

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**

MIROSLAW CHUDEK, WACŁAW JANUSZ, JAN ZYCH

**STUDIUM DOTYCZĄCE STANU ROZPOZNANIA
TWORZENIA SIĘ I PROGNOZOWANIA
DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH POD WPŁYWEM
PODZIEMNEJ EKSPLOATACJI ZŁÓŻ**

GÓRNICTWO

**Z. 141
GLIWICE
1988**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 866

MIROSLAW CHUDEK, WAĆLAW JANUSZ, JAN ZYCH

**STUDIUM DOTYCZĄCE STANU
ROZPOZNANIA TWORZENIA SIĘ
I PROGNOZOWANIA DEFORMACJI
NIECIĄGŁYCH POD WPŁYWEM
PODZIEMNEJ EKSPLOATACJI ZŁÓŻ**

GLIWICE

1988

OPINIODAWCY

Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek
Doc. dr hab. inż. Karol Greń

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY — Prof. dr hab. inż. Wiesław Gabzdyl
REDAKTOR DZIAŁU — Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek
SEKRETARZ REDAKCJI — Mgr Elżbieta Stinzing
CZŁONKOWIE KOLEGIUM — Prof. dr hab. inż. Adolf Maciejny
— Prof. dr inż. Stanisław Malzacher
— Prof. dr hab. inż. Bronisław Skinderowicz

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Mgr Elżbieta Stinzing

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
ul. Kujawska 3, 44-100 Gliwice

Nakł. 200+55 Ark. wyd. 11,7 Ark. druk. 10,125 Papier offset. kl. III 70x100, 70g
Oddano do druku 6.02.87 Podpis. do druku 28.03.88 Druk ukończ. w lipcu 1988
Zam. 128/87 O-24 Cena zł 234,—

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

SPIS TRESCI

	Str.
1. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU I REJONIZACJA TERENÓW PODLEGAJĄCYCH DEFORMACJOM NIECIĄGLYM	13
2. PODZIAŁ I CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI NIECIĄGLYCH	18
2.1. Klasyfikacja przyczynowa	19
2.2. Klasyfikacja rodzajowa	20
2.2.1. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego	20
2.2.2. Deformacje nieciągłe typu liniowego	23
2.3. Klasyfikacja wielkościowa	24
3. PRZYCZYNY I WARUNKI TWORZENIA SIĘ DEFORMACJI NIECIĄGLYCH	27
3.1. Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych	27
3.1.1. Eksploatacja złóż salegających na małej głębokości ..	33
3.1.2. Reaktywacja starych zrobów po płytkiej eksploatacji górnictwej	35
3.1.3. Aktywizacja częściowo zlikwidowanych lub nieslikwi- dowanych szybów, biedaszybów i szybików	40
3.1.4. Wpływ odwodnienia warstw wodonośnych	40
3.1.5. Wpływ pożarów w resztkach pokładów salegających na małej głębokości	46
3.1.6. Wpływ eksploatacji kilku pokładów do jednej wspólnej krawędzi	46
3.1.7. Wpływ jednostronnej eksploatacji górniczej w są- siedztwie uskoku	49
3.1.8. Eksploatacja w rejonie wychodni pokładów pod luźnym a zwłaszcza zawodnionym nadkładem	49
3.2. Czynniki wpływające na charakter procesu kształtowania się deformacji nieciągłych na powierzchni	50
3.2.1. Wymiary gabarytowe pustki	51
3.2.2. Budowa geologiczna górotworu nad i w otoczeniu pust- ki	52
3.2.3. Zmiany stanu naprężenia w górotworze na skutek za- chodzących w nim różnorodnych procesów	56
4. METODY WYKRYWANIA PUSTEK W GÓROTWORZE	59
4.1. Metody geofizyczne	60
4.2. Metody górnicze	62
4.3. Inne metody wykrywania pustek	63

5. ISTNIEJĄCE MODELE PRZEBIEGU PROCESU TWORZENIA SIĘ DEFORMACJI ...	65
5.1. Metoda Chudka-Olaszowskiego	65
5.2. Metoda Janusza-Jarosza	75
5.3. Metoda J. Penka	83
5.4. Metoda Sachsa-Zakolskiego-Skinderowicza	84
5.5. Ocena opisanych metod i przydatności ich do prognozowania deformacji nieciąglych	86
6. PRZYJĘTY MODEL PRZEBIEGU DEFORMACJI I JEGO MATEMATYCZNY OPIS ...	92
6.1. Uzupełnienie charakterystyki deformacji nieciąglych	92
6.2. Charakterystyka górotworu ze względu na możliwość powstawania zapadlisk	92
6.3. Charakterystyka pustek w górotworze	93
6.4. Model przebiegu procesu deformacji nad pustką	94
6.5. Determinanty wystąpienia zapadlisk na powierzchni terenu ..	97
6.6. Matematyczny opis modelu	102
6.7. Szczególne przypadki przebiegu procesu deformacji	106
6.7.1. Istnienie pustek na kilku poziomach w górotworze ...	106
6.7.2. Istnienie zespołu pustek poprzedzielanych filarami .	108
6.7.3. Zagrożenia ze strony starych zlikwidowanych szybów i szybków	110
7. PROGNOZA DEFORMACJI NIECIĄGLYCH WEDŁUG PRZYJĘTEGO MODELU PRZEBIEGU DEFORMACJI NAD PUSTKĄ	111
7.1. Wyznaczenie (określenie) parametrów potrzebnych do prognozy	112
7.1.1. Określenie lokalizacji i wymiarów pustki	112
7.1.2. Wyznaczenie (określenie) parametrów fizykomechanicznych górotworu	113
7.2. Prognoza właściwa	115
7.2.1. Określenie potencjalnych możliwości wystąpienia deformacji	115
7.2.2. Prognoza prawdopodobieństwa wystąpienia deformacji .	116
7.2.3. Prognoza wielkości deformacji	117
7.3. Wykonywanie prognozy deformacji nieciąglych w przypadkach szczególnych	120
7.3.1. Prognoza deformacji w przypadku 2 pustek zalegających w pionie na różnych poziomach w górotworze (rys. 6.2)	120
7.3.2. Prognoza deformacji dla przypadku "zespołu pustek" .	121
7.3.3. Prognoza oddziaływania pustek w zlikwidowanych szybach	123
7.4. Przykład przeprowadzenia prognozy (rys. 7.2)	124
7.5. Uwagi na temat prognozowania deformacji nieciąglych dla obszarów zapadliskowych	129

	Str.
8. PROPCNOWANY PODZIAŁ TERENÓW PODLEGAJĄCYCH DEFORMACJOM NIECIĄG- ŁYM	138
8.1. Kryteria podziału	138
8.2. Przybliżone kryteria podziału terenów zapadliskowych na kategorie w przypadku słabego rozpoznania zagrożeń	141
9. INSTRUKCJA KLASYFIKACJI TERENÓW GÓRNICZYCH ZAGROŻONYCH WYSTĘPO- WANIEM DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH	144
9.1. Wstęp	144
9.2. Kategorie terenów górniczych zagrożonych występowaniem de- formacji nieciągłych typu powierzchniowego	144
9.3. Kategorie terenów górniczych zagrożonych występowaniem de- formacji nieciągłych typu liniowego	149
9.4. Spis oznaczeń	150
10. ZASADY ZAGOSPODAROWANIA TERENÓW GÓRNICZYCH PODLEGAJĄCYCH DEFOR- MACJOM NIECIĄGŁYM	152
10.1. Tereny zapadliskowe	152
10.2. Tereny podlegające deformacjom nieciągłym liniowym	152
LITERATURA	153

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И РАСЧЛЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПОДВЕРЖЕННЫХ ПРЕРЫВНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ	13
2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕРЫВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ	18
2.1. Причинная классификация	19
2.2. Классификация по видам	20
2.2.1. Прерывная деформация поверхностного типа	20
2.2.2. Линейная прерывная деформация	23
2.3. Размерная классификация	24
3. ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРЕРЫВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ	27
3.1. Причины возникновения прерывных деформаций	27
3.1.1. Эксплуатация пластов залегающих на небольшой глубине .	33
3.1.2. Реактивация старых срезов после неглубокой горной эксплуатации	35
3.1.3. Активизация частично ликвидированных и неликвидированных стволов, гореставлов и стволиков	40
3.1.4. Влияние отводнения водоносных слоёв	40
3.1.5. Влияние пожара в остатках пластов, залегающих на не- большой глубине	46
3.1.6. Влияние эксплуатации нескольких пластов к одной общей границы	46
3.1.7. Влияние односторонней горной эксплуатации вблизи уступа	48
3.1.8. Эксплуатация в районе выхода пластов под свободным а- тмосферным давлением под наводнёнными покровами	49
3.2. Факторы влияющие на характер процесса формирования прерывных деформаций на поверхности	50
3.2.1. Габаритные размеры пустоты	51
3.2.2. Геологическое строение горообразования над и в побли- зости пустоты	52
3.2.3. Изменения состояния напряжения в горообразовании в ви- ду имеющих место в нём различных процессов	56
4. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПУСТОТ В ГОРООБРАЗОВАНИИ	59
4.1. Геофизические методы	60
4.2. Горнодобывающие методы	62
4.3. Другие методы обнаружения пустот	63

	Стр.
5. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ..	65
5.1. Метод Худка-Оляновского	65
5.2. Метод Януша-Яроша	75
5.3. Метод Я. Фенка	83
5.4. Метод Сахса-Закохьского-Скиндеровича	84
5.5. Оценка описанных методов и их пригодности для прогнозирования прерывных деформаций	86
6. ПРИНЯТАЯ МОДЕЛЬ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИЙ И ЕЁ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ	92
6.1. Дополнение характеристики прерывных деформаций	92
6.2. Характеристика горообразования с точки зрения возможности возникновения провалов	92
6.3. Характеристика пустот в горообразовании	94
6.4. Модель протекания процесса деформации над пустотой	94
6.5. Детерминаты выступления провалов на поверхности	97
6.6. Математическое описание модели	102
6.7. Особенные случаи протекания процесса деформации	106
6.7.1. Существование пустот на нескольких уровнях в горообразовании	106
6.7.2. Существование группы пустот, разделённых щелями ...	108
6.7.3. Угроза со стороны старых ликвидированных стволов и стволиков	110
7. ПРОГНОЗ ПРЕРЫВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПО ПРИНЯТОЙ МОДЕЛИ ПРОТЕКАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ НАД ПУСТОТОЙ	111
7.1. Определение параметров требуемых для прогноза	112
7.1.1. Определение локализации и размера пустоты	112
7.1.2. Определение физикомеханических параметров горообразования	113
7.2. Существенный прогноз	115
7.2.1. Определение потенциальных возможностей выступления деформаций	115
7.2.2. Прогноз вероятности выступления деформации	116
7.2.3. Прогноз величины деформации	117
7.3. Проведение прогноза прерывных деформаций в особенных случаях	120
7.3.1. Прогноз деформации в случае двух пустот залегающих по вертикали на различных уровнях горообразования (рис. 6.2)	120
7.3.2. Прогноз деформации для случая "группы пустот"	121
7.3.3. Прогноз влияния пустот в ликвидированных стволах	123
7.4. Пример проведения прогноза (рис. 7.2)	124
7.5. Замечания по прогнозированию прерывных деформаций для правильных территорий	129

