

Zmiany rzeźby terenu na obszarze kopalni Barycz spowodowane wieloletnim wydobywaniem soli kamiennej metodą ługowania otworowego (Pogórze Wielickie, Polska)

Changes in the topography of the area of Barycz mine caused by long-term extraction of rock salt using the borehole salt mining method (Wielickie Foothills, Poland)

Jolanta Świąchowicz ¹, Magdalena Olesińska²

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Kraków, Polska, jolanta.swiechowicz@uj.edu.pl

² Grupa RMF sp. z o.o. sp.k, Warszawa, Polska

Zarys treści: Sól kamienna w Polsce wydobywana jest na sucho i na mokro. Metoda na sucho stosowana m.in. w kopalniach soli w Bochni i Wieliczce, polega na urabianiu skały solnej za pomocą materiałów wybuchowych, narzędzi i maszyn górniczych. Metoda na mokro, bazuje na rozpuszczaniu skał solnych słodką wodą. Korzystano z niej m.in. w kopalni soli w Baryczy w latach 1924–1998. Na obszarze kopalni otworowej Barycz, w której sól pozyskiwano metodą ługowania bez ochrony stropu, wykonano 1024 otwory wiertnicze i wydobyto łącznie 10,6 mln Mg tego surowca. Celem pracy jest określenie stopnia zmian rzeźby terenu na obszarze kopalni Barycz spowodowanych wieloletnim wydobywaniem. Stwierdzono, że konsekwencją intensywnej eksploatacji płytko zalegającego pod powierzchnią i silnie zaburzonego tektonicznie złoża soli, były nieciągłe deformacje powierzchni terenu. W ich wyniku powstało około 41 zapadlisk, z których najbardziej katastrofalne w skutkach wystąpiło na Polu Pagory 21 marca 1974 r. Największe zapadliska w centralnej części obszaru zagospodarowano jako składowisko odpadów komunalnych dla miasta Krakowa i Wieliczki. W miejscu składowiska odpadów zapadliska zostały zasypane i utworzono w ich miejscu formy wypukłe. W części wschodniej i zachodniej obszaru, gdzie eksploatacja prowadzona była mniej intensywnie, powstały deformacje ciągłe. Dużym przekształceniom uległy dno doliny i koryto potoku Malinówka.

Słowa kluczowe: Antropogeniczne zmiany rzeźby, ługowanie otworowe soli, zapadliska, kopalnia otworowa Barycz, Pogórze Wielickie

Abstract: Rock salt in Poland is extracted by dry and wet. The dry method is used, among others, in the salt mines in Bochnia and Wieliczka, involves mining salt rock using explosives, tools and mining machines. The wet method is based on dissolving salt rocks with fresh water. It was used, among others, in the salt mine in Barycz in 1924–1998. In the Barycz borehole mine area, where salt was obtained by leaching without roof protection, 1,024 drilling holes were drilled and a total of 10.6 million Mg of this raw material was extracted. The study aims to determine the degree of changes in the topography in the area of the Barycz mine caused by long-term exploitation. It was found that the consequence of intensive exploitation of the shallowly subsurface and strongly tectonically disturbed salt deposits were discontinuous deformations of the land surface. As a result, approximately 41 sinkholes were created, the most catastrophic of which occurred in the Pagory Field on March 21, 1974. The largest sinkholes in the central part of the area were used as a municipal waste dump for Krakow and Wieliczka. In the place of the waste dump, the sinkholes were filled and convex forms were created in their place. In the eastern and western parts of the area, where mining was carried out less intensively continuous deformations occurred. The valley floor and the Malinówka stream bed have undergone significant transformations.

Keywords: Anthropogenic changes in relief, borehole leaching of salt, sinkholes, Barycz borehole salt mine, Wieliczka Foothills

Wstęp

Skutkiem eksploatacji soli kamiennej metodą otworową jest między innymi trwale przeobrażenie rzeźby terenu (Szabó 2010, Grzybowski 2016, Cooper 2020, Szuwarzyński 2021). Bezpośredni wpływ górnictwa otworowego soli na rzeźbę terenu jest niewielki (Kaszowska 2007, Andrusikiewicz 2017). Podziemna eksploatacja surowca i powstanie wyrobisk skutkuje zachwianiem istniejącej w górotworze równowagi i przemieszczaniem się mas skalnych do wyrobisk górniczych (Hwałek 1977, Kunstman i in. 2002, Kaszowska 2007, Poborska-Młynarska 2009). Przemieszczenia coraz wyżej położonych warstw skalnych powoduje ich zawał, spękanie i ugięcie, a kiedy osiagają powierzchnię terenu ujawniają się na niej w postaci deformacji ciągłych i nieciągłych (Chudek i in. 1988, Goszcz 1996, Mazurek 2007, 2010, d'Obyrn 2013, Bieniasz i in. 2016, Hejmanowski, Malinowska 2017, Bieniasz, Pietras 2018, Dobos i in. 2022). Zmiany ukształtowania powierzchni terenu zwykle prowadzą do naruszenia równowagi stoków i w konsekwencji do powstawania procesów masowych (por. Wódka 2019).

Sól kamienna w Polsce eksploatowana jest dwoma metodami: na sucho i na mokro. Są one dostosowane do warunków środowiskowych panujących w otoczeniu złoża oraz od jego cech takich jak: jego forma, długość, szerokość, objętość oraz głębokość zalegania stropu i spągu warstwy solonośnej (Gałuszka, Migaszewski 2009). Metoda na sucho, stosowana m.in. w kopalniach soli w Bochni i Wieliczce, polega na urabianiu skały solnej za pomocą materiałów wybuchowych, narzędzi i maszyn górniczych (Mazurek 2007, Piechota i in. 2009, Andrusikiewicz 2017, 2020). Metoda na mokro bazuje na rozpuszczaniu soli wodą słodką i korzystano z niej m.in. w kopalni soli w Baryczy i Łęzkowicach (Batko 1974, Kuc 2016, Andrusikiewicz 2017, 2020).

Wyróżnia się cztery podstawowe sposoby eksploatacji soli metodą na mokro. Pierwszy z nich to metoda ługowania w zastoju. Przeprowadzana jest pod powierzchnią ziemi. Polega na wypełnieniu uprzednio przygotowanej komory wodą słodką. Woda ta ługuje komorę powiększając jej rozmiary. Solanka otrzymana w wyniku tego procesu zostaje odprowadzana do tzw. zbiornika głównego (Kunstsman i in. 2002, Rospond 2007). Drugą odmianą eksploatacji na mokro jest metoda wykorzystująca wieże ługownicze. Polega ona na utworzeniu szybków ślepych łączących dwa poziomy w kopalni nazywanych wieżami. Szybiki ślepe ulegają zapełnieniu solą, a następnie przepuszcza się przez nie wodę. Woda przepływając przez urobek rozpuszcza sól, na dole wieży wypływa ona w postaci solanki w pełni nasyconej (Kunstsman i in. 2002, Piechota 2008). Kolejny rodzaj to tzw. metoda natryskowa. Otrzymywanie solanki polega na natry-

skiwaniu ociosów solnych słodką wodą, a następnie odprowadzaniu spływającej solanki nienasyconej rurociągami. W miejscu, gdzie słodka woda wypłukuje sól, w wyrobisku tworzy się wgłębienie. Ostatnim sposobem pozyskania solanki poprzez jej wyługowanie jest metoda ługowania otworowego. Jako jedyna może być skoordynowana w całości z powierzchnią. Polega na wprowadzeniu słodkiej wody odpowiednimi rurociągami współosiowymi, zainstalowanymi w uprzednio przygotowanych otworach wiertniczych. Woda rozpuszcza sól znajdującą się w okolicy miejsca wiercenia, solanka nisko nasycona kierowana jest do sąsiednich komór, a w momencie uzyskania pełnego nasycenia odpompowywana na powierzchnię. Aby przyspieszyć proces produkcji solanki nasyconej, tworzy się zespoły komór, komory połączone lub komory tunelowe (Kunstsman i in. 2002, Piechota 2008). Ta metoda została zastosowana w kopalni otworowej Barycz. W wyniku eksploatacji soli kamiennej metodą ługowania otworowego, w obszarze górniczym powstały 1024 otwory wiertnicze, z których 980 pełniło funkcję eksploatacyjnych, pozostałe 44 miało funkcję badawczą (Mazurek 2007). Metoda ta była odpowiednia dla części pokładu niedostępnego w eksploatacji bezpośredniej (Piechota 2004).

Przykładem obszaru trwale zdegradowanego przez eksploatację soli kamiennej jest teren kopalni otworowej Barycz. Złoże, z którego czerpano surowiec, stanowi kontynuację złoża soli Wieliczka. Eksploatacja na terenie kopalni prowadzona była od 1924 r. i trwała nieprzerwanie przez 74 lata aż do 1998 r. (Mazurek 2007, Duda 2009, Charkot 2011, Kuc 2016, Kortas, Maj 2021).

Przez cały okres działania obszar eksploatacji kopalni otworowej Barycz podlegał monitoringowi górniczemu i geodezyjnemu. Ze względu na możliwe wystąpienia deformacji terenu kontrola ta była również kontynuowana po zaprzestaniu wydobywania (Mazurek 2010). Otwory badawcze posłużyły jako fragment sieci reperów rozproszonych, dzięki którym możliwe było wykonywanie pomiarów niwelacji geodezyjnej. Niestety, dokładność wykorzystanego sprzętu oraz odstępy czasowe, z jakimi je wykonywano cechują znaczące różnice. Prowadzona dokumentacja opierała się na pomiarach niwelacyjnych wyznaczonych w terenie linii oraz punktów. Sieć reperów w przeciągu okresu eksploatacji ulegała modyfikacjom. Na podstawie zastabilizowanych reperów obserwacyjnych sporządzono mapę osiadań końcowych wraz z prognozami przyszłych deformacji (Mazurek 2007). Ponadto, szczegółowej obserwacji poddane zostały wszystkie elementy środowiska (Cieślak i in. 2008).

Na przestrzeni lat dla kopalni otworowej Barycz sporządzono liczne dokumentacje geologiczne oraz hydrogeologiczne. Powstały również dokumenty planistyczne tj. Projekt Miejscowego Planu Zagospoda-

rowania Przestrzennego obszaru „Barycz” w Krakowie (Diehl 2006, *Projekt Miejscowego Planu...* 2023).

Budowa geologiczna złoża w Baryczy nie była przedmiotem jednego odrębnego opracowania, a informacje dotyczące jego stratygrafii, litologii i tektoniki rozproszone są w wielu publikacjach (Skoczylas-Ciszewska, Poborski 1960, 1961, 1964, Połtowicz 1977) lub opracowaniach ogólnych poświęconych złożom soli kamiennej w Wielicze i Bochni (Gawel 1962, Poborski, Skoczylas-Ciszewska 1963, Garlicki 1964, 1970, 1979, 1983, Oszczytko i in. 2006, Cyran 2008, d’Obyrn 2013, Gradziński, Gradziński 2013, Kuc 2016).

Teren jak i działalność górnicza na obszarze kopalni otworowej Barycz były tematem badań i opracowań naukowych poświęconych głównie skutkom eksploatacji soli. Zawierały one informacje o lokalizacji, budowie geologicznej i warunkach hydrogeologicznych złoża soli (Batko 1974, Mazurek 2007, Charkot 2011). W szczegółowy sposób zinterpretowano wyniki pomiarów geodezyjnych osiadań powierzchni terenu, a także sporządzono mapy i przekroje dla złoża, przeprowadzono analizę deformacji powierzchni terenu na skutek eksploatacji oraz przedstawiono wyniki prognozowania deformacji ostatecznych (końcowych) (Mazurek 2007, 2010, Cieślak i in. 2008, d’Obyrn 2010). Na uwagę zasługuje monografia d’Obyrna (2013), w której na podstawie archiwalnych materiałów źródłowych, często niepublikowanych, a znajdujących się w zasobach Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. przedstawiono analizę wpływu otworowej eksploatacji pokładowego złoża soli Barycz na środowisko naturalne. Osobną grupę stanowią opracowania poświęcone rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni Barycz (Flak, Kultys 2010, Dudek, Klimek 2011, d’Obyrn 2013, d’Obyrn, Wójcik 2015, Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016).

Jednak pomimo tak szczegółowej oceny wpływu eksploatacji soli na powstanie deformacji wynikających z osiadania powierzchni terenu, wykonywania pomiarów geodezyjnych oraz ich interpretacji ilościowej, nie ma wieloaspektowych syntetycznych opracowań geomorfologicznych uwzględniających wpływ eksploatacji soli metodą otworową na przekształcenia rzeźby terenu. Artykuł uzupełnia tę lukę badawczą.

Celem opracowania jest poznanie rodzaju i zakresu zmian rzeźby terenu, które nastąpiły na skutek wieloletniej eksploatacji soli kamiennej metodą ługowania otworowego w kopalni Barycz zarówno w skali czasowej jak i przestrzennej na podstawie jednakowych kryteriów i zastosowania takich samych metod badawczych. W pracy uwzględniono następujące aspekty przekształceń rzeźby związanych z eksploatacją soli: rozpoznanie i charakterystyka nowych antropogenicznych form rzeźby na różnych etapach eksploatacji surowca, zmiany cech morfometrycz-

nych rzeźby oraz stopnia jej przekształcenia przez działalność górniczą.

Obszar badań

Obszar położony jest w granicach strefy przejściowej dwóch ważnych jednostek tektonicznych: zapadliśka przedkarpackiego i Karpat. Część południowa obszaru wchodząca w skład Karpat zbudowana jest z utworów fliszowych płaszczowinowej jednostki podśląskiej (zglobickiej) i śląskiej, a część północna wchodząca w skład zapadliśka przedkarpackiego z ilów mioceńskich (ryc. 1). To podłoże przykryte jest osadami czwartorzędowymi o różnym pochodzeniu. Osady te stanowią głównie pokrywy lessowe (Burtan 1954, Tyczyńska 1968, Żytko 1989, Cyran 2008, Margielewski i in. 2008, Gradziński, Gradziński 2013).

