

# Wymagania dotyczące opisu zagrożenia deformacjami nieciągłymi terenów górniczych i pogórnich w opiniach geologiczno-górnich

Dr inż. Dariusz Ignacy, Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

## 1. Wprowadzenie

Jednym z rodzajów oddziaływania górnictwa podziemnego na powierzchnię terenów górniczych i pogórnich są nieciągłe deformacje powierzchni. W zależności od ich skali mogą one powodować nieprzydatność do zagospodarowania w kierunku budowlanych powierzchni terenów górniczych lub konieczność specjalnych zabezpieczeń, gruntowych i/lub budowlanych, pozwalających ograniczyć lub zlikwidować to zagrożenie lub jego skutki w obiektach.

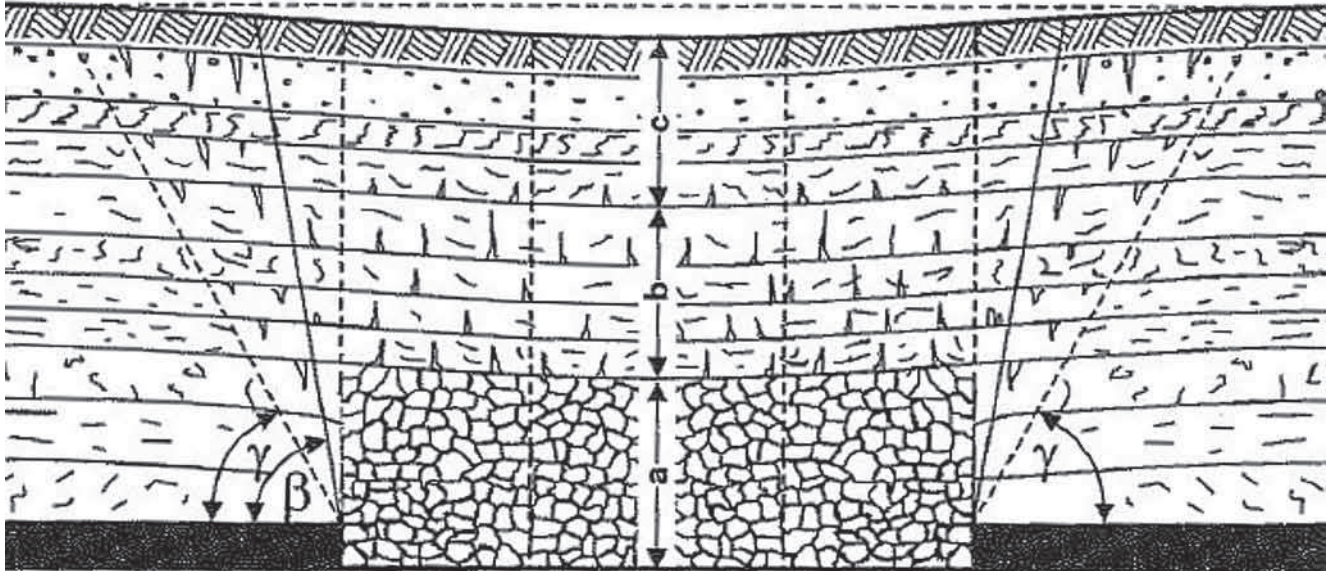
Nieciągłe przekształcenia górotworu i powierzchni oraz zagrożenia dla wykorzystania terenów górniczych było przedmiotem wielu opracowań. Do najważniejszych z nich autor zalicza prace M. Chudka i in. (1988, 2010), J. Kwiatka (1998), Głównego Instytutu Górnictwa (2000), Z. Wilka (red. 2003), A. Kotyrby (2005), A. Kowalskiego (2005), A. Frolika, M. Rogoża (2006), Ministerstwa Środowiska (2009), E. Popiołka (2009), M. Drobniewskiego, K. Telengi (2011), A. Frolika, A. Kotyrby (2015), D. Ignacego (2017), A. Sroki i in. (2018). Zabezpieczanie obiektów budowlanych przed szkodami górnichymi wymaga wiedzy o wystąpieniu zmian w środowisku, związanych z prowadzeniem działalności górnich, w tym zmian w podłożu gruntowym obiektów budowlanych, rodzaju tych zmian i ich intensywności.

Dane te są zawierane w opiniach geologiczno-górnich, opracowywanych przez przedsiębiorców górnich lub ich następców prawnych. Informacje zawarte w danych geologiczno-górnich są podstawą przewidywania zagrożenia terenów górniczych i pogórnich tymi deformacjami. Wiedza o aktualnej sytuacji, związanej z ewentualnymi wpływami górnichymi oraz prognozowanie procesów związanych z prowadzeniem planowanej działalności górnich, daje podstawy do przewidywania warunków dla planowania zagospodarowania przestrzennego i projektowania obiektów budowlanych na terenach górniczych i pogórnich, a także sprawowania nadzoru budowlanego nad obiektami. W niniejszym artykule zostało zawarte kompendium informacji na temat oczekiwań budowlanców w zakresie informacji, które powinny być przedmiotem dokumentowania w opiniach geologiczno-górnich w odniesieniu do możliwości wystąpienia lub aktywacji deformacji nieciągłych

w górotworze oraz w obiektach budowlanych. Artykuł wskazuje wymagane dane w zakresie identyfikacji deformacji nieciągłych w celu unikania awarii i ewentualnych katastrof związanych z budową i użytkowaniem obiektów budowlanych, położonych w terenach zagrożonych deformacjami nieciągłymi. Przedstawia modele opisowe powstawania poszczególnych rodzajów deformacji nieciągłych, sposoby ich dokumentowania oraz rodzaje danych charakterystycznych, które powinny być przedmiotem archiwizacji i zawierania w opiniach geologiczno-górnich przez przedsiębiorców górnich i ich następców prawnych.

