

Krzysztof Cygańczuk^{a*)}, Jacek Roguski^{a)}

^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy*

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: kcyganczuk@cnbop.pl*

The Consequences of Mining Damage and their Impact on the Natural Environment – a Case Study of Trzebinia

Konsekwencje szkód górniczych i ich wpływ na środowisko naturalne. Trzebinia – studium przypadku

ABSTRACT

Purpose: This article attempts to present issues related to surface subsidence in areas of closed and inactive coal and lignite mines. Land reclamation is the necessity of degrading the natural environment and restoring it to its original state.

Introduction: Europe is giving up fossil fuels to reduce CO₂ emissions into the atmosphere. It is also a result of the embargo imposed on 24 February 2022 on the Russian Federation on coal exports to European Union countries. This results in the search for alternatives to fossil fuels in all sectors of the economy. The direction of the search is towards choosing "green energy", which, due to its potential wide application, is already being treated as an instrument of climate neutrality. Many EU countries have decided to achieve climate neutrality by 2050, which means reducing greenhouse gas emissions by approximately 95% compared to the baseline year of 1990. However, achieving climate neutrality will require eliminating emissions not only in the electricity sector, but also in other sectors. As a result of this process, further areas requiring action after the mines are closed will be created, especially in Upper Silesia. Reclamation of post-mining areas is a very difficult task because there is no universal method of planning reclamation. Many forms of environmental degradation have been observed during mining activities.

Methodology: The article uses theoretical and practical research methods, including the analysis of a report on satellite methods, which was developed on the basis of data from satellite radar interferometry. The land surface movement system belongs to the group of products of the Copernicus program, which involves monitoring the land surface, and its implementation was commissioned by the European Environment Agency (EEA). Moreover, the article was based on publications by domestic and foreign authors, authorities in the field of environmental engineering.

Conclusions: Methods for reducing the negative impact of mining on the environment have long been developed and improved at all stages of mining activity, from reconnaissance work to the closure of a mining plant. One of the ways to reduce the negative impact of mining on the world's environment is the recultivation of post-mining areas, thanks to which the areas transformed due to mining activities are restored to their utility or natural values.

Keywords: post-mining areas, environmental degradation, reclamation, land regeneration

Type of article: case study

Received: 14.11.2024; Reviewed: 09.12.2024; Accepted: 10.12.2024;

Authors' ORCID IDs: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880, J. Roguski – 0000-0002-7848-053X;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 66–82, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.5>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: W niniejszym artykule podjęto próbę przybliżenia zagadnień związanych z osiadaniem powierzchni na terenach zamkniętych i tymczasowo nieczynnych kopalń węgla kamiennego i brunatnego. W obliczu degradacji środowiska naturalnego niezbędnym środkiem mającym na celu przywrócenie terenu do stanu pierwotnego jest jego rekultywacja.

Wprowadzenie: Europa rezygnuje z paliw kopalnych, aby ograniczyć emisję CO₂ do atmosfery. Przyczynia się do tego również nałożone 24 lutego 2022 r. na Federację Rosyjską embargo na eksport węgla do krajów Unii Europejskiej. Poszukuje się alternatyw dla paliw kopalnych we wszystkich sektorach gospodarki. Kierunek poszukiwań zmierza na wybór „zielonej energii”, która ze względu na potencjalne szerokie zastosowanie, już zaczyna być traktowana jako instrument neutralności emisyjnej. Wiele krajów UE postanowiło, że do 2050 r. osiągnie wspomnianą neutralność emisyjną, co oznacza zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o ok. 95% w porównaniu z rokiem wyjściowym 1990. Osiągnięcie neutralności emisyjnej obligować będzie jednak do wyeliminowania emisji nie tylko w elektroenergetyce, lecz także w innych sektorach. W wyniku tego procesu, zwłaszcza na Górnym Śląsku,

powstaną kolejne obszary wymagające działań po zamknięciu kopalń. Rekultywacja terenów pogórnich jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż nie ma uniwersalnej metody planowania rekultywacji. W trakcie działalności górniczej zaobserwowano wiele form degradacji środowiska naturalnego.

Metodologia: W artykule wykorzystano teoretyczne i praktyczne metody badawcze, w tym analizę raportu w zakresie metod satelitarnych, który został opracowany na podstawie danych z satelitarnej interferometrii radarowej. System o ruchach powierzchni terenu należy do grupy wyrobów programu Copernicus, polegającym na monitorowaniu powierzchni lądów, a jego implementację zlecono Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). Ponadto artykuł został oparty na publikacjach krajowych i zagranicznych autorów, autorytetów w dziedzinie inżynierii środowiska.

Wnioski: Metody ograniczania negatywnego wpływu górnictwa na środowisko są od dawna opracowywane i udoskonalane na wszystkich etapach działalności górniczej, od prac rozpoznawczych po likwidację zakładu górniczego. Jednym ze sposobów ograniczenia negatywnego wpływu górnictwa na środowisko jest rekultywacja terenów pogórnich, dzięki której terenom przekształconym w wyniku działalności górniczej przywracane są wartości użytkowe lub przyrodnicze.

Słowa kluczowe: tereny pogórnice, degradacja środowiska, rekultywacja, regeneracja terenu

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 14.11.2024; Zrecenzowany: 09.12.2024; Zaakceptowany: 10.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880, J. Roguski – 0000-0002-7848-053X;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 66–82, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.5>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

It is an undeniable fact that over the recent decades excavation mining operations have led to environmental degradation, despite the efforts made to try and minimise their impact [1–3]. From the orogen mechanics perspective, mining exploitation alters the original status of orogen stresses and deformations [4–5]. One of the most typical structure of such alterations is the continuous deformation of the terrain surface in the form of soil settlement. It has a significant impact on the degradation of the surrounding terrain and infrastructure. Over the last century, many methods and theories have been developed to predict mining surface deformations during deposit exploitation [6–10]. Those methods include in particular determining the status of deformation after the termination of deposit exploitation and the passing of sufficient time necessary for the subsidence process to fade.

The terrain surface deformation process during underground operations and directly after termination is a characteristic feature of mining areas. During the underground exploitation, the terrain surface subsides, which causes permanent alterations of the orogen through dislocation of rocks and soils and flow of underground waters towards active pits. This process contributes to significant terrain subsidence. Due to the shallow placement of coal deposits, surface mining exploitation causes relatively significant terrain deformations.

In the United States, shallow mining at the depth of approx. 300–400 m below ground level resulted in the alteration of land use in many places [11]. Many former pastures changed into flooded areas as a result of formation of major regional subsiding basins and their subsequent flooding.

In Europe, due to the location of mining operations in highly urbanised areas, this problem is primarily connected with the occurrence of mining damage to civil structures. It is usually damage to residential buildings, failures of transmission lines and damage to transport paths (roads, railways) [12–13].

Wprowadzenie

Niezaprzeczalnym faktem jest, że wydobywczą działalność górnica na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci doprowadziła do degradacji środowiska, pomimo podejmowanych prób minimalizacji jej oddziaływania [1–3]. Z punktu widzenia mechaniki górotworu eksploatacja górnica prowadzi do zmiany pierwotnego stanu naprężeń i odkształceń górotworu [4–5]. Jedną z najbardziej typowych struktur takich zmian jest ciągła deformacja powierzchni terenu, która przyjmuje postać osiadania gruntu. Ma ona istotny wpływ na degradację otaczającego terenu i infrastruktury. Na przestrzeni ostatniego stulecia opracowano wiele metod i teorii przewidywania górniczych deformacji powierzchni podczas eksploatacji złoża [6–10]. Wspomniane metody obejmują głównie określanie stanu deformacji po zakończeniu eksploatacji i upływie dość długiego czasu potrzebnego do zaniku procesu obniżenia.

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

W Stanach Zjednoczonych płytkie wydobywanie na głębokości ok. 300–400 m poniżej poziomu gruntu w wielu miejscach doprowadziło do zmiany funkcji użytkowania gruntów [11]. Liczne dawne pastwiska zamieniły się w tereny zalewowe w wyniku powstania dużych regionalnych basenów osiadających i ich późniejszego zalania.

W Europie, ze względu na lokalizację górnictwa na terenach silnie zurbanizowanych, problem ten związany jest głównie z występowaniem szkód górniczych w obiektach budowlanych.

Contrary to the common belief, the problem of orogen and terrain surface deformation does not end with the termination of exploitation [14]. In the early 20th Century, the method of exploitation of deposits changed (in particular in multi-deposit exploitation). The mining moved to greater depths (even below 1000 m), which over the years resulted in hundreds of old excavations within the orogen, i.e. post-exploitation spaces filled with rock material originating from triggered (controlled) falls, of which the concentration may be found long after the termination of mining operations.

A sinkhole is a non-continuous surface deformation (surface type), characterised by the subsidence caused by a subsurface loss of rock material and fall of ceiling and the resulting empty space in the mine drift. It is not easy to determine the shape and depth of the entire sinkhole, because what is visible on the terrain surface is only part of it, often in the form of sinkhole crater. It is usually circular or oval in vertical protection and crater-shaped in cross-section (e.g. cone, truncated, elliptic-cone). At greater depth, the geometry of the sinkhole may change i.a. depending on the geological structure of the substrate in which it formed or the type of the empty space above which it developed. In addition to the sinkhole craters in the Upper Silesia and Lesser Poland Coal Basin, the following may be distinguished: bells, stacks, shafts, sinkhole trenches (characterised by unidirectional elongation) and irregular sinkholes [15].

Sinkholes are a type of geological hazard in Poland and it is most often caused by underground mineral exploitation. They cause damage to infrastructure, agricultural economy and forestry. They led to a significant degradation of the terrains, in which they occur and cause hazard to people and their property. Sinkholes are formed as a result of natural and anthropogenic factors. They may be formed suddenly and dramatically. The sinkhole surface may be from dozens of centimetres to several hectares and their depth may vary from few centimetres to dozens of metres [15].

Settlement measurements usually apply to short-term observations of a single wall panel or long-term observations of the entire coal basin. Short-term measurements are most often performed as part of ongoing monitoring of the impact of mining operations on surface infrastructure facilities and they usually end from 6 to 12 months after the termination of mining exploitation. The decision to discontinue the observation is based on different criteria, in particular based on many years of experience. For example, in Poland it is accepted that measurements are discontinued when the annual increment of settlements drops below 1.0 cm, while in Germany it ensures the coverage of the liability for damage, which may be claimed up to 3 years after the termination of mining operations. In China, this period expires if over six months the accumulated surface settling drops below 0.3 cm, which proves that the surface movement is stabilised [6]. The same principle is accepted in Ukraine. In Russia, the final series of measurements is conducted if the settling does not exceed 10 mm in 6 months.

The multiannual examination of the entire coal basin, covering as many as several dozens of mines, has been conducted as part of high precision observations and measurements for

Zwykle są to uszkodzenia budynków mieszkalnych, awarie sieci przesyłowych oraz uszkodzenia magistral transportowych (drogi, tory kolejowe) [12–13].