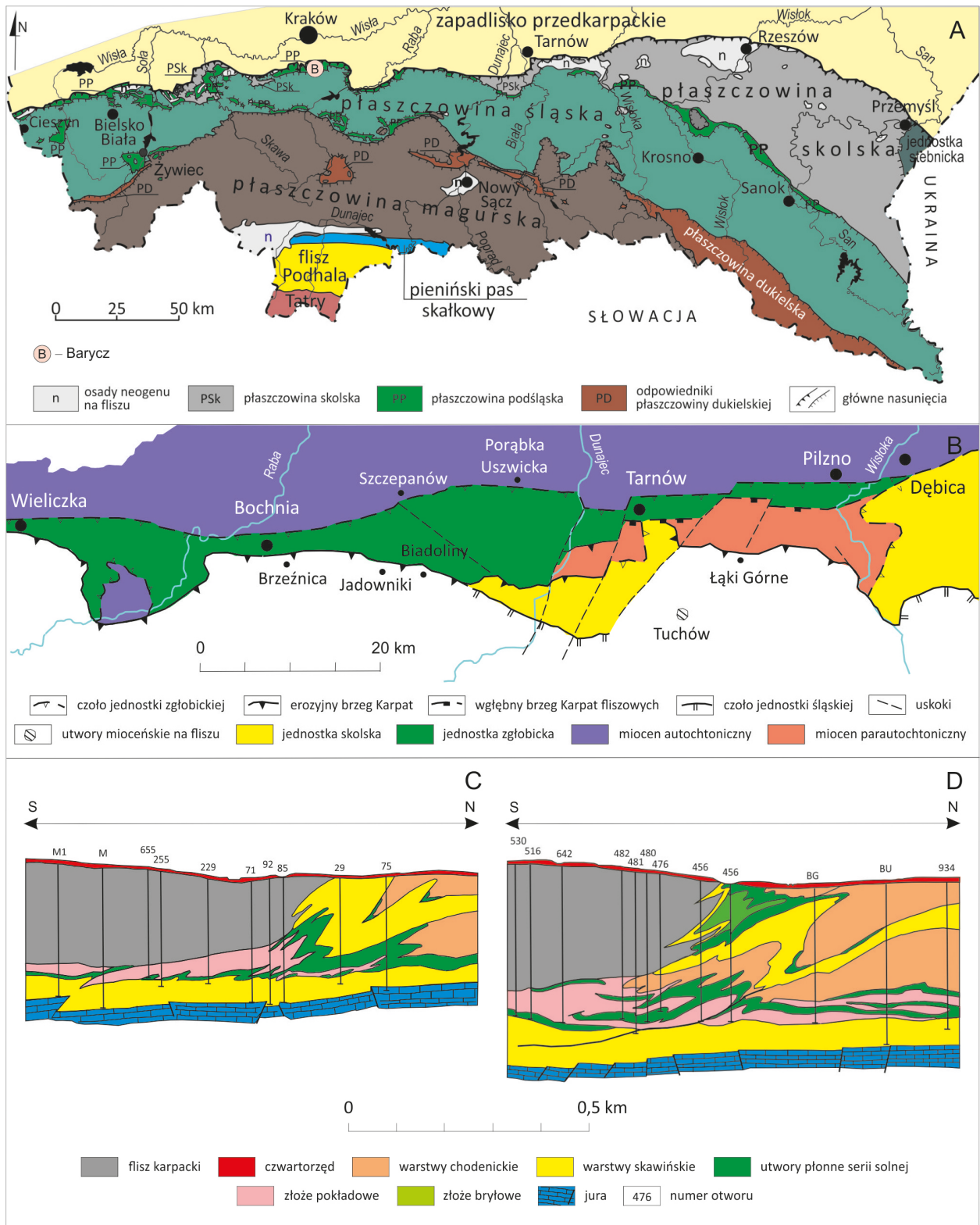
Mioceńskie osady zapadliśka występują obecnie przed frontem orogenu karpackiego lub zostały włączone w jego obręb i tworzą zewnętrzne jednostki tektoniczne. Zalegają także na płaszczowinach karpackich oraz zachowały się w pozycji autochtonicznej pod nasunięciem karpackim (Oszczytko 2006, Oszczytko i in. 2008).

Na omawianym obszarze występują sfałdowane utwory mioceńskie zajmujące wąski pas wzdłuż brzegu Karpat i częściowo włączone w jego obręb tworząc jednostkę zglobicką (ryc. 1B, Kotlarczyk 1985, Połtowicz 1991). Jednostka ta nazywana była w literaturze również fałdami badeńskimi (Książkiewicz 1972), jednostką (płaszczowiną) bocheńską (Olewicz 1968, 1973) i jednostką Wojnicza (Koszarski 1985).

Według podziału geomorfologicznego Polski Południowej (Klimaszewski 1972) teren kopalni otworowej Barycz położony jest na granicy dwóch regionów geomorfologicznych: Wysoczyzny Wielicko-Gdowskiej wchodzącej w skład makroregionu Kotliny Sandomierskiej i Pogórza Wielickiego będącego częścią makroregionu Pogórze Karpackie (ryc. 2A, Rączkowska i in. 2012, Izmailow 2013).

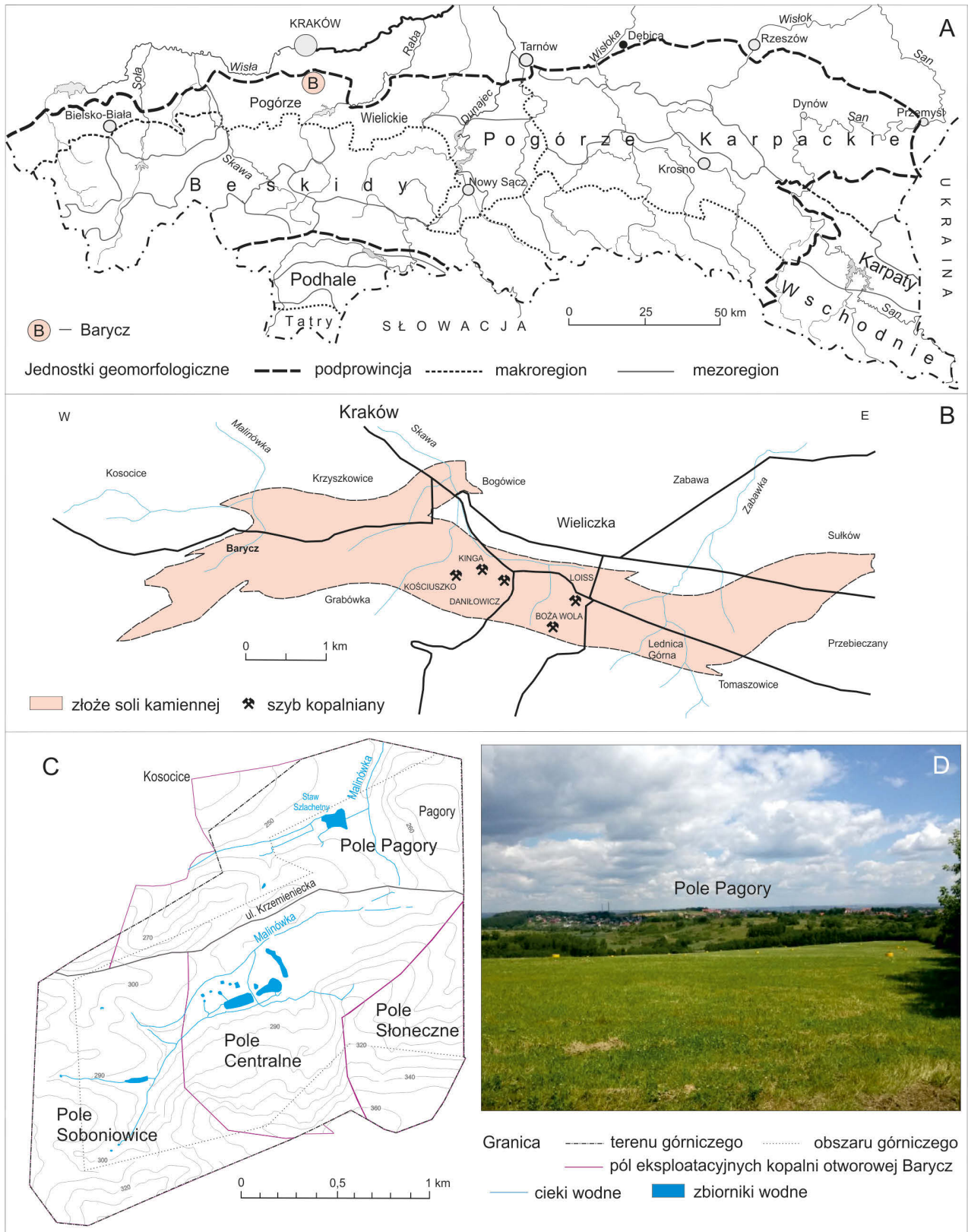
Według podziału na jednostki geomorfologiczne (Gilewska, Starkel 1979) teren górniczy kopalni Barycz w całości leży na Pogórzu Wielickim i charakteryzuje się rzeźbą pogórzy niskich (w części północnej) i średnich (w części południowej).

Złoże soli kamiennej w Baryczy, o długości ok. 2,5 km, stanowiło kontynuację złoża, które rozciąga się wąskim pasem pomiędzy Wieliczką na zachodnim jego krańcu, a Sułkowem, Łęzkowicami, Siedlcem, Moszczenicą, Łapczycą i Bochnią na krańcu wschodnim (ryc. 2B, Wiewiórka 1988). Na obszarze kopalni otworowej Barycz występują sfałdowane i spiętrzone utwory mioceńskie zawierające formację solną (Połtowicz 1977).



Ryc. 1. Budowa geologiczna obszaru badań. A. Położenie kopalni Barycz na tle jednostek geologicznych (Żyto i in. 1989 za Margielewski i in. 2008); B. Miocen strefy karpackiej między Wieliczką a Dębicą (Połtowicz 1991 za Cyran 2008); C. Przekrój przez zachodnią część złoża w Baryczy (Batko 1973 za Cyran 2008); D. Przekrój przez wschodnią część złoża w Baryczy (Batko 1973 za Cyran 2008)

Fig. 1. Geological structure of the research area. A. Location of the Barycz mine against the background of geological units (Żyto et al. 1989 after Margielewski et al. 2008); B. Miocene of the Carpathian zone between Wieliczka and Dębica (Połtowicz 1991 after Cyran 2008); C. Cross-section through the western part of the deposit in Barycz (Batko 1973 after Cyran 2008); D. Cross-section through the eastern part of the deposit in Barycz (Batko 1973 after Cyran 2008)



Ryc. 2. Obszar badań. A. Położenie kopalni Barycz na tle jednostek geomorfologicznych (na podstawie Rączkowska i in. 2012); B. Złoże soli kamiennej Wieliczka – Barycz (Wiewiórka 1988); C. Pola eksploatacyjne kopalni otworowej Barycz (Mazurek 2007; Mapa topograficzna 1:10 000, arkusz Wieliczka, 1996); D. Widok na Pole Pagory (fot. M. Olesińska)

Fig. 2. Study area. A. Location of Barycz mine against the background of geomorphological units (based on Rączkowska et al. 2012); B. The Wieliczka – Barycz rock salt deposit (Wiewiórka 1988); C. Exploitation fields of the Barycz borehole mine (Mazurek 2007; Topographic map 1:10,000, Wieliczka sheet, 1996); D. View of the Pagory Field (photo by M. Olesińska)

Południową granicę złoża soli stanowi krawędź tektonicznego wyklinowania się warstw fliszu karpackiego (ryc. 1C, D), północną i zachodnią zaś przejście w faćę siarczanową. Od strony wschodniej granicą złoża jest filar ochronny, który ustanowiono w 1958 r. (Batko 1973, Garlicki 1979, Cyran 2007).

W części zachodniej złoża zalega pod nasunięciem fliszu karpackiego, największą miąższość osiąga pod czołem nasunięcia fliszowego, która zmniejsza się ku północnej granicy, gdzie złożo zwęża się i kończy (ryc. 1C, Batko 1973). W części wschodniej przed nasunięciem fliszu, pod pokrywą czwartorzędową występuje szczątkowe złożo bryłowe. Złożo pokładowe zalega głębiej (około 220 m) i w odróżnieniu od części wschodniej nie kończy się w pobliżu brzegu nasunięcia Karpat, a przechodzi ku północy w złożo autochtoniczne (ryc. 1D, Batko 1973). W złożu Barycz istnieje zarówno złożo pokładowe jak i bryłowe soli, jednak wartość zasobową stanowiło tylko złożo pokładowe (Gawel 1962, Wiewiórka 1988, d'Obyrn 2013).

W opracowaniu, przyjętą granicą obszaru badań jest granica terenu górniczego. Powierzchnia obszaru badań wynosi nieco ponad 422 ha. W jego obrębie wydziela się 4 pola eksploatacyjne (Centralne, Słoneczne, Soboniowice, Pagory), których powierzchnia liczy 255 ha (ryc. 2C, Mazurek 2007).

Historia eksploatacji soli kamiennej w Baryczy

Pod koniec XIX w. w konsekwencji rozwoju technologii, nastąpiło zainteresowanie pozyskiwaniem

solanki na skalę przemysłową. Na zlecenie Krakowskich Zakładów Sodowych Solvay pierwsze drążenia komór rozpoczęto w 1881 r. Były to odwierty o głębokości około 50 m. Kolejne odwierty wykonane w latach 1885–1887, potwierdziły zaleganie pokładów soli na głębokościach pomiędzy 219 a 252 m (Batko 1974). Na podstawie analizy rdzenia wydobytego w latach 1880–1890 potwierdzono występowanie złóż soli, nie zdecydowano się jednak rozpocząć wydobywania głębinowego (Charkot 2011). Dopiero od 1923 r. po wykonaniu dwóch kolejnych otworów zdecydowano się rozpocząć właściwą eksploatację. Oficjalne otwarcie kopalni nastąpiło w 1924 r. Odwierty lokalizowano na podstawie ówczesnej znajomości morfologii terenu, a także statusu własnościowego działek. Chaotycznie prowadzona eksploatacja oznaczała powstanie niekontrolowanych deformacji, tj. zapadlisk, a także osuwisk. Do 1961 r. prace wydobywcze odbywały się głównie w środkowej części obszaru nazwanym Polem Centralnym (ryc. 2C). Było ono najintensywniej eksploatowanym fragmentem obszaru badań. W latach 1962–1998 obszar górniczy powiększono o kolejne pola: Słoneczne, Soboniowice i Pagory (ryc. 2C). W tym czasie, prace wydobywcze prowadzono w czterech polach eksploatacyjnych (tab. 1, Kuc 2015).

Proces pozyskiwania surowca był podzielony na trzy etapy (1924–1945, 1946–1960, 1961–1998), w trakcie których wydobyto łącznie 10,6 Mg soli w solance (Zarząd Kopalni Soli „Wieliczka” S.A., 2014). W 1974 r. na części terenów wyłączonych z eksploatacji, w powstałych zapadliskach terenu, utworzono wysypisko odpadów komunalnych dla Krakowa i Wieliczki, które działa do dziś. W związku ze spad-

Tabela 1. Charakterystyka pól eksploatacyjnych na obszarze kopalni otworowej Barycz (wg Mazurek 2007, d'Obyrn 2013)

Table 1. Characteristics of exploitation fields in the area of Barycz borehole mine (acc. to Mazurek 2007, d'Obyrn 2013)

Charakterystyki	Jednostka	Pole			
		Centralne	Słoneczne	Soboniowice	Pagory
Lokalizacja		na południe od ul. Krzemienieckiej	w części wschodniej obszaru	w części zachodniej obszaru	na północ od ul. Krzemienieckiej
Powierzchnia terenu górniczego	[ha]	121,8	50,2	119,9	130,5
Powierzchnia obszaru górniczego	[ha]	53,7	16,4	9,7	13,6
Miąższość pokładu	[m]	5–130	5–80	5–30	5–30
Głębokość zalegania stropu warstwy solnej	[m]	140	250	180	210
Czas trwania eksploatacji	[–]	1924–1945; 1946–1960; 1961–1998	1961–1969; 1995–1998	1962–1998	1967–1998
Liczba otworów wiertniczych	[–]	363	180	180	250
Rozmieszczenie otworów wiertniczych		początkowo siatka kwadratów o bokach długości 50–120 m; nieregularna siatka trójkątów	regularna siatka trójkątów o boku długości 30 m	regularna siatka trójkątów o boku długości 30 m	regularna siatka kwadratów o boku długości 30 m



Ryc. 3. Pomnik upamiętniający kopalnię otworową Barycz. A) Trójnóg eksploatacyjny w formie ostrostłupa montowany nad otworem wiertniczym (fot. J. Świąchowicz); B) Tablica informacyjna upamiętniająca byłą kopalnię (fot. J. Świąchowicz); C) Dwa zawory i zegar wchodzące w skład uzbrojenia otworów wiertniczych (fot. J. Świąchowicz)

Fig. 3. A monument commemorating the Barycz borehole mine. A) A mining tripod in the form of a pyramid mounted above the drilling hole (photo by J. Świąchowicz); B) Information board commemorating the former mine (photo by J. Świąchowicz); C) Two valves and a clock included in the drilling equipment (photo by J. Świąchowicz)

kiem rentowności wydobycia, eksploatację soli zakończono w 1998 r. pozostawiając 1024 wywiercone otwory, z których 44 było odwiertami wykorzystywanymi w celach badawczych (Mazurek 2007). Od tej daty prowadzone były prace związane z likwidacją pustek podziemnych oraz działania zmierzające do rewitalizacji obszaru (Mazurek 2007, Charkot 2011). Całość prac zakończono w 2012 r. Eksploatacja soli kamiennej w kopalni otworowej Barycz trwała nieprzerwanie przez 74 lata. W 2014 roku w 90. rocznicę uruchomienia kopalni otworowej Barycz, odsłonięto pomnik upamiętniający to wydarzenie. Pomnik zlokalizowano przy byłym jej budynku administracyjnym przy ul. Krzemienieckiej 63 (ryc. 3).