	Стр.
8. ПРЕДЛАГАЕМАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПОДВЕРЖЁННЫХ ПРЕРЫВНЫМ ДЕ- ФОРМАЦИЯМ	138
8.1. Критерии классификации	138
8.2. Приблизительные критерии классификации провальных террито- рий на категории, в случае неточного распознавания угрозы ...	141
9. ИНСТРУКЦИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НАХОДЯЩИХСЯ ПОД УГРО- ЗОЙ ВЫСТУПЛЕНИЯ ПРЕРЫВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ	144
9.1. Вступление	144
9.2. Категории горных территорий находящиеся под угрозой высту- пания прерывных деформаций поверхностного типа	144
9.3. Категории горных территорий находящиеся под угрозой высту- пания прерывных деформаций линейного типа	149
9.4. Список обозначений	150
10. ПРИНЦИПЫ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПОДВЕРЖЁННЫХ ПРЕРЫВ- НЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ	152
10.1. Провальные территория	152
10.2. Территории подвержённые прерывным линейным деформациям ...	152
ЛИТЕРАТУРА	153

CONTENTS

	Page
1. FORMULATION OF THE PROBLEM AND REGIONAL DIVISION OF THE AREA SUBJECT TO DISCONTINUOUS DEFORMATIONS	13
2. DIVISION AND CHARACTERISTICS OF DISCONTINUOUS DEFORMATION	18
2.1. Classification acc. to causes	19
2.2. Classification acc. to types	20
2.2.1. Discontinuous deformations of surface type	20
2.2.2. Discontinuous deformations of linear type	23
2.3. Quantity classification	24
3. CAUSES AND CONDITIONS OF FORMATION OF DISCONTINUOUS DEFORMATIONS	27
3.1. Causes of formation of discontinuous deformations	27
3.1.1. Mining of beds deposited at small depths	33
3.1.2. Reactivation of old works after shallow mining	35
3.1.3. Activation of partially closed-down or not closed-down shafts, primitive surface mines and small shafts	40
3.1.4. Effect of drainage of the water-bearing strata	40
3.1.5. Effect of fires in the remnants of beds deposited at small depths	46
3.1.6. Effect of mining of several beds to one common edge	46
3.1.7. Effect of unilateral mining in the vicinity of fault	48
3.1.8. Mining in the region of bed outcrop, underneath loose and particularly, flooded overlay	49
3.2. Factors influencing the character of the process of formation of discontinuous deformations on the surface	50
3.2.1. Overall dimensions of cavity	51
3.2.2. Geological structure of the rock mass over and in the vicinity of cavity	52
3.2.3. Variations of the state of stress in the rock mass as a result of the various processes occurring in it	56
4. METHODS OF DETECTION OF CAVITIES IN THE ROCK MASS	59
4.1. Geophysical methods	60
4.2. Mining methods	62
4.3. Other methods of cavity detection	63

	Page
5. EXISTING MODELS OF THE COURSE OF THE DEFORMATION PROCESS	65
5.1. Chudek, Olaszowski's method	65
5.2. Janusz, Jarosz's method	75
5.3. J. Fenk's method	83
5.4. Sachs, Zakolaki, Skinderowicz's method	84
5.5. Estimation of the methods described, and their usability for prognostication of discontinuous deformations	86
6. THE ASSUMED MODEL OF THE COURSE OF DEFORMATION AND ITS MATHEMATICAL DESCRIPTION	92
6.1. Supplement of the characteristics of discontinuous deformations	92
6.2. Characteristics of the rock mass considering the possibility of sink holes formation	92
6.3. Characteristics of cavities in the rock mass	93
6.4. Model of the course of the process of deformation over the cavity	94
6.5. Determinants of the occurrence of sink holes on the surface of the area	97
6.6. Mathematical description of the model	102
6.7. Special cases of the course of the process of deformation .	102
6.7.1. Existence of cavities at several levels in the rock mass	106
6.7.2. Existence of a complex of cavities, divided by pillars	108
6.7.3. Hazards from old closed-down shafts and small shafts	110
7. PROGNOSIS OF DISCONTINUOUS DEFORMATIONS ACC. TO THE ASSUMED MODEL OF THE COURSE OF DEFORMATION OVER THE CAVITY	111
7.1. Determination (definition) of the parameters needed for prognosis	112
7.1.1. Determination of the cavity location and dimensions.	112
7.1.2. Determination of the physical-mechanical parameters of the rock mass	113
7.2. The actual prognosis	115
7.2.1. Determination of the potential possibilities of the occurrence of deformation	115
7.2.2. Prognosis of the possibility of the occurrence of deformation	116
7.2.3. Prognosis of the quantity of deformations	117
7.3. Execution of the prognosis of discontinuous deformations in special cases	120
7.3.1. Prognosis of deformation in the case of 2 cavities, deposited in the perpendicular, at various levels in the rock mass (fig. 6.2)	120

	Page
7.3.2. Prognosis of deformations in the case of a "complex of cavities"	121
7.3.3. Prognosis of the effect of cavities in closed-down shafts	123
7.4. Examples of prognosticating (fig. 7.2)	124
7.5. Remarks on prognosticating of discontinuous deformations for sink hole areas	129
8. THE PROPOSED DIVISION OF THE AREA SUBJECT TO DISCONTINUOUS DEFORMATIONS	138
8.1. Division criteria	138
8.2. Approximate division criteria of the sink hole area, into categories, in the cases of poor recognition of hazards ...	141
9. INSTRUCTION ON THE CLASSIFICATION OF THE MINING AREAS THREATENED WITH THE OCCURRENCE OF DISCONTINUOUS DEFORMATIONS	144
9.1. Introduction	144
9.2. Categories of mining areas threatened with the occurrence of discontinuous deformations of surface type	144
9.3. Categories of mining areas threatened with the occurrence of discontinuous deformations of linear type	149
9.4. List of denotations	150
10. PRINCIPLES OF UTILIZING THE MINING AREAS SUBJECT TO DISCONTINUOUS DEFORMATIONS	152
10.1. Sink hole areas	152
10.2. Areas subject to discontinuous linear deformations	152
REFERENCES	153

1. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU I REJONIZACJA TERENÓW PODLEGAJĄCYCH DEFORMACJOM NIECIĄGŁYM

Podziemne roboty górnicze, w szczególności podziemna eksploatacja górnicza, powodują deformacje terenu. Charakter, wielkość, zasięg i przebieg tych deformacji zależą od szeregu czynników geologicznych, górniczych i innych. W zależności od zespołu warunków górniczo-geologicznych wpływy podziemnych robót górniczych mogą ujawnić się na powierzchni terenu:

- albo w postaci deformacji ciągłych, powodujących w efekcie powstanie tzw. niecki osiadań, z towarzyszącymi im deformacjami wtórnymi w postaci nachyleń, odkształceń i krzywizn powierzchni terenu,
- albo w postaci, tzw. deformacji nieciągłych - wywołujących zapadliska o różnych kształtach oraz szczeliny i progi terenowe.

Pod pojęciem nieciągłych deformacji powierzchni terenu należy rozumieć takie deformacje, przy których zachodzi przerwanie ciągłości i względne przemieszczenie się cząstek przypowierzchniowych warstwy gruntu. Są to więc deformacje charakteryzujące się makroskopowo stwierdzalnymi zmianami we wzajemnym ułożeniu cząstek warstw budujących powierzchnię terenu. Tak zdefiniowano deformacje nieciągłe, które obejmują zarówno deformacje związane, jak również nie związane z działalnością człowieka, wynikające w szczególności z działalności górniczej. Deformacje te, od deformacji ciągłych, różnią się następującymi cechami:

- tworzą się stosunkowo szybko (gwałtownie), w czasie kilku dni, godzin, a nawet minut,
- powodują z reguły całkowite zniszczenie powierzchni terenu nad taką deformacją, wskutek czego są wyraźnie widoczne w terenie i szczególnie negatywnie odbierane przez społeczeństwo, chociaż w małym stopniu godzą w istotne procesy środowiska przyrodniczego,
- występują w bardzo różnym czasie od chwili zaistnienia przyczyny ich występowania (powstania pustki w górotworze),
- obejmują zwykle małe powierzchnie, obok których teren nie ulega prawie żadnym deformacjom (istnieje wyraźna granica pomiędzy terenem zniszczonym deformacją, a terenem nienaruszonym),
- występowanie jest typowo losowe, tzn. nie jest determinowane istnieniem i zawalem pustki w górotworze - prawdopodobieństwo ich występowania waha się w granicach prawdopodobieństwa $P = 0$ do $P = 1$ (deformacje ciągłe występują z prawdopodobieństwem $P = 1$ - pewność).

Dla deformacji "ciągłych", na podstawie geodezyjnych badań powierzchni terenu (oraz odpowiednich opracowań teoretycznych), ustalono kształt i charakterystyczne cechy niecek osiadania. Na tej podstawie opracowane zostały teorie opisujące przebieg zjawiska odkształceń powierzchni, ujmujące w odpowiednie wzory, pozwalające na przewidywanie z wystarczającą w praktyce dokładnością wielkości i rozkładu spodziewanych skutków eksploatacji górniczej. W wyniku tych badań ustalono zasady klasyfikacji i ochrony powierzchni przed szkodliwymi wpływami eksploatacji o charakterze deformacji ciągłych. Wyróżnia się odpowiednie kategorie terenu górniczego oraz kategorie ochrony i kategorie odporności obiektów na wpływy eksploatacji górniczej.

Kategorie terenu górniczego podaje się przez określenie wartości granicznych dopuszczalnych wskaźników deformacji, do których należą:

- odkształcenie właściwe poziome - ξ (‰),
- nachylenie terenu - T (‰),
- promień krzywizn - R (km).