## 2. Rodzaje deformacji nieciągłych i warunki ich występowania w terenach górniczych

Deformacje nieciągłe stanowią jeden z najbardziej deterministycznych czynników przekształceń powierzchni terenów górniczych, znacząco oddziałujących na obiekty jej zagospodarowania. Ich przyczynami mogą być odkształcenia (poziome i/lub pionowe) powierzchni w wyniku aktualnej i planowanej eksploatacji górnich lub też mogą je generować wtórne czynniki (pustki poeksploatacyjne), których przyczyną mogła być stara eksploatacja górnich. Oddziaływanie górnich może być przyczyną rozwoju różnych niekorzystnych dla powierzchni procesów geodynamicznych w obrębie górotworu. Najbardziej niekorzystnymi z nich mogą być procesy hydrodynamiczne, w których bierze udział wolna woda, przenikająca do szczelin naturalnych (uskoki tektoniczne) lub wtórnych (szczelin lub pustek poeksploatacyjnych oraz wyrobisk górnich), powstałych w wyniku prowadzenia robót górnich i ich oddziaływania na górotwór. Odwadnianie kopalń powoduje, że wymienione szczeliny w górotworze pozostają uprzywilejowanymi drogami migracji wód do czasu ich całkowitej kolmatacji lub konwergencji. Zależy to od składu chemicznego infiltrujących wód, litologii skał sąsiadujących ze szczelinami, szerokości tych szczelin (pustek), głębokości ich występowania (ciśnienia w górotworze) oraz intensywności infiltracji. Aby zrozumieć istotę zagrożenia deformacjami nieciągłymi terenów górniczych i pogórnich, należy rozumieć przyczyny oraz ogólny mechanizm i warunki ich powstawania.



Rys. 1. Schemat deformacji górotworu i powierzchni terenu po zakończeniu eksploatacji z zawalaniem stropu. Strefy: a – zawału pełnego, b – spękań, c – ugięć, ujawniających się na powierzchni terenu według M. Chudka (2010)

Ze względu na przyczynę wyróżnia się dwa typy deformacji nieciągłych: powierzchniowe i liniowe. W ramach tych typów deformacji nieciągłych ze względu na geometrię kształtu wyróżnia się dodatkowo ich rodzaje. Przedstawił je m.in. E. Popiołek w 2009 r. (rys. 2 i 7).

Poniżej opisano uproszczone warunki powstawania deformacji nieciągłych powierzchni w terenach górniczych.

### 2.1. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego

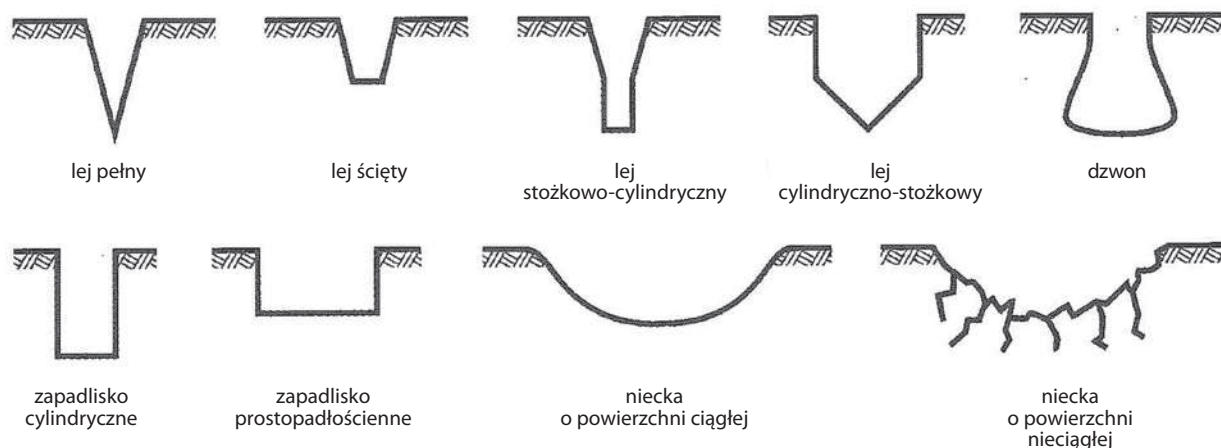
W niedużej odległości od pustki, powstałej po podziemnej eksploatacji górniczej kopaliny, siły grawitacji oddziałujące na górotwór powodują rozciąganie, pękanie i odrywanie brył skalnych. Dochodzi tam do pełnej destrukcji skał stropowych i przemieszczenia się rumoszu skalnego do powstałej pustki. Zginaniu i pękaniu warstw skalnych towarzyszy zjawisko reologii, tj. m.in. plastycznego płynięcia i pełzania skał. Efektem rozluźnienia górotworu i przemieszczania się skał do pierwotnej pustki poeksploatacyjnej jest powstawanie nowych wtórnych pustek, powstających między przemieszczonym rumoszem skalnym oraz szczelin (spękań skał). Jest to tzw. strefa zawału pełnego. W przeciętnych warunkach geologiczno-górnich górotworu karbońskiego zasięg pionowy tej strefy sięga ośmiokrotnej wysokości pustki pierwotnej i nie przekracza 100 m (strefa a na rysunku 1). W przeciętnych warunkach geologiczno-górnich ponad strefą zawału pełnego, w odległości większej od 100 m nad zawałową eksploatacją górniczą, obniżeniom warstw skalnych mogą w mniejszym stopniu towarzyszyć spękania i nie dochodzi tam do zawału skał (strefa b na rysunku 1). Zależy to od budowy litologicznej tych warstw i ich miąższości. Jeśli obniżeniom ulegają na przykład nadległe warstwy plastyczne, to mogą one podlegać wyłącznie plastycznemu ugięciu bez przerwania ciągłości warstw (strefa c na rysunku 1). Wówczas na powierzchni dochodzi do ujawnienia się ciągłej niecki z osiadań.

Należy jednak dodać, że taka idealnie ciągła forma deformacji powierzchni w praktyce występuje stosunkowo rzadko.

W terenach górniczych w przeciętnych warunkach geologicznych prowadzenie zawałowej eksploatacji górniczej na głębokościach mniejszych od 100 m skutkuje przypisywaniem takim terenom dużego stopnia zagrożenia deformacjami nieciągłymi. Taka płytka eksploatacja górnicza indukuje w górotworze strefę zawału pełnego, który sięga blisko powierzchni i/lub wprost może osiągnąć powierzchnię terenu, niezależnie od różnych warunków górniczych eksploatacji kopaliny. Wówczas przypowierzchniowa warstwa górotworu (podłoże gruntowe obiektów budowlanych) może stać się (w mniejszym lub większym stopniu) zdefragmętowanym górotworem skalnym.