Materiały i metody

Na podstawie archiwalnych map topograficznych z lat 1935–1996, zdjęć lotniczych (1957, 1975), rękopiśmiennej mapy geomorfologicznej (1979), obrazu satelitarnego CODGiK (2014) oraz danych udostępnionych w internetowej Centralnej Bazie Danych Geologicznych (PIG-PIB 2023) przeprowadzono analizę zmian rzeźby terenu w czasie ostatnich 100 lat na terenie górniczym kopalni otworowej Barycz (tab. 2). Polegała ona na wykonaniu, na dostępnych podkładach kartograficznych, 8 map głównych elementów rzeźby terenu odnoszących się odpowiednio do roku 1935, 1937, 1957, 1975, 1978, 1992, 1996 i 2014. Do oceny zmian rzeźby wykorzystano również rękopi-

śmienną mapę geomorfologiczną w skali 1:25 000 wykonaną w Zakładzie Geomorfologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie wykonaną pod kierunkiem M. Tyczyńskiej w 1979 r. Wykorzystany w pracy podkład topograficzny obszaru badań (ryc. 2C) został opracowany na podstawie mapy topograficznej w skali 1:10 000 (1996) i uwzględnia granice terenu i obszaru górniczego.

Ze względu na niejednorodny materiał kartograficzny (różna skala, stopień generalizacji i układ odniesienia wykorzystany przy wykonywaniu map) uzyskany obraz rzeźby przekształconej przez górniczą działalność człowieka jest tylko pewnym przybliżeniem i nie uwzględnia wszystkich szczegółów. Mimo tego, możliwe było prześledzenie tych zmian oraz dokonanie ich jakościowej i ilościowej charakterystyki w poszczególnych okresach eksploatacji. Brano pod uwagę takie parametry form naturalnych i antropogenicznych jak ich liczba, powierzchnia, a dla form liniowych – długość (Kuc 2015). Efektem końcowym były mapy przedstawiające główne elementy rzeźby, na których różny stopień przekształcenia obszaru przez działalność górniczą.

Obszar badawczy podzielono na 4 części, nawiązujące częściowo do historycznego przebiegu granic pól wydobywczych (ryc. 2C). Powierzchnia obszarów, które wyznaczono, jest większa od powierzchni, gdzie bezpośrednio prowadzono eksploatację. Dzięki temu możliwe było prześledzenie zmian jakie spowodowała eksploatacja soli zarówno w terenie bezpośrednio graniczącym z miejscami wydobycia, jak również w obszarach je otaczających.

Tabela 2. Źródła danych wykorzystywane do oceny zmian rzeźby terenu obszaru kopalni otworowej Barycz
 Table 2. Data sources used to assess changes in the topography of the Barycz borehole mine area

Lp.	Nazwa/ Autor	Skala	Rok	Wydawca/ Instytucja	Miejsce wydania
1	Mapa topograficzna, arkusz Ojców–Kraków–Wieliczka	1:25 000	1935	Wojskowy Instytut Geograficzny	Warszawa
2	Mapa topograficzna, arkusz Pilzno	1:100 000	1937	Wojskowy Instytut Geograficzny	Warszawa
3	Mapa geologiczna, arkusz Bochnia, autor: J. Burtan	1:50 000	1954	Państwowy Instytut Geologiczny	Warszawa
4	Zdjęcie lotnicze okolic Krakowa		1957	Zbiory Kartograficzne IGIGP UJ,	Kraków
5	Zdjęcie lotnicze okolic Krakowa		1975	Zbiory Kartograficzne IGIGP UJ,	Kraków
6	Mapa topograficzna, arkusz Wieliczka	1:10 000	1978	Główny Geodeta Kraju	Warszawa
7	Mapa geomorfologiczna okolic Krakowa, autor: M. Tyczyńska, rękopis	1:25 000	1979	Zakład Geomorfologii IGiGP UJ	Kraków
8	Mapa geomorfologiczna miasta Krakowa, autor: M. Tyczyńska	1:50 000	1988	Instytut Geografii UJ	Kraków
9	Mapę topograficzna, arkusz Wieliczka	1:10 000	1992	Główny Geodeta Kraju	Warszawa
10	Mapę topograficzna, arkusz Wieliczka	1:10 000	1996	Główny Geodeta Kraju	Warszawa
11	Mapy tematyczne obszaru będące załącznikami do Projektu Miejscowego Zagospodarowania Przestrzennego Obszaru „Barycz” w Krakowie, autor: Pracownia Projektowa Mirosław Wiśniewski – Urbanistyka i Architektura		2006	Urząd Miasta Krakowa	Kraków
12	Dane skaningu laserowego LIDAR		2014	Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej	Warszawa

Rzeźba terenu w poszczególnych okresach eksploatacji

Rzeźba terenu przed rozpoczęciem eksploatacji soli kamiennej (przed 1924)

Jedynym źródłem informacji na podstawie którego możliwe było w stopniu przybliżonym poznanie i scharakteryzowanie rzeźby części terenu kopalni otworowej Barycz w latach poprzedzających rozpoczęcie eksploatacji soli jest fragment arkusza mapy topograficznej Ojców–Kraków–Wieliczka w skali 1:25 000, wydanej w 1935 r. Kartowanie topograficzne terenu na podstawie którego wykonano mapę, odbyło się w latach 1875–1900. Arkusz mapy nie obejmuje zachodniej części obszaru, co uniemożliwia analizę rzeźby tego fragmentu terenu (ryc. 4A).

Prawie cały teren górniczy kopalni otworowej Barycz jest położony w górnej części zlewni Potoku Malinówka, lewobrzeżnego dopływu Serafy, która jest prawobrzeżnym dopływem Wisły. Źródło Malinówki znajduje się na wzgórzu Rajsko (Pogórze Wielickie) w Soboniowicach (ryc. 2A, Baścik 2013). W gór-

nym odcinku Potok Malinówka biegnie przez obszar z południowego-zachodu (SW) na północny-wschód (NE), następnie w środkowych w kierunku wschodnio-północno-wschodnim (ENE), by dalej w dolnym odcinku (na wysokości ul. Krzemienieckiej) zmienić swój bieg w kierunku północnym (N) pomiędzy wzgórzami Pagory i Kosocice (ryc. 2C).

Obszar zajęty przez kopalnię Barycz, przed rozpoczęciem eksploatacji soli, posiadał w części północnej cechy charakterystyczne dla rzeźby wysoczyzn typowych dla Kotliny Sandomierskiej, a w części południowej cechy rzeźby pogórskiej typowej dla północnego skłonu Karpat (Tyczyńska 1968, Tyczyńska, Izmailow 1996, Izmailow 2013). Potok Malinówka w środkowym odcinku swego biegu oddzielał te dwie jednostki od siebie. Teren położony na północ od koryta Malinówki tworzyły niskie (do 270 m n.p.m.) grzbiety zbudowane z ilów mioceńskich i margli kredowych, których wierzchowiny były płasko ścięte poziomem erozyjno-denudacyjnym na wysokości 30–40 m ponad dno dolin. Stoki o profilach wypukło-wklęsłych, wycięte w utworach mioceńskich rozczłonkowane były krótkimi nieckami denudacyjnymi o płaskich podmokłych dnach,

a niektóre z nich były płytko rozcięte korytami potoków (ryc. 4A).

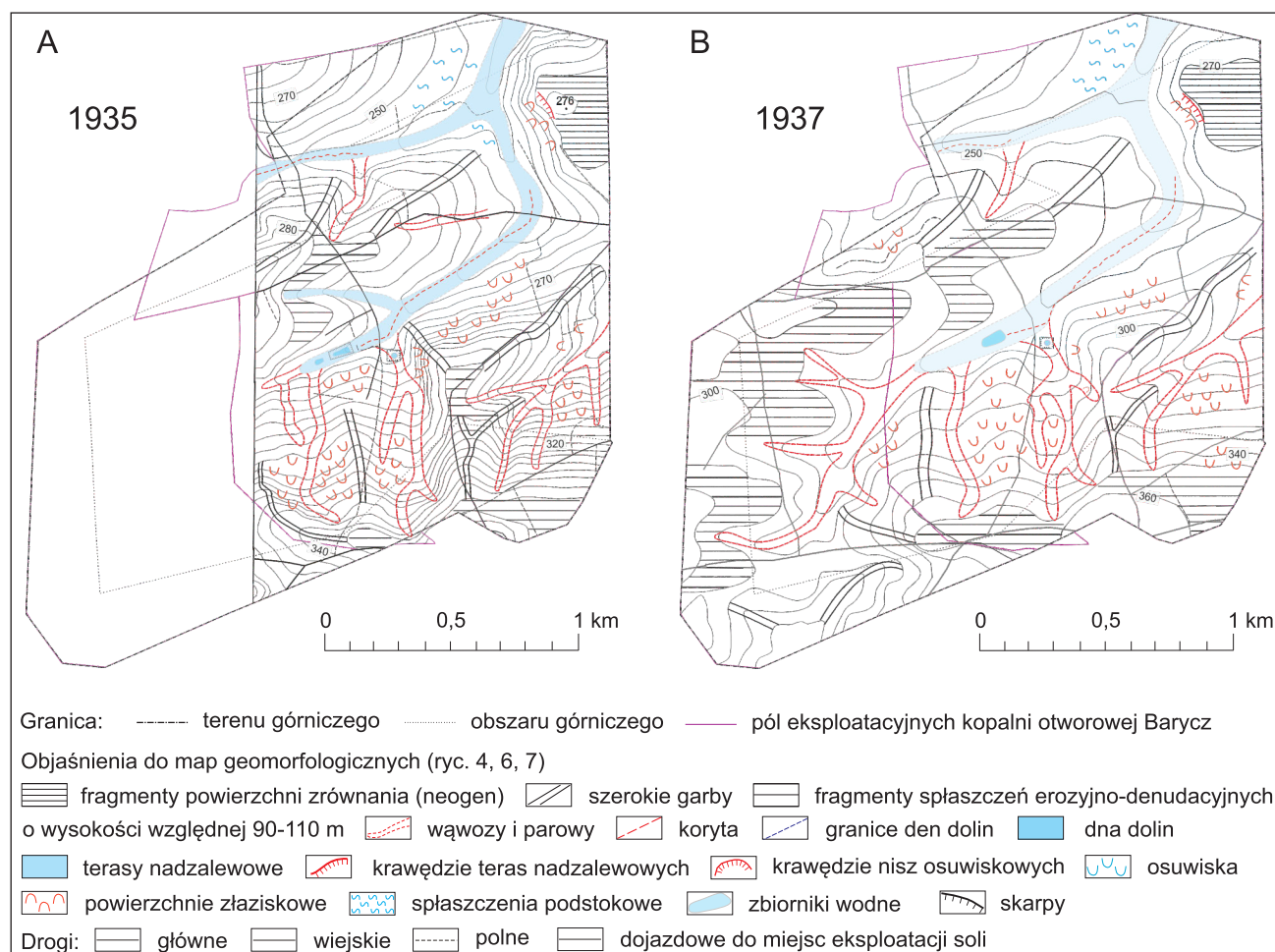
Teren położony na południe od środkowego biegu Potoku Malinówka tworzyły grzbiety zbudowane z piaskowców, łupków i margli kredowych okryte pokrywami soliflukcyjnymi i utworami lessowymi. Wierzchowina grzbietów była płaska ścięta poziomem erozyjno-denudacyjnym na wysokości 90–110 m. Nachylenie stoków było większe niż w części północnej. W ich obrębie zaznaczały się spłaszczenia erozyjno-denudacyjne o wysokości względnej 40–50 m. Stoki były rozczłonkowane dolinami nieckowatymi i modelowane przez procesy masowe (ryc. 4A).

Dno doliny Malinówki było stosunkowo szerokie (150–200 m) i rozcięte (zapewne płytko) korytem rzeczny. W dolnym biegu dolina o przebiegu z południa na północ była szeroka, podmokła, o niewielkim spadku bez wyraźnie zaznaczającego się koryta. Dolina nieckowata współczesnego lewobrzeżnego dopływu Malinówki uchodzącego do Stawu Szla-

chetnego, która przebiegała prawie równoleżnikowo z W na E, była odwadniana okresowo (ryc. 2C).

Bieg poziomic na mapie topograficznej z 1935 r. nie wskazuje na występowanie w granicach obszaru zapadlisk. W północnej części zarysowuje się wyraźna krawędź niszy osuwiskowej. Procesy masowe w tej części obszaru nie mogły wynikać z działalności górniczej, ponieważ eksploatację w północnej jego części rozpoczęto w latach 60. XX w. Występowanie drobnych osuwisk, zerw i powierzchni złaziskowych było konsekwencją naturalnych procesów geomorficznych uwarunkowanych budową geologiczną, erozyjną działalnością potoku, którego koryto przebiega u podnóża wspomnianego wzniesienia oraz z intensywną uprawą roli prowadzoną wtedy w granicach omawianego obszaru.

Na mapie głównych elementów rzeźby wykonanej na podstawie mapy topograficznej arkusz Ojców-Kraków-Wieliczka (1935) spłaszczenia zajmowały 25,5 ha, co stanowiło około 6% powierzchni całko-



Ryc. 4. Rzeźba obszaru badań – część 1. A. Główne formy rzeźby obszaru kopalni otworowej Barycz w 1935 r. (na podstawie arkusza mapy topograficznej Ojców-Kraków-Wieliczka, 1935); B. Główne formy rzeźby obszaru kopalni otworowej Barycz w 1937 r. (na podstawie arkusza mapy topograficznej Pilzno, 1937)

Fig. 4. The relief of the study area – part 1. A. The main relief forms of the area of the Barycz borehole mine in 1935 (based on the Ojców-Kraków-Wieliczka topographic map sheet, 1935); B. Main relief forms of the area of the Barycz borehole mine in 1937 (based on a sheet of the topographic map of Pilzno, 1937)

witej omawianego obszaru. Powierzchnia dna doliny Malinówki oraz jej lewobrzeżnego dopływu wynosiła około 21,7 ha (5,1%). Krótkie doliny epizodycznych i okresowych dopływów Malinówki rozcinające stoki zajmowały około 18,2 ha, co odpowiadało 4,3% powierzchni. Pozostałą powierzchnię stanowiły stoki.