Wbrew powszechnemu przekonaniu problem deformacji górotworu i powierzchni terenu nie kończy się wraz z zakończeniem eksploatacji [14]. Na początku XX w. nastąpiły zmiany w sposobie prowadzenia eksploatacji złóż (szczególnie dotyczy to eksploatacji wielopokładowej). Wydobywanie przeniosło się na większe głębokości (nawet ponad 1000 m), co na przestrzeni lat doprowadziło do powstania w górotworze kilkuset zrobów, czyli przestrzeni poeksploatacyjnych częściowo wypełnionych materiałem skalnym pochodzącym z wywołanego (kontrolowanego) zawалу, których zagęszczenie można zaobserwować długo po zakończeniu wydobywania.

Zapadlisko (ang. *sinkhole*) jest to deformacja nieciągła terenu (typu powierzchniowego), charakteryzująca się obniżeniem wywołanym podpowierzchniowym ubytkiem materiału skalnego i zawaleniem stropu oraz powstałej w ten sposób pustki w korytarzu wydobywczym. Nie jest łatwo określić kształt i głębokość całego zapadliska, ponieważ to co jest widoczne na powierzchni terenu, stanowi jedynie fragment, przyjmujący często formę leja zapadliskowego. W rzucie poziomym ma on zazwyczaj kształt okrągły lub owalny, w przekroju poprzecznym ma najczęściej kształt leja (np. stożkowego, ściętego, eliptyczno-stożkowego). Głębiej geometria zapadliska może się zmieniać m.in. w zależności od budowy geologicznej podłoża, w jakim się utworzyło, lub typu pustki, nad którą się rozwinęło. Oprócz lejów zapadliskowych na terenie Górnośląskiego i Małopolskiego Zagłębia Węglowego można wyróżnić: dzwony, kominy, szyby, rowy zapadliskowe (charakteryzujące się wydłużeniem w jednym kierunku) oraz zapadliska nieforemne [15].

Zapadliska są jednym z rodzajów zagrożeń geologicznych na terenie Polski i najczęściej wywołane są podziemną eksploatacją kopalin. Powodują szkody w infrastrukturze oraz gospodarce rolnej i leśnej. Przyczyniają się do znacznej degradacji terenów, na których występują oraz stwarzają zagrożenie dla ludzi i ich dobytku. Zapadliska powstają w wyniku działania czynników naturalnych lub antropogenicznych. Mogą powstawać nagle i mieć dramatyczny przebieg. Powierzchnia zapadlisk może wynosić od kilkudziesięciu centymetrów do kilkudziesięciu hektarów, a głębokość może się wahać od kilku centymetrów do kilkudziesięciu metrów [15].

Pomiary osiadań dotyczą zazwyczaj krótkotrwałych obserwacji jednego panelu ścianowego lub zespołu paneli lub obserwacji długoterminowych całego zagłębia węglowego. Pomiary krótkoterminowe realizowane są najczęściej w ramach bieżącego monitoringu oddziaływania działalności górniczej na obiekty infrastruktury powierzchniowej i kończą się zazwyczaj po upływie 6 miesięcy do roku po zakończeniu eksploatacji górniczej. Decyzja o zakończeniu obserwacji opiera się na różnych kryteriach, szczególnie w oparciu o wieloletnie doświadczenie. Przykładowo w Polsce przyjęto, że zaniechanie pomiarów ustaje, gdy roczny przyrost osiadań będzie mniejszy niż 1,0 cm, w Niemczech jest to zapewnienie pokrycia odpowiedzialności za szkody, które można zgłosić do 3 lat po zakończeniu działalności wydobywczej. W Chinach okres ten kończy się, jeśli w ciągu sześciu miesięcy zsumowane osiadanie powierzchni będzie mniejsze niż 0,3 cm, co

more than a hundred years, recently with a two-year frequency (e.g. the Ruhr Valley). The determination of the permissible value of sinkholes and the impact discontinuation moment is fundamental for the assessment of significant changes in the environment and mining and geological regulations, which state that after the termination of exploitation, the owner is responsible for restoring the terrain status to as close to original as possible, enabling its further use. In case of the subsequent mine closures [16], it is essential to consider the restoration and rehabilitation of land and their costs [17]. Depending on the degree of degradation, such land may be granted a new purpose and useful function, e.g. recreational, agricultural, residential or commercial. Such activities may benefit local communities by bringing in new investments, jobs, inhabitants, funds for commune/town budgets or increase popularity among tourists. The fulfilment of the above objectives requires knowledge of the impact of mining operations on the terrain surface and achieving the pre-exploitation status.

The Polish power industry is still largely based on fossil fuels, including in particular coal and lignite. As indicated by Ember (an independent global team of power industry advisors), in the first half of year 2024, RES generated 21.75 TWh of power, while the Polish fossil fuel-based power plants produced 53.44 TWh. Based on the Ember report, in the period of January–June 2024, the share of solar power generation in Poland increased by 37% compared to the previous year. Only in May, wind and solar power plants accounted for one third of the power generated in Poland, while share of coal dropped to the historical low of 57% [18].

As the result of that process, i.e. the acquisition of green power, mines are closed (in particular in Upper Silesia), which results in new areas that require restoration activities. The restoration of former mining areas is very difficult, because there is no universal restoration planning method. In the course of mining operations, many forms of environmental degradations were noted.

świadczy o ustabilizowanym ruchu powierzchni [6]. To samo określenie przyjęto dla pomiarów na Ukrainie. W Rosji ostatnią serię pomiarów przeprowadza się, jeśli osiadanie nie przekracza 10 mm w ciągu 6 miesięcy.

Wieloletnie badania całego zagłębia węglowego, obejmujące nawet kilkadziesiąt kopalń, prowadzone są w formie precyzyjnych obserwacji i pomiarów od ponad stu lat, w ostatnim okresie z dwuletnią częstotliwością (np. Zagłębie Ruhry). Ustalenie wartości dopuszczalnej zapadlisk oraz momentu ustania oddziaływania ma podstawowe znaczenie dla oceny istotnych zmian w środowisku oraz przepisów prawa górniczego i geologicznego, które stanowi, że po zakończeniu eksploatacji właściciel jest obowiązany przywrócić stan terenu do stanu możliwie najbardziej zbliżonego do pierwotnego, umożliwiającego jego dalsze użytkowanie. W przypadku kolejnych zamknięć kopalń [16] ważna jest kwestia rekultywacji i rewitalizacji gruntów oraz jej kosztów [17]. W zależności od stopnia degradacji możliwe jest nadanie temu gruntowi nowego przeznaczenia i funkcji użytkowej, np. rekreacyjnej, rolniczej, mieszkalnej, handlowej. Takie działanie może wiązać się z korzyściami dla społeczności lokalnych poprzez pozyskanie nowych inwestycji, miejsc pracy, osiedlanie się nowych mieszkańców, napływ środków do budżetów gmin/miast czy też zwiększenie popularności miejsca wśród turystów. Aby osiągnąć powyższe cele potrzebna jest wiedza o skutkach działalności górniczej na powierzchnię terenu i osiągnięcie stanu z przed jego eksploatacji.

Polska energetyka w dalszym ciągu oparta jest w dużej mierze na paliwach kopalnych, w tym głównie na węglu kamiennym i brunatnym. Jak wskazuje Ember (niezależny globalny zespół doradców ds. energetyki), w I półroczu 2024 r. z OZE pochodziło 21,75 TWh energii, podczas gdy polskie elektrownie na paliwa kopalne wyprodukowały 53,44 TWh prądu. Z raportu Ember wynika, że w okresie styczeń–czerwiec 2024 udział produkcji energii ze słońca w Polsce wzrósł o 37 proc. w porównaniu do roku poprzedniego. Tylko w maju farmy wiatrowe i słoneczne odpowiadały łącznie za jedną trzecią energii wyprodukowanej w Polsce, a udział węgla osiągnął najniższy poziom w historii i wyniósł 57 procent [18].

W wyniku tego procesu, tj. pozyskania zielonej energii, zostają zamykane kopalnie (zwłaszcza na Górnym Śląsku) i powstają kolejne obszary wymagające działań rekultywacyjnych. Rekultywacja terenów pogórnich jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż nie ma uniwersalnej metody planowania rewitalizacji. W trakcie działalności górniczej zaobserwowano wiele form degradacji środowiska.

Exploitation of coal mines in the region of Trzebinia

The region of present day Trzebinia, geologically a component of the seabed, includes limestones and dolomites, including ore-bearing dolomites (with zinc, lead and small amounts of cadmium and silver). In addition, many locations feature porphyry tuffs, i.e. volcanic dusts, renowned for centuries as a useful construction material, as well as marlstones and limestones, which

Eksploracja kopalń węgla kamiennego w otoczeniu Trzebini

Na terenie dzisiejszej Trzebini, będącej geologicznie składową dna morskiego, występują wapienie i dolomity, a pośród nich dolomity kruszczone (zawierające cynk, ołów oraz niewielkie ilości kadmu i srebra). W wielu miejscach napotkać można także tufy porfirowe, nazwane tak pyły wulkaniczne, cieszące się przez wieki opinią jako użyteczny materiał budowlany oraz margle i wapienie,

are used in the limestone and cement industry. Historically, the region of Trzebinia is relatively poor in good soils. For that reason, it is not interesting to farmers and lacks farms, as opposite to the established mines and quarries. Lead, calamine and silver mining, first strip mining and then mining shafts, is dated back to the Middle Ages. In the second half of the 19th Century, Siersza became the second coal mining centre in Lesser Poland after Jaworzno, i.e. due to the installation of the steam-powered mining machine. In the mining period of the 19th and 20th Century, Trzebinia was known as a mining centre under the collective name of "SIERSZA". Its mining operations lasted for more than 135 years and ended in 1999.

In the context of mining, the geological structure of the region of Trzebinia includes Quarternary and Carbon formations that are primarily connected with the Pleistocene fluvioglacial accumulation and secondarily with contemporary activity of surface waters (Holocene deposits). Structured as clays, often with an admixture of sands with the thickness of up to several metres, which enables the strip exploitation of sands in the region of Siersza, operated on the Siersza-Misiury deposit (the deposit is the eastmost fragment of the wide sand deposit of Small Błędów Desert). In tectonic terms, the mining area is complex, because it is traversed by a dense network of faults with general directions approximate to latitudinal (S) or to the north-east direction and approximate to longitudinal or to the north-west or south-east direction, of which the geological range also includes overburden formations [19].

Mining area of Siersza

In the mining area, deposits no. 206 (formerly marked as 118), 207, 208, 209, 210, 214, as well as 301 and 303 were exploited, with the thickness varying from 3.0 m to approx. 11.0 m, in the depth zone from 25 to 330 m below ground level (BGL). In the 1990s (final years of operations), the "Siersza" mining area was 40,305,450 m². That area covered the decagon with the axes of 13.5 and 4 kilometres. The boundaries of that area extended from the Misiury settlement to the north-west and to Dulowa and Karniowice in the south-east, which covered approx. 40% of the entire surface of the commune of Trzebinia. The total length of the pits in "Siersza" was (as per 01.01.1997) almost 161 kilometres. The coal mine operations focused not only on coal mining, but also coal enrichment in the Coal Enrichment Plant and Pulverised Coal Enrichment Plant. The mine did not present a methane hazard, nonetheless the very high tendency of coal towards self-ignition was causing danger. The coal was considered as rather low heat, with the sulphur content of 2 to 5% and ash content of 4 to 40%. In 1998, the recoverable resources of the mine were 328,202,000 tonnes, including 269,878,000 tonnes in industrial resources.