W zależności od wielkości tych wskaźników, charakteryzujących wpływy eksploatacji górniczej, wyróżnia się pięć (I-V) kategorii terenów górniczych. Podział na kategorie ma bardzo duże znaczenie praktyczne, głównie w ocenie przydatności terenów górniczych do zabudowy oraz w ocenie stopnia zagrożenia istniejącej zabudowy wpływami eksploatacji górniczej. Stosuje się również podział na kategorie ochrony, gdzie w zależności od stopnia ważności i wrażliwości obiektów na odkształcenia właściwe poziome (ξ) obiekty istniejące na terenach eksploatacji górniczej dzieli się na odpowiednie kategorie (I-V) ochrony. Analogicznie istnieje również pojęcie, tzw. kategorii odporności obiektów, Pod pojęciem kategorii odporności obiektu przyjęto zdolność do przenoszenia przez obiekt, bez zagrożenia jego stateczności i wytrzymałości, wpływów górniczych.

Natomiast dla deformacji "nieciągłych" brak było dotychczas wystarczających danych, umożliwiających opisanie zjawiska w sposób jednoznaczny wzorami matematycznymi lub za pomocą empirycznie wyznaczonych wskaźników. Fakt ten utrudniał niewątpliwie dokonywanie prawidłowej oceny możliwości powstania na powierzchni deformacji nieciągłych oraz określenie ich charakteru i wielkości. Do niedawna jedynym kryterium oceny ujawnienia się deformacji nieciągłych była w zasadzie tylko głębokość zalegania eksploatowanego złoża. Dla rejonów kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przyjmowano głębokość zalegania $H = 80$ m, jako granicę możliwości występowania deformacji nieciągłych, Było to, jak potwierdzają liczne przypadki, niewystarczające i tylko w przybliżeniu może stanowić podstawę przewidywania powstania na powierzchni deformacji nieciągłych. Oprócz bowiem głębokości eksploatacji pokładu na rodzaj i wielkość deformacji nieciągłych mają ponadto wpływ różnorodne czynniki, jak:

- grubość eksploatowanego pokładu,
- system eksploatacji a zwłaszcza sposób kierowania stropem,

- rodzaj i układ warstw skalnych nad pokładem oraz własności fizykomechaniczne tych warstw,
- tektonika górotworu,
- warunki hydrogeologiczne górotworu a szczególnie ich zmiany w czasie.

Problematyka deformacji nieciągłych nie była do tej pory zbyt chętnie podejmowana przez badaczy zajmujących się zagadnieniem wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię. Ograniczano się w zasadzie do opisu słownego skutków zjawiska, nie podając zależności matematycznych pomiędzy poszczególnymi elementami górnictwo-geologicznymi prowadzonej eksploatacji górniczej a zaistniałymi deformacjami nieciągłymi.

Na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego znajduje się duża ilość pustek pochodzenia górniczego. Są to najczęściej stare szyby w postaci chodników, szybów, filarów i komór poeksploatacyjnych, spotykane tam, gdzie prowadzono eksploatację płytko zalegających pokładów węgla i rud cynkowo-olowiowych systemem filarowo-zabierkowym z zawalem stropu. Istnieją zatem na terenie GZW obszary zagrożone deformacjami nieciągłymi wskutek starej eksploatacji oraz wskutek aktualnie prowadzonych robót górniczych.

W związku ze stale postępującą urbanizacją Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego lokalizuje się na terenach zagrożonych deformacjami nieciągłymi różne obiekty powierzchniowe. Istnieje więc pilna potrzeba rozpoznania warunków tworzenia się tych deformacji i doboru właściwych zabezpieczeń lokalizowanych na terenach zagrożonych, ewentualnie opracowanie specjalnych skutecznych metod likwidacji zagrożenia deformacjami nieciągłymi. Wyjaśnienie zjawiska powstania deformacji nieciągłych na powierzchni terenu, poza aspektami poznawczymi, ma więc także duże znaczenie gospodarcze. W przypadku istniejącej zabudowy, deformacje nieciągłe powodują zawsze duże szkody. Przeważnie następuje zniszczenie obiektu i w konsekwencji duże straty materialne, nie mówiąc o potencjalnym zagrożeniu życia ludzkiego. W przypadku zaś terenów przewidzianych do zabudowy, prognozowanie deformacji nieciągłych w oparciu o zamierzenia eksploatacyjne pozwoli na wskazanie miejsc ich występowania, a więc uniknięcia w przyszłości zagrożenia tych obiektów. Problem ten nabiera szczególnej wagi w rejonach silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych, w których wobec wyczerpania się obszarów podlegających deformacjom ciągłym, konieczne jest coraz szersze i intensywniejsze zagospodarowanie obszarów podlegających deformacjom nieciągłym, jako jedynej rezerwy terenowej. Wyjaśnienie zjawiska powstawania zapadlisk na powierzchni terenu i związana z tym właściwa ocena stanu zagrożenia dla istniejących i projektowanych obiektów na terenach zapadliskowych oraz prawidłowe ich zabezpieczenie przed skutkami deformacji nieciągłych zależne są od dokładności poznania procesu powstawania zapadlisk i możliwości przewidywania ich rozmiarów. Konieczne jest również zlokalizowanie terenów, na których istnieją rzeczywiste i potencjalne zagrożenia związane z możliwością występowania deformacji nieciągłych.

Terenom takim należy przyporządkować pewien stopień zagrożenia co ułatwi podejmowanie decyzji odnośnie ich zabudowy. W związku z tym w problematyce ochrony terenów górniczych, zauważa się w ostatnim czasie coraz większe zainteresowanie deformacjami nieciągłymi występującymi na terenach górniczych, jako jednej z form ujawniania się wpływów robót górniczych na powierzchni terenu.

Ostatnio, tj. w latach siedemdziesiątych, poczyniono w szczególności w odniesieniu do zapadlisk, pozytywne próby ilościowego i jakościowego ujęcia tego zagadnienia przedstawione w pracach [1, 2, 3, 18, 21].

Z dotychczasowego stanu rozpoznania deformacji nieciągłych w rejonach górniczych wynika, iż występują one zarówno w centralnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, jak i w jego części południowo-zachodniej (Rybnicki Okręg Węglowy) oraz w rejonie Olkusko-Bolesławskiego Zagłębia Rud Cynku i Ołowiu. Ponadto na obszarze Rybnickiego Okręgu Węglowego, zarówno w rejonach prowadzonej eksploatacji górniczej, jak i daleko poza jego granicami, stwierdzono występowanie różnych form zjawisk osuwiskowych. Prócz tego deformacje nieciągłe występują także w innych rejonach górniczych kraju. Obserwowano je w górnictwie solnym (kop. Wapno, w Baryczy k/Wieliczki), nad starymi zrobami po rudach żelaza (rejon Kielecko-Częstochowski), a także nad eksploatacją węgla brunatnego.

Na terenie centralnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego zinventaryzowano deformacje nieciągłe w obszarze czterech Zrzeszeń Kopalń Węgla Kamiennego, tj. tam gdzie występują one najczęściej. Są to Zrzeszenia Kopalń Węgla Kamiennego w Mysłowicach, Katowicach, Sosnowcu i Bytomiu. Na terenach tych, w zależności od warunków górniczo-geologicznych, występują różne formy deformacji nieciągłych. Najbardziej typowe ich formy, w oparciu o odpowiednią dokumentację, zestawiono w tabelicy 1.1.

Tabelica 1.1

Formy deformacji nieciągłych występujących na terenie GOP

Lp.	Forma deformacji	Ilość	Procentowy udział
1	Leje stożkowe	288	68,0
2	Zapadliska nieforemne	48	11,3
3	Rowy zapadliskowe	26	6,2
4	Kominy	20	4,7
5	Dzwony	19	4,5
6	Szczeliny, progi i pęknięcia	16	3,8
7	Szyby	7	1,5
R a z e m		424	100,0

Z tabelicy 1.1 wynika, że deformacje nieciągłe na terenie GOP przyjmują najczęściej kształt leja stożkowego i zapadliska nieforemne. Obydwa te rodzaje deformacji stanowią prawie 80% wszystkich udokumentowanych defor-

macji nieciągłych. Są one związane przede wszystkim z płytka eksploatacją górnictw. Z ostatnich badań wynika, że na terenie GOP coraz częściej występują deformacje nieciągłe typu liniowego, jak: progi, szczeliny i uskoki, nawet przy eksploatacji prowadzonej na dużych głębokościach.

Na terenie ROW szczególnie często występują różne formy deformacji nieciągłych, powodując znaczne zniszczenia i utrudniając prawidłową gospodarkę powierzchnią terenów. Są to zarówno zapadliska w formie lejów i zagłębień oraz szczeliny i progi terenowe, jak też osuwiska o różnej genezie i bardzo zróżnicowanych wielkościach. Deformacje te występują przeważnie na obszarach podlegających wpływowi podziemnych robót górniczych, ale także spotykane są poza tymi obszarami. Występują pod wieloma postaciami, wśród których wyróżnić można zarówno deformacje typu powierzchniowego (zapadliska, urwiska) jak i liniowego (szczeliny, progi).

Z analizy występowania poszczególnych typów nieciągłych deformacji powierzchni na obszarze ROW wynika, że na ogólną ilość 469 deformacji, 80% tj. 377, przypada na deformacje typu powierzchniowego a 19,6%, tj. 92 deformacje, na deformacje typu liniowego.

Charakterystyczną formą nieciągłych deformacji typu powierzchniowego występujących na obszarze ROW są różne formy zjawisk osuwiskowych. Osuwiska często występują również poza rejonami prowadzonej eksploatacji górniczej i zajmują pod względem ilościowym drugą pozycję, tj. 35,8% deformacji typu powierzchniowego oraz 26,8% wszystkich deformacji nieciągłych w tej części GZW.

Deformacje nieciągłe obydwu typów występują na obszarach prawie wszystkich rejonów prowadzenia eksploatacji górniczej, przy czym deformacje typu powierzchniowego przeważają na terenach zachodniej części ROW, natomiast deformacje typu liniowego dominują we wschodniej części tego obszaru. Ponadto deformacje typu liniowego występują nad eksploatacją górnictw w szerokim interwale głębokości, od powyżej 100 m do kilkuset metrów, zwłaszcza w rejonach stref uskokowych, do których doprowadzono eksploatację kilku pokładów. Natomiast deformacje typu powierzchniowego występują przeważnie nad robotami górnictwymi prowadzonymi na małych głębokościach od kilkunastu do około 100 m.

Na terenie Olkuskiego Zagłębia Rud i Cynku i Ołowiu najczęstszą formą występowania deformacji nieciągłych są deformacje typu powierzchniowego w formie zapadlisk.

Ogółem na terenie kopalń Olkusz i Bolesław zinventaryzowano 66 powierzchniowych deformacji, w tym 77% w formie lejów stożkowych i 23% w formie nieregularnych i regularnych zapadlisk. Deformacje nieciągłe występują zarówno nad starymi wyrobiskami rudnymi a także w trakcie obecnie prowadzonej eksploatacji.