Przed rozpoczęciem eksploatacji soli, w granicach terenu górniczego nie było rozbudowanej sieci drogowej. Łączna długość dróg wynosiła 6,8 km (Kuc 2015). Większość stanowiły 3 główne trakty. Skala mapy źródłowej i zastosowana generalizacja uniemożliwiają poznanie przebiegu mniejszych dróg dojazdowych do domostw i pól uprawnych. Z drogami wiązały się przeobrażenia powierzchni terenu w postaci wcięć i nasypów drogowych.

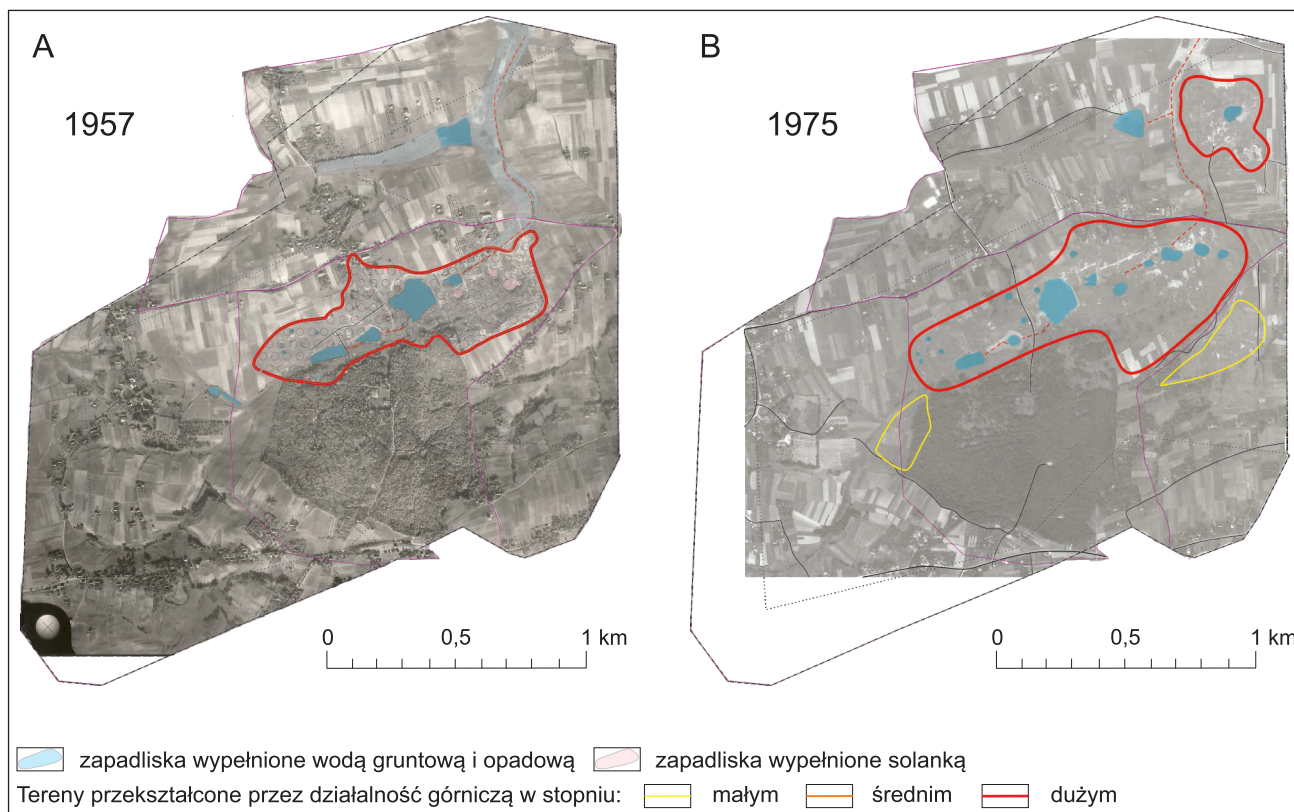
Zgodnie z podziałem Gilewskiej i Starkla (1979) cały teren górniczy położony był na Pogórzu Wielickim. Rzeźba obszar położonego na północ od środkowego biegu Malinówki zaliczona została do typu pogórzy niskich, a rzeźba obszaru położonego na południe do typu rzeźby pogórzy średnich. Niezależnie od przyjętego podziału geomorfologicznego, zasadnicze cechy morfograficzne i morfometryczne rzeźby są takie same.

Rzeźba terenu w trakcie eksploatacji (1924–1998)

Wydobycie soli kamiennej prowadzono na 4 polach eksploatacyjnych. Największą powierzchnię miało Pole Pagory, a najmniejszą Pole Słoneczne (ryc. 2C, tab. 1).

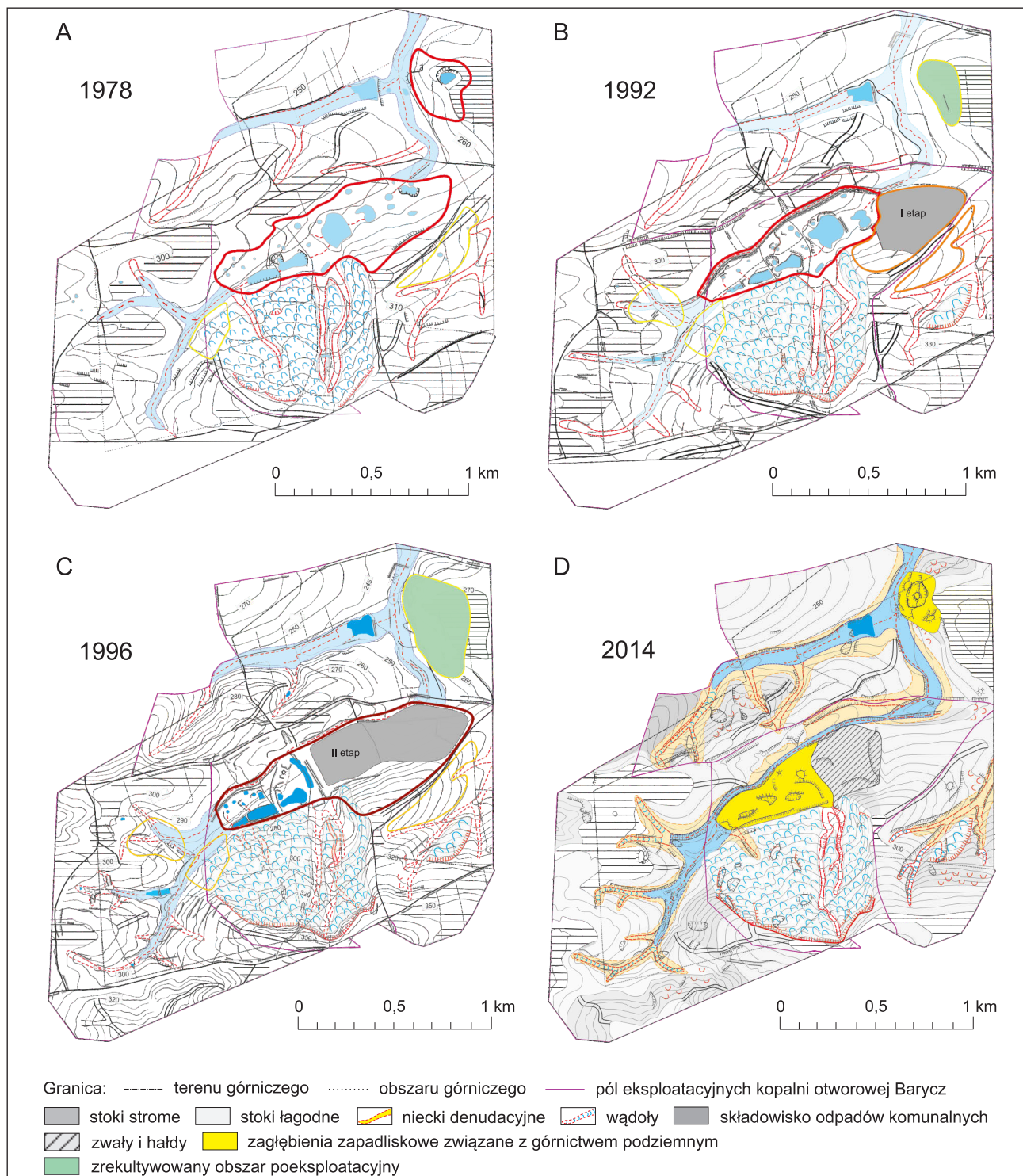
Pole Centralne

Eksploatacja soli metodą otworową w Polu Centralnym była prowadzona z przerwami od 1924 do lat 90. XX w. Według mapy topograficznej arkusz Ojców–Kraków–Wieliczka z 1935 r. obszar wznosił się od 250 (dno doliny Malinówki w północnej granicy pola) do 355 m n.p.m (południowa granica pola). Stanowiły go powierzchnie zrównania (6,8 ha), grzbiety łącznej długości około 1,3 km, stoki o niewielkim (10–15°) nachyleniu (56,6 ha) i stoki strome (15 do 25°) – 16,9 ha. Centralną część pola stanowiło (rozcięte wyraźnym korytem) dno (9,2 ha) i zbocza doliny Malinówki (ryc. 2C, 4A). Stoki w południowej części pola rozcięte były krótkimi dolinami nieckowatymi, a w centralnej części widoczne były powierzchnie złaziskowe. W zachodniej części pola w dolinie Malinówki widoczne są trzy zbiorniki o różnych po-



Ryc. 5. Zapadliska na obszarze kopalni otworowej Barycz. A. Zapadliska 1957 r. (na podstawie zdjęcia lotniczego, 1957); B. Zapadliska w 1975 r. (na podstawie zdjęcia lotniczego, 1975). Pozostałe objaśnienia na ryc. 4

Fig. 5. Sinkholes in the area of the Barycz borehole mine. A. Sinkholes in 1957 (based on an aerial photo, 1957); B. Sinkholes in 1975 (based on an aerial photo, 1975). Other explanations in Fig. 4



Ryc. 6. Rzeźba obszaru badań – część 2. A. Główne formy rzeźby obszaru kopalni otworowej Barycz w 1978 r. (na podstawie arkusza mapy topograficznej Wieliczka, 1978); B. Główne formy rzeźby obszaru kopalni otworowej Barycz w 1992 r. (na podstawie arkusza mapy topograficznej Wieliczka, 1992); C. Główne formy rzeźby obszaru kopalni otworowej Barycz w 1996 r. (na podstawie arkusza mapy topograficznej Wieliczka, 1996); D. Główne formy rzeźby obszaru kopalni otworowej Barycz w 2014 r. (na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego CODGiK 2014). Pozostałe objaśnienia na ryc. 4

Fig. 6. The relief of the study area – part 2. A. Main relief forms of the area of the Barycz borehole mine in 1978 (based on a topographic map of Wieliczka, 1978); B. Main relief forms of the area of the Barycz borehole mine in 1992 (based on a topographic map of Wieliczka, 1992); C. Main relief forms of the area of the Barycz borehole mine in 1996 (based on a topographic map of Wieliczka, 1996); D. Main relief of the Barycz borehole mine area in 2014 (based on LIDAR airborne laser scanning data, CODGiK 2014). Other explanations in Fig. 4

wierzchniach, znajdujące się na terenie Fabryki Sody (ryc. 4A, *Mapa topograficzna... 1935*).

Na mapie topograficznej z 1937 r. (*Mapa topograficzna... 1937*) przebieg poziomicy pozwala na wyróżnienie rozbudowanej struktury form dolinnych rozcinających stoki o powierzchni 12,3 ha (ryc. 4B). Bieg koryta Malinówki nie zmienił się, a w dnie doliny zaznaczono zbiornik wodny o powierzchni około 0,5 ha, który utworzył się zapewne w wyniku osiadania terenu związanego z eksploatacją. Łączna długość dróg wyniosła 2,6 km (ryc. 4B).

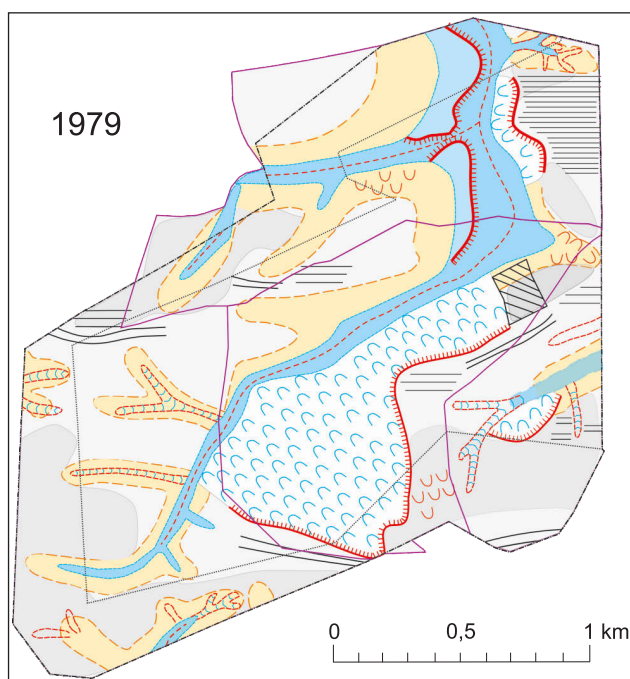
W okresie dwudziestu kolejnych lat rzeźba Pola Centralnego uległa znacznym przekształceniom (ryc. 4C). Nowym elementem w centralnej części pola są zapadliska terenu, w których zbierała się solanka lub woda, tworząc lokalne zbiorniki. Na zdjęciu lotniczym z 1957 r. widoczne jest 14 takich zbiorników zlokalizowanych na południe od ul. Krzemienieckiej, o łącznej powierzchni około 3,2 ha (ryc. 5A). W związku z intensywną eksploatacją tworzone były nowe drogi dojazdowe, a teren wokół był wyrównywany w wyniku pracy ciężkiego sprzętu używanego w trakcie prac górniczych. Długość grzbietów, powierzchnia spłaszczeń i stoków nie uległy znacznym zmianom w stosunku do okresu wcześniejszego. Koryto potoku Malinówka zostało zabudowane w gra-

nicach terenu przekształconego przez wydobycie soli. Obszar przekształcony przez intensywną eksploatację stanowił aż 26,6% całej powierzchni Pola Centralnego (*Zdjęcie lotnicze 1957*).

W kolejnych latach eksploatacji dochodziło do powstania licznych spękań na powierzchni terenu oraz zapadlisk. Skutki tych zdarzeń zostały zarejestrowane na zdjęciu lotniczym wykonanym w 1975 r., na którym widoczne są zapadliska wypełnione wodą lub solanką (ryc. 5B). Obszar przekształcony przez eksploatację soli wyraźnie się powiększył. W jego granicach położone było 18 zbiorników, część powstała w wyniku gwałtownego zapadnięcia się terenu. Łącznie, zajmowały one około 9% całego przekształconego terenu. Zwiększono długość dróg i zabudowano także koryto Malinówki w jej górnym biegu (ryc. 3D, *Zdjęcie lotnicze 1975*).

