



Lucyna FLORKOWSKA*

Zagadnienia szkód górniczych w kontekście Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs)

Streszczenie: Wydobywanie złóż kopalin jest tą dziedziną działalności przemysłowej, która szczególnie wyraźnie oddziałuje na otoczenie. Dotyczy to nie tylko naturalnych ekosystemów, ale także zindustrializowanego otoczenia człowieka. Na obszarach górniczych budynki, infrastruktura techniczna i komunikacyjna oraz wszelkiego rodzaju urządzenia funkcjonujące dla zaspokajania podstawowych potrzeb człowieka podlegają przyspieszonemu zużyciu oraz uszkodzeniom i niszczeniu z powodu oddziaływania eksploatacji złóż. W warunkach polskich zagłębi wydobywczych (szczególnie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego) deformacje powierzchni pochodzenia górniczego oddziałują na zabudowę aglomeracji miejskich wielokrotnie w ciągu technicznego okresu życia obiektów. Zjawiska te powodują wiele konsekwencji, które zostały wymienione i zwięźle scharakteryzowane w pracy. W artykule zawarto analizę zagadnień związanych z występowaniem szkód górniczych w aspekcie Celów Zrównoważonego Rozwoju (*Sustainable Development Goals* – SDGs) przyjętych w najnowszym, głównym dokumencie strategicznym ONZ dotyczącym wprowadzania zasad zrównoważonego rozwoju. Omówiono również zarys polskiej polityki rozwoju wyszczególniając akty ustawowe oraz dokumenty strategiczne wprowadzające zasady zrównoważonego rozwoju w Polsce a także narzędzia monitorowania jego postępów. Spośród 17 głównych SDGs wskazano te, które mają bezpośredni związek z wdrażaniem zasad zrównoważonego rozwoju (ZR) na obszarach występowania szkód górniczych. Scharakteryzowano główne problemy wynikające z oddziaływania eksploatacji górniczej oraz wskazano narzędzia naukowe i techniczne wspomagające realizację zadań ZR.

Słowa kluczowe: szkody górnicze, zrównoważony rozwój, SDGs, obszary górnicze, ochrona obiektów na terenach górniczych, monitorowanie stanu obiektów, monitorowanie powierzchni terenu

Issues of mining damage in the context of Sustainable Development Goals (SDGs)

Abstract: The exploitation of mineral deposits is an area of industrial activity, which has very evident effects on the environment. This applies not only to natural ecosystems, but also to the industrialized human environment. Buildings and transport as well as technical infrastructure which are located in the mining areas are subject to

* Dr hab. inż., prof. IMG PAN, Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków;
e-mail: Florowska-img-pan.krakow.pl

more rapid wear, damage and destruction due to the significant deformation of the substrate. Mining surface deformations influence on the development of urban agglomerations repeatedly during the technical lifetime of the objects in the conditions of the Polish mining basins (especially the Upper Silesian Coal Basin). These phenomena cause a series of consequences which have been briefly mentioned and characterized in the work. The article includes an analysis of the issues of mining damage in terms of the Sustainable Development Goals (SDGs) contained in the latest, main strategic document of the United Nations concerning the implementation of the principles of sustainable development.

The paper discusses the outline of the Polish development policy specifying the act and strategic documents, which introduce the principles of sustainable development in Poland as well as tools to monitor its progress. Of all the 17 SDGs identified those that are directly linked to the implementation of the principles of sustainable development in areas with mining damage. It characterizes the main problems arising from the impact of mining and identifies the research tools and technical support tasks of sustainable development in this area.

Keywords: mining damage, sustainable development, SDGs, mining areas, protection of buildings in mining areas, monitoring of a building's state, monitoring land surface deformation

Wprowadzenie

Zrównoważony rozwój, jako idea harmonijnego wzrostu poziomu życia oraz postępu naukowego, technicznego i gospodarczego przy jednoczesnym poszanowaniu środowiska i zasobów naturalnych a także uwzględnieniu potrzeb przyszłych pokoleń, budzi powszechną akceptację. Jego koncepcja z teoretycznej doktryny przekształcona została w system uregulowań prawnych mających kształtować przemiany gospodarcze, ekonomiczne i społeczne na świecie. W Polsce ranga przepisów prawnych w tym zakresie jest wysoka, zważywszy, że stosowny zapis wprowadzony został do Konstytucji RP. Artykuł 5 ustawy zasadniczej głosi, że Rzeczpospolita Polska kieruje się zasadą zrównoważonego rozwoju. Kształtowanie zrównoważonego rozwoju gospodarczego, środowiskowego, społecznego i administracyjno-politycznego kraju wprowadzane jest na drodze odpowiednich uregulowań ustawowych. Opracowano również szereg dokumentów strategicznych wyznaczających tzw. politykę rozwoju oraz zasady monitorowania postępów.

Ponieważ sektor wydobywczy jest tą dziedziną działalności człowieka, która bardzo mocno wpływa nie tylko na środowisko naturalne, ale również na całe otoczenie człowieka, realizacja założeń zrównoważonego rozwoju jest w tym obszarze szczególnie ważna.

Przedmiotem rozważań niniejszego artykułu jest analiza zagadnień szkód górniczych, jako niekorzystnych skutków eksploatacji złóż, przeprowadzona w kontekście zadań i celów zrównoważonego rozwoju.

Zakres analizy obejmuje materialne i niematerialne aspekty negatywnych skutków eksploatacji górniczej, które odniesione zostaną do nowych Celów Zrównoważonego Rozwoju (*Sustainable Development Goals* – SDGs) określonych w przyjętym jesienią 2015 r. dokumencie „Przekształcanie naszego świata: Agenda, na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju – 2030”. Polska, jako sygnatariusz Agendy, zobowiązana jest wprowadzać zawarte w niej ustalenia dostosowując zakres i rodzaj podejmowanych działań do krajowych i regionalnych problemów i uwarunkowań.