The coal mine of Siersza was put into liquidation effective 01.11.1999, which lasted until 2001. All shafts were backfilled and water drainage from the mine was terminated. This initiated

które mają zastosowanie w przemyśle wapienniczym lub cementowym. Historycznie okolica Trzebini jest dość uboga w dobre gleby. Z tego powodu nie cieszy się zainteresowaniem rolników i dlatego brak jest w tej okolicy gospodarstw rolnych – w przeciwieństwie do powstałych kopalń i kamieniołomów. Od średniowiecza datuje się wydobywanie ołowiu, galmanu i srebra, na początku w postaci odkrywek, a następnie szybów górniczych. W drugiej połowie XIX wieku Siersza stała się drugim po Jaworznie ośrodkiem górnictwa węglowego w Małopolsce, m.in. dzięki zainstalowaniu parowej maszyny fedrunkowej. W okresie wydobywania w XIX i XX wieku Trzebinia znana była jako ośrodek górniczy pod wspólną nazwą „SIERSZA”, której działalność górnicza trwała ponad 135 lat i została zakończona w 1999 roku.

W kontekście górnictwa w budowie geologicznej okolic Trzebini występują utwory czwartorzędu i karbonu, które są związane głównie z akumulacją wodnolodowcową plejstocenu oraz podługne ze współczesną działalnością wód powierzchniowych (osady holocenu). Wykształcone są jako gliny często z domieszką piasków, których miąższość sięga kilkunastu metrów, co umożliwia odkrywkową eksploatację piasków w rejonie Sierszy, prowadzoną na złożu Siersza-Misiury (złoża jest wysuniętym na wschód fragmentem rozległego złoża piasków Małej Pustyni Błędowskiej). Pod względem tektonicznym obszar górniczy należy do skomplikowanych, ponieważ przebiega tu gęsta sieć uskóków o generalnych kierunkach zbliżonych do południkowych (S) lub do kierunku północno-wschodniego oraz zbliżonych do równoleżnikowych lub do kierunku północno-zachodniego lub południowo-wschodniego, które swoim zasięgiem obejmują także w sensie geologicznym utwory nadkładu [19].

Obszar górniczy w Sierszy

Na obszarze górniczym kopalni eksploatowano pokłady 206 (poprzednio oznaczany jako 118), 207, 208, 209, 210, 214, a także 301 i 303 o miąższościach wahających się w granicach od 3,0 m do około 11,0 m, w strefie głębokości od 25 do 330 m pod poziomem terenu (p.p.t.). W latach 90. XX wieku (ostatnie lata działalności) obszar górniczy „Sierszy” wynosił 40 305 450 m². Teren ten obejmował dziesięciobok o ośiach o długości 13,5 oraz 4 kilometrów. Granice tego obszaru sięgały na północnym zachodzie do osiedla Misiury, a na południowym wschodzie do Dulowej i Karniowic, co stanowiło blisko 40% powierzchni całej gminy Trzebinia. Całkowita długość wyrobisk w „Sierszy” wynosiła (według stanu na 1.01.1997 r.) prawie 161 kilometrów. Działalność KWK skupiała się nie tylko na wydobyciu węgla, ale też na jego wzbogacaniu w Zakładzie Wzbogacania Węgla oraz w Zakładzie Wzbogacania Miału. Kopalnia nie wykazywała zagrożenia metanowego, niemniej niebezpieczeństwo stwarzała bardzo duża skłonność węgla do samozapalania. Węgiel oceniano na raczej niskokaloryczny, o zawartości siarki od 2 do 5% oraz popiołu od 4 do 40%. W roku 1998 zasoby bilansowe kopalni wynosiły 328 202 tys. ton, z czego 269 878 tys. ton tworzyły zasoby przemysłowe.

KWK Siersza postawiono w stan likwidacji z dniem 1.11.1999 r. Likwidacja trwała do roku 2001. Zasypano również wszystkie szyby oraz zakończono odwadnianie kopalni. Skutkowało to

the self-flooding of mining pits to the underground waters stabilisation level.

rozpoczęciem samozatopienia wyrobisk górniczych do poziomu ustabilizowania się zwierciadła wód podziemnych.

Why are sinkholes formed in Trzebinia?

Damage to development and environmental changes in Trzebinia (loss of water in wells, dusting of mining waste heaps, degraded landscape, abandoned and unprotected minor shafts and road cracking) would occur as early as in the 19th Century. Every year, these phenomena only intensified. The most onerous phenomena include changes in waterways, subsidence troughs, secondary faults, craters and sinkholes. These phenomena occur, because the rocks forming the ceilings of former pits that do not have plastic properties (like sandstone) fill the empty spaces underneath. More plastic rocks (like slate) bend and crack. The underneath sands and other loose formations settle and move laterally, which causes the loss of surface stability.

The terrains above the former pits of the “Siersza” coal mine are located in the subsidence trough zone and the settlement depends on the density of the exploited deposits and the empty drift decommissioning method. The settling is particularly visible in non-developed areas, where the deposits were exploited by caving (the coal deposit was recovered and the remaining empty space was not backfilled and the ceiling fell). In such areas, the terrain subsidence reached up to 14 metres. In urbanised areas, where flooring was used, the subsidence reached up to 2 metres.

Figure 1 shows the section of deformations of the cone crater formed in shallow mining exploitation areas [20].

Dlaczego w Trzebini powstają zapadliska?

Szkody w zabudowie i zmiany środowiska w Trzebini (zanik wody w studniach, pylenie hałd odpadów górniczych, zdegradowany krajobraz, porzucone i niezabezpieczone małe szyby, pękanie dróg) występowały już w XIX wieku. Z każdym rokiem zjawiska te tylko się nasilały. Do najbardziej uciążliwych można zaliczyć: zmiany cieków wodnych, niecki osiadania, wtórne uskoki, leje i zapadliska. Skutkiem tych zjawisk jest to, że skały tworzące stropy dawnych wyrobisk, nie posiadają właściwości plastycznych (takie jak piaskowiec) kruszą się i wypełniają znajdującą się pod nimi wolną przestrzeń. Skały bardziej podatne (takie jak łupek) uginają się i pękają. Znajdujące się nad nimi piaski i inne luźne utwory osiadają i przemieszczają się bocznie, a to powoduje utratę stabilności powierzchni.

Tereny znajdujące się nad dawnymi wyrobiskami KWK „Siersza” leżą w strefie niecki osiadania, wielkość tego osiadania zależy od gęstości eksploatowanych pokładów i sposobu likwidacji pustych korytarzy. Szczególnie widoczne osiadanie występuje w miejscach niezabudowanych, gdzie pokłady eksploatowano na zawał (pokład węgla wybrano, przestrzeń po nim nie została wypełniona i nastąpił zawał stropu), w tych miejscach teren lokalnie obniżył się nawet o 14 metrów. Na obszarach zurbanizowanych, gdzie zastosowano podsadzkę, obniżenie wyniosło maksymalnie do 2 metrów.

Na rycinie 1 przedstawiono przekrój deformacji leja stożkowego, powstałego w obszarach płytkiej eksploatacji górniczej [20].

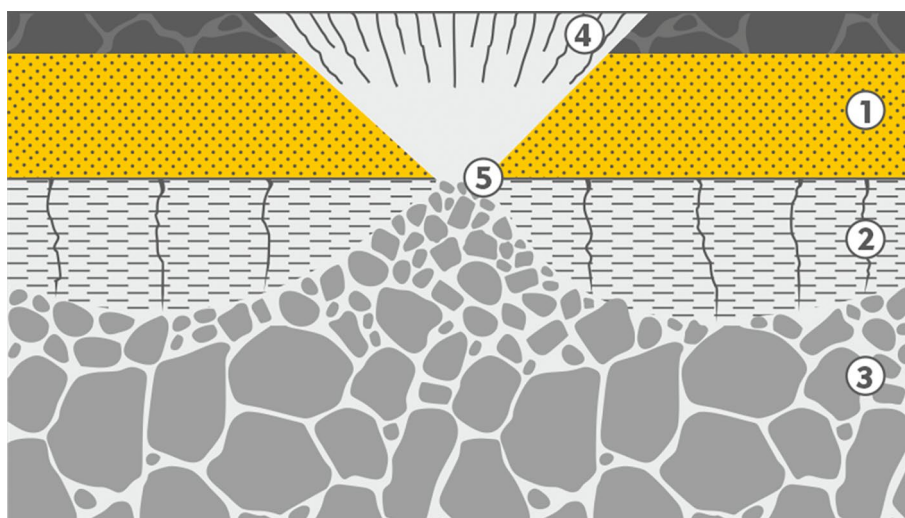


Figure 1. The section of deformations of the cone crater formed in shallow mining exploitation areas: 1 – overburden (the thin layer of grey sandy soil, medium and thick grain sand, sand with scarce small boulders of quartz reaches the depth of 5–20 m); 2 – hard rocks (sandstone and clay slate with coal deposits), 3 – collapsed space of the exploitation pit; 4 – sinkhole; 5 – opening in hard rocks (the so-called window)

Rycina 1. Przekrój deformacji leja stożkowego, powstałego w obszarach płytkiej eksploatacji górniczej: 1 – nadkład (do głębokości około 5–20 m sięga cienka warstwa gleby szarej piaszczystej, piasku średnio- i gruboziarnistego z nielicznymi drobnymi otoczkami kwarcu); 2 – skały związane (piaskowiec i łupki ilaste z pokładami węgla), 3 – zawalisko wyrobiska wybierkowego; 4 – zapadlisko; 5 – otwór w skałach zwiezłych (tzw. okno)

Source: Central Mining Institute in Katowice.

Źródło: Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

In developed areas, the impact of shallow mining exploitation (i.e. the oldest 19th Century mines) is much more severe, because the greatest soil dislocation occurs directly above the exploited deposit. The deeper the road, the greater the certainty that the rocks above the collapsed pit will automatically move to support the ceiling.

The development and other structures on the ground surface are relatively resistant to compression, however soil extension causes damage to walls and roads. In turn, in zones without major lateral stresses (compression and tension), there is a sink-hole hazard caused by undercut. From the beginning of operations, the mines in the region failed to overcome the water inflow and had to drain the pits. The „Siersza” coal mine would pump water at up to 37 m³/min. During its operations, it caused the formation of the depression crater and drying of several waterways (the water was also drawn by the mining plants of „Trzebieńka” and the sand mine of „Szczakowa”). For several years, the terrains would be drained on a regular basis, however since the closure of the „Siersza” coal mine is systematically returning to the initial level. The impact of the activity of underground waters flowing into abandoned pits is the drainage of the orogen (even away from the exploitation point) and scouring craters (most often connected with pits at small depths, into which sands from the surface are directed by gravity). The greatest area of occurrence of such craters is located to the north of the Gaj settlement and the Energetyków settlement (between the Kozi Bród river above the shaft top of the „Siersza” coal mine) on the area of approx. 50 ha. The diameter of the largest craters is up to 15 m and the depth of the deepest crater is 8–10 m. By 1999 (mine decommissioning), there were 32 craters, however more have been formed since then [19]. After the discontinuation of exploitation of the Siersza mine, the legal successor of the closed company was Spółka Restrukturyzacji Kopalń (SRK), which is responsible i.a. for the monitoring of mine flooding and the effects of its decommissioning. The County Office of Trzebieńka is in regular contact with SRK and every report of soil collapse is forwarded to that company.

