Na terenie kopalni Nowy Kościół proces osiadania osiągnął już prawdopodobnie swoje maksimum zaawansowania. Deformacje związane z ruchami pionowymi wyraźnie nawiązują do planu wyrobisk podziemnych. Na terenach kopalni Konrad i Lubichów, ze względu na głębokość poziomów eksploatacji, deformacje powierzchni terenu są obserwowane i monitorowane również współcześnie (Głowacki, Milczarek, 2013). W rejonie kopalni Upadowa Grodziec proces osiadania powierzchni terenu trwa nadal (por. fig. 7) i może w najbliższych latach doprowadzić do znaczących zmian morfologii terenu. Potwierdzają to także obserwacje prowadzone w wyrobiskach podziemnych w latach 90. XX w.

Trudny do przewidzenia jest wpływ zaprzestania głębokiego odwodnienia synkliny Grodziec. Wraz z zaniechaniem eksploatacji w kopalni Lubichów (2016 r.) rozpoczął się proces podnoszenia zwierciadła wód podziemnych z głębokości ok. 200 m. Zagadnienie wymaga dalszych badań i pomiarów geodezyjnych połączonych z analizami NMT LiDAR.

Podziękowania. Autorzy pragną serdecznie podziękować prof. dr. hab. Markowi Granicznemu oraz dr. hab. prof. Stanisławowi Wołkowiczowi za wnikliwą recenzję artykułu, która pozwoliła na znaczne udoskonalenie jego pierwszej wersji. Autorzy są wdzięczni dr. hab. prof. PIG-PIB Stanisławowi Mikulskiemu, dr. Wojciechowi Kaczmarkowi (KGHM Polska Miedź S.A.) oraz Redakcji Biuletynu PIG za zaangażowanie w proces redakcyjny i przygotowanie publikacji do druku.

Dane LiDAR zostały wykorzystane przez autorów na podstawie licencji DIO.DFT.DSI.7211.1619.2015_PL_N wydanej przez Głównego Geodetę Kraju dla Wydziału Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego.

LITERATURA

- AGRICOLA G., 1556 — O górnictwie i hutnictwie: dwanaście ksiąg. Muzeum Karkonoskie, Jelenia Góra, 2000.
- BALDO M., BIOCCHI C., CHIOCCHINI U., GIORDAN D., LOLLINO G., 2009 — LIDAR monitoring of mass wasting processes: The Radicofani landslide, Province of Siena, Central Italy. *Geomorphology*, **105**: 193–201.
- BANASZEK Ł., 2014 — Lotniczy skaning laserowy w polskiej archeologii. Czy w pełni wykorzystywany jest potencjał prospekcyjny metody? *Folia Praehistorica Posnaniensia*, **19**: 207–251.
- BAR T., 1973 — Zakłady przeróbki rud miedzi w niecce północnosudeckiej. *W: Monografia przemysłu miedziowego w Polsce* (red. E. Konstantynowicz), **2**: 60–82. Wydaw. Geol. Warszawa.
- BEYSCHLAG F., 1918 — Die niederschlesische Kupferformation. *Zeitschrift für praktische Geologie*, **5**: 67–73.
- BŁAŻEJCZAK R., 1968 — Protokół zdawczo-odbiorczy z likwidacji ZG „Nowy Kościół”. Zał. nr 9. Szkody górnicze. Arch. Państw. we Wrocławiu – Oddział w Legnicy.
- BORECKI M., 1980 — Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górnictwami: praca zbiorowa (T. 1). Wydaw. Śląsk, Katowice.
- CHUDEK M., WILCZYŃSKI S., ŻYLIŃSKI R., 1979 — Podstawy Górnictwa. Wydaw. Śląsk.
- CYMERMAN Z., 2004 — Tectonic map of the Sudetes and the Fore-Sudetic Block (1 : 200 000). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DYCHTOWICZ Z., SKOWRONEK H., SŁOWIK H., 1966 — Wpływ eksploatacji rud miedzi na odkształcenie powierzchni na przykładzie kopalń Lena, Konrad i Nowy Kościół. *II Krajowy Zjazd Górnictwa Rud*, **1**: 144–181. Lubin.
- DZIEKOŃSKI T., 1972 — Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do połowy XX w. Wydaw. PAN, Osoloneum.