Przyczyną sprawczą powstawania w terenach górniczych deformacji nieciągłych typu powierzchniowego są pustki poeksploatacyjne: pierwotne (zroby, wyrobiska górnicze) lub najczęściej wtórne (szczeliny), występujące pomiędzy zawałonymi bryłami skalnymi w strefie tzw. zawału pełnego. Są one bezpośrednią przyczyną zapadania się oraz sufozji przypowierzchniowych warstw gruntu (skał sypkich i gleby) do tych pustek. Charakteryzując prawdopodobieństwo występowania deformacji nieciągłych podłoża gruntowego obiektów budowlanych, należy szczegółowo rozpoznać występowanie (miąższość) i budowę litologiczną nadkładu złóż. W przeciwieństwie do zwięzłych skał, tworzących np. złoża karbońskie, ich nadkład charakteryzuje się występowaniem odmiennych skał, często luźnych (piaski, żwiry) lub plastycznych (gliny, ropy). Ma on różną miąższość, charakterystyczną dla poszczególnych rejonów terenów górniczych. Zapadlika występuje wówczas, gdy obszar zawału skał (z pustkami) przenika do nadkładu złóż (M. Chudek 2010).

Geometryczna forma (kształt) deformacji nieciągłych typu powierzchniowego uzależniona jest od rodzaju skał budujących



**Rys. 2.** Rodzaje deformacji nieciągłych typu powierzchniowego ze względu na geometrię w przekroju pionowym według E. Popiołka (2009)



**Rys. 3.** Szczeliny zewnętrzne na granicy leja zapadliskowego wywołanego katastrofą górniczą rury szybu V KWK „Szczygłowice” w 2008 r.



**Rys. 4.** Lej zapadliskowy w miejscu katastrofy szybu V KWK „Szczygłowice” w 2008 r.



**Rys. 5.** Rozwarta szczelina w gruncie wewnątrz leja zapadliskowego, powstałego w wyniku katastrofy górniczej rury szybu V KWK „Szczygłowice” w 2008 r.

górotwór oraz – w niektórych przypadkach – od kształtu płytkich wyrobisk górniczych, których ściany uległy odsłonięciu i/lub, i w których wypełniający je materiał uległ przemieszczeniu (rys. 2). W dalszej części skrótowo opisano warunki geologiczne powstawania poszczególnych rodzajów tych deformacji. Powierzchnia boczna leja zapadliskowego może przybierać różne kąty w przypadkach, gdy lej ten powstaje w różnych litologicznie warstwach nadkładu karbonu (np. lej stożkowo-cylindryczny, cylindryczno-stożkowy).

Zapadlisko może przybrać formę dzwonu, powstając w przypowierzchniowej warstwie górotworu, przerośniętej korzeniami i/lub zbudowanej w górnej części ze skał plastycznych, a w dolnej części ze skał sypkich.

W przypadku gdy zapadaniu (sufozji) ulega miększa warstwa skał luźnych (np. piasków), powierzchnia terenu może przyjąć formę regularnej lokalnej niecki o powierzchni ciągłej. Jeśli wtórna pustka, wędrująca ku powierzchni, powstaje w wyniku zawalenia się skał zwięzłych, to powstające (na powierzchni) zapadlisko może mieć ściany zbliżone do pionowych. Odpowiednią cylindryczną lub prostokątną powierzchnię boczną mogą więc mieć zapadliska powstałe w przypadkach zapadnięcia się materiału wypełniającego płytkie wyrobisko (szyb, sztolnię) o podobnym kształcie (przekroju).

Duża dynamika przemieszczania się materiału skalnego oraz znaczny zasięg tego przemieszczania może spowodować powstanie niecki o powierzchni nieciągłej. Taką formę

na przykład przybrała niecka powstała w wyniku zniszczenia obudowy w szybie V KWK „Szczygłowice” (rys. 3, 4 i 5).

#### **Istotne informacje dotyczące dokumentowania zagrożenia deformacjami nieciągłymi typu powierzchniowego**

Dla oceny zagrożenia zapadliskowego powierzchni terenów górniczych najważniejszą jest wiedza o głębokości najpłytszej eksploatacji górniczej kopaliny w górotworze dla rejonu opiniowanej nieruchomości. Informacje o eksploatacji górniczej kopaliny, prowadzonej na głębokościach mniejszych od 100 m, są szczególnie istotne dla oceny prawdopodobieństwa występowania zagrożenia deformacji nieciągłymi typu powierzchniowego. Dane geologiczno-górnice na temat występowania płytkiej eksploatacji górniczej kopaliny, niezbędne dla procesu budowlanego, powinny odnosić się do całego rejonu, sąsiadującego z opiniowaną nieruchomością. Informacja ta powinna precyzować odległości do najbliższych stref objętych płytką eksploatacją górniczą. Najlepszym jest przekazywanie załączników mapowych, wskazujących zasięg płytkich zrobów. Opinie geologiczno-górnice powinny zawierać również informacje o czasie prowadzenia najpłytszej eksploatacji górniczej (robót górniczych). Dane o najpłytszej eksploatacji górniczej powinny być podawane zawsze, niezależnie od prawnego terminu przedawnienia roszczeń o szkody górnicze, powodowanych przez tę eksploatację.

Bardzo ważnym jest fakt, że w przeciętnych warunkach górniczo-geologicznych nasilenie występowania zjawisk zapadliskowych występuje w ciągu pierwszych 20 lat po zakończeniu eksploatacji górniczej (A. Kotyrba 2005). Wystąpienie zjawisk zapadliskowych może jednak następować i/lub powtarzać się nawet po 100 latach od czasu przeprowadzenia eksploatacji górniczej. Zależy to od budowy geologicznej górotworu i rodzaju pustek poeksploatacyjnych (pierwotnych lub wtórnych) oraz zastosowanej obudowy wyrobisk górniczych. Treścią opinii geologiczno-górnice powinny być również prognozy wystąpienia na powierzchni deformacji nieciągłych z tytułu występowania płytkich wyrobisk górniczych i zrobów. Najczęściej nie zawiera się takiej prognozy ze względu na niepełną wiedzę o sposobie likwidacji wyrobisk oraz z powodu ich wieku.

Zaburzenia górotworu, w postaci wychodni naturalnych uskoku tektonicznych i wychodni pokładów (w stropie skał zwięzłych), a także soczewy kurzawek zawieszonych w warstwach nadkładowych są przyczynami zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia deformacji nieciągłych w strefach z płytką eksploatacją górniczą (zagrożonych zapadliskami). Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego mogą zostać uruchomione w wyniku aktywacji tych elementów w związku z wpływami górniczymi. Stąd te elementy środowiska powinny być przedmiotem załącznika mapowego opinii geologiczno-górnicej.

Zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk typu powierzchniowego może nastąpić również w wyniku

istotnej zmiany warunków hydrogeologicznych w górotworze, zaburzającej równowagę sklepień pustek poeksploatacyjnych. Taka zmiana może na przykład wynikać z nadzwyczajnego lokalnego uwodnienia górotworu w wyniku dużych opadów (powodzi) i/lub awarii wodociągowej lub kanalizacyjnej. Zjawiska zapadliskowe mogą występować w rejonach uprzywilejowanych dróg spływu i infiltracji wód do górotworu, w rejonach dużego zagrożenia występowaniem deformacji nieciągłych typu powierzchniowego. Znane są przypadki, gdy uruchomienie zjawisk zapadliskowych następowało w czasie lokalnego podsadzania starych zrobów górniczych i stref zawałowych (np. kawern w warstwach triasowych).

Z powyższego wynika potrzeba zawierania w opiniach geologiczno-górnice informacji o panujących warunkach hydrogeologicznych w górotworze (występowaniu wymuszonych odwodnień górotworu) oraz o ewentualnych wynikłych z nich (sztucznych) osuszeniach górotworu i powierzchni. Najpełniejszą formą tych informacji są zestawienia głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego z okresu przed wpływami górniczymi i najaktualniejsze, charakterystyczne dla opiniowanej nieruchomości lub rejonu. Wskazane jest również określenie miejsca pompowni odpowiedzialnej za osuszenia (oznaczenie na załączniku mapowym).

Odpowiednio również uczestniczący w procesie budowlanym powinni mieć wiedzę o zasięgu zawodnień i podtopień dla rejonu opiniowanej nieruchomości, które wynikną z przywrócenia naturalnych przepływów wód (D. Ignacy 2017, D. Ignacy, P. Bukowski 2017).

W tym miejscu warto podkreślić, że woda zatapiająca wyrobiska i górotwór terenów górniczych kopalń zlikwidowanych może powodować zmienne pęcznienie warstw skalnych w zależności od ich budowy litologicznej oraz zmian równowagi sklepień pustek poeksploatacyjnych, pozostających w górotworze. Zatapianie kopalń przyspiesza zjawisko konwergencji tych pustek. Jednocześnie zatopienie górotworu jest jednoznaczne z podsadzeniem wodą tych pustek w całym rejonach eksploatacyjnych. Należy jednak podkreślić, że duży (rejonowy) zasięg i wolne tempo takiego uwodnienia nie jest tożsame ze zwiększeniem prawdopodobieństwa zjawisk zapadliskowych w terenach zagrożonych zapadliskami.

Odnosząc się do terenów pogórnicej (z wygaszonym oddziaływaniem górniczym) z płytkimi zrobami (do 100 m głębokości), położonych w rejonach dolin cieków wodnych i charakteryzujących się występowaniem w przypowierzchniowej warstwie górotworu osadów aluwialnych (piasków), wiedza o powodziowym ich zawodnieniu (tożsamym z możliwym podsadzeniem pustek piaskami) po uspokojeniu oddziaływania eksploatacji górniczej niesie zmniejszenie prawdopodobieństwa występowania na nich zjawisk zapadliskowych. Stąd w opiniach geologiczno-górnicej pożądane są informacje o zasięgu maksymalnych dotychczasowych okresowych zawodnień takich terenów pogórnicej.

Wiedza o zasięgu zapadania się gruntów jest niezbędna dla ograniczenia tego zagrożenia. Dla prognozowania deformacji nieciągłych typu powierzchniowego oraz przewidywania ewentualnej lokalizacji wtórnych pustek poeksploatacyjnych w górotworze, ważny jest wniosek, że te pustki mogą dłużej występować (tzn. nie ulec konwergencji lub zawalowi) w skałach zwięzłych. Zależy to od właściwości (litologii) tych skał. Jeśli przesuwała się ku powierzchni wtórna pustka osiągnie strop skał zwięzłych (warstw karbońskich, triasowych), nad którymi występują skały luźne, to nastąpi przemieszczenie się skał luźnych do tej pustki. Analogiczne zjawisko może wystąpić w przypadku obniżenia się zasypu podsadzającego pustkę (szczelinę, wyrobisko), na przykład w wyniku jego kompresji. W każdym przypadku zasięgu możliwego rozwoju zapadliska zależy od wielkości tej pustki i od miąższości skał luźnych (nadkładowych), sąsiadujących z tą pustką (szczeliną, wyrobiskiem) oraz od kąta naturalnego zsypania skał luźnych.

Zasięg możliwego zapadliska, który jest tożsamy z promieniem strefy zagrożenia, wyznaczany od geometrycznego środka pustki (szczeliny lub wyrobiska górniczego), można obliczyć z zależności (1):

$$R = d/2 + h \times \text{ctg } \phi \quad (1)$$

gdzie:

R – promień strefy zagrożenia,

d – szerokość pustki (wyrobiska lub szczeliny) połączonej z powierzchnią,

h – miąższość skał luźnych (nadkładowych) od dna pustki (szczeliny lub wyrobiska) do powierzchni terenu; dla obliczenia strefy zagrożenia od szybu za „h” przyjmuje się miąższość skał nadkładowych złoża,

$\phi$  – kąt naturalnego zsypania skał nadkładowych (przyjmuje się  $\phi = 20^\circ$ ).

W przypadku zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi typu powierzchniowego dla zachowania bezpieczeństwa konieczne jest monitorowanie wszystkich przypadków wystąpienia zjawisk zapadliskowych. Konieczne jest zbieranie następujących danych:

- miejsce zjawiska zapadliskowego (współrzędne epicentrum),
- data i ewentualnie czasokres wystąpienia zjawiska zapadliskowego,
- identyfikacja formy przestrzennej zjawiska zapadliskowego,
- wymiary (średnica) i głębokość powstałej formy zapadliska,
- ocena litologii skał gruntowych, które uległy zapadnięciu (sufozji),
- sposób likwidacji zjawiska zapadliskowego,
- objętość leja (na podstawie ilości materiału, użytego do likwidacji zapadliska),
- informacja o krotności wystąpienia podobnego zjawiska w danym miejscu,
- informacja o związku zaistniałego zapadliska z robotami górniczymi i/lub ich oddziaływaniem (płytkie wyrobiska górnicze

lub nieprawidłowo zlikwidowane otwory geologiczne, głębokość najpłytszej eksploatacji górniczej pod badaną działką), w tym ze wstrząsami górniczymi,