Where is the sinkole hazard in Siersza?

The hazard exists in areas, where coal exploitation was conducted in the depth zone of 0–100 m below ground level. Such exploitation was conducted in deposits no.: 206/118, 207, 208, 209, 210, 214 (Łaziska layers) and 301 (Orzesze layers), mainly in the central part of the mining areas, in the NW-SE extension strip and in the SE corner of that area. In the central part of the mining area, numerous non-continuous surface deformations were formed as sinkholes and craters, connected with shallow coal exploitation and caused by old excavations [20].

Na terenach zabudowanych znacznie poważniejsze są skutki płytkiej eksploatacji górniczej (czyli najstarszych, XIX-wiecznych kopalń), ponieważ największe przemieszczanie gruntu występuje tuż nad wyeksploatowanym pokładem. Im głębszy chodnik, tym większa pewność, że nad zawalonym wyrobiskiem skały nadległe ustawią się w taki sposób, że nastąpi samoistne podparcie stropu.

Zabudowania i inne konstrukcje na powierzchni ziemi są dość odporne na ściskanie, natomiast uszkodzenia murów i dróg powoduje głównie rozciąganie gruntu. Z kolei w strefie, gdzie nie ma dużych naprężeń bocznych (ściskania i rozciągania), istnieje zagrożenie zapadliskami wywołanymi podtopieniem. Kopalnie w tym rejonie od samego początku działalności nie mogły się uporać z dopływami wód i musiały drenować wyrobiska. KWK „Siersza” pompowała nawet do 37 m³/min wody. W czasie jej działalności powodowało to powstanie leja depresji i osuszenie niektórych cieków wodnych (wodę odciągały też zakłady górnicze „Trzebieńka” i kopalnia piasku „Szczakowa”). Przez kilkadziesiąt lat tereny były regularnie osuszane, jednak po zamknięciu KWK „Siersza” poziom wód systematycznie wraca do początkowego poziomu. Skutkiem działalności wód podziemnych, napływających do opuszczonych wyrobisk, jest drenaż górotworu (nawet w miejscach odległych od punktu eksploatacji) oraz leje sufozyjne (towarzyszą najczęściej płytko położonym wyrobiskom, do których mechanicznie kierowane są piaski z powierzchni). Największy obszar występowania takich lejów znajduje się w niewielkiej odległości na północ od osiedla Gaj i osiedla Energetyków (pomiędzy rzeką Kozi Bród na nadszybiem KWK „Siersza”), na obszarze ok. 50 ha. Średnica największych lei dochodzi do 15 m, najgłębsze mają po 8–10 m. Do 1999 r. (likwidacja kopalni) było ich tutaj 32, jednak od tego czasu powstają kolejne [19]. Po zakończeniu eksploatacji kopalni Siersza, prawnym następcą zamkniętego przedsiębiorstwa stała się Spółka Restrukturyzacji Kopalń (SRK), która jest zobowiązana m.in. do prowadzenia monitoringu zatapiania kopalni i skutków jej likwidacji. Urząd Gminy Trzebieńka jest w stałym kontakcie z SRK i każdy sygnał o zapadnięciu się ziemi jest kierowany do tej spółki.

Gdzie występuje zagrożenie zapadliskowe w Sierszy?

Zagrożenie istnieje na terenach, w podłożu których prowadzono eksploatację węgla w strefie głębokościowej 0–100 m poniżej poziomu terenu. Taką eksploatację prowadzono w pokładach: 206/118, 207, 208, 209, 210, 214 (warstwy łaziskie), a także 301 (warstwy orzeskie), głównie w części centralnej obszaru górniczego, w pasie o rozciągłości NW-SE oraz w SE narożniku tego obszaru. W części centralnej obszaru górniczego już w przeszłości powstawały liczne deformacje nieciągłe powierzchni w formie zapadlisk i lejów, związane z płytką eksploatacją węgla i wywołane reaktywacją starych płytkich zrobów [20].

Works determining terrain surface deformations based on the European Ground Motion Service (EGMS)

To the order of the Ministry of Climate and Environment of 16.02.2023, the National Geological Institute – National Research Institute undertook works (see Figure 1) to investigate the problem of the sinkholes appearing in Trzebinia.

Prace określające deformacje powierzchni terenu na podstawie European Ground Motion Service (EGMS)

Nazlecenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska z dnia 16.02.2023r. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, podjął się wykonania prac (zob. ryc. 1), mających na celu rozpoznanie problemu pojawiających się zapadlisk w Trzebinia.

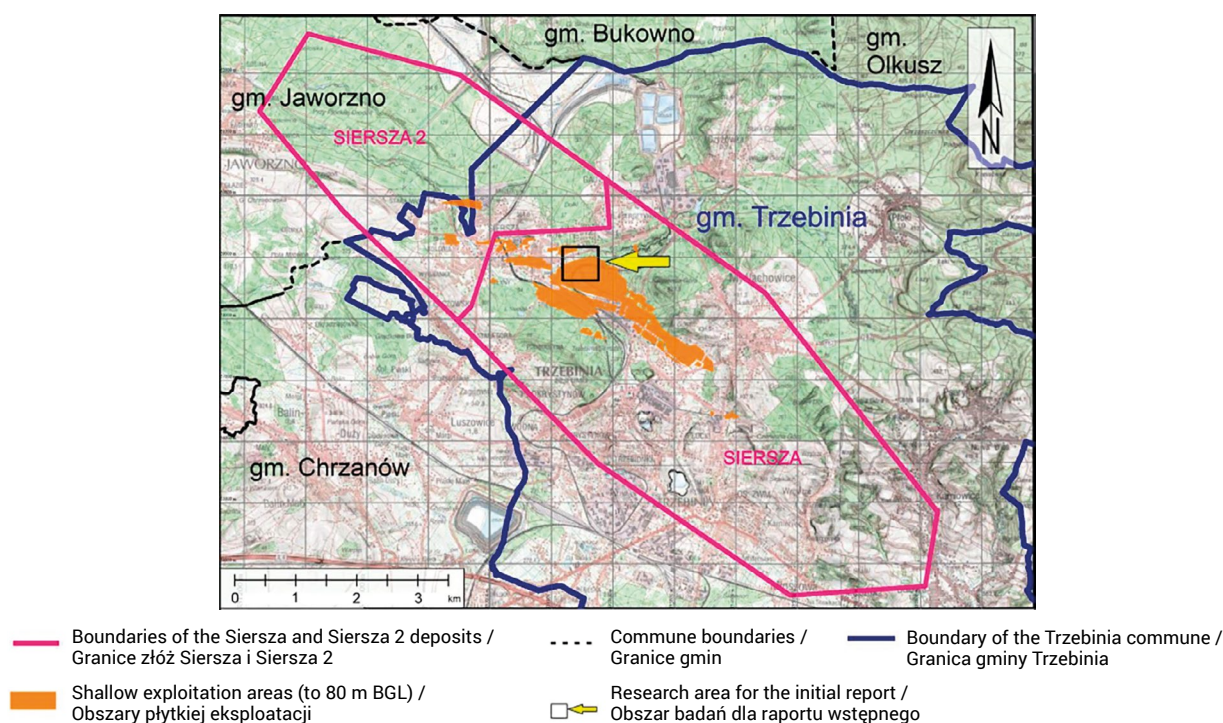


Figure 2. Planned works area covering the area subject to the impact of the “Siersza” and “Siersza 2” coal mines, data on the number of sinkholes as of 23/02/2023

Rycina 2. Przekrój deformacji leja stożkowego, powstałego w obszarach płytkiej eksploatacji górniczej: 1 – nadkład (do głębokości około 5–20 m sięga cienka warstwa gleby szarej piaszczystej, piasku średnio- i gruboziarnistego z nielicznymi drobnymi otoczkami kwarcu); 2 – skały zwięzłe (piaskowce i łupki ilaste z pokładami węgla); 3 – zawalisko wyrobiska wybierkowego; 4 – zapadlisko; 5 – otwór w skałach zwięzłych (tzw. okno)

Source / Źródło: GUGiK.

Based on data from satellite radar interferometry, a report on satellite methods was prepared. The terrain surface motion system belongs to the Copernicus program products group, consisting in the monitoring of land surfaces and implemented by the European Environment Agency (EEA). The EGMS provides consistent, regular, normalised and harmonised information on natural and anthropogenic terrain surface motions in Europe. The data obtained does not include administrative national borders and it is provided to millimetre accuracy. The motions are determined based on analyses of temporal series of Sentinel-1 satellite radar data using radar interferometry methods [21].

Unfortunately, a major limitation of this method is the inability to plan the location of the measurement points referred to as stable diffusers. Their location depends on the properties of structures in the terrain. The results of processing strictly depend on the coherence of images. By consequence, any abrupt

Na podstawie danych z satelitarnej interferometrii radarowej opracowano raport w zakresie metod satelitarnych. System o ruchach powierzchni terenu należy do grupy wyrobów programu Copernicus, polegającym na monitorowaniu powierzchni lądów, a jego implementację zlecono Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). EGMS zapewnia spójne, regularne, znormalizowane i zharmonizowane informacje obejmujące naturalne i antropogeniczne ruchy powierzchni terenu w Europie. Otrzymane dane nie obejmują granic administracyjnych państw i są przekazywane z milimetrową dokładnością. Przemieszczenia są wyznaczone na podstawie analiz szeregów czasowych satelitarnych danych radarowych Sentinel-1 z wykorzystaniem metod interferometrii radarowej [21].

Niestety jednym z dużych ograniczeń tej metody pomiarowej jest brak możliwości zaplanowania rozlokowania punktów pomiarowych nazywanych stabilnymi rozpraszaczami. Lokalizacja ich

changes in signal reflection characteristics within the analysed time series result in the loss of coherence and thus information on any motions. Changes in reflection characteristics may be caused by a series of factors, such as: vegetation growth, foliage changes, soil humidity changes, waste and snow cover melting. The environmental transformations causing the loss of coherence also include earthworks, construction and demolition services and formation of sinkholes. The best coherence, with the highest density of points, is characteristic of areas without vegetation, i.e. rock outcrops, pits and, in our case, urbanised and industrial areas, roads and railway routes [22].

The current EGMS data is from the period of 2015–2020. For the area of Trzebinia, it was sourced from the “Orto” level (horizontal and vertical motion components, bound with the reference geodetic model, Orto products are generated for the grid side of 100 m), illustrating deformations in horizontal and vertical direction in the grid of 100 m. Each of these pixels (stable diffuser points) has an assigned average motion rate in the required direction in mm/year and time series values of motion in millimetres between the inputs obtained.

In addition, “Calibrated” level data was obtained from the ascending and descending orbit. It presents deformations in the satellite imaging direction, so not converted into easily interpretable vertical and horizontal deformation vectors, but angled 29.1–46.0° to the vertical direction. Still, despite difficulties in the interpretation of these point values, they show higher density in specific study surface areas.