Celem przeprowadzonej analizy jest identyfikacja podstawowych przeszkód w realizacji zasad zrównoważonego rozwoju wynikających z negatywnych skutków eksploatacji kopalnin oraz wskazanie naukowych i technicznych rozwiązań umożliwiających ograniczenie szkód górniczych w zakresie budownictwa.

1. Cele Zrównoważonego Rozwoju (SDGs)

We wrześniu 2015 r. w Nowym Jorku odbył się światowy Szczyt Zrównoważonego Rozwoju 2030, którego celem było opracowanie nowej, powszechnej strategii rozwoju. Strategia ta stanowić miała w zamyśle kontynuację, ale także poszerzenie działań prowadzonych dla realizacji Milenijnych Celów Rozwoju (*Millenium Development Goals* – MDGs) przyjętych w Deklaracji Milenijnej Narodów Zjednoczonych w roku 2000.

Sto pięćdziesiąt państw członkowskich ONZ, w tym również Polska, podpisało dokument końcowy szczytu: „Przekształcanie naszego świata: Agenda na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju – 2030”. Agenda 2030 zawiera 17 głównych Celów Zrównoważonego Rozwoju (*Sustainable Development Goals* – SDGs), do których przyporządkowane zostały cele operacyjne precyzujące poszczególne ścieżki realizacji (rys. 1). Tworzą one listę 169 uzgod-



Rys. 1. Cele Zrównoważonego Rozwoju (*Sustainable Development Goals* – SDGs) (źródło: GUS)

Fig. 1. Sustainable Development Goals – SDGs (source: Central Statistical Office of Poland)

nionych globalnie zobowiązań, które powinny znaleźć swoje przełożenie w działaniach krajowych oraz na poziomie regionalnym, przy uwzględnieniu lokalnych warunków. Polska, będąc sygnatariuszem Agendy, zobowiązana jest do podjęcia wysiłku realizacji wyznaczonych celów, dostosowując zakres podejmowanych działań do sytuacji w poszczególnych regionach.

2. Polska polityka zrównoważonego rozwoju

Kształtowanie obszarów gospodarki krajowej w zakresie wymagań zrównoważonego rozwoju wprowadzane jest poprzez uregulowania zawarte w ustawach: z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, z dnia 6 lipca 2001 r. o zachowaniu narodowego charakteru strategicznych zasobów naturalnych kraju, z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, z dnia 6 grudnia 2006 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju.

Polska wprowadziła również system zarządzania rozwojem, którego założeniem jest odpowiednie kierowanie polityką rozwoju państwa. Polityka ta określać ma cele rozwojowe na poziomie kraju oraz sposoby ich realizacji. Służą temu m.in. dokumenty strategiczne zawierające plan wprowadzania w Polsce celów zrównoważonego rozwoju. Są to:

- 1) długookresowa i średniookresowa strategia rozwoju kraju:
 - Długookresowa strategia rozwoju kraju. Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności,
 - Średniookresowa Strategia Rozwoju Kraju 2020;
- 2) strategie zintegrowane:
 - Strategia innowacyjności i efektywności gospodarki,
 - Strategia rozwoju kapitału ludzkiego,
 - Strategia rozwoju transportu,
 - Strategia: Bezpieczeństwo energetyczne i środowisko,
 - Strategia: Sprawne państwo,
 - Strategia rozwoju kapitału społecznego,
 - Krajowa strategia rozwoju regionalnego – Regiony Miasta Obszary wiejskie,
 - Strategia zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa,
 - Strategia rozwoju systemu bezpieczeństwa narodowego RP;
- 3) strategie ponadregionalne:
 - Strategia rozwoju społeczno-gospodarczego Polski Wschodniej do roku 2020,
 - Strategia rozwoju Polski Południowej do roku 2020,
 - Strategia rozwoju Polski Zachodniej do roku 2020,
 - Strategii rozwoju Polski Centralnej do roku 2020 z perspektywą 2030;
- 4) koncepcja przestrzennego zagospodarowania kraju.

Polską politykę rozwoju koordynuje Komitet Koordynacyjny do spraw Polityki Rozwoju, który jest organem opiniotwórczo-doradczym Prezesa Rady Ministrów. W jego skład wchodzi przedstawiciele resortów, a pracom przewodniczy Minister Infrastruktury i Rozwoju. Działania w ramach poszczególnych strategii zintegrowanych koordynują odpowiednie ministerstwa.

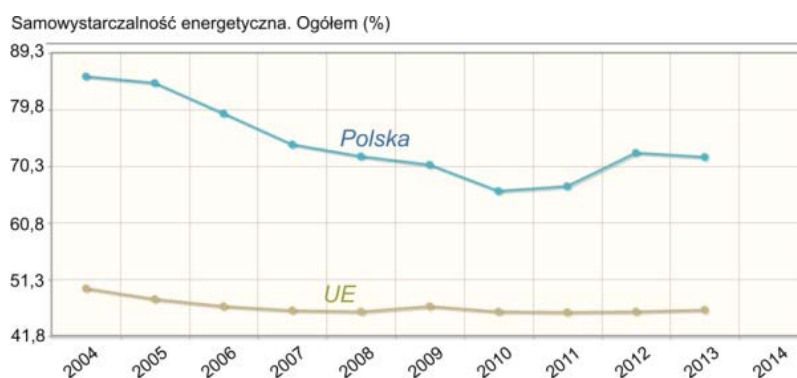
Ocena postępów w realizacji przyjętych strategii monitorowana jest za pomocą tzw. wskaźników zrównoważonego rozwoju (*Sustainable Development Indicators – SDI*). Zestaw wskaźników zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej opracowany został przez Eurostat i zawiera zbiór indyktorów pogrupowanych według kategorii odzwierciedlających główne cele, do których należą:

- ład gospodarczy (rozwój gospodarczy),
 - ład środowiskowy (ochrona środowiska),
 - ład społeczny (sprawiedliwość społeczna),
 - ład instytucjonalno-polityczny (rozwój instytucjonalno-polityczny).
- Informacje na temat aktualnych wartości wskaźników dostępne są w bazie STRATEG (strateg.stat.gov.pl) oraz publikowane w raportach Głównego Urzędu Statystycznego ([Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski 2015](#)).

3. Eksploatacja surowców w aspekcie zrównoważonego rozwoju

Zasoby naturalne Polski stanowią ogromną wartość gospodarczą i są jednocześnie filarem naszego bezpieczeństwa energetycznego. Dzięki pokładom paliw kopalnych oraz struk-

turze energetyki Polska posiada wysoki stopień niezależności energetycznej na tle innych krajów EU (rys. 2). Jednakże wydobywanie złóż nierozzerwalnie związane jest z degradacją powierzchni ziemi oraz niszczeniem zabudowy, sieci infrastruktury i zabytków kultury materialnej. Oddziaływania takie niekorzystnie wpływają na życie mieszkańców, powodują bowiem nie tylko straty ekonomiczne, ale także pogarszanie się ogólnych warunków życia i powstawanie problemów społecznych (Florkowska i Bryt-Nitraska 2015; Kaszowska 2006; Sobczyk 2007).



Rys. 2. Samowystarczalność energetyczna Polski na tle Unii Europejskiej
Źródło: <http://wskaznikizrp.stat.gov.pl/>

Fig. 2. Poland's energy self-sufficiency source on the background of EU: <http://wskaznikizrp.stat.gov.pl/>

Całość problematyki określana mianem szkód górniczych wymaga wprowadzania nowych rozwiązań, które umożliwią korzystanie z bogactw naturalnych przy zachowaniu wymagań zrównoważonego rozwoju. Konieczne są zarówno nowoczesne rozwiązania naukowe i techniczne, jak też odpowiednie uregulowania prawne i administracyjne.

3.1. Pojęcie szkód górniczych

Pojęcie szkody górniczej nie posiada obecnie ustalonej legislacyjnie definicji w polskim prawodawstwie. Termin taki zdefiniowany był w dekrete *Prawo górnicze* z dnia 6 maja 1953 r.¹ i został usunięty z obrotu prawnego z dniem wejścia w życie *ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze*. Według stanowiska Ministra Środowiska RP (Odpowiedź podsekretarza stanu w Ministerstwie Środowiska – z upoważnienia ministra – na interpelację nr 8363 w sprawie potrzeby zmian przepisów dotyczących szkód górniczych na terenach transgranicznych. Piotr Woźniak, Warszawa, dnia 28 września 2012 r.) „w obecnym stanie prawnym nie ma potrzeby ponownego wprowadzania odrębnej definicji szkody górniczej”. W praktyce jednakże potrzeba taka jest identyfikowana, zarówno przez

¹ Według art. 54.1 dekretu z dnia 6 maja 1953 *Prawo górnicze*: „Szkodą górniczą jest szkoda powstała wskutek robót górniczych w nieruchomości, budynku lub innej części składowej nieruchomości, bez względu na to, czy szkodę można było przewidzieć oraz czy ktokolwiek ponosi winę uszkodzenia”.

specjalistów zajmujących się praktycznymi aspektami wpływu eksploatacji na powierzchnię i zabudowę, jak też przez właścicieli i użytkowników nieruchomości oraz organy samorządowe i samych przedsiębiorców. Co więcej, pojęcie „szkoda górnicza” używane jest zarówno w orzecznictwie sądów jak i w ustawie z dnia 9 czerwca 2011 Prawo geologiczne i górnicze.

Naukowcy i specjaliści stając przed koniecznością uzgodnienia pojęć definiują szkody górnicze bazując na ogólnym rozumieniu pojęcia szkody i precyzując go poprzez przyczynę jej powstania (podobnie, jak miało to miejsce w starym Prawie górniczym). Sytuację utrudnia jednak fakt, że termin szkody również nie jest zdefiniowany na płaszczyźnie ustawodawczej.

W odniesieniu do budynków A. Wodyński (2007) zdefiniował szkody górnicze jako „niekorzystne skutki robót górniczych w obiekcie budowlanym, przejawiające się w formie uszkodzeń, przyspieszonego zużycia lub uciążliwości użytkowej”. W specjalistycznej literaturze spotykane są również pojęcia pokrewne: E. Popiołek (2009) podaje pojęcie szkodliwych wpływów eksploatacji górniczej określając je jako „oddziaływanie eksploatacji górniczej mogące wywołać uszkodzenia obiektów budowlanych oraz w zagospodarowaniu i użytkowaniu terenu”. Z kolei A. Kowalski (2015) podaje definicję zagrożeń górniczych (potencjalnych szkód) jako przewidywanych negatywnych wpływów działalności górniczej. W raporcie Najwyższej Izby Kontroli „Usuwanie przez przedsiębiorców górniczych szkód wywołanych ruchem zakładu górniczego” (Nr ewid. 24/2012/P/11/132/LKA) wprowadzono za Z. Kulczyckim i W. Piątkowskim (2010) pojęcie „szkody spowodowanej ruchem zakładu górniczego” precyzując ją jako „uszkodzenie obiektów budowlanych (budynków, budowli, obiektów małej architektury); uszkodzenia infrastruktury technicznej; uszkodzenia gruntu rolnego lub leśnego rozumiane jako zawodnienie lub osuszenie oraz spowodowane przez powstanie deformacji nieciągłych; straty w zasiewach, nasadzeniach i uprawach polowych; uszkodzenia ruchomości; inne szkody, którym w toku indywidualnej analizy udowodniono związek przyczynowy pomiędzy powstałym uszkodzeniem a ruchem zakładu górniczego”.