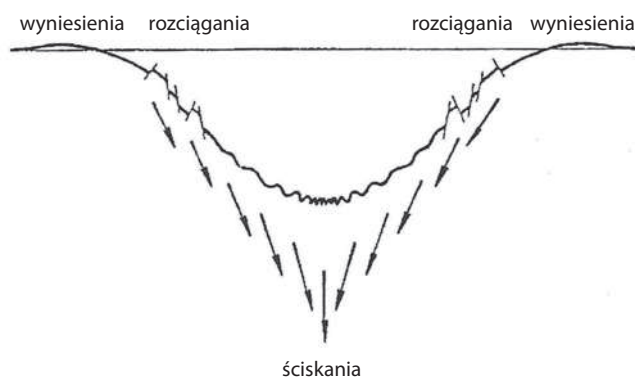
- informacja, czy zaistniałe zjawisko miało związek z dużymi opadami deszczu i/lub wahaniami poziomu wody gruntowej,
- identyfikacja występowania podziemnych obiektów budowlanych (niezlikwidowanych kanałów, starych piwnic, kanalizacji itp.) w miejscu zapadliska,
- informacja o ewentualnie wykonanych badaniach rejonu (geofizycznych lub skaningu laserowym powierzchni lub pomiarach niwelacyjnych punktów obserwacyjnych oraz wnioski z tych badań/pomiarów (najwłaściwiej z wszystkich cykli badań/pomiarów).

Właściwym jest zawieranie w opiniach geologiczno-górniczych powyższych danych, charakterystycznych dla rejonu opiniowanej nieruchomości, a także dołączenie do opinii pierwszego cyklu wykonywanych badań (geofizycznych, skaningu laserowego, pomiarów niwelacyjnych), który może następnie podlegać analizom porównawczym.

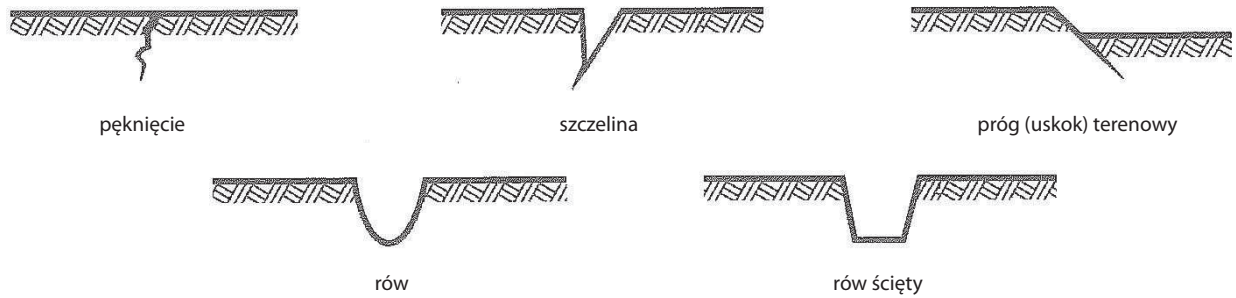
Na koniec należy wspomnieć, że dane o każdym wystąpieniu zjawisk zapadliskowych w czynnych terenach górniczych powinny być zgłaszane służbom budowlanym przedsiębiorców górniczych, odpowiedzialnym za naprawy szkód górniczych. W terenach pogórniczych dane o tzw. zjawiskach przestrzennych powinny być przekazywane poprzez urzędy gminne do powiatowych organów geologicznych. Dane te powinny być uwzględniane w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej sporządzonej w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich.

## 2.2. Deformacje nieciągłe typu liniowego

Sprawczą rolę w powstawaniu deformacji nieciągłych powierzchni terenu typu liniowego ma spękanie, a niekiedy ścięcie (pęknięcie z przemieszczeniem) przypowierzchniowej warstwy górotworu, osiadającego do wybranej pustki poeksploatacyjnej. Ich przyczyną może być wystąpienie w przypowierzchniowej warstwie górotworu naprężeń rozciągających, zginających lub ścinających, a także ściskających. Mogą one występować w rejonach nad krawędziami



**Rys. 6.** Niecka z osiadań i towarzyszące jej zjawiska według K. Lehmana (1919)



Rys. 7. Rodzaje deformacji nieciągłych typu liniowego według E. Popiołka (2009)

eksploatacji górniczej i/lub w strefach brzeżnych niecek i/lub w dnie niecek z osiadań.

Najbardziej typową formą przeobrażeń górniczych powierzchni terenów górniczych są nieciągłe niecki z osiadań. Opisał je m.in. K. Lehmann w 1919 roku, który wskazał również typowe zjawiska towarzyszące powstawaniu takich niecek na powierzchni terenów górniczych (rys. 6). Badane wówczas niecki ujawniały się jako skutek stosunkowo płytkiej eksploatacji górniczej, a zaznaczony strzałkami ruch elementów skalnych górotworu do pustki poeksploatacyjnej wynikał z niedużej jej objętości.

Różne rodzaje liniowych deformacji nieciągłych powierzchni ze względu na formę (kształt) przekroju pionowego opisał E. Popiołek (2009) – rysunek 7.

Aby zrozumieć sposób tworzenia się liniowych deformacji powierzchni terenu, warto przywołać schemat ich powstawania, opisany przez H. Kratzscha (1997). Na rysunku 8 widoczna jest parcela eksploatacyjna, która generuje powstający na zewnątrz niej, w strefie występowania maksymalnych odkształceń poziomych rozciągających na powierzchni, rów ścięty w postaci pary liniowych deformacji nieciągłych (uskoków tektonicznych).

Zwielokrotnienie prawdopodobieństwa przerwania ciągłości górotworu może następować w wyniku superpozycji podobnych zjawisk na brzegu niecki z osiadań, szczególnie przy niekorzystnym układzie krawędzi eksploatacyjnych od wielokrotnych eksploatacji górniczych w złożu (rys. 6). Należy zwrócić uwagę, że w przypadku deformacji nieciągłych typu liniowego ich identyfikacja uwarunkowana jest wystąpieniem jej mierzalnych atrybutów (rys. 9). W fazie, gdy liniowa deformacja nieciągła ma formę mikroszczeliny w górotworze oraz brak jest mierzalnego przesunięcia warstw skalnych względem siebie lub innych jej śladów (np. na obiektach budowlanych), identyfikacja jej na powierzchni terenu górniczego lub na obiektach budowlanych może być trudną lub nawet niemożliwą.

Z drugiej strony typowymi w terenach górniczych są liniowe deformacje nieciągłe w postaci progów terenowych o znaczącej wielkości zrzutu, przekraczającym na przykład 1,0 m (rys. 10).