2. PODZIAŁ I CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH

Można przyjąć bardzo różne kryteria podziału deformacji nieciągłych. Dotychczasowe rozpoznanie problemu deformacji nieciągłych pozwala na stwierdzenie, że deformacje nieciągłe w obszarach górniczych, występują zarówno w zasięgu prowadzonych robót górniczych, jak też daleko poza ich granicami, co wyklucza wpływ robót górniczych na ich powstawanie. Wskazuje to na potrzebę uwzględnienia tego faktu w klasyfikacji nieciągłych deformacji powierzchniowych w obszarach eksploatacji górniczej. Deformacje nieciągłe mogą występować w bardzo różnych formach. Można wyróżnić co najmniej kilkanaście charakterystycznych kształtów tych deformacji, różnie nazywanych przez różnych badaczy. Sprawa ta wymaga pewnego ujednoczenia, tym bardziej, że niektóre z tych form są do siebie zbliżone. Potrzebna więc jest klasyfikacja deformacji nieciągłych według ich kształtu.

O stopniu zagrożenia powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi, zarówno w odniesieniu od istniejącej zabudowy, jak i również możliwości oraz sposobu zabezpieczenia zabudowy projektowanej, decydującą rolę odgrywa wielkość spodziewanych deformacji zwłaszcza w rzucie poziomym oraz ich głębokość. W oparciu o prace [1, 2, 7, 17, 20], można określić z dostateczną dla praktyki dokładnością, wielkości niektórych form deformacji nieciągłych, a zwłaszcza zapadlisk. Dla projektowania zabezpieczeń obiektów budowlanych na terenach zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych [2, 18], zasadnicze znaczenie ma wielkość zapadliska w rzucie poziomym, a mniejsze lub w ogóle nieistotne, jego głębokość. W odniesieniu do uskoków ważna jest przede wszystkim różnica wysokościowa występującego stopnia (progu), gdyż ona decyduje o wielkości zagrożenia obiektu. Dla szczelin ważna jest ich szerokość oraz wzajemna odległość. W szczególnych przypadkach może być również przydatna informacja o długości szczeliny i kierunku jej przebiegu.

Ten bardzo istotny, z punktu widzenia stopnia zagrożenia istniejącej i projektowanej zabudowy czynnik, którym jest wielkość deformacji nieciągłych, powinien niewątpliwie znaleźć swoje odzwierciedlenie w kompleksowej klasyfikacji nieciągłych deformacji powierzchni terenu w obszarach eksploatacji górniczej.

Mając na względzie wyżej omówione czynniki charakteryzujące występowanie nieciągłych deformacji, proponuje się wyróżnienie trzech podstawowych kryteriów klasyfikacji, a mianowicie:

- pochodzenie deformacji - klasyfikacja przysynowa,
- kształt deformacji - klasyfikacja rodzajowa,
- wielkość deformacji - klasyfikacja wielkościowa.

Ostatecznie każda deformacja nieciągła może być określona w trójprzymiotnikowej skali klasyfikacji, np. deformacja nieciągła pochodzenia antropogenicznego (NA), typu powierzchniowego (p) o wielkości dużej (d) - NA_{pd} .

2.1. Klasyfikacja przysynowa

W klasyfikacji przysynowej wyróżniono dwie zasadnicze grupy deformacji ze względu na ich pochodzenie.

Są to:

- deformacje pochodzenia antropogenicznego - NA (nieciągła antropogeniczna),
- deformacje pochodzenia naturalnego - NN (nieciągła - naturalna).

Przyczyną deformacji nieciągłych pochodzenia naturalnego są zjawiska wywołane siłami przyrody, zachodzące bez udziału człowieka.

Wśród tych zjawisk należy wyróżnić:

- ruchy tektoniczne,
- ruchy osuwiskowe,
- zjawiska krasowe,
- różne formy erozji.

Przyczyną powstania nieciągłych deformacji pochodzenia antropogenicznego jest wszelka działalność człowieka - zamierzona (planowa) i niezamierzona (uboczne skutki). Będą to przede wszystkim wszelkie ziemne i podziemne roboty inżynierskie, a zwłaszcza roboty górnicze. Do podziemnych robót górniczych, stwarzających szczególne zagrożenie powierzchni deformacjami nieciągłymi, należą:

- płytkie eksploatacje górnicze, w szczególności prowadzone systemem na sawaź,
- reaktywacja starych płytko zalegających srobów górniczych, wskutek różnych przyczyn (podbudowa nową eksploatacją, naruszenie stosunków wodnych itp.),
- roboty górnicze w strefach zaburzonych tektonicznie, a zwłaszcza po jednej stronie uskoku tektonicznych,
- roboty górnicze w strefach o sawodnionym nadkładzie,
- eksploatacja kilku pokładów do jednej wspólnej krawędzi, czyli formowanie tzw. skarp eksploatacyjnych, np. na granicy filaru ochronnego lub uskoku,
- pożary w resztkach pokładów zalegających na niewielkiej głębokości,
- aktywizacja starych, niezapełnionych likwidowanych, pionowych wyrobisk górniczych, szybów, biega-szybów, szybków i otworów.

Ważną, pośrednią przyczyną wystąpienia deformacji nieciągłych związanych z robotami górniczymi, może być odwodnienie terenu i związana z tym sufozja materiału skalnego. Mogą one być też związane z eksploatacją odkrywkową (osuw skarp) a nawet ze składowaniem na hałdy materiału skalnego (sfałdowanie terenu wokół swałów z wystąpieniem szczelin i pęknięć).

Klasyfikacja przyczynowa deformacji nieciągłych może być często trudna do ustalenia i będzie wymagać głębszej analizy oraz badań. W wielu przypadkach zjawiska naturalne mogą się nakładać ze zjawiskami pochodzenia antropogenicznego, co dodatkowo może utrudnić zakwalifikowanie deformacji do danej grupy. Klasyfikacja przyczynowa, o ile jest możliwa, pozwala na określenie odpowiedzialności za szkody powstałe z tytułu występujących deformacji nieciągłych oraz pozwala na właściwe ukierunkowanie działalności profilaktycznej zapobiegającej powstawaniu deformacji nieciągłych.

2.2. Klasyfikacja rodzajowa

Podstawowym kryterium zaliczenia deformacji nieciągłej do danego rodzaju jest kształt deformacji. Wyróżnia się dwa podstawowe typy deformacji nieciągłych:

- deformacje typu powierzchniowego N_p występujące na pewnej powierzchni o konturze zamkniętej i tę powierzchnię przekształcające,
- deformacje typu liniowego N_l , w których dominuje jeden wymiar - długość (dzielące powierzchnię terenu).

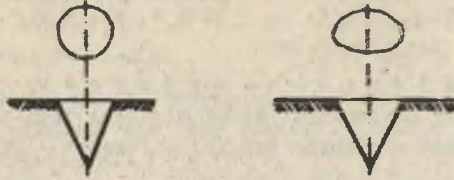
2.2.1. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego

Wśród deformacji typu powierzchniowego (rys. 2.1) wyróżnia się trzy zasadnicze formy:

- z a p a d l i s k a, powstałe wskutek zapadnięcia się powierzchni terenu w głąb górotworu, po linii mniej więcej pionowej,
- o s u w i s k a, powstałe wskutek przemieszczenia się warstw powierzchniowych gruntu po płaszczyznach nachylonych do poziomu,
- w y p i ę t r z e n i e t e r e n u (fałdy), powstałe wskutek przemieszczenia się warstw przypowierzchniowych w kierunku ku górze, tj. niezgodnie z działaniem siły ciężkości.

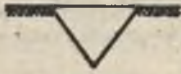
Zapadliska mogą występować w różnych niżej wymienionych odmianach:

- Lej stożkowy jest deformacją powierzchni terenu o pochyłych ścianach. W zależności od kształtu poziomej powierzchni leja, można wyróżnić: leje stożkowe k o ł o w e (rys. 2.1a), leje stożkowe e l i p t y c z n e (rys. 2.1b). Zarówno jedno jak i drugie mogą występować jako:
 - leje p e ł n e (stożek pełny) - rys. 2.1c, - leje ś c i ę t e



a) lej stożkowy kołowy

b) lej stożkowy eliptyczny



c) Lej petny



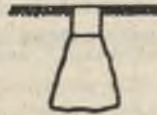
d) Lej ścięty



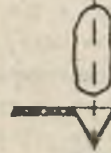
e) Lej z otworem cylindrycznym



f) Lej cylindryczno-stożkowy



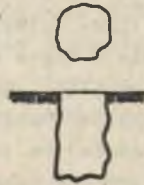
g) Dzwon



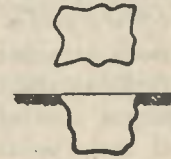
h) Rów zapadliskowy



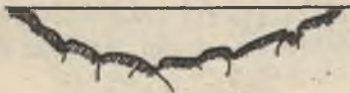
i) Zapadlisko regularne



j) Zapadlisko nieregularne cylindryczne



h) Zapadlisko nieregularne prostokątne



l) Niecka osiadań o powierzchni nieciągłej



m) Niecka osiadań o powierzchni (profilu) nieregularnej

Rys. 2.1. Formy deformacji nieciągłych typu powierzchniowego
Fig. 2.1. Forms of discontinuous deformations of the surface type

(stożek ścięty) - rys. 2.1d, - leje z o t w o r e m c y l i n-
d r y c z n y m - rys. 2.1e.

- Lej c y l i n d r y c z n o - s t o ż k o w y, mający strome (piono-
we) ściany przy powierzchni ziemi a dalsza jego część ma kształt leja
stożkowego (ściany pochyłe jak lej stożkowy) - rys. 2.1f.
- D z w o n y, będące deformacjami o pionowych ścianach w części przy-
powierzchniowej i pochyłych w części dolnej, rozszerzających się ku do-
łowi - rys. 2.1g.
- R o w y z a p a d l i s k o w e, mające wydłużony kształt i ściany
pochyłe, podobnie, jak deformacje w postaci lejów stożkowych - rys.
2.1h.
- Zapadliska r e g u l a r n e, zwane także "ugięciami", "deformacjami
lokalnymi" lub zapadliskami typu II, (rys. 2.1i), w postaci głębokiej,
stromej i mało rozległej niecki osiadań o prawie ciągłej powierzchni.
- Zapadliska n i e r e g u l a r n e, będące deformacjami o pionowych
ścianach na całej głębokości, z mniejszymi lub większymi nieregularno-
ściami. W zależności od przekroju poprzecznego, są najczęściej kształ-
tem zbliżone do cylindra - zapadliska cylindryczne (kominy) - (rys.
2.1j) lub do prostopadłościanu (zapadliska prostopadłościenne - rys.
2.1k).