Reasumując, mianem „szkody górniczej” przyjęto określać szkodę spowodowaną działalnością zakładu górniczego. W praktyce pojęcie to używane jest w kontekście zmian morfologii i warunków hydrologicznych terenu a także oddziaływań dynamicznych o charakterze wstrząsów oraz wpływu tych procesów i zjawisk na obiekty budowlane (Florkowska i Bryt-Nitarska 2015; Kaszowska 2006).

3.2. *Konsekwencje szkód górniczych*

Pojęcie szkód górniczych odnoszone jest najczęściej do materialnych skutków eksploatacji złóż, należy jednak zaznaczyć, że zagadnienia te posiadają znacznie szerszy kontekst.

Degradacja powierzchni terenu, niszczenie, uszkodzenia i przyspieszone zużycie techniczne budynków na terenach górniczych powodują obniżenie wartości samych nieruchomości a w skali regionu obniżenie wartości inwestycyjnej obszarów. Wiąże się to z pogorszeniem sytuacji finansowej ludności wywołując w skrajnych przypadkach zagrożenie ubóstwem i marginalizacją. W konsekwencji dochodzi do powstawania i pogłębiania nierówności regionalnej i poczucia niesprawiedliwości społecznej w sytuacji, gdy regiony zapewniające bezpieczeństwo energetyczne kraju same ponoszą na co dzień negatywne

konsekwencje eksploatacji. Te negatywne zjawiska wymagają wprowadzenia w życie gospodarczo-społecznych obszarów górniczych zasad zrównoważonego rozwoju.

3.3. SDGs dla regionów górniczych

Spośród siedemnastu głównych Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs) przyjętych w Agendzie przynajmniej cztery mają bezpośrednie odniesienie do problematyki górnictwa – zarówno w kontekście jego znaczenia dla polskiej gospodarki, jak również oddziaływania na środowisko oraz warunki życia ludności regionów górniczych. Są to:

Cel 7: Zapewnienie wszystkim dostępu do stabilnej, zrównoważonej i nowoczesnej energii w przystępnej cenie.

W realiach naszego kraju zapewnienie energii opiera się w 80% na górnictwie węgla, które jest filarem naszego bezpieczeństwa energetycznego. Samowystarczalność energetyczna należy do wskaźników monitorowania ZR w grupie „ład środowiskowy”. Wskaźnik samowystarczalności energetycznej obliczany jest jako udział krajowej produkcji nośników energii pierwotnej² pozyskiwanej w kraju, w ich zużyciu. Obrazuje on stopień bezpieczeństwa energetycznego w kraju, wskazując, w jakim procencie krajowe zapotrzebowanie na energię pokrywane jest z własnych nośników energii. Opracowanie GUS „Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski” (2011) podaje: „Polska posiada zasoby paliw i energii, (...) w całości zapewniające samowystarczalność energetyczną i bezpieczeństwo energetyczne kraju. Podstawowymi nośnikami energii w polskiej gospodarce są paliwa stałe (...). Ich dominujący udział w całkowitej produkcji energii pierwotnej (...) utrzymuje bezpieczeństwo energetyczne na wysokim i stabilnym poziomie”. Poziom ten, według danych GUS dla roku 2013 wynosił 71,8%, co daje Polsce piąte miejsce wśród krajów Europy; niestety, wartość wskaźnika spada (rys. 2). Według danych z raportu GUS *Energia* (2015) stopień uzależnienia polskiej gospodarki od importu energii w roku 2013 wynosił 25,8%. W interesie Polski jest zabezpieczenie sprawnego funkcjonowania górnictwa paliw funkcjonującego z zachowaniem wymogów ZR w powiązaniu z unowocześnieniem i usprawnieniem energetyki na nim opartej. Minimalizacja szkód górniczych, opracowanie i wprowadzenie czystych technologii węglowych (CTW) to fundamentalne wyzwania w zakresie realizacji SDGs 7.

Cel 8: Wspieranie trwałego, otwartego i zrównoważonego wzrostu gospodarczego oraz pełnego i produktywnego zatrudnienia, a także zapewnienie godnej pracy dla wszystkich.

Trudno wyobrazić sobie wzrost gospodarczy bez zagwarantowania niezbędnych dostaw energii na stabilnym poziomie. Zatem dobra kondycja górnictwa oraz postęp w dziedzinie nowych rozwiązań zapewniających optymalne i bezpieczne dla środowiska pozyskiwanie energii są niezwykle istotne w kontekście zrównoważonego rozwoju kraju oraz regionu.

Cel 9: Budowa infrastruktury odpornej na skutki katastrof, wspieranie otwartej i zrównoważonej industrializacji oraz innowacyjności.

Cel 11: Budowa otwartych, bezpiecznych, odpornych na katastrofy i zrównoważonych miast i osiedli ludzkich.

Cel 13: Podjęcie pilnych działań na rzecz walki ze zmianami klimatu oraz ich skutkami.