The detailed analysis of the obtained (calibrated) data presents motion values that are not characterised by interpretable changes and thus it was not considered further.

Vertical deformations for the period of 2015–2020 were shown in Figure 3, where the average rate (mm/year) recorded in PS points was presented on a colour scale. Green is for stable points, blue for raising, yellow and red for settling. The research area includes the “Siersza” deposit shown in black and the cemetery region marked with a red frame. The central part presents the terrain showing the characteristic terrain raising at the rate of 5–25 mm/year. The cemetery is located within the area, the map of that region is shown in Figure 4.

The research area presented below shows very little motions in the vertical direction for the designated raising area (see Figure 3)

zależy od właściwości obiektów znajdujących się w terenie. Wyniki przetwarzania ściśle zależą od koherencji, czyli spójności obrazów. W konsekwencji wszelkie gwałtowne modyfikacje w charakterystyce odbicia sygnału w obrębie analizowanej serii czasowej powodują utratę koherencji, a tym samym informacji o ewentualnych przemieszczeniach. Zmiany charakterystyki odbicia mogą być powodowane przez szereg czynników, takich jak: wzrost roślinności, zmiany ulistnienia, zmiany wilgotności gleby, opady i rozpuszczenie pokrywy śnieżnej. Do transformacji środowiskowych wywołujących utratę koherencji zaliczyć można również prace ziemne, usługi budowlane i rozbiórkowe oraz pojawianie się zapadlisk. Najlepszą koherencją, jednocześnie z największą gęstością punktów, charakteryzują się tereny pozbawione roślinności, tj. wychodnie skalne, odkrywki, a w naszych warunkach są to tereny zurbanizowane, przemysłowe oraz drogi i trasy kolejowe [22].

Aktualnie dane EGMS dotyczą lat 2015–2020. Dla obszaru Trzebini zostały pobrane z poziomu „Orto” (są to składowe ruchu poziome i pionowe, dowiązane do referencyjnego modelu geodezyjnego, produkty Orto są generowane dla siatki o boku 100 m), ilustrujące deformacje w kierunku poziomym oraz pionowym w siatce 100 metrów. Każdy z tych pikseli (punktów stabilnych rozpraszaczy) ma przypisaną wartość średniej prędkości ruchu w nakazanym kierunku w jednostce mm/rok oraz wartości szeregów czasowych przemieszczeń w milimetrach pomiędzy każdą pozyskaną informacją.

Ponadto uzyskano dane poziomu „Skalibrowany” orbity wstępującej i zstępującej. Przedstawiają one deformacje w kierunku obrazowania satelity, a więc nieprzeliczone na łatwe w interpretacji wektory deformacji pionowe i poziome, ale nachylone do kierunku pionowego o 29,1–46,0°. Jednak pomimo trudności w interpretacji wartości tych punktów, przedstawiają one większą gęstość w określonych rejonach powierzchni badawczej.

Dokładna analiza otrzymanych danych (skalibrowanych) przedstawia wartości przemieszczeń, które nie charakteryzują się zmianami mogącymi stanowić przedmiot interpretacji i dlatego nie wzięto ich pod uwagę w dalszych dywagacjach.

Deformacje w kierunku pionowym dla okresu 2015–2020 zostały opisane na rycinie 3, gdzie średnia prędkość (mm/rok) zaobserwowana na punktach PS została przedstawiona w skali barwnej. Kolor zielony przedstawia punkty stabilne, kolor niebieski podnoszenie, kolory żółte-czerwone osiadanie. Teren badawczy obejmuje złożę „Siersza” przedstawione kolorem czarnym oraz teren w okolicy cmentarza, który jest zaznaczony czerwoną ramką. W środkowej części przedstawiony jest teren wykazujący charakterystyczne podnoszenie terenu z prędkością 5–25 mm/rok. Cmentarz położony jest w granicy tego obszaru, mapę tego rejonu przedstawiono na rycinie 4.

Na przedstawionym poniżej obszarze badawczym zaobserwowano bardzo niewielkie przemieszczenia w kierunku poziomym dla wyznaczonego obszaru podnoszenia (zob. ryc. 3).

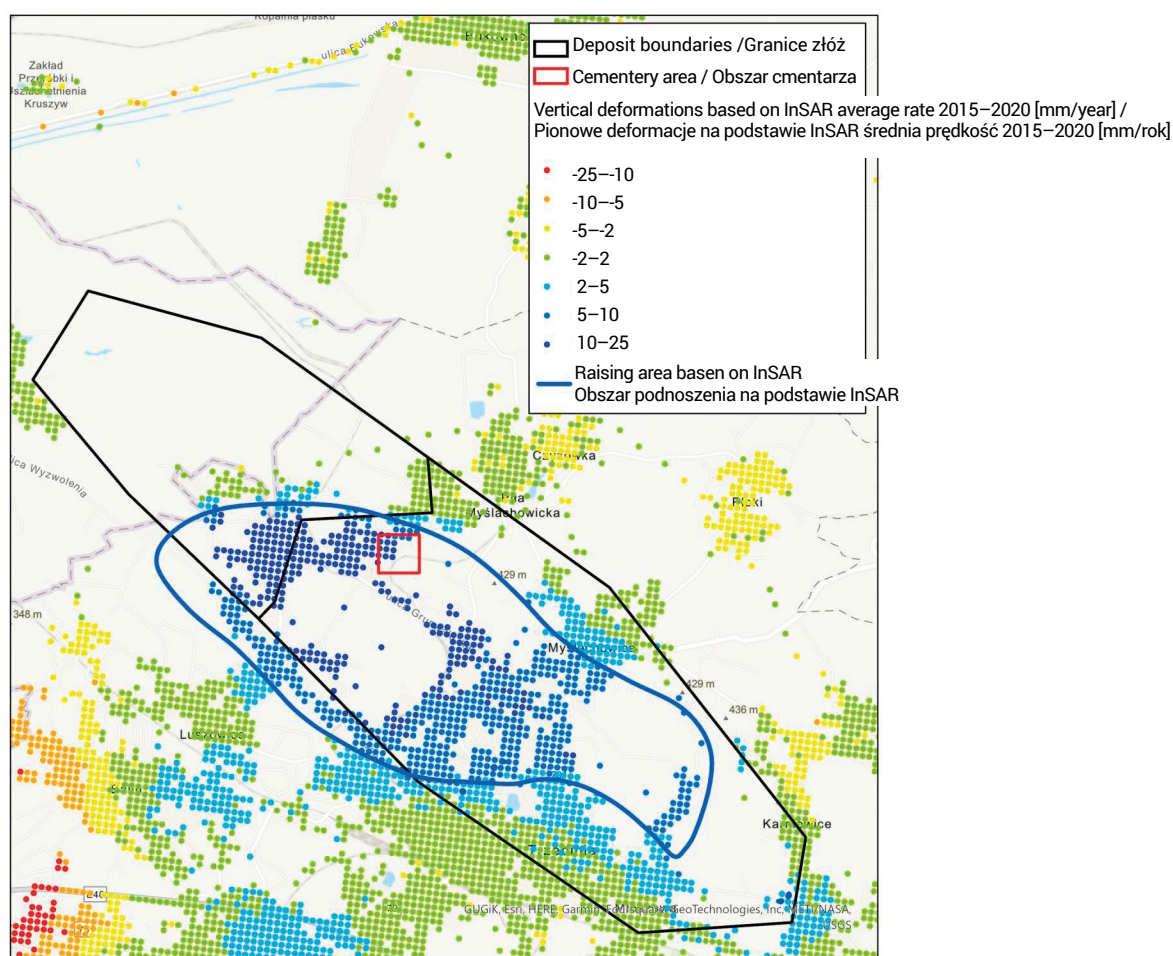


Figure 3. Average rate for stable diffuser points in the vertical direction in the "Trzebinia" research area, covering the "Siersza" deposit

Source: Initial PIG report on terrain deformation in Trzebinia.

Źródło: Raport wstępny PIG o deformacji terenu w Trzebinii.

Westward motions remain within 10 mm/year, eastward motions within 5 mm/year. In the cemetery, the eastward motions in the cemetery determined by research was 0.8 to 4.1 mm per year (see Figure 4).

The horizontal motions subject to monitoring and analysis, constituting the component of the vertical motions vector, caused by terrain surface inclination changes at the border of the raising area, are described above. The reported information on continuous deformations (vertical and horizontal motions) in the cemetery include a part of the regional phenomenon of terrain raising connected with the elimination of the underground waters surface depression crater after the discontinuation of drainage of the underground pits of the "Siersza" coal mine. The terrain raising is caused by the expansion of the underground waters table in that area. The cemetery area is located near the raising terrain edge and thus it is subject to surface inclination changes, during which both vertical and horizontal motions occur.

Przemieszczenia w kierunku zachodnim zachowują stan w granicach 10 mm/rok, w kierunku wschodnim do 5 mm/rok. Na terenie cmentarza otrzymano po badaniach przemieszczenia w kierunku wschodnim od 0,8 do 4,1 mm na rok (zob. ryc. 4).

Poddane monitoringu i analizie przemieszczenia poziome, stanowiące składową wektora przemieszczeń pionowych spowodowaną zmianami nachylenia powierzchni terenu na granicy obszaru objętego podnoszeniem, opisano wyżej. Zawarte w raporcie informacje o deformacjach ciągłych (przemieszczenia pionowe i poziome) na terenie cmentarza zawierają część występującego regionalnie zjawiska podnoszenia terenu związanego z likwidacją leja depresji powierzchni wód podziemnych po zakończeniu odwadniania wyrobisk podziemnych KWK „Siersza”. Podnoszenie terenu jest skutkiem powiększenia się zwierciadła wód podziemnych na tym terenie. Obszar cmentarza znajduje się blisko krawędzi terenu podnoszenia i w związku z tym ulega zmianom nachylenia powierzchni, w trakcie których występują przemieszczenia zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym.