Pośrednimi formami pomiędzy nieckami osiadań a deformacjami nieciągły-
mi są:

- Niecki osiadań o p r o f i l u n i e c i a g ł y m (rys. 2.1l) lub
n i e r e g u l a r n y m (rys. 2.1m), stanowiące stosunkowo płaskie
obniżenia terenowe, w obrębie których skupia się większa liczba nie-
ciągłych deformacji typu liniowego, jak: pęknięć, szczelin i progów (po-
wierzchnia nieciągła) lub garbów terenowych (powierzchnia nieregularna).
Niecki takie powstają najczęściej na terenach podlegających w zasadzie
deformacjom ciągłym, ale wtedy gdy wskaźniki deformacji (ϵ , T, K) prze-
kraczają wielkości IV kategorii terenów górniczych.

Wśród o s u w i s k wyróżnia się następujące grupy:

- Spływy, charakteryzujące się brakiem określonej powierzchni przemiesz-
czenia i nierówną szybkością poruszających się fragmentów skalnych.
W grupie spływów można w warunkach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego
najczęściej wyróżnić:
 - a) Z ł a z y występują na stromych zboczach i polegają na obsunięciu
przypowierzchniowej warstwy utworów na skutek dużego nawilgocenia
zbocza.
 - b) S p e ł z y stanowią deformację charakteryzującą się bardzo powol-
nym spełzywaniem uplastycznionej powierzchni lub przypowierzchniowej
warstwy utworów zboczy bez wyraźnie zaznaczonych konturów, powodują-
cą sfałdowanie powierzchni terenu.

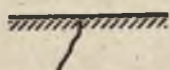
- **Z s u w y**, odznaczające się wyraźnie zaznaczoną powierzchnią ześlizgu stanowiącą granicę między poruszającą się a pozostałą na miejscu masą skalną oraz krawędzią oderwania zsuniętej masy gruntu od masywu zbocza.
- **O b r y w y**, powstające na stromych zboczach zbudowanych ze skał li-tych przez nagłe odłamanie się oraz spadek lub staczenie się po stromym zboczu fragmentów skalnych.
- **W y p i ę t r z e n i e t e r e n u** (fałdy) występują często przed czołem przesuujących się zwałowisk (skały płonnej) [i] polegają na "wyciskaniu" (wypychaniu) przypowierzchniowych warstw gruntu na skutek ich nadmiernego obciążenia. Wysokość wypiętrzeń oraz ich zasięg zależy od rodzaju gruntu i jego zawodnienia oraz wielkości obciążenia (przykład: zwałowisko nadkładu w kop, siarki w Machowie).

W większości przypadków zasadniczą przyczyną powstawania deformacji typu powierzchniowego są roboty górnicze i ich skutki wtórne (są więc pochodzenia przeważnie antropogenicznego).

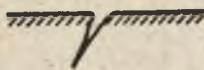
2.2.2. Deformacje nieciągłe typu liniowego

Wśród deformacji typu liniowego (rys. 2.2) można wyróżnić następujące formy:

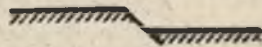
- **P ę k n i ę c i a**, stanowiące przerwanie ciągłości powierzchni terenu o wielkości przesunięcia w poziomie nie większej niż 1 cm bez przesunięcia w pionie (rys. 2.2a).
- **S z c z e l i n y**, stanowiące przerwanie ciągłości powierzchni ziemi, gdy brzozy zostają przesunięte w poziomie o wielkość większą od 1 cm, lecz bez przesunięcia w pionie (rys. 2.2b).
- **P r o g i**, (uskoki - stopnie) terenowe, gdy występuje przesunięcie w pionie brzegów powstałej szczeliny (rys. 2.2c).



a) Pęknięcie



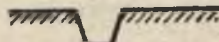
b) Szczelina



c) Próg(uskok)terenowy



d) Garb terenowy



e) Rów

Rys. 2.2. Formy deformacji nieciągłych typu liniowego
Fig. 2.2. Forms of discontinuous deformations of linear type

Cechami charakterystycznymi deformacji liniowych są długość, kierunek przebiegu, regularność, szerokość i głębokość (szczeliny, pęknięcia), wysokość i nachylenie (progi) oraz gęstość deformacji (np. na m^2).

W występowaniu deformacji typu liniowego decydującą rolę ma budowa geologiczna górotworu (uskoki, wychodnie). Roboty górnicze (także inżynierskie) odgrywają tu rolę pewnego impulsu uruchamiającego naturalne tendencje górotworu do przemieszczeń.

Tak więc deformacje typu liniowego występują przede wszystkim tam, gdzie są ku temu sprzyjające warunki geologiczne (nie są typowo antropogeniczne).

2.3. Klasyfikacja wielkościowa

Podstawą tej klasyfikacji jest wielkość deformacji w dostosowaniu do orientacyjnego stopnia zagrożenia obiektów inżynierskich wskutek występowania deformacji nieciągłych o podanych wielkościach. Stopień zagrożenia określono na podstawie doświadczeń praktycznych w terenach podlegających deformacjom nieciągłym.

Deformacje, zarówno typu powierzchniowego, jak i liniowego podzielono na cztery klasy wielkości:

- małe - N_m ,
- średnie - N_s ,
- duże - N_d ,
- bardzo duże - N_{bd} .

Podstawą zaliczenia deformacji do danej klasy jest:

- deformacja typu powierzchniowego - maksymalny wymiar liniowy rzutu poziomego deformacji - d (np. średnia leja),
- dla deformacji typu liniowego - szerokość szczeliny s i wysokość progu terenowego h .

Odpowiednie wielkości wymienionych elementów dla poszczególnych klas deformacji są podane w tablicach 2.1 i 2.2. Na podstawie obserwacji terenów występowania deformacji nieciągłych podano w niej również stopień zagrożenia zabudowy powierzchni o konstrukcji tradycyjnej, wynikający z poszczególnych klas wielkościowych deformacji nieciągłych. Stopień zagrożenia zabudowy powierzchni określony dla odpowiednich klas wielkościowych należy traktować jako orientacyjny, wymagający dalszych badań i uściśleń, szczególnie w odniesieniu do obiektów czułych na odkształcenia pionowe, np. układów ramowych, budownictwa wielkopłytowego.

Klasyfikacja wielkościowa deformacji nieciągłych powierzchni terenu

Lp.	Klasa wielkościowa deformacji	Wielkość maksymalna wymiaru deformacji nieciągłych (N)			Stożek zagrożenia zabudowy powierzchni
		typu powierzchniowego (N _p)		typu liniowego (N _l)	
		rzutu poziomego d [m]	szerokość szczeliny s [m]	wysokość zrztu progów terenowego h [m]	
1	Mała (N _m)	$d \leq 3,0$	$s \leq 0,05$	$h \leq 0,05$	nie stanowią zagrożenia dla budynków niedostatecznie zabezpieczonych przy niewielkim ich zagęszczeniu lub gdy obiekty są odpowiednio zabezpieczone, stanowią zagrożenie dla obiektów liniowych (szlaków komunikacyjnych oraz uzbrojenia terenu)
2	Średnie (N _g)	$3,0 < d \leq 9,0$	$0,05 < s \leq 0,15$	$0,05 < h \leq 0,10$	zagrożają wszystkim obiektom niedostatecznie zabezpieczonym, a nawet odpowiednio zabezpieczonym przy dużym ich zagęszczeniu
3	Duże (N _d)	$9,0 < d \leq 18,0$	$0,15 < s \leq 0,25$	$0,10 < h \leq 0,25$	nie stanowią zagrożenia tylko dla obiektów odpowiednio zabezpieczonych
4	Bardzo duże (N _{bd})	$d > 18,0$	$s > 0,25$	$h > 0,25$	zagrożają wszystkim obiektom

Uwagi: "niedostatecznie zabezpieczenie" - tj. zabezpieczenie przeciw deformacjom ciągłym
 "odpowiednio zabezpieczenie" - tj. zabezpieczenie przeciw deformacjom nieciągłym

Tablica 2.2

Klasyfikacja deformacji nieciągłych

Rodzaj klasyfikacji i jej kryterium	Klasyfikacja
<p>1. Klasyfikacja przyczynowa (brak lub istnienie działalności człowieka)</p>	<p style="text-align: center;">Deformacje nieciągłe - N</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Pochodzenia antropogenicznego - NA</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Inżynierskie roboty ziemne</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Roboty górnicze; Eksploatacja podziemna Eksploatacja odkrywkowa Zawaly i hałdy</p> </div> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Pochodzenia naturalnego - NN</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>Ruchy tektoniczne</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>Ruchy osuwiskowe</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>Zjawiska krasowe</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>Różne formy erozji</p> </div> </div> </div> </div>
<p>2. Klasyfikacja rodzajowa (kształt deformacji)</p> <p>Typ:</p> <p>Forma:</p> <p>Odmiana:</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Typu powierzchniowego - N_p</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Zapadliśka</p> <p>Leje stożkowe Leje cylindryczno-stożkowe Dzwony, rowy Zapadliśka regularne, nieregularne Niecki osiadań o profilu nieciągłym lub nieregularnym</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">osuwiska</p> <p>Spiływy Zawy: ślizgowe, spływy Obrywy</p> </div> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Typu liniowego - N_l</p> <p>Pęknięcia (rysy) Szczeliny Progry (uskoki-stopnie) terenowe Garby (fałdy) terenowe</p> </div> </div>
<p>3. Klasyfikacja wielkościowa (wielkość deformacji)</p> <p>Dla N_p</p> <p>Dla N_l</p> <p>d - maksymalny wymiar rzutu poziomego</p> <p>s - szerokość szczeliny</p> <p>h - wysokość progry terenowego</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;"> <p style="text-align: center;">Małe - N_m</p> <p>d < 3 m</p> <p>s < 0,05 m</p> <p>h < 0,05 m</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;"> <p style="text-align: center;">Średnie - N_d</p> <p>3 m < d < 9 m</p> <p>0,05 m < s < 0,15 m</p> <p>0,05 m < h < 0,10 m</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;"> <p style="text-align: center;">Duże - N_d</p> <p>9 m < d < 18 m</p> <p>0,15 m < s < 0,25 m</p> <p>0,10 m < h < 0,25 m</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;"> <p style="text-align: center;">Bardzo duże - N_{bd}</p> <p>d > 18 m</p> <p>s > 0,25 m</p> <p>h > 0,25 m</p> </div> </div>
<p>Klasyfikacja ostateczna (Trójprzymiotnikowa skala klasyfikacji)</p>	<p>Np_{bd} - deformacja nieciągła (N), pochodzenia antropogenicznego (A), typu powierzchniowego (p), o wielkości dużej (d).</p>

3. PRZYCZYNY I WARUNKI TWORZENIA SIĘ DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH

3.1. Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych

Jak już wcześniej wspomniano, w klasyfikacji przyczynowej możemy wyróżnić dwie zasadnicze grupy deformacji ze względu na ich pochodzenie, a mianowicie pochodzenia naturalnego i antropogenicznego.

Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych pochodzenia naturalnego nie będą tutaj szerzej omawiane.

Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych pochodzenia antropogenicznego związane są z wszelką działalnością człowieka zamierzoną i niezamierzoną (skutki uboczne). Są to przede wszystkim wszelkie ziemne i podziemne roboty inżynierskie a zwłaszcza roboty górnicze.

Do przyczyn wymagających szerszego omówienia stwarzających szczególnie duże zagrożenie powierzchni przez deformacje nieciągłe należy zaliczyć:

- eksploatację złóż zalegających na małej głębokości, zwłaszcza z zawahem stropu,
- reaktywację starych, płytko zalegających zrobów górniczych pod wpływem różnych czynników,
- aktywizację częściowo zlikwidowanych lub niezlikwidowanych szybów, bieżadasybów i szybików,
- roboty górnicze w strefach zawodnionych uskoków lub przebicie wyrobiska do spągu zawodnionych utworów w nadkładzie,
- pożary w resztkach pokładów zalegających na małej głębokości, eksploatację kilku pokładów do jednej wspólnej krawędzi, czyli formowanie tzw. skarp eksploatacyjnych, np. na granicy filaru ochronnego lub uskoku,
- jednostronną eksploatację w sąsiedztwie uskoku,
- eksploatację w rejonie wychodni pokładów zwłaszcza pod zawodnionym nadkładem,
- aktywizację wtórnych pustek w górotworze, powstałych w wyniku sufonji mechanicznej, chemicznej i innych procesów.

W różnych rejonach występowania deformacji nieciągłych, procentowy udział poszczególnych przyczyn w ogólnej ilości występujących deformacji nieciągłych, kształtuje się nieco odmiennie. W Górnośląskim Okręgu Węglowym [3] procentowe zestawienie udziału poszczególnych przyczyn w ogólnej ilości zapadłisk przedstawiono w tablicy 3.1.

Tablica 3.1

Przyczyny powstawania zapadlisk na obszarze
Górnośląskiego Okręgu Węglowego

Lp.	Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych	Procentowy udział w ogólnej ilości
1	Eksploracja z zawałem stropu płytko zalegających pokładów	67,6
2	Reaktywacja starych płytko zalegających zrobów pod wpływem różnych czynników	13,2
3	Aktywizacja niezlikwidowanych szybów, szybków i biedaszybów	4,9
4	Roboty górnicze w strefach zawodnionych uskoków	1,6
5	Pożary w resztkach pokładów zalegających na małej głębokości	8,2
6	Pokrywające się krawędzie eksploatacji w kilku pokładach	3,7
7	Eksploracja jednostronna w sąsiedztwie uskoków	0,8

W tablicy 3.1 w przypadkach wątpliwych lub wieloznacznych za podstawę zaliczenia deformacji nieciągłej do danej grupy przyczynowej przyjęto przyczynę najprawdopodobniejszą. Największe zagrożenie powierzchni w Górnośląskim Okręgu Węglowym powodują eksploatacja z zawałem stropu płytko zalegających złóż i reaktywacja zrobów po tej eksploatacji. Te dwie przyczyny były powodem powstania ponad 80% deformacji nieciągłych.

W przypadku płytkiej eksploatacji główne zagrożenia stwarzają:

- wyrobiska pozostałe po dokonanej eksploatacji systemem komorowym i zabierkowym z zawałem stropu, przy których straty złoża sięgają 25-50%,
- wyrobiska udostępniające w postaci szybów, upadowych i biedaszybów niecałkowicie zlikwidowane lub w ogóle niezlikwidowane i niepodsadzone,
- wyrobiska udostępniające i przygotowawcze prowadzone w strefach zagrożeń wodno-kurzawkowych (rys. 3.1).

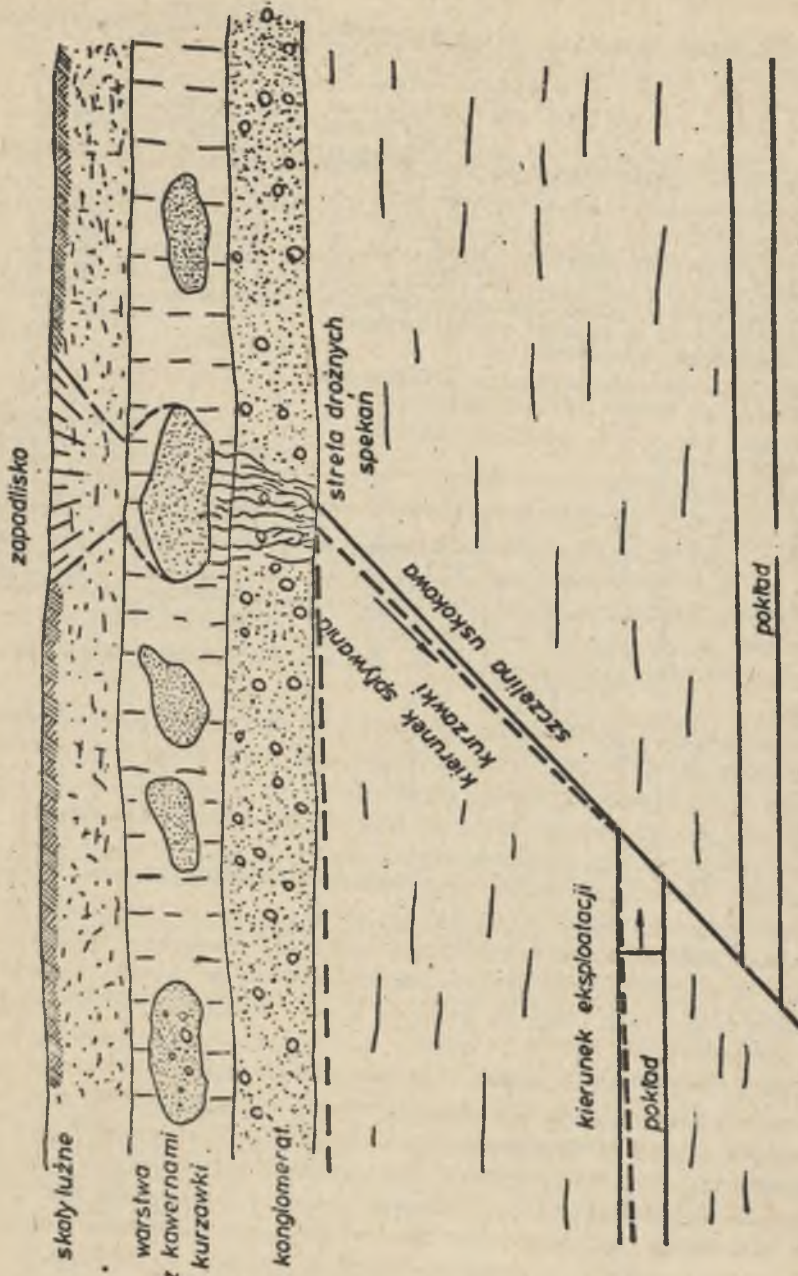
Pozostałe przyczyny wywołują tylko niewielką liczbę deformacji nieciągłych, lecz w niektórych rejonach są one dominujące lub jedyne.

Podobne badania przeprowadzone zostały na obszarze Rybnickiego Okręgu Węglowego [23].

Wśród deformacji nieciągłych typu powierzchniowego charakterystyczne formy stanowią zapadliska i osuwiska.

Analizując zarejestrowane przypadki zapadlisk na terenie ROW wyróżnić można następujące przyczyny ich powstawania:

- eksploatacja z zawałem stropu płytko zalegających pokładów,
- reaktywacja starych płytko zalegających wyrobisk na skutek różnych przyczyn,



Rys. 3.1. Zapadlisko wywołane spięciem kurzawki do wyrobiek
Fig. 3.1. Sink hole resulting from quicksand entering excavation

- roboty górnicze w strefach utworów zawodnionych,
- inne przyczyny.

Procentowy udział zapadlisk według przyczyn ich powstania przedstawiono w tablicy 3.2

Tablica 3.2

Przyczyny powstawania zapadlisk na obszarze Rybnickiego Okręgu Węglowego

Lp.	Przyczyna powstania zapadlisk	Liczba zapadlisk	Procentowy udział w ogólnej ilości
1	Eksploracja z zawałem stropu płytko zalegających pokładów	227	93,8
2	Reaktywacja starych płytko zalegających grobów na skutek różnych przyczyn	7	2,0
3	Roboty górnicze w strefach utworów zawodnionych	3	1,2
4	Inne przyczyny	5	2,1
R a z e m		242	100,0

Z tablicy 3.2 wynika, że zasadniczą przyczyną powstawania deformacji nieciągłych na terenie ROW jest eksploatacja z zawałem stropu płytko zalegających pokładów, która powoduje ok. 94% wszystkich zarejestrowanych zapadlisk.

Podkreślić należy, że taka sama przyczyna na obszarze Górnośląskiego Okręgu Węglowego powoduje ok. 68% wszystkich zapadlisk. Pozostałe przyczyny wywołują tylko niewielką liczbę zapadlisk.

Osuwiska występujące na obszarze ROW stanowią charakterystyczną formę deformacji nieciągłych typu powierzchniowego.

Podobnie jak dla zapadlisk, przeprowadzono szczegółową analizę przyczyn występowania osuwisk. Szczegółowo przeanalizowano zwłaszcza wpływ warunków morfologicznych i hydrogeologicznych na proces powstawania i aktywizacji osuwisk. W wyniku analizy nie stwierdzono wyraźnego związku przyczynowego między eksploatacją górniczą a powstawaniem i aktywizacją osuwisk (tablica 3.3).