² Energia pierwotna – to suma energii zawartej w pierwotnych nośnikach energii.

Realizacja celów określonych jako budowa miast i infrastruktury odpornej na skutki katastrof, zrównoważonych miast i osiedli napotyka na większe niż gdzie indziej problemy na obszarach górniczych. Jednocześnie na tych właśnie terenach urzeczywistnienie wskazanych SDGs jest niezwykle istotne dla dalszego rozwoju regionu oraz poprawy warunków życia społeczeństwa, które boryka się z niespotykanymi poza obszarami górniczymi problemami wynikającymi ze szkód górniczych. Konsekwencją szkód są także scharakteryzowane na wstępie rozdziału problemy ekonomiczne i społeczne ludności zamieszkującej tereny górnicze. Wynika z nich potrzeba realizacji działań objętych kolejnymi celami SDGs, jak: Wyeliminowanie ubóstwa we wszystkich jego formach (Cel 1), Zapewnienie wszystkim zdrowych warunków i promocja zdrowia dla każdego, niezależnie od wieku (Cel 3) oraz Zmniejszenie nierówności wewnątrz państw i między państwami (Cel 10).

Zrównoważony rozwój regionów górniczych wymaga zatem wielu działań, głównie w kierunku maksymalnego ograniczenia niekorzystnych skutków eksploatacji przy jednoczesnym, jak największym usprawnieniu procesów produkcji energii. Konieczne są w tym względzie badania naukowe prowadzące do opracowywania nowoczesnych rozwiązań.

4. Nowoczesne narzędzia naukowo-techniczne dla ograniczania szkód powodowanych deformacjami podłoża w wyniku eksploatacji górniczej

Wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju w regionach górniczych wymaga wprowadzenia w życie nowych rozwiązań. W zakresie ograniczenia szkód górniczych jest to związane z kontynuacją badań naukowych nad zagadnieniami oddziaływania eksploatacji złóż na powierzchnię i obiekty budowlane. Ta dziedzina wiedzy wymaga ciągłej aktualizacji, ponieważ zmieniają się mocno uwarunkowania, w jakich prowadzone jest wybieranie kolejnych złóż surowców położonych coraz głębiej. Prowadzenie robót górniczych w mocno naruszonym górotworze wymaga dostosowania zarówno metod prognozowania, jak i metod profilaktyki górniczej i budowlanej obiektów. Wyniki badań naukowych oparte na pomiarach i obserwacjach zachowania się górotworu, powierzchni terenu oraz obiektów budowlanych są fundamentalne dla opracowywania narzędzi predykcji i zabezpieczeń.

Współczesne badania zachowania się górotworu pod wpływem eksploatacji złóż surowców opierają się zarówno na obserwacjach *in situ* (wykonywanych głównie z wykorzystaniem metod geodezyjnych, fotogrametrii, skaningu laserowego, metod geofizycznych, pomiarów tensometrycznych), jak również na analizach modeli matematycznych. Ogromna złożoność procesów i zjawisk zachodzących w górotworze w wyniku wybierania złóż w powiązaniu z trudnością prowadzenia obserwacji w rozległych przestrzennie obszarach o skomplikowanej budowie powoduje, że zagadnienia te należą do klasy problemów, w której badanie modeli matematycznych stanowi często jedyną możliwą drogę głębszego, naukowego poznania. Modele te wymagają dostarczenia odpowiedniego zbioru wiarygodnych danych wejściowych a także informacji umożliwiających prawidłową kalibrację i weryfikację. W tej sytuacji prowadzenie wysokiej jakości pomiarów deformacji górotworu oraz budowli ma kluczowe znaczenie zarówno poznawcze, jak również aplikacyjne.

4.1. Pomiary powierzchni terenu

Monitorowanie deformacji powierzchni terenu na obszarach górniczych z zastosowaniem najnowocześniejszych technik pomiarowych jest zdecydowanie jedną z najważniejszych potrzeb. Zarówno służby geodezyjne zakładów górniczych wykonujące obowiązkowe pomiary ruchów powierzchni, jak i naukowcy prowadzący badania dysponują obecnie możliwością wykorzystania nowoczesnych technik pomiarowych, do których należą: GPS (*Global Positioning System*), interferometria radarowa (InSAR – *Interferometric Synthetic Aperture Radar*) czy laserowy skaning lotniczy (ALS – *Airborne Laser Scanner*). Powstają również cyfrowe modele terenu (DTM – *Digital Terrain Model*, tworzone na podstawie wektoryzacji istniejących materiałów kartograficznych z wykorzystaniem wyników pomiarów terenowych, informacji z naltów lotniczych oraz danych uzyskanych z systemów radarowych umieszczonych na orbicie okołozemskiej (SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*, ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) (Przybyła i Pyszny 2013; Karwel i in. 2015; Kulesza 2013).

4.2. Prognozowanie deformacji podłoża i ich wpływu na obiekty budowlane

Kluczowym zagadnieniem w zapobieganiu zagrożeniom jest prawidłowe prognozowanie oddziaływania planowanej eksploatacji na górotwór, powierzchnię terenu i obiekty budowlane. Wyznaczenie zakresu przestrzennego i czasowego, kształtu i wielkości tych oddziaływań dokonywane jest na podstawie modelowania matematycznego. Najbardziej znanym i powszechnie stosowanym modelem matematycznym opisującym przebieg statycznych deformacji powierzchni terenu ponad wybieranym pokładem jest teoria Budryka-Knothe'go, opracowana w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku i używana współcześnie z późniejszymi poprawkami i rozszerzeniami (Knothe 1953, 1984; Kwiatek 1997). Niewątpliwymi atutami metody są prostota i niewielka liczba parametrów możliwych do wyznaczenia na podstawie pomiarów deformacji powierzchni przy zastosowaniu analizy wstecznej.