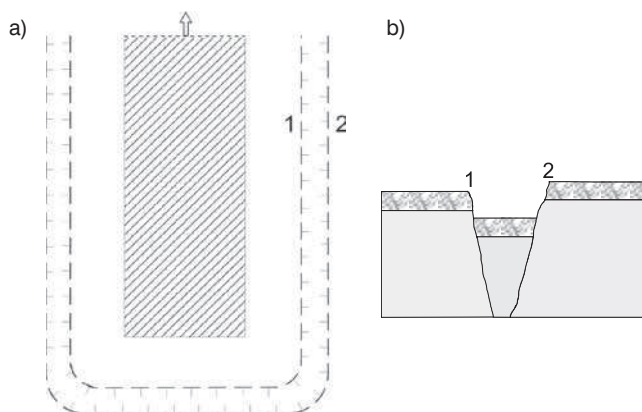
W przeciwieństwie do trudnych do znalezienia mikropęknięć powierzchni, autor artykułu obserwował na powierzchni terenów górniczych deformacje nieciągłe typu liniowego w postaci szczelin o rozwarciu przekraczającym 20 cm

(rys. 11). Przypadki takie są jednak stosunkowo rzadkie.

Ocena skali zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi typu liniowego wynika z poniżej przedstawionej analizy. Spękanie górotworu, spowodowane eksploatacją górniczą, będące formą deformacji nieciągłych typu liniowego, podobnie jak aktywacja naturalnych uskoków tektonicznych, może rozciągać się od pierwotnej pustki (poziomu eksploatacji górniczej) do powierzchni terenu. Ze względu na panujące w górotworze ciśnienie pionowe, wzrastające wraz z głębokością, rozwarcie takich spękań (istnienie szczelin) może występować wyłącznie w przypowierzchniowej warstwie górotworu, w której występuje płaski stan naprężeń (odkształcenia rozciągające), a panujące ciśnienie pionowe nie skutkuje ich zaciśnięciem. Występowanie rozwartych szczelin i ich głębokość w górotworze zależy od litologii skał, w których one występują i od ich zdolności reologicznych. Badania różnych rodzajów gruntów o konsystencji plastycznej, prowadzone w Głównym Instytucie Górnictwa – H. Glinko (1973), B. Gil-Kleczewska (1978), B. Gil-Kleczewska, J. Kwiatek (1987) – pozwoliły określić głębokość powstających na powierzchni szczelin w warstwach nadkładowych karbunu. Wynosi ona zwykle kilka metrów. Przykładowo dla gliny zwałowej, mało spoistej oraz dla przedziału obciążeń pionowych od 0,6 do 1,2 kN/dm<sup>2</sup> i przedziału odkształceń poziomych od 0 do 4,1 mm/m (wartość powodująca pęknięcie), głębokość szczelin może wynosić około 3 m.

Ze względu na małą głębokość takich szczelin, w przypadkach braku ich podsadzenia, mogą one generować sufozję o stosunkowo ograniczonym zasięgu. Analogicznie, jak w przypadkach deformacji nieciągłych typu powierzchniowego, zasięg zapadania się gruntu w sąsiedztwie szczeliny (szerokość rowu) zależy od głębokości i pojemności retencyjnej szczeliny, od miąższości skał luźnych, występujących przy szczelinie oraz od kąta naturalnego zsypania tych skał (wzór 1). Powierzchnia boczna rowu, która powstanie w miejscu pierwotnej deformacji nieciągłej, może przybierać różne kąty w przypadkach, gdy powstaje on w różnych litologicznie warstwach podłoża gruntowego.

Rozwarte szczeliny stają się następnie przyczyną sufozji gruntów (gleby i podłoża glebowego). Należy podkreślić, że w przypadkach deformacji nieciągłych typu liniowego zjawisko sufozji gruntów najczęściej jest procesem wtórnym, zapoczątkowanym wcześniejszym pęknięciem i rozwarciem przypowierzchniowej warstwy górotworu,



**Rys. 8.** Schemat powstawania stref nieciągłości w rejonach występowania maksymalnych odkształceń poziomych o charakterze rozciągania (a) w formie rowu utworzonego z dwóch stopni (b), 1 – stopień przeciwny, 2 – stopień główny (H. Kratzsch 1997)



**Rys. 9.** Liniowa deformacja nieciągła powierzchni w postaci pęknięcia i progu (~10 cm)



**Rys. 10.** Liniowa deformacja nieciągła w postaci progu terenowego o rzucie około 1,0 m

a zachodzącym w przypadkach występowania na powierzchni gruntów luźnych lub plastycznych. Taka sufozja może zachodzić w pierwszej kolejności w rejonach ukierunkowanego spływu wód powierzchniowych (w miejscach żlebów terenowych, strumieni) i prowadzić do powstania lokalnych



**Rys. 11.** Liniowa deformacja nieciągła w postaci otwartej szczeliny o szerokości przekraczającej 20 cm

mikrolejów zapadliskowych. Po odpowiednio długim czasie dzięki temu zjawisku liniowe deformacje nieciągłe przybierają kształt łagodnych rowów w miejscu występowania pierwotnej szczeliny (rys. 7).

Obserwacje procesów zapadliskowych, prowadzone w terenie górniczym „Szczygłowice” przez autora artykułu, pozwalają wyciągnąć wniosek, że naturalne kształtowanie się ostatecznej formy liniowych deformacji nieciągłych w gruntach o konsystencji plastycznej może trwać nawet kilkanaście lat i zależy od ilości opadów atmosferycznych w ciągu roku oraz zadrzewienia powierzchni, w których te deformacje się ujawniają (odkrycia powierzchni terenu oraz umocnienia korzeniami).

Na koniec warto wspomnieć o ważności danych o wystąpieniu i/lub aktywacji naturalnych uskoków tektonicznych na powierzchni terenów górniczych. Naturalne uskoki tektoniczne często mogą być aktywowane w wyniku eksploatacji górniczej, prowadzonej w ich sąsiedztwie, i wówczas w miejscach ich wychodni mogą one generować typowe formy liniowych deformacji powierzchni.