Pomimo tego, że eksploatacja w Polu Centralnym zmniejszała się stopniowo na rzecz wydobycia w innych częściach obszaru, to powierzchnia terenu przekształconego przez kopalnię w roku 1978 wynosiła około 46,2 ha, czyli o 5 ha więcej w stosunku do roku 1975. W jego granicach wyróżnić można było 23 zbiorniki wodne o łącznej powierzchni 5,2 ha. W tym 5 nowych, a powierzchnia pozostałych zwiększyła się (ryc. 6A, *Mapa topograficzna... 1978*). Zaznaczone są krawędzie umiejscowione na brzegach lub w bliskiej odległości zbiorników wodnych, co potwierdza, że powstały one poprzez zapadanie się warstw podłoża. Na mapie widoczne są również zmiany rzeźby związane z zagospodarowaniem terenu poeksploatacyjnego jako składowiska odpadów, a polegające na niwelowaniu zapadlisk we wschodniej części pola poprzez ich zasypanie. Bardzo dużą powierzchnię pola zajmowało osuwisko (około 45,4 ha) rozcięte dolinkami. Jego południową granicę, a zarazem granicę pola stanowiła krawędź niszy osuwiskowej. Pozostałe elementy rzeźby tj. grzbiety, powierzchnie zrównania, stoki nie uległy większym zmianom (ryc. 6A).

Na rękopiśmiennej mapie geomorfologicznej w skali 1:25 000 z 1979 r. (Tyczyńska i in. 1979) na podstawie kartowania terenowego wykonanego zgodnie z instrukcją (Klimaszewski 1968) wyróżniono podobne kategorie form jak na zawartych w artykule mapach głównych elementów rzeźby wykonanych na pochodzących z różnych lat mapach topograficznych. Zmieniła się tylko powierzchnia niektórych wyróżnionych form. Formami, których powierzchnie nie wykazują znaczących różnic są osuwisko, grzbiety, spłaszczenia i stoki. Ze względu na skalę, na mapie geomorfologicznej nie wyznaczono w Polu Centralnym terenu przekształconego przez eksploatację soli. Zaznaczono jedynie niewielki fragment terenu (ok. 3,1 ha) w północno-wschodniej części pola oznaczony jako zwały i hałdy (ryc. 7). Różnice, np. w przebiegu koryta Malinówki, są wynikiem różnie-



Ryc. 7. Mapa geomorfologiczna obszaru kopalni otworowej Barycz w 1979 r. (na podstawie rękopiśmiennej mapy geomorfologicznej w skali 1:25 000 (1979). Objasnienia na ryc. 4

Fig. 7. Geomorphological map of the area of the Barycz borehole mine in 1979 (based on a handwritten geomorphological map in the scale of 1:25,000 (1979). Explanations in Fig. 4

go poziomu szczegółowości bazowych materiałów kartograficznych.

Na początku lat 90. XX w., w północnej części Pola Centralnego, około 1/3 obszaru poeksploatacyjnego zajmowało składowisko odpadów. Na pozostałej powierzchni zlokalizowane było 20 zbiorników wodnych o łącznej powierzchni około 4,5 ha, w pobliżu których zaznaczone były krawędzie pochodzenia antropogenicznego świadczące o intensywnych procesach zapadliskowych (ryc. 6B, *Mapa topograficzna...* 1992). Powierzchnia osuwiska, w centralnej części Pola nie mieniła się. Koryto Malinówki zostało przesunięte równoleżnikowo w kierunku północnym o około 350 m. Wzrosła także długość nasypów drogowych oraz całkowita długość dróg (ryc. 6B).

Na mapie topograficznej w skali 1:10 000 przedstawiającej sytuację z roku 1996 znaczną powierzchnię terenu przekształconego przez eksploatację zajmo-

wał składowisko odpadów (ryc. 6C). W zachodniej części nadal występowały zbiorniki wodne (ryc. 8A, B), których wówczas było 12 o łącznej powierzchni około 2,7 ha.

Powierzchnia osuwiska w centralnej części pola nie uległa zmianie. W ciągu dwóch lat poprzedzających oficjalne zamknięcie kopalni nastąpiło dalsze zmniejszenie powierzchni eksploatowanej i próba zagospodarowania terenu pomimo zagrożenia powstaniem kolejnych zapadlisk. Rzeźba nadal zachowała swoje główne cechy, jednak prowadzone wydobycie przyczyniło się do zintensyfikowania głównie ruchów masowych. Dno doliny i koryto Malinówki oraz jej lewobrzeżnego dopływu zostało całkowicie przekształcone. Nastąpiła dalsza zmiana biegu koryta, jego skanalizowanie i obudowanie. Zwiększyła się liczba i długość dróg, która w 1996 r. wynosiła niecałe 4 km (ryc. 6C).



Ryc. 8. Zmiany rzeźby terenu na skutek eksploatacji soli kamiennej. A. Jedno z zapadlisk na Polu Centralnym w 1996 r.; B. Zapadlisko główne na Polu Centralnym w 1996 r.; C. Wiercenie na Polu Słonecznym w 1996 r.; D. Orurowanie na Polu Pagory w 1996 r. (fot. W. Kuc)

Fig. 8. A. One of the sinkholes on the Central Field in 1996; B. Main sinkhole on the Central Field in 1996; C. Drilling on the Słoneczne Field in 1996; D. Drilling on the Pagory Field in 1996 (photo by W. Kuc)

Pole Słoneczne

Eksploatacja soli w Polu Słonecznym (50,2 ha) trwała w latach 1961–1969 i 1995–1998). Obszar wznosił się od 270 do 360 m n.p.m. i był zdecydowanie mniej intensywnie eksploatowany niż wcześniej opisane Pole Centralne. Formy rzeźby przedstawione zarówno na mapach topograficznych (1935, 1937), jak i zdjęciu lotniczym (1957) nie uległy wyraźnym zmianom. Centralną część pola stanowił system dolin nieckowatych. Większość obszaru to były stoki, a w obrębie wierzchowiny występowały spłaszczenia erozyjno-denudacyjne. Około 10% obszaru zajmowały powierzchnie osuwiskowo-złaziskowe. Łączna długość dróg wynosiła 2,2 km (ryc. 4A, B, 5A).

W roku 1975 obszary bezpośrednio przekształcone przez eksploatację zajmowały ok. 5,7 ha. W jego obrębie występują niewielkie spłaszczenia spowodowane pracami górniczymi z wykorzystaniem ciężkiego sprzętu. Ponad 1/3 tego terenu zajmują zwały i hałdy (ryc. 5B, *Zdjęcie lotnicze* 1975). W porównaniu z intensywnie eksploatowanym fragmentem Pola Centralnego, rzeźba na Polu Słonecznym przekształcona była w mniejszym stopniu. W jego granicach nie stwierdzono występowania zapadlisk, manifestujących się na mapach występowaniem obniżen wypełnionych wodą lub solanką. Na zdjęciu lotniczym widoczne były jednak nowe drogi dojazdowe w północnej części pola (ryc. 5B).

Na mapie topograficznej w skali 1:10 000 wykonanej w 1978 r. powierzchnia terenu przekształconego przez eksploatację nie zmieniła się znacząco względem stanu z 1975 r. i wynosiła około 5,9 ha. Jednak widoczne już były wyraźne zmiany rzeźby terenu w postaci 5 zapadlisk. Cztery z nich miały wyjątkowo regularny kształt, co wskazuje, że pełniły one funkcję magazynowania solanki (ryc. 6A). Na mapie geomorfologicznej w skali 1:25 000 wykonanej w 1979 r. w centralnej części pola zaznaczono niewielkie osuwisko wraz z krawędzią niszy osuwiskowej (Tyczyńska, Izmailow 1996). Rzeźba terenu przedstawiona na mapach topograficznych w roku 1992 i 1996 nie uległa istotnym zmianom (ryc. 8D).

Pole Soboniowice

Powierzchnia trzeciego pod względem powierzchni Pola Soboniowice wynosiła 119,9 ha. Obszar wznosił się od 270 do 350 m n.p.m. Eksploatacja prowadzona była na jego niewielkim fragmencie w latach 1962–1998. Zmiany wywołane przez eksploatację soli były niewielkie. Na najstarszej mapie topograficznej Ojców–Kraków–Wieliczka z 1935 r. widoczne jest jedynie 6,7% całkowitej powierzchni Pola, które stanowią stoki i zbocza dolin. Najstarszy obraz rzeźby pochodzi z 1937 r. spłaszczenia wierzchowinowe zajmowały wówczas ok. 30,5 ha. Centralną część obszaru rozciągała głęboka rozgałęziona dolina nieckowata. Brak zaznaczonego biegu koryta Malinówki

(ryc. 4B, *Mapa topograficzna...* 1937). Na podstawie zdjęć lotniczych (1957, 1975) nie stwierdzono istotnych zmian w liczbie i wielkości form geomorfologicznych. W roku 1957 w centralnej części Pola widoczne były dwa zbiorniki wodne o powierzchni około 0,4 ha, a na zdjęciu wykonanym w 1975 r. obecności zbiorników nie stwierdzono (ryc. 5A, B, *Zdjęcie lotnicze* 1957, 1975). Na podstawie mapy topograficznej z 1978 r. stwierdzono, że powierzchnie zrównania i grzbiety nie uległy przekształceniom w odróżnieniu od dna doliny. W północnym fragmencie pola zlokalizowane były 4 małe zbiorniki wodne, powstałe w miejscu zapadlisk (ryc. 6A, Mazurek 2007).

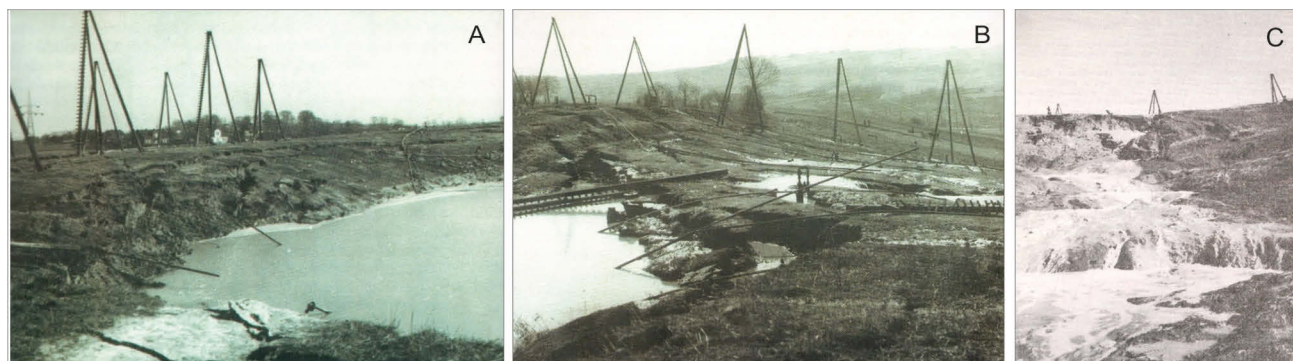
W latach 90. XX w., w związku z małą skalą prowadzonej eksploatacji przekształcony teren był stosunkowo niewielki. Były to formy zapadliskowe w obrębie den dolin w centralnym fragmencie obszaru (ryc. 6B, C).

Pole Pagory

Eksploatacja soli na Polu Pagory (130,5 ha) prowadzona była w latach 1967–1998 (ryc. 2C, tab. 1). Przed rozpoczęciem eksploatacji teren wznosił się od 240 do 285 m n.p.m. Stwierdzono występowanie spłaszczeń wierzchowinowych (12,6 ha, 270 m n.p.m.), stoki i zbocza miały niewielkie nachylenie, występowały niewielkie osuwiska i zerwy. Łączna długość sieci drogowej wynosiła 2,8 km (ryc. 4A, B, *Mapa topograficzna...* 1935 i 1937). Na zdjęciu lotniczym z 1957 r. stwierdzono występowanie osuwiska (1,5 ha), które powstało we wschodniej części pola zanim rozpoczęto wydobywanie soli oraz zbiornika wodnego (1,1 ha). Pozostałe formy rzeźby terenu nie uległy większym zmianom.

Po rozpoczęciu eksploatacji w 1967 r., we wschodnim fragmencie pola nastąpiły duże zmiany rzeźby terenu. W marcu 1974 r., miało miejsce nagłe, gwałtowne zapadnięcie się znacznej części terenu połączone z wyrzuceniem solanki (ryc. 9A, B, C). W jego wyniku utworzył się zbiornik o średnicy 150 m, który był widoczny na zdjęciu lotniczym z 1975 r. (ryc. 5B). Równocześnie nastąpiło wyrzucenie solanki do Malinówki i powstanie dwumetrowej fali powodziowej (ryc. 9C).

W kolejnych latach, powierzchnia terenu Pola Pagory przekształconego przez eksploatację zwiększyła się do powierzchni ok. 11 ha. W centralnej części pola, w dnie doliny zlokalizowane były trzy zbiorniki wodne. Część koryta potoku Malinówki została obudowana. Wzdłuż większych dróg widoczne są krawędzie nasypów (ryc. 6A, *Mapa topograficzna...* 1978). W kolejnych latach skutki katastrofalnych procesów osiadania zostały zniwelowane, a zapadlisko zasypane, a w jego miejsce utworzono formę wypukłą (ryc. 10B). Pomimo trwającej eksploatacji fragment we wschodniej części Pola Pagory posiadał cechy



Ryc. 9. Zapadlisko na Polu Pagory w 1974 r. (Archiwum Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.) A. Zniszczenia trójnogów eksploatacyjnych (fot. A. Batko); B. Liczne szczeliny i krawędzie na powierzchni (fot. A. Batko); C. Wyciek solanki i skażenie terenu (fot. A. Batko)

Fig. 9. Sinkhole in the Pagory Field in 1974 („Wieliczka” Salt Mine Archive S.A.). A. Destruction of mining tripods (photo by A. Batko); B. Numerous cracks and edges on the land surface (photo by A. Batko); C. Salt brine and contamination of the area (photo by A. Batko)

częściowo zrehabilitowanego. Powierzchnia obszaru eksploatacji wynosiła 14,9 ha (ryc. 6B, 6C, *Mapa topograficzna...* 1992 i 1996).

Zmiany rzeźby terenu spowodowane lokalizacją składowiska odpadów komunalnych

Intensywna eksploatacja soli metodą otworową spowodowała nieodwracalne zmiany w rzeźbie terenu kopalni otworowej Barycz. Obowiązek zagospodarowania, a także rekultywacji terenów poeksploatacyjnych spoczywał na Kopalni Soli „Wieliczka”. Wobec braku środków finansowych w Kopalni i poszukiwaniem przez władze Krakowa miejsca pod składowisko odpadów komunalnych podjęto decyzję, by na obszarze Pola Centralnego zlokalizować składowisko odpadów dla miasta Krakowa i gminy Wieliczki (d’Obyrn 2013).

Wypełnienie niecek i zapadlisk odpadami prowadzące do niwelacji terenu i zasypania go ziemią w celu przywrócenia dawnego ukształtowania stanowiło pierwszy etap prac rekultywacyjnych kopalni otworowej (d’Obyrn 2013). Składowisko rozpoczęło działalność w 1974 r. Miejskiemu Przedsiębiorstwu Oczyszczania udostępniony został obszar o powierzchni 36 ha. W latach 1974–1992 (I etap eksploatacji) składowisko zajmowało powierzchnię 12,5 ha. W latach 1992–2003 (II etap eksploatacji) powierzchnia składowiska wzrosła o 13 ha, a od 2003 do dzisiaj (III etap) powierzchnia wzrosła o 11 ha (Flak, Kultys 2010).