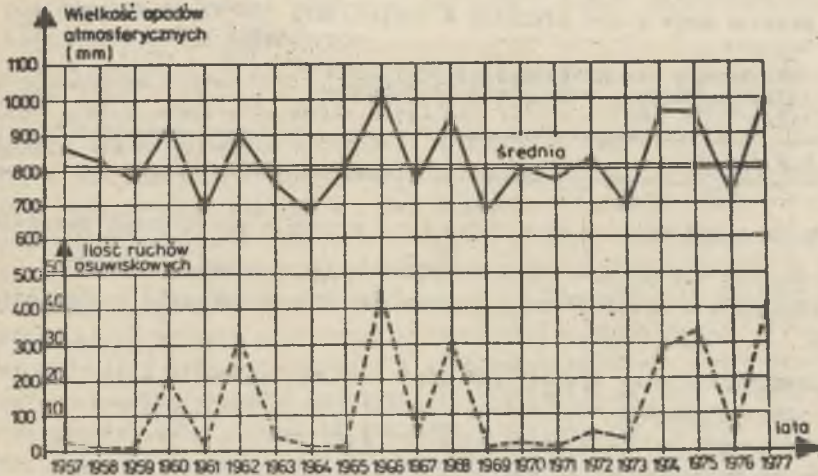
Stwierdzono natomiast wyraźny związek powstawania i wznowienia ruchu osuwisk z intensywnością i wielkością opadów atmosferycznych oraz budową geologiczną i geomorfologiczną terenu. Współzależność występowania ruchów osuwiskowych i wielkość opadów atmosferycznych przedstawiono na rys. 3.2.

Deformacje nieciągłe typu liniowego stanowią na obszarze ROW dużą grupę, a mianowicie ok. 19% wszystkich występujących deformacji nieciągłych. Jeśli uwzględnić się wyniki tylko ostatnich 20 lat, to deformacje nieciągłe tego typu stanowią ok. 38% wszystkich deformacji nieciągłych na terenie ROW.

Tablica 3.3

Zestawienie liczby osuwisk według typów i położenia w stosunku do granic eksploatacji górniczej na obszarze ROW

Typ osuwiska	Założenie				Razem	Procentowy udział
	w zasięgu wpływów eksploatacji		poza zasięgiem wpływów eksploatacji			
Złazy	14	10,2	13	9,8	27	20,0
Spełzy	26	19,3	6	4,4	32	23,7
Osuwy	42	31,1	34	25,2	76	56,3
Ogółem	82	60,6	53	39,4	135	100,0



Rys. 3.2. Współzależność występowania ruchów osuwiskowych i wielkości opadów atmosferycznych na obszarze Rybnickiego Okręgu Węglowego

Fig. 3.2. Interdependence of the occurrence of landslide movements and the quantity of precipitation in the area of the Rybnik Coal District

Z analizy zarejestrowanych deformacji nieciągłych typu liniowego zinventoryzowanych na terenie ROW wynika, że przyczynami ich powstania były:

- eksploatacja pojedynczych pokładów z zawałem stropu, powodujących duże deformacje powierzchni (przekraczające wartości dopuszczalne dla IV kategorii terenów górniczych),
- eksploatacja dwóch pokładów z zawałem stropu powodująca duże deformacje powierzchni,
- eksploatacja kilku pokładów w sąsiedztwie uskoków,
- pokrywające się granice eksploatacji w kilku pokładach, tzw. skarpy eksploatacyjne.

Podział zarejestrowanych deformacji nieciągłych typu liniowego według przyczyny ich występowania przedstawiono w tabelicy 3.4.

Tablica 3.4

Podział deformacji nieciągłych typu liniowego ze względu na przyczyny ich powstawania

Lp.	Przyczyny powstania deformacji nieciągłych typu liniowego	Liczba deformacji	Procentowy udział
1	Eksploatacja pojedynczych pokładów z zawałem stropu powodująca deformacje przekraczające wartości IV kategorii terenów górniczych	24	26,1
2	Eksploatacja dwóch pokładów z zawałem stropu powodującą duże deformacje powierzchni	11	11,9
3	Eksploatacja kilku pokładów w sąsiedztwie uskoków	12	13,1
4	Pokrywające się granice eksploatacyjne w kilku pokładach, tzw. skarpy eksploatacyjne	45	48,9
R a z e m		92	100,0

Z tabelicy 3.4 wynika, że największe zagrożenie powierzchni powodują:

- pokrywające się granice eksploatacji w kilku pokładach (48,9%),
- eksploatacja z zawałem stropu wywołująca duże deformacje na powierzchni (38%).

Charakterystycznym na terenie ROW jest fakt występowania liniowych deformacji nieciągłych nad eksploatacją prowadzoną na dużej głębokości, przy istnieniu nawet bardzo grubego nadkładu skał trzecio- i czwartorzędowych.

Z badań prowadzonych na obszarze Olkuskiego Zagłębia Rud Cynku i Ołowiu wynika, że najczęstszą formą występowania deformacji nieciągłych są zapadliska. Występują one zarówno nad starymi wyrobiskami rudnymi, np.: na terenie kopalni "Bolesław", a także w trakcie prowadzenia aktualnej eksploatacji, np.: w kopalni "Olkusz" i "Pomorzany". Ogółem na terenie kopalni "Olkusz" i "Bolesław" zinwentaryzowano 66 powierzchniowych deformacji nieciągłych, w tym:

- 51 w postaci lejów stożkowych, co stanowi 77%,
- 15 w postaci nieregularnych i regularnych zapadlisk, co stanowi 23%.

Od chwili uruchomienia kopalni "Pomorzany" zarejestrowano ponad 20 zapadlisk i lejów. Obecnie występowanie zapadlisk w tym rejonie jest sterowane. Wpływa na to dwuetapowy filarowo-komorowy system eksploatacji. W pierwszym etapie wybierane są komory z pozostawieniem filarów, a w drugim są wyburzane (rozstrzeliwane) filary jednocześnie w całym polu eksploatacyjnym. Wywołuje to zawał przestrzeni wybranej, którego skutkiem na powierzchni są zazwyczaj deformacje nieciągłe. Występują jednak także samo-

czynne zawały komór wywołujące na powierzchni zapadliska. Często pomimo wybierania filarów i zaistnienia zawału nie dochodzi on do powierzchni terenu i na powierzchni nie ujawniają się deformacje nieciągłe. Poniżej omówione zostaną w sposób szczegółowy podstawowe czynniki wpływające najczęściej na ujawnienie się na powierzchni deformacji nieciągłych.

3.1.1. Eksploatacja złóż zalegających na małej głębokości

Wśród systemów eksploatacji stosowanych przy wybieraniu złóż można wyróżnić trzy zasadnicze metody kierowania strópelem, a mianowicie:

- z likwidacją pustek poeksploatacyjnych przez ich podsadzanie (pełne lub częściowe),
- z likwidacją pustek poeksploatacyjnych przez ich pełny naturalny, ale sterowany zawał,
- z pozostawieniem pustek poeksploatacyjnych w stanie obudowanym lub nieobudowanym bez ich podsadzania.

Eksploatacja prowadzona z likwidacją wybranej przestrzeni przez podsadzenie, może wywołać deformacje nieciągłe tylko w wyjątkowych przypadkach. Można się ich ewentualnie spodziewać w przypadku bardzo płytkiej eksploatacji, braku nakładu w górotworze i znacznego osiadanania maksymalnego, wskutek eksploatacji pokładu o dużej miąższości (przekroczenie wskaźników deformacji IV kategorii terenu). Deformacje, jakie ewentualnie mogą powstać nad taką eksploatacją, będą miały charakter niecek osiadań o profilu nieciągłym lub pojedynczych deformacji liniowych na tle ciągłej niecki osiadań. Nieco większe zagrożenie może wywołać eksploatacja z podsadką częściową, gdyż przy tym systemie w górotworze pozostają puste przestrzenie. Zwykle jednak ulegają one powolnej likwidacji wskutek rozgniatań pasów podsadzki, bez wywołania deformacji nieciągłych terenu.

Eksploatacja z zawałem stropu może wywołać bardzo duże deformacje nieciągłe. Zależy to od głębokości jej prowadzenia, grubości pokładu i systemu eksploatacji. Deformacje występujące nad taką eksploatacją są łatwiejsze do przewidzenia, gdyż stosunkowo dobrze znany jest okres ich ujawnienia się.

Większość występujących deformacji przypada zwykle na okres prowadzenia eksploatacji. Niemniej jednak, do czasu około 10 lat od zakończenia eksploatacji [2], mogą jeszcze ujawnić się deformacje nieciągłe z dość znaczną intensywnością, ale są to zwykle deformacje o małej wielkości. Po tym okresie ujawnienie się deformacji nieciągłych jest już bardzo rzadkie. Opóźnienie występowania deformacji w czasie zależy w dużej mierze od systemu eksploatacji. W systemie ścianowym z czystym wybieraniem złoże, deformacje ujawniają się prawie wyłącznie w okresie prowadzenia eksploatacji, zaraz po wywołaniu kontrolowanego zawału. W systemie zabierkowym i ubierkowym oraz we wszystkich systemach, w których wybieranie nie jest czyste, istnieją możliwości utrzymywania się pustych przestrzeni przez dłuższy czas, pomimo generalnie wykonanego zawału przestrzeni poeksploata-

cyjnej. Właśnie nad takimi polami eksploatacji deformacje nieciągłe ujawniają się jeszcze dość często w okresie do 10 lat i więcej od zakończenia eksploatacji. Ma to miejsce zwłaszcza wtedy, gdy samoczynny zawał jest utrudniony ze względu na właściwości fizykomechaniczne skał stropowych. Mniejsze zagrożenie powierzchni, po okresie zakończenia robót górniczych, stwarza eksploatacja złóż pokładowych, w których istnienie niezawalonych pustek jest mniej prawdopodobne. Większe zagrożenia występują natomiast nad eksploatacjami złóż nieregularnych gniazdowych, gniazdowo-pokładowych i żyłowych.

Reasumując, płytką eksploatacja górnicza z zawałem stropu wywołuje duże lub bardzo duże deformacje powierzchni terenu, ale po upływie pewnego okresu czasu od jej zakończenia, wynoszącego ok. 10 lat, zagrożenie powierzchni jest już bardzo małe. Teren taki może być przekazany do innej użyteczności gospodarczej, bez potrzeby wykonywania dużej ilości kosztownych i pracochłonnych badań geotechnicznych (wierceń). Lokowanie budowli inżynierskich na takich terenach wymaga jednak przeprowadzenia opinii górniczo-geologiczno-budowlanej.