Złożoność procesów zachodzących w górotworze naruszonym eksploatacją powoduje trudności w opracowaniu adekwatnego modelu matematycznego. Jednocześnie rozwój metod numerycznych i postęp technologii informatycznej stwarza możliwość zastosowania nowoczesnych narzędzi obliczeniowych w modelowaniu tej klasy zagadnień. Ze względu na decydujący wpływ mechanizmów kruchego niszczenia skał na zachowanie się masywu skalnego wokół wyrobisk górniczych modele formułowane na gruncie mechaniki ośrodków ciągłych nie opisują w sposób realny zachodzących tam procesów i zjawisk. Zastosowanie klasycznej metody elementów skończonych MES (FEM) umożliwia opis powstawania nieciągłości w ograniczonym zakresie: rozwiązaniem pośrednim jest wprowadzanie elementów o ekwiwalentnych właściwościach materiałowych dla obszarów objętych niszczeniem struktury. Bezpośrednio wyjście poza zakres continuum zrealizować można w MES np. poprzez przyjęcie a priori określonego układu dopuszczalnych nieciągłości i zastosowanie elementów o specjalnych właściwościach (typu *jointed element*, *segment-to-segment element*), które w pewnym zakresie symulują pozniszczeniowe zachowanie się materiału. Inną metodą jest też wprowadzenie wprost wstępnych powierzchni nieciągłości z określeniem dla nich warunków kontaktowych (Florkowska i Walaszczyk 2011). Metody te posiadają

spore ograniczenia, wynikające głównie z konieczności wstępnego definiowania przebiegu nieciągłości, trudności z wyznaczaniem parametrów określających pozniszczeniowe zachowanie masywu oraz problemy obliczeniowe powodowane dużymi deformacjami elementów. W tym ostatnim przypadku pewnym rozwiązaniem jest zastosowanie metod adaptacyjnych z automatyczną przebudową siatki, dają one jednak dobre rezultaty głównie w zagadnieniach dwuwymiarowych (Jakubowski 2010). Znacznie skuteczniejszym narzędziem do opisu zachowań nieciągłych są metody bezsiatkowe (*MFree*) (Sikora i Osowski 2007) lub rozszerzenia MES: *Generalized FEM*, *hp-cloud*, hierarchiczna MES, czy XFEM (*Extended Finite Element Method*) oparte na koncepcji tzw. podziału jedności (Menouillard i in. 2006; Mergheim i in. 2005; Stolarska 2001). Bardzo dobre rezultaty w symulacji zachowań pozniszczeniowych przynosi zastosowanie NMM (*Numerical Manifold Method*) z algorytmami wykrywania nieciągłości, które sprawdzają się także w modelach trójwymiarowych (He i Ma 2007; He 2011; Shi 2008; Zhao 2012). Do opisu stanu górotworu w tych rejonach eksploatacji z powodzeniem stosowana jest także metoda elementów odrębnych (DEM – *Distinct Element Method*), która umożliwia duże przemieszczenia i obroty brył łącznie z całkowitą utratą kontaktu pomiędzy nimi (Kwaśniewski i in. 2004; Krawiec i Pilecki 2012).

W ostatnim czasie symulacje procesów deformacji górotworu w wyniku eksploatacji złóż prowadzone są także z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych SSN (*Artificial Neural Networks* – ANNs), które dobrze sprawdzają się w problemach predykcji. W odróżnieniu od programów opartych na przetwarzaniu algorytmicznym SSN posiadają zdolność do generalizacji, dzięki której dysponują możliwością uogólniania zdobytej wiedzy na nowe, nieznanne uprzednio problemy (Gruszczyński 2012; Skrzypczak i Zientek 2008).

4.3. Monitorowanie stanu obiektów budowlanych

Podstawowym źródłem wiedzy na temat zachowania się obiektów budowlanych poddanych oddziaływaniu eksploatacji są wyniki pomiarów deformacji tych obiektów i ich podłoża skorelowane z danymi na temat postępu robót górniczych. Pomiar i obserwacje budowli nie tylko dostarczają danych naukowych i inżynierskich, ale stanowią także narzędzie monitorowania stanu obiektu podczas ujawniania się głównych wpływów robót górniczych. Geodezyjne obserwacje deformacji budynków i obiektów inżynierskich mogą być realizowane za pomocą zintegrowanych systemów pomiarowych, łączących klasyczne pomiary kątowno-liniowe i niwelacyjne z technologią satelitarną GPS/GNNS (*Global Navigation Satellite System*) oraz z pomiarami innych wielkości (np. szerokości dylatacji, wychylenia) (Karsznia 2008; Zaczek-Peplinska i in. 2013). Szybką i dokładną metodą monitorowania deformacji budowli jest przestrzenny skaning laserowy (Maciaszek i Gawalkiewicz 2006). Producenci sprzętu geodezyjnego proponują również w pełni zautomatyzowane stacje tachimetryczne umożliwiające dokonywanie pomiarów wykonywanych z dużą częstotliwością.