Obszar I etapu eksploatacji składowiska położony jest we wschodniej części Pola Centralnego. Obecnie teren ten jest zrehabilitowany, a na jego powierzchni utworzono niezbędną infrastrukturę obsługującą składowisko (drogi dojazdowe, zabudowania tech-



Ryc. 10. Zmiany rzeźby terenu związane z funkcjonowaniem składowiska odpadów komunalnych dla Krakowa i gminy Wieliczka. A. Sztuczne wzniesienia powstałe po wypełnieniu zapadliska na Polu Centralnym (fot. W. Kuc); B. Sztuczne wzniesienia powstałe po wypełnieniu zapadliska na Polu Pagory (pierwszy plan) i na Polu Centralnym (drugi plan) w 2014 r. (fot. J. Świąchowicz); C. Formy wypukłe sztucznie utworzone w miejscu zapadlisk na skutek składowania odpadów komunalnych w 2014 r. (fot. M. Olesińska)

Fig. 10. Changes in relief associated with the operation of the municipal landfill for Krakow and Wieliczka commune. A. Artificial hills created after filling the sinkhole in the Centralne Field (photo by W. Kuc); B. Artificial hills created after filling the sinkhole in the Pagory Field (foreground) and the on the Centralne Field (second plan) in 2014. (photo by: J. Świąchowicz); C. Convex forms artificially created in the place of sinkholes due to the municipal waste landfill in 2014 (photo: by M. Olesińska)

niczne oraz instalacja odgazowująca). Formy wklęsłe (zapadliska), które pozostały po wydobywaniu solanki, zasypano odpadami komunalnymi tworząc sztuczne wypukłe wzniesienia (ryc. 10A).

Zagospodarowanie obszaru II etapu eksploatacji wymagało monitoringu ruchów masowych zachodzących przy jego południowej granicy, a związanych z bliską obecnością osuwiska oraz wykonania dodatkowych zabezpieczeń stabilizujących teren. Wybudowano również kanały zabezpieczające obszar przed skażeniem odciekami. Formy zapadliskowe zostały zasypane, a w terenie widoczne są wzniesienia o sztucznie wyprofilowanych stokach zbudowanych z odpadów komunalnych, pokryte warstwą ziemi i głównie zadarnione (ryc. 10B). Obszar współczesnego składowania (III etap) tuż po zakończeniu eksploatacji soli charakteryzował się obecnością zapadlisk o największej powierzchni i głębokości. Został on wyrównany i pozostaje nadsypywany (ryc. 10C).

W momencie zakończenia składowania odpadów w III etapie przewiduje się, że charakter rzeźby terenu będzie zbliżony do pozostałych dwóch obszarów – zapadliska zostaną zasypane i sztucznie ukształtowane jako wzniesienia o wypukłych stokach (Dudek, Klimek 2011).

Rzeźba terenu po zakończeniu eksploatacji soli (od 1998)

Eksploatację soli metodą otworową zakończono w 1998 r. z powodu wyczerpywania się zasobów złoża, a także niewielkiej rentowności wydobywania (Mazurek 2007, Andrusikiewicz 2017). Aktualny stan rzeźby terenu po 74 latach eksploatacji soli oceniono na podstawie skaningu laserowego CODGiK (2014).

Na Polu Centralnym, w którym eksploatacja trwała (z kilkunastoletnimi przerwami) przez cały okres działalności kopalni, występowało wiele form antropogenicznych, które związane były z pracami górniczymi i sposobem eksploatacji soli. Były to liczne zagłębienia terenu, okresowo wypełnione wodą gruntową i opadową lub solanką. Współcześnie, część z nich jest zasypana i tworzy sztuczne formy wypukłe o wyprofilowanych stokach. Na terenie poeksploatacyjnym zarówno na stokach, jak i w dnach dolin występują liczne załomy i krawędzie. Część z nich jest elementem nasypów drogowych lub związane one były z pracami regulacyjnymi koryta Malinówki, którego bieg w wyniku eksploatacji został zmieniony. W granicach Pola Centralnego koryto to ma obecnie długość około 1,9 km. Znaczną powierzchnię zajmują osuwiska, których powstanie



Ryc. 11. Pole Pagory w 2014 r. (fot. J. Świąchowicz) A. Dno doliny Malinówki i wzniesienie w NE części pola; B. Sztuczne jezioro utworzone w dawnym zapadlisku; C. Jedna z utwardzonych dróg dojazdowych; D. Fragmenty rurociągów, którymi odprowadzano solankę; E. Jeden z odwiertów, którym tłoczono wodę pod ziemią w celu rozpuszczenia pokładu soli; F. Uregulowane i obudowane koryto Malinówki; G. Obszar zrehabilitowanego Pola Pagory z widocznymi nasadzeniami drzew

Fig. 11. Pagory field in 2014. (photo by J. Świąchowicz) A. The bottom of the Malinowka valley and the hill in the NE part of the field; B. An artificial lake created in a former sinkhole; C. One of the paved access roads; D. Fragments of pipelines used to discharge salt brine; E. One of the boreholes used to pump water under winter to dissolve the salt bed; F. The regulated and enclosed channel of the Malinówka; G. The area of the reclaimed Pagory Field with visible tree planting

uwarunkowane było zarówno przyczynami naturalnymi (budowa geologiczna, opady deszczu) jak i antropogenicznymi związanymi z eksploatacją soli i zaburzeniem równowagi dynamicznej stoków. Tylko niewielki fragment powierzchni stoków (łącznie 7,9 ha) nie został przekształcony przez eksploatację (ryc. 6D).

Pole Słoneczne, charakteryzuje się występowaniem znacznej powierzchni stoków (23,4 ha) o niewielkich nachyleniach. Kształt niecki denudacyjnej nie zmienił się, zwiększyła się natomiast liczba krawędzi o łącznej długości 2,3 km występujących wzdłuż zboczy (ryc. 6D). W północnej części pola nadal występują powierzchnie złaziskowe, których górną krawędź stanowi granica terenu przekształconego przez eksploatację. Małe osuwisko i zerwy widoczne są również w południowej części Pola. Nie zmieniła się powierzchnia spłaszczeń erozyjno-denudacyjnych przy południowej granicy, a także przebieg grzbietu o długości 0,6 km stanowiącego zachodnią granicę pola (ryc. 6D).

W obrębie Pola Soboniewice zmiany rzeźby były najmniejsze. Powierzchnie zrównania, które zajmowały ok. 25 ha (20%) nie uległy przekształceniu. Najintensywniej zmieniona została główna niecka denudacyjna (24,1 ha) rozcinająca obszar, dno doliny i koryto potoku Malinówki, a także mniejsze formy dolinne. Koryto potoku również zostało obudowane, co spowodowało powstanie licznych załomów i krawędzi. Do dna doliny Malinówki dochodzi siedem dolin bocznych. Ich powierzchnia wynosiła 3,6 ha. Dwie z nich, położone w północnym fragmencie Pola, zwiększyły swoją powierzchnię w wyniku prowadzonej w ich bliskiej odległości eksploatacji soli. W ich obrębie obecne były również mniejsze zapadliska o powierzchni 0,3 ha (ryc. 6D).

Znaczne zmiany rzeźby nastąpiły w polu Pagory. Największe przekształcenia stwierdzono w jego wschodniej części, gdzie występowało wzniesienie (ryc. 11A). Liczne załomy i krawędzie w jego obrębie świadczyły o postępujących ruchach masowych. Niezmieniona pozostała powierzchnia wierzchowinowa z fragmentami zrównań w części wschodniej o powierzchni około 13 ha, dwa główne grzbiety, których długość wynosi 0,86 km, a także powierzchnie stoków i zboczy. W dnie doliny Malinówki w dawnym zapadlisku utworzono sztuczne jezioro (Staw Szlachetny) (ryc. 11B). Dno doliny przecięte jest utwardzonymi drogami dojazdowymi (ryc. 11C). Dno koryta Malinówki zostało obudowane, a jego brzegi umocnione na całym swoim odcinku (ryc. 11F). Na sztucznie wyprofilowanych stokach widoczne są fragmenty rurociągów, którymi odprowadzano solankę (ryc. 11D, E). Na zreultywowanym obszarze Pola Pagory widoczne są nasadzenia drzew (ryc. 11G).

Dyskusja

Eksploatacja soli w kopalni otworowej Barycz w znacznym stopniu wpłynęła na rzeźbę terenu, prowadząc do jej zmian. Stopień przekształcenia rzeźby był konsekwencją płytkiego zalegania złoża oraz intensywnego sposobu jego eksploatacji bez ochrony stropu (ryc. 12, por. Mazurek 2007, 2010, d'Obyrn 2013, d'Obyrn, Wójcik 2015).

Rzeźba obszaru kopalni soli Barycz przed rozpoczęciem eksploatacji była typowa dla brzeżnej części Karpat (część południowa) i wysoczyzn Kotliny Sandomierskiej (część północna) i miała cechy pogórzy niskich o powierzchni wierzchowinowej położonej 260–280 m n.p.m. (część północna) i 310–360 m n.p.m. (część południowa). Był to przykład dojrzałej rzeźby fluwialno-denudacyjnej. Główne doliny Malinówki i jej lewobrzeżnego dopływu (wcięte do ok. 60 m w biegu górnym i 40 m w dolnym) oddzielone były od siebie szerokimi garbami o zaokrąglonych i wyrównanych wierzchowinach. W południowej części garby były wyższe o ok. 70–90 m. Wypukło-wklęsłe stoki zbudowane z pokryw lessowych okrywających starsze podłoże (utwory fliszowe Karpat i miocen Kotliny Sandomierskiej) były rozczłonkowane dolinami nieckowatymi, debrzami i parowami. Nachylenia stoków wynosiły w części północnej od 5 do 15°, a w części południowej od 15 do 25° (*Mapa topograficzna... 1935, 1937*).

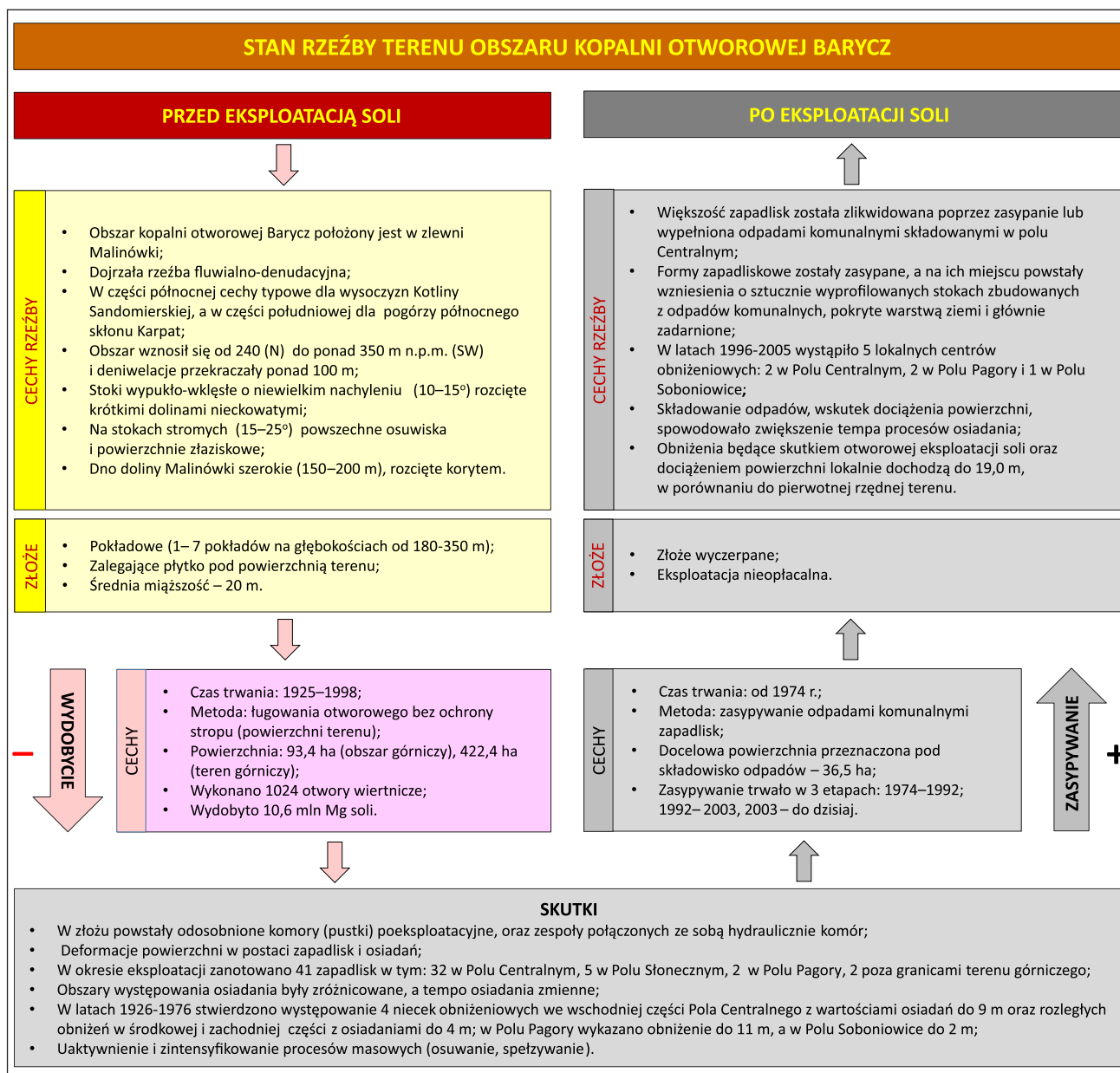
Intensywna eksploatacja soli metodą otworową bez ochrony stropu prowadzona przez 74 lata (1924–1998) doprowadziła do nieodwracalnych i unikalnych zmian rzeźby terenu tego obszaru, polegających głównie na powstawaniu form z osiadania. W okresie eksploatacji soli w Baryczy przekształceniu uległ obszar obejmujący łącznie 77,9 ha, co stanowiło 18,4% powierzchni całkowitej powierzchni (Kuc 2015). Przed pracami wydobywczymi obszar był użytkowany rolniczo.

Zmiany rzeźby terenu wywołane podziemną eksploatacją soli kamiennej mogą być rozpatrywane w dwóch kategoriach (Kaszowska 2007, Andrusikiewicz 2017). Pierwsza dotyczy relacji pomiędzy eksploatacją, a wpływem jaki wywiera ona na górotwór i formy powierzchni terenu. Ten wpływ może być bezpośredni, pośredni i wtórny. Druga natomiast związana jest z rodzajem odkształceń rejestrowanych na powierzchni, które mogą być ciągłe lub nieciągłe.