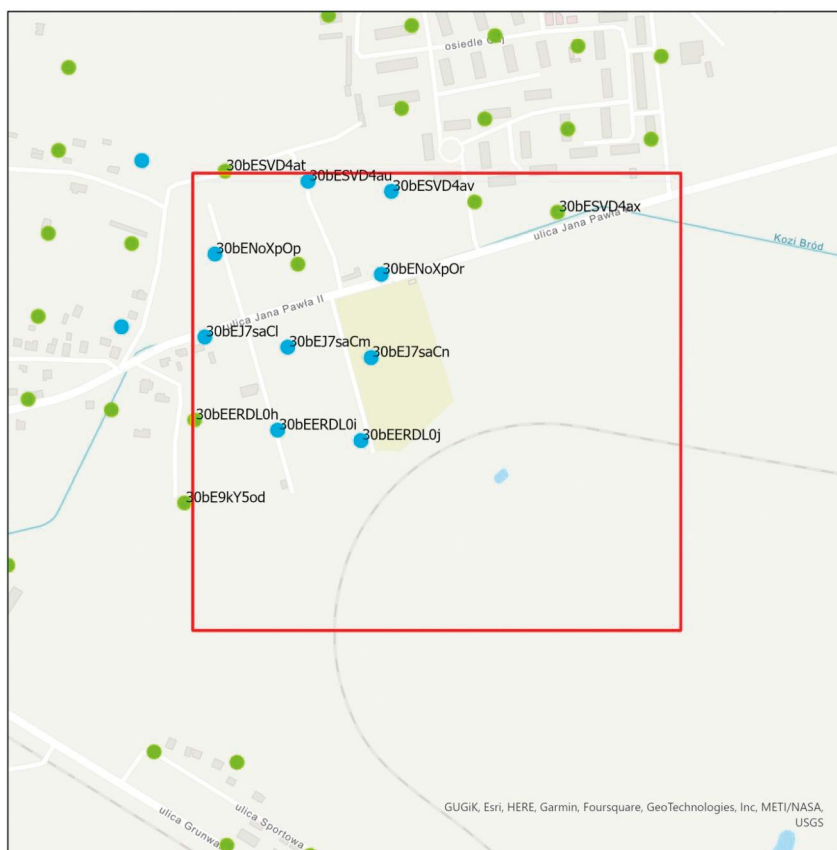


Figure 4. Cemetery area. Average rate for stable diffuser points in the horizontal direction

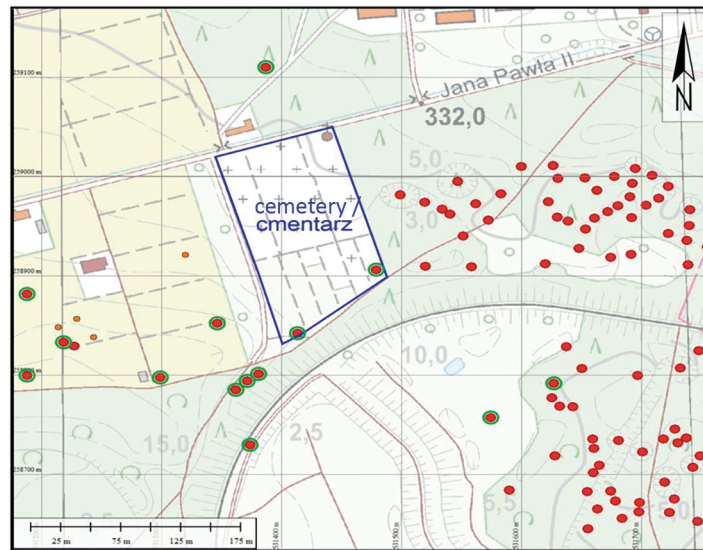
Rycina 4. Obszar cmentarza. Średnia prędkość punktów stabilnych rozpraszaczy w kierunku poziomym

Source: Initial PIG report on terrain deformation in Trzebinia.

Źródło: Raport wstępny PIG o deformacji terenu w Trzebinii.

As part of research covered by the report, i.e. the cemetery and the surrounding region, 91 sinkholes were identified as “certain” using remote methods and 4 sinkholes as “uncertain” (see Figure 5). All previously found sinkholes are located in the shallow exploitation area or on its edges. The greater part of sinkholes is located in the forest area to the east and south east of the cemetery. The sinkholes outside the forest area are also found in the south part of the cemetery and in the south part of allotment gardens (ROD). The shape of sinkholes in plan is usually nearly circular, while the average hole size is approx. 10 metres. The average sinkhole depth is approx. 2 m, however the greatest depths recorded in the numerical terrain model is more than 8 metres. The inventory of the above sinkholes supports the conjecture that their total number in the “Siersza” and “Siersza 2” deposits area may be up to several times greater than presented before.

W badaniach objętych raportem, tj. obszaru cmentarza i okolic, wyznaczono 91 zapadlisk, które przy pomocy metod zdalnych uznano za „pewne” oraz 4 zapadliska określone jako „niepewne” (zob. ryc. 5). Wszystkie poprzednio wyznaczone zapadliska położone są w obrębie obszaru płytkiej eksploatacji lub na jego obrzeżach. Większa część zapadlisk znajduje się w obszarze leśnym na wschód i południowy wschód od cmentarza. Zapadliska poza obszarem leśnym występują ponadto w południowej części cmentarza oraz południowej części ogródków działkowych (ROD). Kształt zapadlisk w planie jest zwykle zbliżony do okręgu, a średni wymiar otworu to ok. 10 metrów. Średnia głębokość zapadlisk to ok. 2 m, przy czym najgłębsze zarejestrowane na numerycznym modelu terenu (NMT) ma ponad 8 metrów. Zinwentaryzowanie powyższych zapadlisk pozwala przypuszczać, że ich całkowita liczba w obszarze złóż „Siersza” i „Siersza 2” może być nawet kilkukrotnie wyższa niż do tej pory przedstawiano.



Locations of sinkholes identified by PGI-PIB:/ Lokalizacje zapadlisk wyznaczonych przez PIG-PIB:

- Sinkholes identified based on heterochronous NMT and archived data / zapadliska stwierdzone na podstawie różnoczasowych NMT i danych archiwalnych
- Presumed sinkholes identified based on multi-temporal NMT / zapadliska przypuszczalne wytypowane na podstawie różnoczasowych NMT
- Locations of sinkholes from the report commissioned by SRK S.A. / lokalizacje zapadlisk z raportu wykonanego na zlecenie SRK S.A.

Figure 5. Location of sinkholes in the cemetery region of Trzebinia (Siersza) on the topographic base on the scale of 1:10,000
Rycina 5. Lokalizacja zapadlisk w okolicy cmentarza w Trzebini (Sierszy) na podkładzie topograficznym w skali 1:10 000
Source / Źródło: GUGiK.

In the period of 12.10.2019–27.03.2022, a significant increase in sinkhole motion dynamics was recorded in the research area. In that period, four existing sinkholes were activated (widened and deepened) in the forest, to the east and south east of the cemetery (see Figure 6). Two of them are sinkholes that were already active in the period of 2014–2019. In the analysed period, 14 new sinkholes were formed, but the volumes of the collapsed soil in the largest sinkholes exceeded 300 m³ (see Figure 6). The total volume of the collapsed soil for all sinkholes activated in that period was 1543 m³. Admittedly, the sinkhole in the cemetery of 20.09.2022 was formed on the extension of the sinkholes located to the east of the necropolis, activated in the period of 12.10.2019–27.03.2022.

W okresie 12.10.2019–27.03.2022 odnotowano znaczący wzrost dynamiki ruchów zapadliskowych na badanym obszarze. W ciągu tego okresu doszło do uaktywnienia się (powiększenia i pogłębienia) czterech istniejących zapadlisk zlokalizowanych w lesie, na wschód i południowy wschód od cmentarza (zob. ryc. 6). Dwa z nich to zapadliska, które wykazywały aktywność już w latach 2014–2019. W analizowanym okresie powstało również 14 nowych zapadlisk, a objętości zapadniętego gruntu największych zapadlisk przekraczają 300 m³ (zob. ryc. 6). Całkowita kubatura gruntu, który uległ zapadnięciu dla wszystkich zapadlisk uaktywnionych w tym okresie, wynosi 1543 m³. Należy przyznać, iż zapadlisko na cmentarzu z dnia 20.09.2022 r. powstało na przedłużeniu zapadlisk zlokalizowanych na wschód od nekropolii, które uaktywniły się w okresie 12.10.2019–27.03.2022.

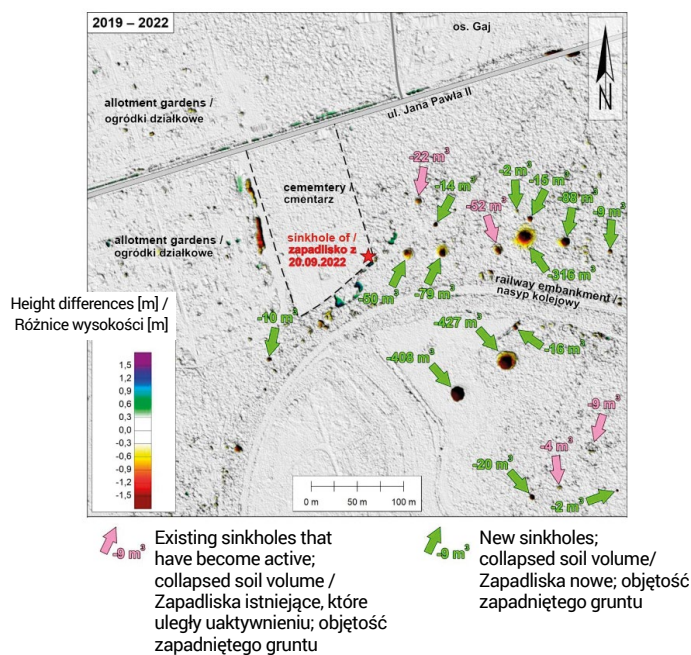


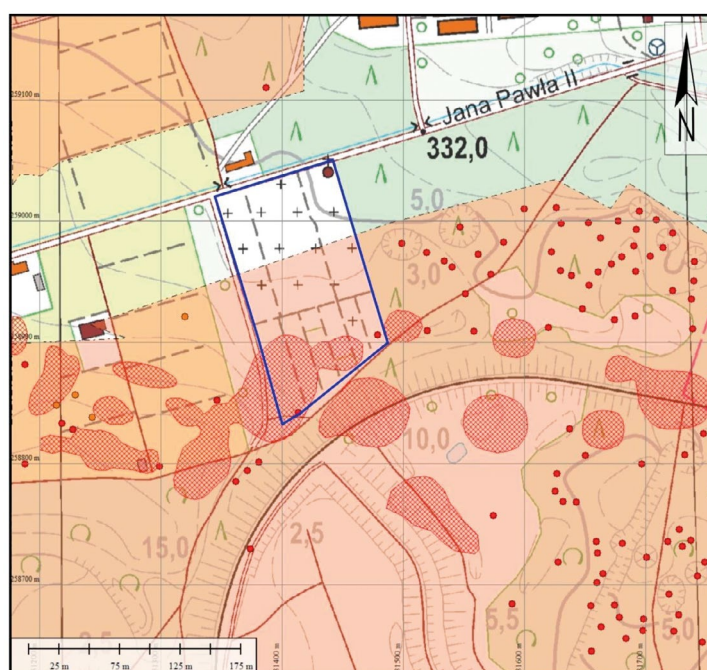
Figure 6. Differential numerical terrain model for the period of 2019–2022
Rycina 6. Różnicowy numeryczny model terenu dla okresu 2019–2022

Source: Initial PIG report on terrain deformation in Trzebinia.

Źródło: Raport wstępny PIG o deformacji terenu w Trzebini.

To conclude, upon completion of the research outlined at this stage, it may be ascertained that the scale of sinkholes in Trzebinia is much greater than suggested by previous studies and media reports (presentation of the SRK S.A. report, reference sinkhole locations shared at the GIG website, data from the official website of the town hall of Trzebinia and information from social media of the Siersza settlement). In the area of up to 0.32 km², covering the cemetery and its direct vicinity, more than 90 sinkholes were recorded and their development activity in the period of 2019–2022 was significantly higher than previously assumed. In that period, at least 12 new sinkholes were formed in the research area, not recorded and described previously. It means that only in that period, 26 new sinkholes were formed in that small area. The south part of the cemetery and allotment plots is located in areas, in which embankments were deposited in the past. A significant part of sinkholes in the cemetery region is a re-activation of old sinkholes, backfilled in the past. The inventory of old sinkholes may lead to an efficient forecast and location of this type of hazard in future. The south parts of the cemetery and allotment plots, as well as the railway embankment towards the “Siersza” power plant, may be considered as the most exposed to the formation of further sinkholes in the analysed area. The locations particularly exposed to the formation of sinkholes are marked in Figure 7. The research area there is also subject to continuous deformations. In the past, they were progressing subsidence troughs, at present minor uplift of some areas is recorded, probably in connection with the raising of the groundwater surface.