Odnosząc się do docelowego przywrócenia w górotworze naturalnych przepływów wód, w terenach górniczych należy przewidywać wypiętrzenia powierzchni, które wynikną z uwodnienia górotworu. Wypiętrzenia te na podstawie doświadczeń niemieckich mogą osiągnąć wielkość rzędu 20 cm (A. Sroka i in., 2018). W sąsiedztwie wychodni dużych uskoków tektonicznych, położonych w szczególności w rejonach charakteryzujących się cienkim nadkładem złóż, mogą one być nierównomierne. Powyższe stanowi o zagrożeniu konstrukcji obiektów budowlanych „przeciętych” naturalnymi uskokami tektonicznymi, charakteryzującymi się

dużymi zrzutami (wyniesieniami) ich skrzydeł. Powodem takiego zjawiska mogą być: odmienna litologia, miąższości i właściwości skał, położonych w sąsiednich skrzydłach takich uskoków. Ta zmienność warunków wynika wprost z dużych zrzutów takich uskoków, a może być dodatkowo powodowana niejednakową intensywnością eksploatacji górniczej górotworu w obu skrzydłach.

Należy zwrócić uwagę, że w odróżnieniu od naturalnych uskoków tektonicznych, większość liniowych deformacji nieciągłych ma charakter płytkich szczelin i niewielkich progów terenowych, charakteryzujących się brakiem lub niedużymi zrzutami. W związku z tym terenom górniczym „przeciętym” takimi liniowymi deformacjami nieciągłymi nie będą towarzyszyć zmienne wielkości wypiętrzeń gruntów po przywróceniu naturalnych przepływów wód.

Na koniec prezentowanych rodzajów deformacji nieciągłych typu liniowego można jeszcze wspomnieć o nieciągłym skutku (formie) deformacji powierzchni, powstającej w dnie niecek z osiadań (rys. 6). Dotyczą one jednak najczęściej budowli, które w wyniku znaczących odkształceń poziomych ściskających (płaski stan naprężeń) zostały zdeformowane i oderwały się od naturalnego podłoża gruntowego. Autor wielokrotnie obserwował w terenach górniczych szybkie wypiętrzenie się garbów w asfaltowej nawierzchni dróg i chodników, które w ciągu doby „urosty” na wysokość kilkunastu cm (rys. 12).

#### **Istotne informacje dotyczące dokumentowania zagrożenia deformacjami nieciągłymi typu liniowego**

Informacje o występowaniu w terenach górniczych liniowych deformacji nieciągłych są niezbędne ze względu na potrzebę przeciwdziałania zagrożeniom przez nie wywoływanych. Zagrożenia te mogą dotyczyć powierzchni terenów górniczych, w tym obiektów budowlanych, i wynikać z zaistniałego oddziaływania górniczego, a także z możliwego dalszego planowanego oddziaływania eksploatacji górniczej. Należy zwrócić uwagę, że zagrożenia te mogą również wynikać z procesów odbudowy naturalnych stosunków wodnych po likwidacji kopalń.

Stosowanie profilaktyki przeciwdziałającej skutkom wystąpienia liniowych deformacji nieciągłych w podłożu istniejących i projektowanych obiektów infrastruktury powierzchniowej wymaga identyfikacji ich ewentualnego, dotychczasowego wystąpienia (lokalizacji). W czynnych terenach górniczych zbieranie informacji o wystąpieniu i aktywacjach deformacji nieciągłych (w szczególności typu liniowego) należy do zadań działów szkód górniczych, a ich inwentaryzacja i archiwizowanie – do zadań służb mierniczych i geologicznych kopalń. Dane te następnie winny być ujawniane w opiniach geologiczno-górniczych.

Planowa inwentaryzacja liniowych deformacji nieciągłych polega na znajdowaniu ich śladów w postaci pęknięć na rozległych (ciągłych) obiektach budowlanych. Obiektami, na których mogą być widoczne ślady oddziaływania deformacji



**Rys. 12.** Nieciągła forma deformacji obiektów powierzchniowych w postaci garbu w chodniku o szerokości przekraczającej 20 cm

nieciągłej, są np. podmurówki ogrodzeń, asfaltowe nawierzchnie ulic i mury budynków. W każdym przypadku wystąpienia deformacji nieciągłej, nawet w przypadkach, gdy występuje tylko pęknięcie oraz brak jest wystąpienia rozwarcia szczeliny, a także wystąpienia zrzutu uskoku (progu terenowego), warto zawsze zinwentaryzować geodezyjnie jej przebieg, gdyż taka deformacja nieciągła może w przyszłości aktywować się w wyniku kolejnych eksploatacji górniczych. W przypadkach, gdy zidentyfikowane liniowe deformacje nieciągłe w czynnych terenach górniczych podlegają prognozowanemu oddziaływaniu górniczemu i jednocześnie, jeśli ewentualna aktywacja deformacji nieciągłej może powodować zagrożenie bezpieczeństwa powszechnego np. w obiekcie użyteczności publicznej (kościół, szkoła itp.), w związku z wystąpieniem znaczących odkształceń poziomych rozciągających, celowym działaniem wydaje się cykliczny monitoring takich deformacji nieciągłych.

Monitoring ten może polegać na stabilizacji punktów obserwacyjnych i cyklicznych pomiarach niwelacyjnych i długościowych. Najnowszą technologią pomiarową może być skaning laserowy powierzchni i obiektów budowlanych. Celem takich pomiarów powinno być:

- ocena wielkości obniżenia górniczych podłoża gruntowego w sąsiedztwie budowli i obniżenia wydzielonych części budowli (narożników, poszczególnych segmentów),
- ocena wystąpienia liniowej deformacji nieciągłej w poszczególnych segmentach budowli i w poszczególnych ścianach budowli lub ocena odległości miejsca wystąpienia (aktywacji) liniowej deformacji nieciągłej od obiektu budowlanego,
- identyfikacja formy przestrzennej (przekroju) liniowej deformacji nieciągłej,
- identyfikacja atrybutów aktywowanej deformacji nieciągłej, tj. przyrostów (rozwarcia) szczeliny, faktu wystąpienia zrzutu deformacji nieciągłej i przyrostów tego zrzutu oraz ewentualnie przyrostów głębokości (wysokości) – w przypadku wystąpienia rowu (garbu),
- ocena zmian (przyrostów) szerokości szczelin dylatacyjnych pomiędzy segmentami budowli,



- ocena przyrostów wychyleń kierunkowych od pionu (poziomu) segmentów (narożników) budowli,
- ocena ewentualnej krzywizny (wklęsłej lub wypukłej) wzdłuż wyróżnionych osi (segmentów) budowli.

Wyniki takiego monitoringu stanowią potem najlepsze dane dla oceny zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania budowli i zagrożenia bezpieczeństwa powszechnego przez ekspertów budowlanych.