- ENGELKEMEIR R.M., KHAN S.D., 2008 — Lidar mapping of faults in Houston, Texas, USA. *Geosphere*, **4**, 1: 170–182.
- FECHNER H., 1903 — Geschichte des schlesischen Berg und Hüttenwesens in der Zeit Friedrichs der Grossen, Friedrich Wilhelm's II und Friedrich Wilhelm's III, 1741 bis 1806, *Zeitschrift für des Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate*, **1**: 3.
- FESTENBERG-PACKISCH H., 1881 — Der metallische Bergbau Niederschlesiens. Wien.
- FIBIGER M.J., 1704 — Silesiographia renovata necessariis scholiis, observationibus et indice. 1704.
- GŁOWACKI T., 2009 — Opracowanie prognozy przemieszczeń pionowych terenu górniczego ZG „Konrad” w Iwinach. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWroc.*, **128**, 36: 33–42.
- GŁOWACKI T., MILCZAREK W., 2013 — Powierzchniowe deformacje wtórne dawnych terenów górniczych. *Min. Sci.*, **20**, 39–55.
- GUNIA T., MILEWICZ J., 1962 — Wykształcenie fałdalne cechsztynu niecki północnosudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, **173**: 115–128.
- JAROSIŃSKI S., 1971 — Wybrane zagadnienia miernictwa górniczego i szkód górniczych. *W: Monografia przemysłu miedziowego w Polsce* (red. E. Konstantynowicz), **1**: 417–432. Wydaw. Geol., Warszawa.
- JUCHA W., MARSZAŁEK A., 2016 — Zastosowanie danych ALS do interpretacji dawnych i współczesnych form użytkowania terenu na przykładzie wzgórza Grojec. *Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej. Roczn. Geomat.*, **14**, 4, 74: 465–476.
- KIJEWSKI P., DOWNOROWICZ S., 1987 — Odpady poflotacyjne rudy miedzi jako potencjalna rezerwa surowcowa. *Fizykochemiczne Problemy Mineralogii*, **19**: 205–211.
- KŁOS T., 1971 — Złoże rud miedzi synkliny grodzieckiej. *W: Monografia przemysłu miedziowego w Polsce* (red. E. Konstantynowicz): **1**, 23–24. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KONDRACKI J., 2002 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KORBAN Z., 2011 — Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK X. *Górnictwo i Geologia*, **6**: 109–120.
- KOTARSKA I., 2012 — Odpady wydobywcze z górnictwa miedzi w Polsce – bilans, stan zagospodarowania i aspekty środowiskowe. *Cuprum*, **4**, 65: 45–63.
- KOWALSKI A., 2017 — Ruchy masowe a interpretacja budowy geologicznej – przykład osuwiska na górze Drogosz w paśmie Zaworów (Sudety Środkowe). *Prz. Geol.*, **65**, 2: 96–104.
- KOWALSKI A., MACIEJAK K., 2016 — Zastosowanie metod geomorfometrycznych w analizie deformacji powierzchni terenu spowodowanych działalnością górnictwem na przykładzie kopalni „Nowy Kościół” („Stare Zagłębie Miedziowe”, Synklinorium Północnosudeckie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **466**: 137–146.
- KOWALSKI A., WOJEWODA J., 2016 — Obrazy lidarowe – przetwarzanie i zastosowanie w geologii. VI Polska Konferencja Sedymentologiczna POKOS 6 – Mat. konf.: 199–211. Warszawa.
- LEWIŃSKI J., WOLSKI W., 1996 — Składowiska odpadów. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. II. KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin* (red. A. Piestrzyński, M. Zaleska-Kuczmiarczyk): 787–897.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 2000 — Koncepcje wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w regionie legnicko-głogowskim. *Inż. Miner.*, **1**, 1: 25–35