Podsumowując, po zrealizowaniu nakreślonych na obecnym etapie zakresie badań, możemy stwierdzić, że skala zapadlisk w Trzebini jest dużo większa, niż wynika to z dotychczasowych opracowań i doniesień medialnych (prezentacja raportu SRK S. A., poglądowe lokalizacje zapadlisk udostępniane na stronie GIG, dane ze oficjalnej strony internetowej UM Trzebinia oraz informacje z portali społecznościowych osiedla Siersza). Na obszarze nie większym jak 0,32 km² obejmującym cmentarz i jego najbliższe otoczenie naliczono ich ponad 90, a ich aktywność rozwoju (zapadlisk) w latach 2019–2022 była znacznie większa, niż dotychczas przypuszczano. W tym czasie na badanym obszarze powstało co najmniej 12 nowych zapadlisk, które nie były wcześniej zaobserwowane i opisane. Oznacza to, że tylko w tym okresie na tym niewielkim obszarze powstało 26 nowych zapadlisk. Południowa część cmentarza i ogródków działkowych znajduje się na obszarach, w których w przeszłości deponowano nasypy. Znaczna część zapadlisk w rejonie cmentarza stanowi reaktywację starych, zasypanych w przeszłości zapadlisk. Przeprowadzenie inwentaryzacji starych zapadlisk może doprowadzić do skutecznej prognozy i lokalizacji tego typu zagrożeń w przyszłości. Za najbardziej narażone na wystąpienie następnych zapadlisk na analizowanym obszarze należy uznać południowe części cmentarza i ogródków działkowych, a także nasyp kolejowy prowadzący do elektrowni „Siersza”. Miejsca szczególnie podatne na wystąpienie zapadlisk zaznaczono na rycinie 7. Tamtejszy teren badań również podlega deformacjom ciągłym. W przeszłości były to postępujące niecki osiadania, obecnie rejestruje się niewielkie wypiętrzanie niektórych obszarów związane prawdopodobnie z podnoszeniem się powierzchni wód gruntowych.



- Areas with the highest sinkhole risk / Obszary najbardziej zagrożone wystąpieniem zapadlisk
- Areas in which new sinkholes may occur first / Obszary, w których może dojść do wystąpienia kolejnych zapadlisk w pierwszej kolejności
- Sinkholes, presumed sinkholes / Zapadliska, zapadliska przypuszczalne

Figure 7. Areas exposed to the formation of sinkholes on the topographic base on the scale of 1:10,000
Rycina 7. Obszary zagrożone występowaniem zapadlisk na podkładzie topograficznym w skali 1:10 000

Source / Źródło: GUGiK.

Conclusions

Mining industry is an important branch of economy that supplies the raw materials necessary for the national economic and civilisation development. It is difficult to imagine how contemporary societies would function without products made from raw materials produced by mining, without power from fossil fuels, without metal products from ores, without roads and without stone products from rock raw materials. For example, sand as extracted raw material is one of the most commonly used materials on Earth [23–25].

The exploitation of mineral resources connected with human mining operations often lead to total or partial disintegration of ecological systems in all climate zones. The most evident natural consequences of strip mining in environment are the large area pits remaining from the exploitation of sand, gravel, limestone, lignite and coal. In turn, the forms connected primarily with underground mining are e.g. mining heaps. It applies both to strip mining and underground mining [25]. Due to mining exploitation, the destruction of the soil cover and vegetation prevents using the soil both for agricultural purposes and municipal functions. Although former industrial and mining areas are considered as inutile from the agricultural perspective, they remain valuable in relation to the potential economic, municipal and social functions, in particular in highly urbanised regions [26].

The methods of reducing the negative environmental impact of mining have been developed and upgraded at all stages of

Podsumowanie

Górnictwo jest ważną gałęzią gospodarki, dostarczającą surowców niezbędnych do rozwoju ekonomicznego i cywilizacyjnego kraju. Trudno sobie wyobrazić, jak współczesne społeczeństwa funkcjonowałyby bez produktów uzyskiwanych z surowców wydobywanych metodami górniczymi, bez energii wytwarzanej ze spalania paliw kopalnych, bez wyrobów metalowych otrzymywanych z rud, bez dróg i wyrobów kamiennych wytwarzanych z surowców skalnych. Przykładowo piasek, jako wydobywany surowiec, jest jednym z najczęściej stosowanych materiałów na Ziemi [23–25].

Eksploatacja zasobów mineralnych związana z działalnością górniczą człowieka często prowadzi do całkowitej lub częściowej dezintegracji systemów ekologicznych we wszystkich strefach klimatycznych. Najbardziej widocznymi naturalnymi konsekwencjami górnictwa odkrywkowego w środowisku są wielkoobszarowe wyrobiska powstałe po eksploatacji piasku, żwiru, wapienia, węgla brunatnego i węgla kamiennego. Z kolei formami związanymi głównie z górnictwem podziemnym są np. hałdy kopalniane. Dotyczy to zarówno górnictwa odkrywkowego, jak i podziemnego [25]. W wyniku eksploatacji górniczej zniszczenie pokrywy glebowej i roślinności uniemożliwia wykorzystanie gruntów zarówno do celów rolniczych, jak i na funkcje komunalne. Pomimo że tereny poprzemysłowe i pogórnice uznawane są za nieprzydatne z rolniczego punktu widzenia, pozostają jednak cenne w odniesieniu do możliwych funkcji gospodarczych, komunalnych i społecznych, szczególnie w regionach silnie zurbanizowanych [26].

mining operations, from exploration works to mine decommissioning. One of the methods globally used to reduce the negative environmental impact of mining is the restoration of former mining areas, which restores the useful or natural value of areas transformed by mining operations [27]. In former mining areas, the development and reconstruction of ecological systems in the degraded areas of different regions depend on the environmental policy of local government and their financial capacity. An example of transformation of post-industrial areas into semi-natural areas is the successful formation of a large botanic garden in the former mining town of Radzionków (Southern Poland) [28]. Sandy landscapes may be the results of industrial activity dated to the Middle Ages, in the form of mining and smelting. The members of the "Ekosystemy" research team published the results of research on plant succession processes on sands and their interpretation for biomass growth in the "Land" periodical. The study documented the changes in the surface and underground phytomass of plants and their impact on soil properties. In these desert conditions, Rahmonov et al. [29] identified changes in biomass growth and soil properties along with the progress in plant succession. On the other hand, Pratiwi/Narendra et al., a large team of scientists, presented a review article on the management and re-forestation of the degraded former mining landscape in Indonesia [30].

Polish scientists promote tourist activation of former mining areas. Rurek et al. [31] promote the theme mining village that attracts tourists to the former underground lignite mine in Northern Poland. Rostański [32], on the other hand, described the experimental development of post-zinc extracted material heaps in Ruda Śląska, transformed into a recreational area under the international LUMAT project. SolarSKI and Krzysztofik [33] discussed the potential of the naturalisation of urban landscape by analysing the example of spatial development of the former mining town of Bytom.

Thus, the mining of energy, metal, chemical and rock raw materials is an inherent part of contemporary world. At the same time, mining exploitation is connected with a very strong impact on the natural environment and consequently on human life. Therefore, in present worlds it is essential to care for the natural environment and thus to reduce greenhouse gas emissions and strive towards net-zero emissions. Finally, the authors are hopeful to highlight that world leaders met in Baku (Azerbaijan) at the international climate summit to start the 29th UN Climate Conference (COP 29). The COP 29 Conference took place from 11 to 22 November 2024 and gathered the parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), including the EU and all of its Member States [34].

Metody ograniczania negatywnego wpływu górnictwa na środowisko są od dawna opracowywane i udoskonalane na wszystkich etapach działalności górniczej, od prac rozpoznawczych po likwidację zakładu górniczego. Jednym ze stosowanych na świecie sposobów ograniczenia negatywnego wpływu górnictwa na środowisko jest rekultywacja terenów pogórnich, dzięki której terenom przekształconym w wyniku działalności górniczej przywracane są wartości użytkowe lub przyrodnicze [27]. Rozwój i odbudowa systemów ekologicznych na terenach zdegradowanych w różnych regionach na terenach pogórnich są uzależnione od polityki ekologicznej samorządów i ich możliwości finansowych. Przykładem przekształcenia terenów przemysłowych w tereny półnaturalne jest pomyślnie utworzenie dużego ogrodu botanicznego w pogórnich miejscowości Radzionków (południowa Polska) [28]. Piaszczyste krajobrazy mogą być efektem działalności przemysłowej sięgającej czasów średniowiecza w postaci ośrodka górnictwa i hutnictwa. Członkowie zespołu badawczego „Ekosystemy” opublikowali na łamach czasopisma „Land” wyniki badań dotyczące procesów sukcesji roślinnej zachodzącej na piaskach oraz ich interpretacji pod kątem przyrostu biomasy. W pracy udokumentowano zmiany fitomasy nadziemnej i podziemnej roślin oraz ich wpływ na właściwości gleby. W tych pustynnych warunkach Rahmonov i inni [29] identyfikują zmiany w przyroście biomasy oraz cech gleby w miarę postępu sukcesji roślinnej. Natomiast Pratiwi/Narendra i inni., duży zespół naukowców, przedstawili artykuł przeglądowy na temat zarządzania i ponownego zalesiania zdegradowanego krajobrazu pogórnich w Indonezji [30].

Polscy naukowcy propagują aktywizację turystyczną terenów pogórnich. Rurek i inni [31] popularyzują tematyczną wioskę górniczą, która przyciąga turystów na teren dawnej podziemnej kopalni węgla brunatnego w północnej Polsce. Rostański [32] opisuje natomiast eksperymentalne zagospodarowanie hałd urobku pocynkowego w Rudzie Śląskiej, która w ramach międzynarodowego projektu LUMAT została przekształcona w teren rekreacyjny. SolarSKI i Krzysztofik [33] omówili możliwości, jakie niesie ze sobą naturalizacja krajobrazu miejskiego, analizując przykład zagospodarowania przestrzennego pogórnich miasta Bytomia.

Wydobywanie surowców energetycznych, metalicznych, chemicznych i skalnych jest zatem nieodzowną częścią współczesnego świata. Jednocześnie jednak eksploatacja górnicza wiąże się z bardzo silną ingerencją w środowisko naturalne, a za jego pośrednictwem także w życie człowieka. Dlatego tak ważne w obecnym świecie jest dbanie o środowisko naturalne, a tym samym konieczność zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i dążenie do neutralności emisyjnej. Kończąc artykuł, autorzy z nadzieją sygnalizują, iż światowi przywódcy spotkali się w Baku (Azerbejdżan) na międzynarodowym szczycie na rzecz klimatu, który rozpoczął 29. konferencję ONZ w sprawie zmiany klimatu (COP 29). Konferencja COP 29 odbyła się od 11 do 22 listopada 2024 r. i zgromadziła strony Ramowej konwencji ONZ w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), wśród nich jest UE i wszystkie jej państwa członkowskie [34].