Pomiar względnych deformacji budowli za pomocą sensorów mocowanych bezpośrednio na konstrukcji umożliwiają systemy oparte na czujnikach tensometrycznych lub zespołach czujników dobieranych na podstawie predykcji oddziaływań (np. tensometry + czujniki parcia gruntu + inklinometry). Tego typu system pomiarowy opracowany został w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN. Wyposażenie w automatyczną stację akwizycji i przesyłania danych umożliwia zdalne, quasi-ciągłe prowadzenie obserwacji stanu deformacji obiektu

(Florkowska i Kanciruk 2013). Zintegrowanie systemu pomiarowego z modelem numerycznym obiektu umożliwia nie tylko śledzenie zmian deformacji, ale także monitorowanie stanu naprężeń i ocenę bezpieczeństwa (Florkowska 2010). Wadą powyższych systemów pomiarowych jest niewątpliwie ich „punktowy” charakter, powodujący, że zmiany pojawiające się poza obszarem czujników są dla systemu niewidoczne. Pewnym rozwiązaniem jest zastosowanie dodatkowych modułów wizyjnych umożliwiających ogląd całości konstrukcji i detekcję ewentualnych, nowo powstałych uszkodzeń (Witakowski 2010). W odniesieniu do monitorowania stanu bezpieczeństwa konstrukcji wciąż nieodzownym elementem jest stały nadzór i ocena oparta na wiedzy eksperckiej doświadczonych osób.

Podsumowanie

Zasoby złóż kopalin energetycznych są cennym, lecz jednocześnie zobowiązującym bogactwem. W kontekście zrównoważonego rozwoju są nie tylko gwarantem samowystarczalności energetycznej, która stanowi o niezależności kraju w tak strategicznym obszarze, ale także jednym z filarów rozwoju gospodarczego, który trudno sobie wyobrazić bez bezpiecznych i pewnych dostaw energii. Jednocześnie zrównoważony rozwój stawia poważne wyzwania dotyczące maksymalnego ograniczenia niekorzystnych oddziaływań eksploatacji surowców, do których należą:

- przekształcenia morfologii powierzchni terenu i warunków hydrogeologicznych,
- uszkodzenia, niszczenie, przyspieszone zużycie techniczne budynków oraz infrastruktury technicznej i komunikacyjnej,
- straty ekonomiczne wynikające ze spadku wartości nieruchomości i obniżenia wartości inwestycyjnej obszarów,
- problemy społeczne spowodowane pogorszeniem sytuacji ekonomicznej, poczuciem zagrożenia i niesprawiedliwości społecznej.

Zdefiniowane w artykule szkody górnicze oraz ich społeczno-ekonomiczne konsekwencje wymagają podjęcia konkretnych działań, które wynikają ze zobowiązań do realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju. Opracowanie metod ograniczania niekorzystnych oddziaływań wymaga prowadzenia badań naukowych pogłębiających i aktualizujących wiedzę w zakresie zachowania się silnie naruszonego górotworu oraz skutków jego deformacji dla infrastruktury mieszkalnej, społecznej, technicznej i transportowej. Wyniki badań naukowych tworzą podstawę odpowiedniego projektowania działań profilaktycznych oraz wprowadzania nowoczesnych rozwiązań w zakresie monitorowania deformacji powierzchni terenu i stanu obiektów budowlanych.

Na obszarach objętych oddziaływaniem eksploatacji górniczej realizacja SDGs musi zostać przeprowadzona w dostosowaniu do specyficznych uwarunkowań. Uwarunkowania te dotyczą zarówno zrównoważonego górnictwa, jak i zrównoważonego budownictwa o szczególnych wymaganiach. Zarówno w obszarze ładu gospodarczego i środowiskowego, jak i społecznego i administracyjno-prawnego zagadnienia związane z występowaniem szkód górniczych wymagają wprowadzenia odpowiednich uregulowań oraz szerokiego wdrażania nowoczesnych narzędzi naukowo-technicznych.