Od momentu rozpoczęcia eksploatacji soli w Baryczy w 1924 r. górnictwo otworowe zmieniało bezpośrednio formy powierzchni terenu poprzez budowę otworów wiertniczych, zbiorników na solankę, tworzenie zwałowisk odpadów oraz budowę nasypów drogowych. Skutki bezpośrednie obejmowały powstawanie podziemnych wyrobisk i przesunięcie górotworu w stronę wyrobiska, co skutkowało defor-

macjami terenu na powierzchni w postaci obniżen powstałych na skutek osiadania (deformacje ciągłe). Na skutek eksploatacji zmienił się kształt i nachylenia stoków i zboczy dolin. Zmieniły się granice dna doliny, przekształcono również koryto Malinówki. Deformacje nieciągłe występowały w postaci form powierzchniowych (kratery, zagłębienia, zapadliska, osuwiska) oraz liniowych (pęknięcia, szczeliny, progi). Deformacje ciągłe nie stwarzały większego zagrożenia, nieciągłe natomiast prowadziły do katastrof górniczych. W marcu 1974 r. na Polu Pagory nastą-

piło nagłe, gwałtowne zapadnięcie się znacznej części terenu połączone z wyrzuceniem solanki. Procesy tego typu często występują w miejscach eksploatacji soli kamiennej (np. Wapno, Łęczkowice), gdyż górtwór solny podatny jest na niekontrolowane działanie wody przenikającej do wyrobisk podziemnych (Wilk, Traple 2001, Poborska-Młynarska 2009, Andrusikiewicz 2017, Kortas 2017, Zeng i in. 2018). Deformacje nieciągłe, w odróżnieniu od ciągłych, mają zazwyczaj zasięg lokalny i mogą występować zarówno w trakcie eksploatacji, jak i kilkadziesiąt a nawet sto lat po jej



Ryc. 12. Diagram integrujący zmiany rzeźby terenu spowodowane wydobywaniem soli metodą otworową oraz składowaniem odpadów komunalnych w zapadliskach, spowodowanych zapadaniem się komór ługowniczych wyeksploatowanych w złożu soli kamiennej w Baryczy (na podstawie Mazurek 2007, 2010, d’Obyrn 2013, d’Obyrn, Wójcik 2015)

Fig. 12. Flowchart integrating changes in the topography caused by salt extraction using the borehole method and the storage of municipal waste in sinkholes, caused by the collapse of leach chambers exploited in the rock salt deposit in Barycz (based on Mazurek 2007, 2010, d’Obyrn 2013, d’Obyrn, Wójcik 2015)

zakończeniu (Kaszowska 2007). Stanowią one duże zagrożenie ponieważ ich wystąpienie zwykle nie jest poprzedzone żadnymi oznakami, a ich przebieg jest nagły i bardzo szybki (Kaszowska 2007, Andrusikiewicz 2017).

Obszary dotknięte deformacjami nieciągłymi są trwale wykluczone z użytkowania, a ich rekultywacja jest procesem kosztownym i długotrwałym i nie daje gwarancji całkowitego usunięcia zagrożeń dla zdrowia i życia człowieka (Langer 2007, Jakubiak, Śliwka 2008, Mancini i in. 2009, Mesescu 2011, Andrusikiewicz 2017).

W przypadku kopalni otworowej w Baryczy większość szkód górniczych została zniwelowana w trakcie likwidacji i procesu rekultywacji terenu kopalni, a także w następstwie utworzenia w miejscu eksploatacji składowiska odpadów (ryc. 12, d'Obyrn, Wójcik 2015, Kłojzy-Kaczmarczyk 2016). Obecnie, rzeźba swoimi cechami przypomina tę z okresu przed wydobywaniem, ale na dużej powierzchni (Pole Centralne, Pole Pagory) są to formy antropogeniczne utworzone w trakcie prac likwidacyjnych (wzniesienia, powierzchnie nachylone, uregulowane i obudowane koryta potoków itp.). Największe zmiany rzeźby w postaci zapadlisk wystąpiły w Polu Centralnym, gdzie obecnie mieści się składowisko odpadów. Po wypełnieniu ich odpadami i utworzeniu warstwy izolacyjnej poprzez nadsypanie, utworzono sztuczną, wypukłą formę terenu o wysokości około 20–30 m. Doprowadziło to do ukształtowania się nowych stoków o nachyleniu około 12°, które sprawiły, że morfologia przypomina obecnie rzeźbę pogórską. Lokalizacja składowiska odpadów komunalnych dla pobliskiego Krakowa i Wieliczki w miejscu dawnych poeksploatacyjnych zapadlisk i oddzielenie go zalesionym pasem izolacyjnym od pobliskich gospodarstw domowych była uzasadniona. Szkody górnicze wykluczyły wykorzystanie obszaru pod zabudowę. Plan rekultywacji obszaru kopalni otworowej Barycz zakładał przywrócenie mu dawnych cech (Diehl 2006, *Projekt miejscowego Planu...* 2023). Oprócz wyznaczenia powierzchni leśnych i rolnych, starano się wyrównać ewentualne obniżenia terenu, tak aby przypominały swoim wyglądem formy naturalne. Przykładem jest zapadlisko w Polu Pagory. Przed rozpoczęciem eksploatacji w obszarze tym było wzniesienie o stromych stokach i wierchowinie z fragmentami spłaszczeń na wysokości 270 m n.p.m. Wzniesienie podcinane było przez Malinówkę. W wyniku osiadania terenu doszło do powstania zapadliska, które całkowicie zniszczyło zbocze doliny. W latach 80. XX w. zostało ono wyrównane, nadsypane i obecnie przypomina formę naturalną. Widocznymi w obszarze pola formami antropogenicznymi są wcięcia drogowe, którymi poprowadzone są utwardzone drogi, które w przeszłości pełniły funkcję dojazdowych dla ciężkiego sprzętu wykorzystywanego w pracach górniczych (ryc. 4A, 7).

W Polu Słonecznym i Polu Soboniowice obszary z przekształconą rzeźbą terenu zajmują niewielką powierzchnię. Powstało kilka małych zapadlisk, z których część zasypano, jednak większość pozostała niezmieniona (ryc. 6B).

Metoda ługowania otworowego jest jedną z mniej inwazyjnych metod eksploatacji soli kamiennej z punktu widzenia zmian rzeźby terenu. Oddziaływanie jakie występują w jej przypadku mają raczej charakter pośredni i ujawniają się zazwyczaj po pewnym okresie czasu od zaprzestania eksploatacji (Kaszowska 2007, Dulias 2013). Metoda nie wymaga konieczności ściągania warstw nadkładu w celu wydobywania ze złoża zalegającego na znacznej głębokości.

Na obszarze kopalni otworowej w Baryczy zmiany rzeźby terenu były znaczące, a decydowały o nich trzy powiązane ze sobą procesy: osiadanie, zapadanie i osuwanie. Ich rola była różna i zmieniała się w czasie. Nawet na obszarze o urozmaiconej rzeźbie eksploatacja soli metodą ługowania otworowego nie wywołuje znaczących zmian rzeźby terenu, jeśli dominującym procesem geomorficznym jest zachodzące powoli i równomiernie osiadanie terenów poeksploatacyjnych (d'Obyrn 2013). W przypadku kopalni otworowej Barycz zastosowano proces ługowania podziemnego bez zabezpieczenia stropu komory, co w przypadku małego złoża o skomplikowanej tektonice przyczyniło się do rozwoju wielu wyrobisk, których rozwój był trudny do kontrolowania (Andrusikiewicz 2017). Bezpośrednie zagrożenie dla rzeźby stanowiła nadmierna, chaotycznie prowadzona eksploatacja, która skutkowała powstaniem nieoczekiwanych, znacznych deformacji nieciągłych powierzchni terenu – zapadlisk. Stąd w tym konkretnym przypadku wpływ wydobywania soli metodą ługowania otworowego na rzeźbę można uznać za znaczący.

Proces osiadania terenu spowodowany wydobywaniem soli obserwowano metodami geodezyjnymi już od 1926 r. (d'Obyrn 2013). W 1938 r. obszar deformacji ciągłych obejmował cztery centra o łącznej powierzchni około 30 ha z obniżeniami dochodzącymi do 2 m. W latach 1926–1976 stwierdzono występowanie 4 niecek obniżeniowych we wschodniej części Pola Centralnego z wartościami osiadań do 9 m oraz rozległych obniżień w środkowej i zachodniej części z osiadaniami do 4 m. W Polu Pagory wykazano obniżenie do 11 m, a w Polu Soboniowice do 2 m (d'Obyrn 2013). Składowanie od 1974 r. odpadów komunalnych w zapadliskach, wskutek dociążenia powierzchni, spowodowało zwiększenie tempa procesów osiadania. Obniżenia będące skutkiem otworowej eksploatacji soli oraz dociążeniem powierzchni lokalnie dochodzą do 19,0 m w porównaniu do pierwotnej rzędnej terenu (d'Obyrn, Wójcik 2015). Proces zaciskania wyrobisk komorowych przebiega powoli, co wynika z właściwości morfologicznych soli

i może trwać nawet kilkaset lat. W kopalni Barycz czas ten został oszacowany na kilkadziesiąt do około 150 lat (Mazurek 2007, d'Obyrn 2010, 2013).

Występujące deformacje zarówno ciągłe (osiadanie) jak i nieciągłe (zapadanie) przyczyniły się do uaktywnienia i zwiększenia intensywności procesów masowych (osuwanie, spełzywanie), których naturalne występowanie w tym terenie uwarunkowane było budową geologiczną (flisz w południowej części obszaru). Bezpośrednio na rzeźbę wpłynęły również inne formy antropogeniczne, które były konieczne przy prowadzeniu eksploatacji tj. nasypy drogowe, obudowane koryta o zmienionym biegu, drogi, spłaszczenia w obrębie stoków, zbiorniki solankowe oraz stałe elementy infrastruktury wydobywczej (ryc. 6C, D).

Przykład innych kopalń otworowych – Kopalni Siarki „Jeziórko” w rejonie tarnobrzesckim oraz Kopalni Soli „Łęczkowice”, pokazują, że podobnie jak w kopalni otworowej Barycz, najlepszą i najczęściej stosowaną metodą przywrócenia dawnego typu zagospodarowania było wyrównanie, nadsypanie zapadlisk, a także nasadzenie odpowiednich gatunków roślin (Gołda 2000, Gołda i in. 2005, Langer 2007).

Obszar kopalni otworowej Barycz stanowi nieopowtarzalny w skali regionu przykład wpływu eksploatacji soli kamiennej metodą otworową na zmiany rzeźby terenu i mimo zaprzestania eksploatacji jest nadal obiektem wartym dalszych badań z powodu prognozowanych osiadań powierzchni o niewielkiej intensywności (Mazurek 2007).

Wnioski

Górnictwo otworowe soli kamiennej zmienia bezpośrednio i pośrednio rzeźbę terenu. Oddziaływanie bezpośrednie polega na świadomym i planowym przeznaczeniu określonego obszaru pod działalność górnictwem i związaną z tym budową otworów wiertniczych, zbiorników na solankę oraz tworzenie zwałowisk odpadów i budowę dróg dojazdowych. Skutkiem oddziaływania bezpośredniego są oddziaływania pośrednie polegające głównie na deformacjach powierzchni terenu w postaci osiadań i zapadlisk.

Stopień przekształcenia rzeźby terenu spowodowany wydobywaniem soli metodą ługowania otworowego zależy zarówno od skali eksploatacji jak i od cech złoża. Jest największy w przypadku małych złóż pokładowych, płytko zalegających pod powierzchnią terenu i silnie zaburzonych tektonicznie oraz intensywnie pozyskiwanych bez ochrony stropu.

Zmiany ukształtowania powierzchni terenu polegające głównie na zmianach wysokości, nachylenia stoków i biegu koryt rzecznych powodują uaktywnienie i zwiększenie intensywności naturalnych procesów

geomorficznych, takich jak erozja wodna i ruchy masowe na stokach oraz erozja koryt rzecznych.

Tereny poeksploatacyjne, mimo rekultywacji polegającej na przywracaniu wartości użytkowych terenom górniczym, przy zmienionym podłożu nadal są narażone na procesy dalszego osiadania, które mogą trwać długi czas po zakończeniu wydobywania. Pociąga to za sobą zmiany dotychczasowego użytkowania ziemi oraz funkcji tych obszarów.

Podziękowania

Pani dr hab. Bogdanie Izmałow dziękujemy za konsultacje i udostępnienie rękopiśmiennej mapy geomorfologicznej w skali 1:25 000 wykonanej pod kierunkiem dr Marii Tyczyńskiej w 1979 r. (Tyczyńska i in. 1979). Jesteśmy wdzięczne panu mgr. Witoldowi Kucowi za udostępnienie zdjęć z wizji terenowej przeprowadzonej w 1992 r. na obszarze kopalni otworowej Barycz i zgodę na ich opublikowanie w artykule. Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. dziękujemy za zgodę na zamieszczenie w artykule zdjęć Aleksandra Batko dokumentujących skutki powstania zapadliska na Polu Pagory w 1974 r. Autorki składają podziękowania anonimowym recenzentom za cenne uwagi, które znacząco wzbogaciły artykuł i nadały mu ostateczny kształt.

Wkład autorów

J.Ś. – koncepcja, metodyka, przegląd literatury, redakcja i edycja tekstu, opracowanie materiałów graficznych, dokumentacja fotograficzna, recenzowanie, promotorstwo, zarządzanie procesem publikacji. M.O. – koncepcja, metodyka, przegląd literatury, opracowanie materiałów kartograficznych i graficznych, pomiary na mapach i obliczenia, badania terenowe, dokumentacja fotograficzna, redakcja i edycja tekstu.

Literatura

- Andrusikiewicz W., 2017. Effect of salt mining on land surface. *Technical Transaction* 4: 39–59. DOI: [10.4467/2353737XCT.17.046.6357](https://doi.org/10.4467/2353737XCT.17.046.6357).
- Andrusikiewicz W., 2020. Wybrane zagadnienia z zagospodarowania i utylizacji odpadów poeksploatacyjnych pochodzących z górnictwa i przeróbki soli kamiennej. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society* 2(2): 143–146. DOI: [10.29227/IM-2020-02-54](https://doi.org/10.29227/IM-2020-02-54).
- Baścik M., 2013. Wody powierzchniowe. W: B. Degórska, M. Baścik (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa. Zasoby – Ochrona – Kształtowanie*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków: 33–48.
- Batko A., 1973. Odwiertowa eksploatacja podkarpackiego złoża solnego w Baryczu w świetle badań eksperymentalnych. MS, *Archiwum Zakładu Geologii Złożowej i Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie*.