Literature / Literatura

- [1] Mishra S.K., Hitzhusen F.J., Sohngen B.L., Guldman J.M., *Costs of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio*, "J. Environ. Manag." 2012, 100, 52–58.
- [2] Misa, R., Sroka A., Tajduś K., Dudek M., *Analytical design of selected geotechnical solutions which protect civil structures from the effects of underground mining*, "J. Sustain. Min." 2019, 18, 1–7.
- [3] Al Heib M., Nicolas M., Noirel J.F., Wojtkowiak F., *Residual subsidence analysis after the end of coal mine work Example from Lorraine Colliery, France*, in: *Proceedings of the Post-Mining*, Nancy, France, 16–17 November 2005.
- [4] Guéguen Y., Deffontaines B., Fruneau B., Al Heib M., Michele M., Raucoules D., Guise Y., Planchenault J., *Monitoring residual mining subsidence of Nord/Pas-de-Calais coal basin from differential and Persistent Scatterer Interferometry (Northern France)*, "J. Appl. Geophys." 2009, 69, 24–34.
- [5] Cała M., Tajduś A., Andrusikiewicz W., Kowalski M., Kolano M., Stopkowicz A., Cyran K., Jakóbczyk J., *Long term analysis of deformations in salt mines: Kłodawa Salt Mine case study, central Poland*, "Arch. Min. Sci." 2017, 62, 565–577.
- [6] Hoek E., *Surface and Underground Project Case Histories: Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects*, Elsevier, Amsterdam 2016.
- [7] Bell F.G., Bullock S.E.T., Hälbig T.F.J., Lindsay P., *Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield*, "South Africa. Int. J. Coal Geol." 2001, 45, 195–216, <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00375-4>.
- [8] Gray R.E., Bruhn R.W., Turka R.J., *Study and Analysis of Surface Subsidence over the Mined Coal Bed*, GAI Consultants Inc., Springfield, IL, USA 1977.
- [9] Vervoort A., Declercq P.Y., *Surface movement above old coal longwalls after mine closure*, "Int. J. Min. Sci. Technol." 2017, 27, 481–490.
- [10] Niemczyk O.m *Bergschadenkunde—Investigation of subsidence damage caused by mining*, Verlag Glückauf 1949, 27, 291.
- [11] Flaschenträger H., *Considerations on ground movement phenomena based on observations made in the left bank Lower Rhine region*, in: *Proceedings of the European Congress on Ground Movement*, Leeds 1957, 58–73.
- [12] Czubik E., *Über die zeitliche Entwicklung des Senkungsablaufes an der Tagesoberfläche beim Abbau von Steinkohlenflözen*, Berg-Und Hütten-Männische Mon., 1971, 69, 293–301.
- [13] Knufinke P., *Zum Phänomen lokaler Höhenänderungen an der Tagesoberfläche*, in: *Proceedings of the IX Congress ISM*, Praha, Czech Republic, 18–22 April 1994.
- [14] Blachowski J., Cacon S., Milczarek W., *Analysis of post-mining ground deformations caused by underground coal extraction in complicated geological conditions*, "Acta Geodyn. Geomater" 2009, 6, 351–357.
- [15] Słownik pojęć i terminów stosowanych w raportach Centrum Geozagrożeń PIG-PIB dotyczących zapadlisk, <https://www.pgi.gov.pl/zapadliska-home/slownik-pojec.html> [dostęp: 10.11.2024].
- [16] Głowacki T., Milczarek W., *Powierzchniowe deformacje wtórne dawnych terenów górniczych*, "Min. Sci." 2013, 20, 39–55.
- [17] Schäfer A., *Zur Verteilung der Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche nach Grubenwasseranstieg in einer Steinkohlenlagerstätte*, in: *Proceedings of the Bergbau, Energie und Rohstoffe*, Tagungsband, Freiberg, Germany, 7–9.10.2015, 158–170.
- [18] Oksińska B., *Zielona energia przyćmiła paliwa kopalne. Pierwsza taka sytuacja w historii UE*, <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/zielona-energia-przycmila-paliwa-kopalne-pierwsza-taka-sytuacja-w-historii-ue/5emqcgcv> [dostęp: 30.10.2024].
- [19] Jaroszewski W., *Czy geologia jest nauką?*, "Przegląd Geologiczny" 1985, 33, 10, <https://geojournals.pgi.gov.pl/pg/article/view/17912> [dostęp: 30.10.2024].
- [20] Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, <https://zapadliska.gig.eu> [dostęp: 30.10.2024].
- [21] Technical library, <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/european-ground-motion-service> [dostęp: 30.10.2024].
- [22] Wychodnie skalne, Portal Zielone Podkarpacie, <https://www.zielonepodkarpacie.pl/formy-skalne/wychodnie-skalne/> [dostęp: 30.10.2024].
- [23] Peduzzi P., *UNEP. Global Environmental Alert Service—Sand, Rarer than One Thinks*, UNEP, Athens 2014.
- [24] Dulias R., *Landscape planning in areas of sand extraction in the Silesian Upland, Poland*, "Landsc. Urban Plan." 2010, 95, 3, 91–104, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.006>.
- [25] Gorova A., Pavlychenk, A., Kulyna S., *Ecological Problem of post-mining areas*, in: *Geomechanical Processes during Underground Mining*, G. Pivnyak, V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, M. Illiashov, (eds.), CRC Press, Boca Raton, USA 2012.
- [26] Rózkowski J., Rahmonov O., Szymczyk A., *Environmental Transformations in the Area of the Kuźnica Warężyńska Sand Mine, Southern Poland*, "Land" 2020, 9, 116, <https://doi.org/10.3390/land9040116>.
- [27] Abramowicz A., Rahmonov O., Chybiorz R., *Environmental Management and Landscape Transformation on Self-Heating Coal-Waste Dumps in the Upper Silesian Coal Basin*, "Land" 2021, 10, 23, <https://doi.org/10.3390/land10010023>.
- [28] Kantor-Pietraga I., Zdyrko A., Bednarczyk J., *Semi-Natural Areas on Post-Mining Brownfields as an Opportunity to Strengthen the Attractiveness of a Small Town. An Example of Radzionków in Southern Poland*, "Land" 2021, 10, 761, <https://doi.org/10.3390/land10070761>.
- [29] Rahmonov O., Skreczko S., Rahmonov M., *Changes in Soil Features and Phytomass during Vegetation Succession in Sandy Areas*, "Land" 2021, 10, 265, <https://doi.org/10.3390/land10030265>.
- [30] Pratiwi Narendra B.H., Siregar C.A., Turjaman M. et al., *Managing and Reforesting Degraded Post-Mining Landscape in Indonesia: A Review*, "Land" 2021, 10, 658, <https://doi.org/10.3390/land10060658>.

- [31] Rurek M., Gonia A., Hojan M., *Environmental and Socio-Economic Effects of Underground Brown Coal Mining in Piła Młyn (Poland)*, "Land" 2022, 11, 219, <https://doi.org/10.3390/land11020219>.
- [32] Rostański K.M., *Contaminated Areas as Recreational Places—Exploring the Validity of the Decisions Taken in the Development of Antonia Hill in Ruda Śląska, Poland*, "Land" 2021, 10, 1165, <https://doi.org/10.3390/land10111165>.
- [33] Solarski M., Krzysztofik R., *Is the Naturalization of the Townscape a Condition of De-Industrialization? An Example of Bytom in Southern Poland*, "Land" 2021, 10, 838, <https://doi.org/10.3390/land10080838>.
- [34] Światowy szczyt na rzecz klimatu COP 29 (Baku, Azerbejdżan), 12–13 listopada 2024, Portal internetowy Rady UE i Rady Europejskiej, <https://www.consilium.europa.eu/pl/meetings/international-summit/2024/11/12-13/> [dostęp: 03.12.2024].

KRZYSZTOF CYGAŃCZUK, PH.D. ENG. – completed his graduate studies at the Szczecin University and doctoral studies at the War Studies University in Warsaw, as well as post-graduate studies in the field of foreign service at the National Defence Academy, studies in data protection and information security at the Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw and studies in crisis management at the NATO Defence College in Rome and the NATO School (3 x Oberammergau). He is an assistant professor at the Department of Research Studies and Scientific Projects at the CNBOP-PIB in Józefów. He is the author and co-author of more than 30 scientific papers in the field of environmental engineering and security studies. He has participated in many international and domestic scientific conferences as member of scientific committees. A representative of Technical Committee no. 176 for Military Technology and Supply at the Polish Committee for Standardization.

JACEK ROGUSKI, PH.D. PROF. OF THE INSTITUTE – focuses in his research work on aspects related to the safety of use of technical equipment in the firefighting sectors and the problems of operation of technical equipment. His current work focuses on issues related to the link between, on the one hand, ergonomics and ergonometry, and on the other hand, the optimization of the processes of operation and reliability of equipment using elements of the theory of reliability and virtual reality, and improving the safety of rescue operations by implementing innovative technologies. He is the author or co-author of a number of articles, monographs and presentations given at conferences in Poland and abroad. His scientific output has been recognized with 19 international and domestic awards granted at invention exhibitions for his research or development works and by his assignment to various functions in scientific committees of 10 international and domestic scientific conferences. He is the co-author of 5 patents and designs.

DR INŻ. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK – ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Szczecińskim oraz studia doktoranckie w Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie, a także studia podyplomowe z zakresu służby zagranicznej w Akademii Obrony Narodowej, ochrony danych i bezpieczeństwa informacji na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz zarządzania kryzysowego w NATO Defence College (Rzym) i NATO School (3 x Oberammergau). Jest adiunktem w Dziale Prac Studialnych i Projektów Naukowych w CNBOP-PIB w Józefowie. Autor i współautor ponad 30 artykułów naukowych w dziedzinie inżynierii środowiska oraz nauk o bezpieczeństwie. Uczestnik wielu konferencji naukowych w formacie międzynarodowym i krajowym pełniącym funkcje w komitetach naukowych. Przedstawiciel Komitetu Technicznego nr 176 ds. Techniki Wojskowej i Zaopatrzenia w Polskim Komitecie Normalizacyjnym.

DR INŻ. JACEK ROGUSKI, PROFESOR INSTYTUTU – zajmuje się naukowo aspektami związanymi z zagadnieniami bezpieczeństwa użytkowania wyposażenia technicznego w straży pożarnej oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Obecnie prowadzone prace koncentrują się na zagadnieniach związanych z powiązaniem aspektów ergonomii i ergonometrii z optymalizacją procesów eksploatacji i niezawodności sprzętu z wykorzystaniem elementów teorii niezawodności i wirtualnej rzeczywistości oraz podniesienia bezpieczeństwa działań ratowniczych przez wdrażanie innowacyjnych technologii. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii oraz wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych. Dorobek naukowy został potwierdzony przyznaniem 19 międzynarodowych i krajowych wyróżnień na wystawach wynalazczości wynikających z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych oraz pełnienie funkcji w komitetach naukowych 10 międzynarodowych oraz krajowych konferencji naukowych. Współautor 5 patentów i wzorów.