### 3. Podsumowanie

- Deformacje nieciągłe powierzchni stanowią jeden z najbardziej deterministycznych czynników przekształceń terenów górniczych, znacząco oddziałujących na obiekty jej zagospodarowania.
- Należy rozróżnić dwa typy deformacji nieciągłych powierzchni: powierzchniowe i liniowe. Mają one istotnie różny kształt oraz odmienne są przyczyny ich powstawania.
- Przyczyną sprawczą powstawania w terenach górniczych deformacji nieciągłych typu powierzchniowego są pustki poeksploacyjne: pierwotne (zroby, wyrobiska górnicze) lub najczęściej wtórne (szczeliny), występujące pomiędzy zawałonymi bryłami skalnymi w strefie tzw. zawału pełnego. Są one bezpośrednią przyczyną zapadania się oraz sufozji przypowierzchniowych warstw gruntu (skał sypkich i gleby) do tych pustek.
- Dla oceny zagrożenia zapadliskowego powierzchni terenów górniczych najważniejsza jest wiedza o głębokości najpłytszej eksploatacji górniczej kopaliny (wyrobisk górniczych) w górotworze dla rejonu opiniowanej nieruchomości. W przeciętnych warunkach geologicznych, w terenach górniczych, prowadzenie zawałowej eksploatacji górniczej na głębokościach mniejszych od 100 m skutkuje przypisywaniem takim terenom dużego stopnia zagrożenia deformacjami nieciągłymi.
- W przeciętnych warunkach górniczo-geologicznych nasilenie występowania zjawisk zapadliskowych występuje w ciągu pierwszych 20 lat po zakończeniu eksploatacji górniczej. Wystąpienie zjawisk zapadliskowych może jednak następować i/lub powtarzać się nawet po 100 latach od czasu przeprowadzenia eksploatacji górniczej. Zależy to od budowy geologicznej górotworu i rodzaju pustek poeksploacyjnych (pierwotnych lub wtórnych) oraz zastosowanej obudowy wyrobisk górniczych.
- Geometryczna forma deformacji nieciągłych typu powierzchniowego uzależniona jest od rodzaju skał budujących górotwór oraz – w niektórych przypadkach – od kształtu płytkich wyrobisk górniczych (pustek), których ściany uległy odsłonięciu i/lub, w których wypełniają ją materiał uległ przemieszczeniu. Zasięg możliwego rozwoju zapadliska zależy od wielkości tej pustki i od miąższości skał luźnych (nadkładowych), sąsiadujących z tą pustką (szczeliną, wyrobiskiem) oraz od kąta naturalnego zrypu skał luźnych.
- Sprawczą rolę w powstawaniu deformacji nieciągłych powierzchni terenu typu liniowego ma spękanie, a niekiedy ścięcie (pęknięcie z przemieszczeniem) przypowierzchniowej warstwy

górotworu. Powodem mogą być nierównomierne obniżenia górnicze powierzchni lub docelowe wypiętrzenia powierzchni po uwodnieniu górotworu w wyniku przywrócenia naturalnych przepływów wód.

- W przypadkach deformacji nieciągłych typu liniowego zjawisko sufozji gruntów najczęściej jest procesem wtórnym, zapoczątkowanym wcześniejszym pęknięciem i rozwarciem przypowierzchniowej warstwy górotworu, a zachodzącym w przypadkach występowania na powierzchni terenu skał luźnych lub plastycznych. Ze względu na małą głębokość takich szczelin mogą one generować sufozję o stosunkowo ograniczonym zasięgu.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Chudek M., *Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnich*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010, str. 500
- [2] Chudek M., Janusz W., Zych J., *Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej pt. Górnictwo, Gliwice, zeszyt 141, 1988, str. 161
- [3] Drobniński M., Telenga K., *Opracowanie metody oceny zagrożenia i ryzyka zapadliskowego związanego z płytką eksploatacją na terenach górniczych należących do RAG*, Materiały z konferencji XI dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko, Katowice, Kwartalnik Nr 2/1/2011, str. 100–110
- [4] Frolik A., Kotyrba A., *Metodyka oceny zagrożeń ze strony opuszczonych szybów górniczych*, Katowice, Przegląd Górniczy 5/2015, str. 10–19
- [5] Frolik A., Rogoż M., *Zagęszczenie zasypu w trakcie likwidacji szybu*, Katowice, Przegląd Górniczy 3/2006, str. 27–32
- [6] Gil-Kleczewska B., *Wpływ rozluźnienia podłoża górniczego na osiadania budowli o fundamentach płytowych*, Praca doktorska GIG, Katowice, 1978
- [7] Gil-Kleczewska B., Kwiatek J., *Oddziaływanie między fundamentami rusztowymi budowli a podłożem górniczym*, Wyd. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, 1987
- [8] Glinko H., *Rozpełzanie gruntu w świetle jego reologicznych właściwości*, Praca doktorska GIG, Katowice, 1973
- [9] Główny Instytut Górnictwa, *Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych*, Seria: Instrukcje, Nr 12; Wydawnictwo GIG, str. 47, Katowice, 2000
- [10] Ignacy D., *Metoda oceny zagrożenia zawodnieniem terenów górniczych i pogórnich*, Katowice, Przegląd Górniczy 1/2017, str. 26–38
- [11] Ignacy D., *Zastosowanie hydromorfologiczno-kartograficznej metody oceny zagrożenia zawodnieniem terenów górniczych do kategoryzacji terenów górniczych likwidowanych kopalń*, Katowice, Przegląd Górniczy 12/2017, str. 7–14
- [12] Ignacy D., Bukowski P., *Zawodnienia terenów górniczych – Przewodnik po najważniejszych przepisach z komentarzami mierniczego górniczego i geologa górniczego – stan prawa – styczeń 2017 r.*, Warszawa, Przegląd Geologiczny 6/2017, str. 358–364
- [13] Kotyrba A., *Zagrożenie i ryzyko zapadliskowe terenów Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, Katowice, Wiadomości Górnicze 7–8/2005, str. 348–358
- [14] Kowalski A., *O liniowych nieciągłościach powierzchni*, Katowice, Miesięcznik WUG, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 12/2005
- [15] Kwiatek J. (red.), *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*, Katowice, Wyd. Głównego Instytutu Górnictwa, 1998, str. 728
- [16] Popiołek E., *Ochrona terenów górniczych*, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2009, str. 297
- [17] Sroka A., Misa R., Tajduś K., *Modern applications of the Knothe theory in calculations of surface and rock mass deformations*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, tom 20, 2/2018, str. 111–122
- [18] Wilk Z., red., *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*, tom I, Ucelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne AGH, Kraków, 2003, str. 611