- MACHOŃ T., 1967 — Litostratygrafia i okruszcowanie dolnego cechsztynu w rejonie kopalni „Nowy Kościół”. *Prz. Geol.*, **15**, 7: 327–329.
- MACIEJAK K., MACIEJAK M., 2013 — Górnictwo miedzi w niecce złotoryjskiej. *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*, **5**: 34–41.
- MACIEJAK K., MACIEJAK K., 2016 — Nieznany ośrodek dawnego górnictwa rud miedzi pod Nowym Kościołem i Sokolowcem na Pogórzu Kaczawskim. *Materiały I. Warsztatów Dziedzictwo i historia górnictwa*, Złoty Stok, 14–15.04.2016, Wrocław, 34–41.
- MARSZAŁEK R., ZACZEK F., 1971 — Złoże rud miedzi synkliny złotoryjskiej. *W: Monografia przemysłu miedziowego w Polsce* (red. E. Konstantynowicz): **1**: 84–11. Wydaw. Geol., Warszawa.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K., KASPRZAK M., 2014 — Zasięg obszarów objętych osuwiskami w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR. *Prz. Geol.*, **62**, 9: 463–471.
- MIGOŃ P., KASPRZAK M., TRACZYK A., 2013 — How high-resolution DEM based on airborne LiDAR helped to reinterpret landforms – examples from the Sudetes, SW Poland. *Landform Analysis*, **22**: 89–101.
- OSZCZEPALSKI S., 1999 — Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Miner. Deposita*, **34**: 599–613.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1991 — The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, **1**, 4: 975–999.
- PAŹDZIORA J., 2008 — Stare Zagłębie Miedziowe. Towarzystwo Miłośników Bolesławca.
- PAŹDZIORA J., 2016 — Przed wielką miedzią. Urząd Gminy Warta Bolesławiecka. ISBN: 978-83-946783-0-2.
- PIĄTEK E., PIĄTEK Z., 1998 — Analiza historyczna górnictwa i hutnictwa przemysłowego obszaru Chełmiec – Jerzyków w Parku Krajobrazowym Chełmy, Myślębórz.
- PLAN likwidacji kopalni „Nowy Kościół” – część opisowa, 1968. Tezka nr 0031. Arch. Państw. we Wrocławiu – Oddział w Legnicy.
- PLAN likwidacji kopalni „Lena”, KGHM ZG Lena, Wilków, październik 1973. Arch. Państw. we Wrocławiu – Oddział w Legnicy.
- PROJEKT wstępny Zakładów Górniczych „Nowy Kościół” w Nowym Kościele, Biuro Projektów Przemysłu Metali Nieżelaznych „BIPROMET”, Katowice, maj 1952. Arch. Państw. we Wrocławiu – Oddział w Legnicy.
- QUIRING H., 1919 — Die Geschichte des Goldbergbaus bei Goldberg in Schlesien und der Versuche seiner Wiederaufnahme bis zum Jahre 1740. *Zeitschrift für das Berg- Hütten- und Salinenwesen im Preußischen Staate*, **67**.
- RACZYŃSKI P., 1997 — Warunki sedymentacji osadów cechsztynu w niecce północnosudeckiej. *Prz. Geol.*, **45**, 7: 693–699.
- RAPORT dostawy ISOK — Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, Część Nr 3, Etap Nr 03, 2011.09.12.
- SAWICKI L., 1995 — Mapa geologiczna regionu dolnośląskiego z przyległymi obszarami Czech i Niemiec w skali 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol.
- SCUPIN H., 1925 — Zur Geschichte des Kupferbergbaues im niederschlesischen Zechstein. *Achtundneuzigster Jahres-Bericht der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur.*: 21–38.
- SKIBA E., MIZERA A., MOŁASEWICZ M., PIASECKI J., 1975 — Koncepcja wyboru kierunków zagospodarowania zbiornika odpadów flotacyjnych nr 1 przy ZG Lena, Zakłady Badawcze i Projektowe Miedzi „Cuprum”. Arch. Państw. we Wrocławiu – Oddział w Legnicy.