- Batko A., 1974. 50 lat Kopalni Odwrotowej Barycz. Wieliczka-Bochnia.
- Bieniasz J., Kurdek D., Marcola-Sadowska J., 2016. System kontroli deformacji poeksploatacyjnych górotworu nad polami eksploatacji w KS „Kłodawa”. *Przegląd Solny* 12: 28–35.
- Bieniasz J., Pietras J., 2018. Deformacje górotworu wywołane eksploatacją pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. *Przegląd Solny* 14: 15–20.
- Burtan J., 1954. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, Arkusz Wieliczka, 1:50 000, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- PIG-PIB [Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy], 2023. Centralna Baza Danych Geologicznych. Online: www.baza.pgi.gov.pl/ (dostęp 27.08.2023).
- Charkot J., 2011. Kopalnia otworowa soli w Baryczy (1924–1998). *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce* 27: 301–315.
- 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* 141.
- Cieślak J., Flisiak D., Flisiak J., Mazurek J., 2008. Przestrzenna analiza numeryczna wyłączenia filarów komór pola eksploatacyjnego Pagory w otworowej kopalni soli „Barycz”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 32(1): 27–35.
- Cooper, A.H. 2020. Geological hazards from salt mining, brine extraction and natural salt dissolution in the UK. W: D.P. Giles, J.S. Griffiths (red.) *Geological Hazards in the UK: Their Occurrence, Monitoring and Mitigation – Engineering Group Working Party Report*. Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publications* 29: 369–387. DOI: [10.1144/EGSP29.14](https://doi.org/10.1144/EGSP29.14).
- Cyran K., 2008. Tektonika miocenijskich złóż soli w Polsce, rozprawa doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Kraków: 30–32: 77–81.
- Diehl J., 2006. Projekt Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego obszaru „Barycz” w Krakowie. *Łódź*: ss. 30.
- Dobos E., Kovács I.P., Kovács D.M., Ronczyk L., Szűcs P., Perger L., Mikita V., 2022. Surface Deformation Monitoring and Risk Mapping in the Surroundings of the Sotolvyno Salt Mine (Ukraine) between 1992 and 2021. *Sustainability* 14: 7531. DOI: [10.3390/su14137531](https://doi.org/10.3390/su14137531).
- Duda J., 2009. Kopalnia otworowa soli w Baryczy k. Wieliczki (1924–2009). *Biblioteczka Wielicka* 80: 1–32.
- Dudek J., Klimek D., 2011. Optymalizacja procesu wytwarzania energii odnawialnej na składowisku odpadów komunalnych „Barycz” w Krakowie. *Nafta-Gaz* 67(8): 568–571.
- Dulias R., 2013. Denudacja antropogeniczna na obszarach górniczych: na przykładzie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Uniwersytet Śląski, Katowice*.
- Flak K., Kultys H., 2010. Składowisko odpadów komunalnych Barycz w Krakowie. *Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania Sp. Z.o.o w Krakowie. Materiały informacyjne*, Kraków: 1–18.
- Gałuszka A., Migaszewski Z., 2009. Problemy zrównoważonego użytkowania surowców mineralnych. *Problemy Ekorozwoju* 4(1): 123–130.
- Garlicki A., 1964. Autochtoniczna seria „solna” w miocenie Podkarpacia na zachód od Wieliczki. *Kwartalnik Geologiczny* 8(4): 841–853.
- Garlicki A., 1970. Złóża soli kamiennej na obszarze Podkarpacia. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 251: 609–614.
- Garlicki A., 1979. Sedymentacja soli miocenijskich w Polsce. *Prace Geologiczne PAN, Oddział w Krakowie* 119: 5–67.
- Garlicki A., 1983. Warunki występowania i perspektywy odkrycia nowych zasobów soli kamiennych na przedgórzu Karpat. *Kwartalnik Geologiczny* 21(2): 299–306.
- Gawel A., 1962. Budowa geologiczna złoża solnego Wieliczki. *Prace Instytutu Geologicznego* 30: 305–331.
- Gilewska S., Starkel L., 1979. *Geomorfologia*. W: K. Trafas (red.) *Atlas miejskiego województwa krakowskiego*, PAN, Kraków: 10.
- Gołda T., 2000. Podstawowe uwarunkowania rekultywacji terenów pogórnich Kopalni Siarki „Jeziórka”. *Inżynieria Ekologiczna* 1: 30–34.
- Gołda T., Haładus A., Kulma R., 2005. Geosozjologiczne skutki likwidacji kopalni siarki w rejonie Tarnobrzega. *Inżynieria Środowiska* 10(1): 59–73.
- Gradziński M., Gradziński R., 2013. Budowa geologiczna. W: B. Degórska, M. Baścik (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa. Zasoby – Ochrona – Kształtowanie*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków, 13–19.
- Grzybowski Ł., 2016. Górnictwo solne w Bośni i Hercegowinie oraz wybrane walory geoturystyczne rejonu Bałkanów – sprawozdanie z wyjazdowego seminarium naukowego PSGS. *Przegląd Solny* 12: 56–65.
- Hejmanowski R., Malinowska A., 2017. Wykorzystanie metody odwrotnej w estymacji osiadań powierzchni terenu dla złóż soli. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 33(3): 179–200. DOI: [10.1515/gospo-2017-0034](https://doi.org/10.1515/gospo-2017-0034).
- Hwałek S., 1977. *Górnictwo soli kamiennych i potasowych*. Śląsk, Katowice.
- Izmań B., 2013. Rzeźba terenu. W: B. Degórska, M. Baścik (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa. Zasoby – Ochrona – Kształtowanie*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków: 22–31.
- Jakubiak M., Śliwka M., 2008. Zagospodarowanie i rekultywacja terenów o podwyższonym zasoleniu zdegradowanych w wyniku działalności górniczej. *Gospodarka surowcami mineralnymi – Mineral Resources Management* 24(3/3): 129–138.
- Kaszowska O., 2007. Wpływ podziemnej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. *Problemy Ekologii* 11(1): 52–57.
- Klimaszewski M., 1968. The unified key to the detailed geomorphological map of the world 1:25,000 - 1:50,000. *Folia Geographica* 2.
- Klimaszewski M., 1972. Podział geomorfologiczny Polski Południowej. W: M.Klimaszewki (red.), *Geomorfologia Polski*, t. 1. Polska Południowa – Góry i Wyżyny, PWN, Warszawa: 5–17.
- Klojzy-Karczmarczyk B., Makoudi S., Mazurek J., Staszczak J., 2016. Składowanie i wpływ na środowisko składowiska odpadów komunalnych Barycz w aspekcie zmian uwarunkowań prawnych w zakresie gospodarki odpadami. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 92: 195–210.
- Kortas G., 2017. Po co człowiekowi sól? *Przegląd Górniczy* 70(7): 42–50.
- Kortas G., Maj A., 2021. O przeszłości i przyszłości górnictwa solnego w Polsce. *Przegląd Górniczy* 10–12: 69–3.
- Koszarski L., 1985. Tectonic units of the Polish outer Carpathians, W: L. Koszarski (red.) *Carpatho-Balkan Geological Association XIII Congress*. Cracow, Poland. Guide to excursion 3. *Geology of the Middle Carpathians and the Carpathian Foredeep*. Wydawnictwa AGH, Kraków: 30–39.
- Kotlarczyk J., 1985. An outline of the stratigraphy of Marginal Tectonic Units of the Carpathian Orogen in the Rzeszów–Przemysł area. W: J. Kotlarczyk (red.), *Carpatho-Balkan Geological Association XIII Congress*. Cracow, Poland. Guide to excursion 4. *Geotraverse Kraków–Baranów–Rzeszów–Przemysł–Ustrzyki Dolne–Komańcza–Dukla*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa: 39–64.
- Książkiewicz M., 1972. Budowa geologiczna Polski. T. 4, Tektonika. Cz. 3, Karpaty. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kuc M., 2015. Wpływ eksploatacji soli metodą otworową na zmiany rzeźby terenu na przykładzie Kopalni Otworowej Barycz. MS, Archiwum Prac Dyplomowych UJ, Kraków.
- Kuc M., 2016. Złóża soli w Polsce w ujęciu przeglądowym. *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce* 31: 151–208.
- Kunstman A., Poborska-Młynarska K., Urbańczyk K., 2002. *Zarys otworowego ługownictwa solnego*. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Langer P., 2007. Rekultywacja i zagospodarowanie poeksploatacyjnych terenów salinarnych. *Czasopismo Techniczne A*: 310–315.
- CODGiK [Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej], 2014. LIDAR (dane skaningu laserowego), Warszawa.

- Mancini F., Stecchi F., Gabbianelli G., 2009. GIS-based assessment of risk due to salt mining activities at Tuzla (Bosnia and Herzegovina). *Engineering Geology* 109(3–4): 170–182.
- Mapa topograficzna, 1935. Arkusz Ojców–Kraków–Wieliczka, 1:25 000, Wojskowy Instytut Geograficzny, Warszawa.
- Mapa topograficzna, 1937. Arkusz Pilzno, 1:100 000, Wojskowy Instytut Geograficzny, Warszawa.
- Mapa topograficzna, 1978. Arkusz Wieliczka, 1:10 000, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa topograficzna, 1992. Arkusz Wieliczka, 1:10 000, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa topograficzna, 1996. Arkusz Wieliczka, 1:10 000, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Margielewski W., Świąchowicz J., Starkel L., Łajczak A., Pietrzak M., 2008. Współczesna ewolucja rzeźby Karpat Fliszowych. W: L. Starkel, A. Kotarba, A. Kostrzewski, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków: 57–133.
- Mazurek J., 2007. Deformacje powierzchni w otworowej kopalni soli „Barycz” w likwidacji. Czy mogą jeszcze powstać zapadliska? *Górnictwo i Geoinżynieria* 31(3/1): 409–422.
- Mazurek J., 2010. Prognozy deformacji górotworu w Polu Pagory kopalni Barycz po podszadzeniu komór poeksploatacyjnych. *Górnictwo i Geoinżynieria* 34(2): 481–489.
- Mesescu A.A. 2011. The Ocelele Mari salt mine collapsing sinkhole – A NATECH breakdown in the Romanian sub-Carpathians. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 6(1): 215–220.
- d’Obryn K., 2010. Likwidacja pustek poeksploatacyjnych w otworowej kopalni soli jako metoda ochrony powierzchni terenu. *Przegląd Górniczy* 66(10): 67–72.
- d’Obryn K., 2013. Analiza wpływu otworowej eksploatacji pokładowego złoża soli Barycz na środowisko naturalne. *Rozprawy, Monografie*, t. 284. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- d’Obryn K., Wójcik W., 2015. Optymalne rozwiązania rekultywacji terenów na wybranych przykładach. *Acta Universitatis Nicolai Copernici* 46(2): 225–237.
- Olewicz Z.R., 1968. Stratygrafia warstw jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Wieliczką a Bochnią oraz pierwotne ich położenie w basenach sedymentacyjnych Karpat lub Przedgórze, *Prace Instytutu Naftowego*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice: 1–75.
- Olewicz Z.R., 1973. Tektonika jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Rabą a Uszwicą, *Acta Geologica Polonica* 23(4): 701–761.
- Oszczypko N., 2006. Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny* 54(5): 396–403.
- Oszczypko N., Ślęczka A., Zytko K., 2008. Regionalizacja tektoniczna Polski – Karpaty zewnętrzne i zapadlisko przedkarpackie. *Przegląd Geologiczny* 56(10): 927–935.
- Oszczypko N., Krzywiec P., Popadyuk I., Peryt T., 2006. Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine): Its Sedimentary, Structural, and Geodynamic Evolution. W: J. Golonka, J. Picha (red.), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir* 84: 293–350.
- Piechota S., 2008. Techniki podziemnej eksploatacji złóż i likwidacji kopalń. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Poborski J., Skoczylas-Ciszewska K., 1963. O miocenie w strefie nasunięcia karpackiego okolicy Wieliczki i Bochni. *Rocznik PTG* 33: 339–349.
- Poborska-Młynarska K., 2009. Techniki eksploatacji ługowniczej w złożu solnym Łęzkowic – z historii produkcji solanki. *Geologia* 35(3): 395–405.
- Połowicz S., 1977. Uwagi o rozwoju tektonicznym złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu. *Rocznik PTG* 47(2): 279–299.
- Połowicz S., 1991. Miocen strefy karpackiej między Wieliczką a Dębicą. *Kwartalnik AGH, Geologia* 17(3): 19–57.
- Projekt miejscowego Planu zagospodarowania przestrzennego obszaru „Barycz” w Krakowie, prognoza oddziaływania miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego na środowisko. Online: www.bip.krakow.pl (dostęp 28.10.2023).
- Rączkowska Z., Łajczak A., Margielewski W., Świąchowicz J., 2012. Recent landform evolution in the Polish Carpathians. W: D. Lóczy, M. Stankoviansky, A. Kotarba (red.), *Recent Landform Evolution. The Carpatho-Balkan–Dinaric Region*. Springer Geography, Springer: 47–101.
- Rospond H., 2007. Wydobywanie soli kamiennej i siarki otworami wiertniczymi 311[14].Z1.07. Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom: 1–49.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J., 1960. Wstępne wyniki badań geologicznych przy brzegu nasunięcia karpackiego w Baryczu koło Wieliczki. *Sprawozdania Komisji Nauk Geologicznych PAN, Oddział w Krakowie*: 1–3.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J., 1961. Z badań geologicznych nasunięcia karpackiego na miocenie solonośny w Baryczu koło Wieliczki. *Sprawozdania Komisji Nauk Geologicznych PAN, Oddział w Krakowie*: 1–3.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J., 1962. Nasunięcia karpackie na miocenie solonośny w świetle badań kopalni wielickiej. *Sprawozdania Komisji Nauk Geologicznych PAN, Oddział w Krakowie*: 280–283.
- Szabó J., 2010. Anthropogenic Geomorphology: Subject and System. W: J. Szabó, D. Lóczy (red.) *Anthropogenic Geomorphology*. Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-90-481-3058-0_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0_1).
- Szuwarzyński M., 2021. Górnicze krajobrazy kulturowe w południowej Polsce. *Warsztaty z Geografii Turystyki* 11: 195–214. DOI: [10.18778/8220-576-3.11](https://doi.org/10.18778/8220-576-3.11).
- Tyczyńska M., 1968. Rozwój geomorfologiczny terytorium Krakowa. *Prace Geograficzne UJ* 39: 5–69.
- Tyczyńska M., 1979. Mapa głównych elementów rzeźby. W: K. Trafas (red.) *Atlas miejskiego województwa krakowskiego*. PAN, Oddział w Krakowie, Urząd Miasta Krakowa, Kraków: 21.
- Tyczyńska M., Chmielowiec S., 1988. Mapa geomorfologiczna 1:50 000. W: K. Trafas (red.), *Atlas miasta Krakowa*. Instytut Geografii UJ, Urząd Miasta Krakowa, Warszawa.
- Tyczyńska M., Chmielowiec S., Izmailow B., 1979. Mapa miejskiego województwa krakowskiego. MS, Archiwum Zakładu Geomorfologii IGIGP UJ.
- Tyczyńska M., Izmailow B., 1996. Mapa geomorfologiczna Miejskiego Województwa Krakowskiego 1:50 000. Instytut Geografii UJ, Urząd Miasta Krakowa, Kraków.
- Wiewiórka J., 1988. Warunki geologiczne eksploatacji soli w żupach krakowskich. W: A. Jodłowski (red.), *Dzieje Żup Krakowskich*. Wydawnictwo Muzeum Żup Krakowskich, Wieliczka.
- Wilk S., Traple J., 2001. Ekologiczne skutki eksploatacji soli kamiennej metodą otworową w kopalni „Łęzkowice”. Część 1, Historia eksploatacji. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz* 18(2): 469–483.
- Wódka M., 2019. Działalność górnicza jako jeden z czynników wpływających na rozwój osuwisk. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 447: 123–130. DOI: [10.7306/bpig.50](https://doi.org/10.7306/bpig.50).
- Zdjęcie lotnicze, 1975. Okolice Krakowa, Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-kartograficzne, Warszawa, 20.04.1975 r.
- Zdjęcie lotnicze, 1957. Okolice Krakowa, Państwowe Przedsiębiorstwo Fotogrametrii i Kartografii, Warszawa, 23.03.1957 r.
- Zeng B., Shi T., Chen Z., Xiang L., Xiang S., Yang M., 2018. Mechanism of groundwater inrush hazard caused by solution mining in a multilayered rock-salt-mining area: a case study in Tongbai, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18(1): 79–90. DOI: [10.5194/nhess-18-79-2018](https://doi.org/10.5194/nhess-18-79-2018).
- Żytko K., Zajac R., Gucik S., Ryłko W., Oszczypko N., Garlicka I., Nemčok J., Eliaš M., Menčík E., Stranik Z., 1989. Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their foreland 1:5 000 000. W: D. Poprawa, J. Nemčok (red.), *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland*, PIG, Warszawa.