Literatura

- Energia 2015. Warszawa: GUS.
- Florkowska, L. i Walaszczyk, J. 2011. Modelowanie numeryczne stanu naprężenia w sąsiedztwie przodka wyrobiska ścianowego z uwzględnieniem obecności metanu. *Górnictwo i Geoinżynieria* 35(2), s. 225–234.
- Florkowska, L. i Kanciruk, A. 2013. Analysis of the consequences of mining exploitation in substantially disturbed strata based on spatial measurements of a building's tilt. [W:] Kwaśniewski, M. i Łydzba, D. red. *Rock Mechanics for Resources*. The European Rock Mechanics Symposium EUROCK 2013. 21–26 września 2013. Wrocław: CRC Press, s. 575–580.
- Florkowska, L. 2010. Zastosowanie numerycznej mechaniki nieliniowej w zagadnieniach ochrony budynków na terenach górniczych. *Archives of Mining Sciences. Monografia* nr 11, Kraków.
- Gruszczyński, W. 2012. *Zastosowanie sieci neuronowych do prognozowania deformacji górniczych*. Kraków: Wyd. AGH (CD).
- He, L., Ma, G. 2010. Development of 3d numerical manifold method. *International Journal of Computational Methods*. 7(1), s. 107–129.
- He, L. 2011. *Three Dimensional Numerical Manifold Method and Rock Engineering Applications* Doctoral thesis, Singapore: Nanyang Technological University, 294 s.
- Jakubowski, J. 2010. Uogólnienia metody elementów skończonych w inżynierskich symulacjach numerycznych ośrodka nieciągłego i dyskretnego. *Górnictwo i Geoinżynieria* 34(2), s. 325–330.
- Karsznia, K. 2008. Wykrywanie słabych punktów. *Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie* 4, s. 72–75.
- Karwel i in. 2015 – Karwel, A.K., Kraszewski, B., Kurczyński, Z. i Ziółkowski, D. 2015. Integracja satelitarnych modeli wysokościowych. *Biuletyn WAT LXIV*(2), s. 123–133.
- Kaszowska, O. 2006. Szkoły górnicze w budynkach mieszkalnych w aspekcie społecznym i ekonomicznym. [W:] *Ochrona środowiska na terenach górniczych Materiały konferencji naukowo-technicznej*. Szczyrk, 31 maja – 1 czerwca 2006. Katowice: ZG SiTG, s. 189–209.
- Knothe, S. 1953 A. Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. *Archiwum Górnictwa i Hutnictwa*. 1(1), s. 22–38.
- Knothe, S. 1953 B. Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. *Archiwum Górnictwa i Hutnictwa*. 1(1), s. 51–62.
- Knothe, S. 1984. *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*. Katowice: Wyd. Śląsk, 159 s.
- Kowalski, A. 2015. *Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Katowice: GIG, 283 s.
- Krawiec, K. i Pilecki, Z. 2012. Numeryczna symulacja procesu zapadliskowego w warunkach geologicznych i górniczych niecki bytomskiej na terenie pogórnym płytkiej eksploatacji złóż rud metali. *Technika Poszukiwań Geologicznych* 51(1), s. 47–62.
- Kulczycki, Z. i Piątkowski, W. 2010. Naprawa szkód powodowanych ruchem zakładów górniczych w 2009 r. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* 9(193), s. 12–21.
- Kulesza, L. 2013. *Porównanie metod estymacji przestrzennego rozkładu błędów numerycznych modeli terenu*. Kraków: Wyd. AGH, 147 k.
- Kwaśniewski i in. 2004 – Kwaśniewski, M., Winkler, T., Szyguła, M. i Tokarczyk, J. 2004. Próba identyfikacji dynamicznego oddziaływania górotworu na obudowę zmechanizowane metodami elementów odrębnych i skończonych. *Maszyny Górnicze* 22(4), s. 56–61.
- Kwiatek, J. red. 1997. *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Katowice: Wyd. GIG, 726 s.
- Maciaszek, J. i Gawalkiewicz, R. 2006. Zastosowanie skanowania laserowego w diagnostyce obiektów podlegających wpływom eksploatacji górniczej. *Geodezja* 12(2/1), s. 303–316.
- Maj, A. 2009. Naprężenia, odkształcenia i konwergencje na różnych głębokościach kopalń soli. Studium modelowe dla chodnika w górotworze solnym. *Górnictwo i Geoinżynieria* 33(1), s. 419–428.
- Makówka, J. 2010. Analiza numeryczna przestrzennego rozkładu stanu naprężenia w otoczeniu typowych układów krawędzi eksploatacji zawałowej za pomocą metody elementów odrębnych. *Przegląd Górniczy* 66(6), s. 76–84.
- Menouillard i in. 2006 – Menouillard, T., Rethore, J., Combescure, A. i Bung H. 2006. Efficient Explicit Time Stepping for the Extended Finite Element Method (X-FEM). *International Journal of Numerical Methods in Engineering* 68, s. 911–939.
- Mergheim, J., Kuh, E. i Steinman, P. 2005. A Finite Element Method for the Computational Modeling of Cohesive Crack Growth. *Int. Journal for Numerical Methods in Engineering* 63, s. 276–289.
- Popiołek, E. 2009. *Ochrona terenów górniczych*. Kraków: Wyd. AGH, 296 s.

- Przybyła, Cz. i Pyszny, K. 2013. Porównanie numerycznych modeli terenu SRTM i ASTER GDEM oraz ocena możliwości ich wykorzystania w modelowaniu hydrologicznym w obszarach o małych deniwelacjach. *Annual Set The Environment Protection* 15, s. 1489–1510.
- Shi, G.H. 2008. Recent Applications of Discontinuous Deformation Analysis and Manifold Method. [W:] *The 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium (USRMS)*, San Francisco: 29 June–2 July 2008, San Francisco: American Rock Mechanics Association, s. 919–926.
- Sikora, Z. i Ossowski, R. 2007. Metody bezsiatkowe – czy jest na nich miejsce w geoinżynierii? Rozwiązanie zagadnienia Flamanta metodą MLPG. *Geoinżynieria* 3, s. 42–46.
- Skrzypczak, I. i Zientek, D. 2008. Wykorzystanie sieci neuronowych do odzworowania deformacji powierzchni na terenach górniczych. *Czasopismo Techniczne* 19(2-Ś), s. 267–273.
- Sobczyk, W. 2007. Badania opinii respondentów na temat uciążliwości środowiskowej górnictwa węgla. *Górnictwo i Geoinżynieria* 31(3/1), s. 497–50.
- Stolarska i in. 2001 – Stolarska, M., Chopp, D.L., Moes, N. i Belytschko, T. 2001. Modeling Crack Growth by Level Sets in the Extended Finite Element Method. *International Journal of Numerical Methods in Engineering* 51, s. 943–960.
- Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. 2015. A/res/70/1 United Nations. sustainabledevelopment.un.org.
- Witakowski, P. red. 2010. *Bezprzewodowy monitoring obiektów budowlanych*. Warszawa: ITB, 153 s.
- Wodyński, A. 2007. *Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych*. Kraków: Wyd. AGH, 142 s.
- Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski*. Katowice: GUS, 2015.
- Zaczek-Peplinska, J., Pasik, M. i Popielski, P. 2013. Geodezyjny monitoring obiektów w rejonie oddziaływania budowy tuneli i głębokich wykopów – doświadczenia i wnioski. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura* 12 (2), s. 17–31.
- Zhao i in. 2012 – Zhao, J., Ohnishi, Y., Zhao, G-F. i Sasaki, T. red. 2012. *Advances in Discontinuous Numerical Methods and Applications in Geomechanics and Geoengineering*. Londyn: CRC Press, 440 s.