- SKOWRONEK C., 1967 — Zagadnienie środkowego cechsztynu w rejonie Leszczyna–Wilków na Dolnym Śląsku. *Prz. Geol.*, **15**, 7: 330–332.
- STOLARCZYK T., KOBYLAŃSKA N., KIERCZAK J., MA-DZIARZ M., GARBACZ-KLEMPKA A., 2015 — Leszczyna. Monografia ośrodka górnictwa i metalurgii rud miedzi. Fundacja Archeologiczna Archeo, Radziechów.
- SZPETKOWSKI S., 1978 — Pomiary deformacji na terenach górniczych. Wydaw. Śląsk, Kraków.
- ŚLIWIŃSKI W., 1988 — Brzeżne facje cechsztynu w niecce północnosudeckiej. *W: Wybrane zagadnienia geologii złóż Polski Zachodniej – Konferencja naukowa w 100-lecie urodzin profesora Józefa Zwierzyckiego*, Wrocław: 143–166.
- ŚLIWIŃSKI W., RACZYŃSKI P., WOJEWODA J., 2003 — Sedymentacja utworów epiwaryscyjskiej pokrywy osadowej w basenie północnosudeckim. *Sudety Zachodnie: Od wendy do czwartorzędu: 1–8*.
- TRACZYK S., 1997 — Gospodarka mineralnymi surowcami odpadowymi z górnictwa i energetyki. *Prz. Geol.*, **45**, 5: 500–504.
- WEBSTER T. L., MURPHY J. B., GOSSE J. C., SPOONER I., 2006 — The application of lidar-derived digital elevation model analysis to geological mapping: an example from the Fundy Basin, Nova Scotia, Canada. *Can. J. Remote Sensing*, **32**, 2: 173–193.
- WEHR A., LOHR U., 1999 — Laser scanning – an introduction and overview. *J. Photogram. Rem. Sens.*, **54**: 68–82.
- WERNO M., JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B., INEROWICZ M., BARAN L., 1986 — Prognoza stateczności zapory zbiornika odpadów poflotacyjnych w warunkach eksploatacji górniczej. *Ochrona Terenów Górniczych WUG*, **69**: 28–34.
- WOJCIECHOWSKI T., 2007 — Osiadanie powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji węgla kamiennego na przykładzie rejonu miasta Knuruwa. *Prz. Geol.*, **55**, 7: 589–594.
- WOJEWODA J., 2016 — O konieczności wykonania drugiej edycji Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000 – przykłady rewizji budowy geologicznej z wykorzystaniem podkładu lidarowego numerycznego modelu powierzchni terenu. *Prz. Geol.*, **64**, 9: 597–603.
- WOJEWODA J., BIAŁEK D., BUCHA M., GŁUSZYŃSKI A., GOTOWAŁA R., KRAWCZEWSKI J., SCHUTTY B., 2011 — Geologia Parku Narodowego Gór Stołowych – wybrane zagadnienia. *W: Geoekologiczne Warunki Środowiska Przyrodniczego Parku Narodowego Gór Stołowych*. Wrocław, WIND: 53–96.
- WÓJCIK A., WĘZYK P., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., MACZUGA S., 2013 — Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) rejonu Kasprowego Wierchu (Tatry). *Prz. Geol.*, **61**, 4: 234–242.
- WUTKE K., 1900 — *Codex Diplomaticus Silesiae*, t. 20: 153.
- WUTKE K., 1901 — *Codex Diplomaticus Silesiae*, t. 21.
- ŻYLIŃSKA-DUSZA D., JAWORSKI A., LEWIŃSKI J., MIZERA A., 1996 — Przeróbka rud a środowisko przyrodnicze. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. II. KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin (red. A. Piestrzyński i in.): 753–774.*

SUMMARY

In the paper the authors present the results of the detailed geomorphometric analysis of the post-mining forms related directly to the copper mining in the so-called “Old Copper Basin” (Lower Silesia, SW Poland). Transformations of the terrain have not been analysed in detail before. The following anthropogenic forms distinguished in the study area comprise of large- and small-scale ground deformations (depressions and small sinkholes), abandoned quarries and forms associated with the exploitation and storage of the flotation wastes – post-flotation tailings and dumps. Detailed geomorphometric analysis of high resolution, LiDAR-derived Digital Elevation Models and archival data allowed visualization of the spatial distribution of the forms, estimation of their total volume as well as perspectives of their recultivation and protection. The size of the forms described in the archival documents was verified. Volumetric analysis was used to calculate the total volume of barren rocks which were deposited on dumps. Investigated 10 dumps are associated with the industrial stage of copper exploitation in the Old Copper Basin. The largest form is located close to the Konrad I shaft in the village of Iwiny, where the most of the rock waste volume was deposited (894 000 m³). Precise estimation of the volume and thickness distribution within dumps is highly significant, especially for reusing mine-wastes and revitalisation of the mining areas. Furthermore, the inventory of the oldest relics of mining forms (dumps, sinkholes, abandoned quarries, cf. Fig. 9) is especially im-

portant for preserving historical heritage and strengthening the geotouristic potential of the region.

Particular attention should be paid to the issues related to prospects of revitalisation of largest forms associated with the flotation wastes stored in the “Old Copper Basin” – post-flotation tailings. Those are currently dominant element of the landscape, especially in the northern part of the investigated area (Wartowice and Iwiny flotation tailings, cf. Fig. 5). The geomorphometric analysis allowed to precisely determine the drainage directions (Fig. 12) and closed depressions areas (Fig. 13). These parameters are especially important in case of space planning and recultivation of the post-flotation tailings by plant introduction. Currently, these reservoirs are only partially recultivated. The location of depressed areas within 3 out of 5 post-flotation tailings (Iwiny no. 1 and Lena no. 1 and 2) are located directly or near the main dams. Moreover, the western part of the Lena no. 2 tailing was revitalised by sinking it. Such situation poses a real risk and also was considered as the main cause of the Iwiny no. 1 dam’s damage in 1967 (Werno *et al.*, 1986). The surface of the Wartowice reservoir, built after this damage, is inclined in the opposite direction to the dam (see Figs. 12A, 13A). The surface of the Iwiny no. 2 reservoir constitutes a closed depression with slopes inclined towards its center (Fig. 13B). It is worth mentioning that LiDAR DEMs can also be used as a tool for dams monitoring and detecting potential hazards.

The attempt of applying the geomorphometric analysis based on LiDAR DEMs to mining-related ground deformations was the subject of a separate investigation (Kowalski, Maciejak, 2016). The maximum vertical displacements obtained through the LiDAR-based geomorphometric analysis were similar to the displacement values measured using geodetic methods in the area of Nowy Kościół Copper Mine (Dychtowitz *et al.*, 1966). However, such analyses were possible only in the case of small, sinkhole forms and small troughs above excavations separated by safety pillars. In addition, the surface area of the Nowy Kościół Copper Mine constitutes currently agricultural terrain without a vegetation cover. In the mining areas affected by the large-scale surface deformations (depressions in the Konrad and Lubichów min-

ing areas), the use of LiDAR DEMs was not possible, mainly due to small displacement values within large-scale depressions (up to 1.4 m, Głowacki, Milczarek, 2013) occurring in an anthropogenically transformed areas (cf. Fig. 5A). Reconstruction of the terrain based on topographic maps was also ineffective due to high contour interval in maps (2,5 m). It was also impossible to determine the total vertical displacements in the Lena Copper Mine area, especially due to intensive afforestation and other elements of the land cover (block covers, buildings). However, these elements were removed from the DEMs during the filtering of point clouds, but it is associated with high altitude errors. In these two cases, the LiDAR geomorphometric analysis cannot be used.