Eksploatacja z pozostawieniem pustych, niepodsadzonych i niezawalonych wyrobisk poeksploatacyjnych, stwarza najwięcej problemów dla ochrony powierzchni górniczej. Wprawdzie deformacje nieciągłe występują nad nią niezbyt często, ale okres i miejsce ich występowania są absolutnie niemożliwe do przewidzenia. Obserwowane zarówno deformacje, które występowały po bardzo krótkim czasie po eksploatacji jak i takie, które wystąpiły nawet po 100 i więcej latach [2, 11, 28, 29]. Istnienie więc w górotworze niepodsadzonej pustki, stwarza stałe, nieokreślone w czasie, zagrożenie powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi, grożące często wypadkiem. Tego rodzaju roboty górnicze były prowadzone przede wszystkim w czasach historycznych, w ten sposób eksploatowane były rudy żelaza - rejon kielecki, rudy metali nieżelaznych, jak cynku, ołowiu i srebra - rejon bytomsko-chrzanowsko-olkuski [28], a także nawet węgiel kamienny i brunatny [2, 13, 29, 30]. Znaczna ilość takich wyrobisk górniczych nie jest naniżona na żadnych mapach i lokalizacja ich jest nieznana a często w ogóle nie przewidywana aż do czasu wystąpienia nagłych deformacji. Zagospodarowanie takich terenów wymaga pracochłonnych badań mających na celu wykrycie, lokalizację i określenie wielkości ewentualnych pustek w górotworze oraz ewentualną ich likwidację.

Eksploatacja z pozostawieniem pustek jest prowadzona także obecnie. Jest to nieistotne, jeżeli roboty górnicze przebiegają na znacznej głębokości (np. w LGOM). W przypadku jednak małej głębokości ma to decydujące znaczenie dla zagrożenia powierzchni terenu. W ten sposób są częściowo eksploatowane złoża rud cynku i ołowiu w rejonie olkusko-bolesławskim (system komorowy i komorowo-filarowy) [28]. Systemy te, jako wysoko wydajne, mają ulec w przyszłości rozszerzeniu. Stwarza to poważne problemy ochrony powierzchni w tym rejonie. Już obecnie wystąpiły tam deformacje nieciągłe na skalę niespotykaną w innych obszarach górniczych. Ich powstanie było

zarówno samoczynne jak, np. zawał całego pola górniczego i inne mniejsze deformacje, jak też sterowane - poprzez wyburzenie filarów międzykomorowych w tzw. drugim etapie eksploatacji systemem komorowym. Znaczne przestrzenie wyrobisk eksploatacyjnych utrzymują się jednak jeszcze w stanie stabilnym, grożąc w każdej chwili niekontrolowanym zawałem i całkowitą dewastacją powierzchni terenu nad takimi wyrobiskami (kop. "Olkusz" i "Pomorzany") [21]. Stan taki uznać należy za wysoce niezadowolający i nie powinien mieć miejsca na dłuższą metę.

3.1.2. Reaktywacja starych zrobów po płytkiej eksploatacji górniczej

Najwięcej problemów w praktyce stwarzają deformacje nieciągłe powstające nad starymi zrobami górniczymi w wyniku reaktywacji pozostawionych w górotworze pustek poeksploatacyjnych. Moment wystąpienia tych deformacji jest bowiem praktycznie niemożliwy do przewidzenia, wskutek czego istnieje stałe zagrożenie powierzchni i wszystkich obiektów na niej się znajdujących. Jest to tym groźniejsze, że często dawne roboty górnicze nie są naniesione na żadnych mapach i nie jest znana obecnie ich lokalizacja w stosunku do istniejących na powierzchni obiektów.

Głównymi przyczynami zawałów starych poeksploatacyjnych pustek istniejących w stanie stabilnym przez czas dłuższy w górotworze są:

- zmiany wymiarów lub kształtów istniejącej pustki,
- zmiany stanu naprężeń w otaczającym pustkę górotworze.

Wymienione zmiany mogą zachodzić wskutek:

- wpływu czasu,
- wpływu wody,
- wpływów innej nowoprowadzonej eksploatacji górniczej,
- obciążenia powierzchni terenu nad pustką,
- wstrząsów i drgań górotworu i powierzchni terenu.

Wpływ czasu może mieć znaczenie jedynie w przypadku pustki, która utrzymuje się bez zawału wskutek obudowy górniczej. Korozja, gnicie i butwienie tej obudowy w miarę upływu czasu przyczyniają się do zmniejszenia jej podporności, co może być przyczyną zawału pustki i powstania na powierzchni terenu nieciągłych deformacji. Natomiast dla pustek, które utrzymują się w stanie stabilnym bez obudowy, upływ czasu nie powinien mieć znaczenia na możliwość jej gwałtownego zawału. Deformacje nieciągłe występują bowiem wskutek zawałów płytko położonych pustek, tj. na głębokościach, na których ciśnienie górotworu jest jeszcze małe. Skały związane górotworu, w których mogą utrzymywać się pustki, zachowują się na tych głębokościach jak ciała sprężyste, tzn. do pewnych (małych) granic odkształcają się sprężysto, a przy większych naprężeniach ulegają zniszczeniu (spękaniu, zawałowi). Nie następuje natomiast zjawisko płynięcia skał w czasie, obserwowane na większych głębokościach i przy większych ciśnieniach. Dla ciał sprężystych wpływ czasu nie ma istotnego znaczenia

na zmiany stanu ich naprężeń, jeżeli nie zaistnieją jakieś inne przyczyny uboczne. Gdyby nawet zjawisko płynięcia skał na małych głębokościach miało miejsce, jak np. dla pustki położonej w warstwach ilów, to ulegały one stopniowemu, wszechstronnemu i powolnemu zaciśnięciu, nie wywołując nagłych nieciągłych deformacji na powierzchni terenu.

Wpływ oddziaływania wody jest częstą przyczyną reaktywacji pustek w górotworze. Dotyczy to zwłaszcza pustek zlokalizowanych w skałach wymywalnych, takich jak wapień, dolomity, sól kamienna itp. Dotyczy to także pustek częściowo lub nawet całkowicie podsadzonych materiałem drobnoziarnistym lub ilastym. Materiał ten może ulegać wymywaniu wskutek migracji wód poprzez szczeliny górotworu i stare zroby górnicze, co powoduje zwiększenie wymiarów pustki i może być przyczyną jej aktywizacji. Także wymywanie materiału ze szczelin w górotworze, np. w strefie spękań nad starą eksploatacją lub ze szczelin uskokowych, może być przyczyną ponownego doszczelniania się strefy zawału i spękań oraz aktywizacji uskoków. Może to pociągnąć za sobą tworzenie się nieciągłych deformacji na powierzchni terenu. Woda przyczynia się także do przyśpieszenia niszczenia obudowy górniczej starych wyrobisk i stwarza możliwość ich szybszego zawału. W rejonie olkusko-bolesławskim, często obserwowane jest nasilenie występowania zapadlak terenowych po długotrwałych i obfitych opadach deszczu [28]. Należy zauważyć, że główne znaczenie destrukcyjne dla stabilności pustek istniejących w górotworze, ma nie sam fakt istnienia tam wody, ale możliwość jej przepływu (migracja wód, wahania jej zwierciadła). Przykładem powstania dużych deformacji nieciągłych pod wpływem zmian stosunków wodnych w górotworze mogą być: rejon osiedla Wapno zniszczony całkowicie wskutek sufozji materiału skalnego w czasie awaryjnego zatopienia kopalni soli "Wapno" (zdjęcia 1, 2, 3) oraz zapadliska w rejonie osiedla i Fabryki Papieru w Kluczach k. Olkusza, powstałe w wyniku odwadniania górotworu robotami górniczymi prowadzonymi w kopalni rud Zn i Pb "Pomorzany".

Nieco odrębnym zagadnieniem, związanym jednak z wpływem wody, jest zjawisko ucieczki istniejących wód podziemnych lub warstw kurzawkowych w głąb górotworu poprzez szczeliny powstałe nad eksploatacją górniczą (rys. 3.1.) W ten sposób nawet stosunkowo głęboko prowadzona eksploatacja górnicza może być przyczyną powstania pustki położonej znacznie wyżej od poziomu prowadzenia robót górniczych, powstałej po migrującym materiale (kurzawce, wódzie). Pustki takie mogą ulegnąć zawałom, a w przypadku ich płytkiego zalegania skutki tych zawałów mogą ujawnić się na powierzchni w postaci deformacji nieciągłych. W ten sposób nawet głęboko prowadzona eksploatacja górnicza może być pośrednią przyczyną nieciągłych deformacji powierzchni terenu. Być może tym właśnie zjawiskiem dałoby się wytłumaczyć powstawanie nieciągłych deformacji terenu na obszarze ROW, nad stosunkowo głęboko położonymi polami eksploatacji.

Jedną z najczęstszych przyczyn reaktywacji starych pustek poeksploatacyjnych jest prowadzenie w ich pobliżu nowych robót górniczych. Najczęściej aktywizacja pustki następuje wtedy, gdy nowoprowadzona eksploatacja



Zdjęcie 1. Lej stożkowy, powstały w wyniku odmożenia i sufozji materiału (kopalnia wapno)



Zdjęcie 2. Lej stożkowy (kopalnia Wapno)



Zdjęcie 3. Otwór cylindryczny - kop. Wapno

przebiega pod istniejącą pustką w dostatecznie bliskiej odległości pionowej. Należy przypuszczać, że aktywizacja pustki nastąpi na pewno wtedy, gdy co najmniej strefa spękań powstała nad nową eksploatacją dosięgnie miejsca lokalizacji pustki. W tym przypadku górotwór wokół pustki zmieni w sposób istotny swój stan naprężeń, co jest powodem aktywizacji pustki w postaci jej przemieszczenia się w kierunku ku powierzchni. Przy odpowiednio dużej objętości i wysokości pustki oraz odpowiednio małej głębokości jej zalegania, może ona ujawnić się na powierzchni powodując powstanie deformacji nieciągłej.

Aktywizacja starej istniejącej w górotworze pustki może także wystąpić na skutek wstrząsów wywołanych robotami strzelniczymi prowadzonymi w jej pobliżu. Podobny skutek mogą wywołać tąpnięcia i wstrząsy związane z eksploatacją prowadzoną na większych głębokościach w pobliżu miejsca istnienia pustki. Także ruch ciężkiego sprzętu (transportowego, budowlanego itp.) może być przyczyną drgań terenu i aktywizacji pustki w górotworze.

3.1.3. Aktywizacja częściowo zlikwidowanych lub niezlikwidowanych szybów, biedaszybów i szybików

Pewna ilość deformacji nieciągłych zinwentaryzowanych na terenie GOP spowodowana została istnieniem starych niezlikwidowanych lub nieprawidłowo zlikwidowanych szybów, szybików i biedaszybów. Aktywizacja tych wyrobisk powoduje przeważnie powstanie deformacji typu powierzchniowego, często o dużym zagęszczeniu.

Deformacja nieciągła w rejonach szybów, szybików i biedaszybów występują na skutek:

- wymycia materiału podsadzkowego, który użyto do wypełnienia szybu,
- zniszczenia z biegiem lat zamknięcia wlotu szybowego lub wystąpienia wyrwy w obudowie szybu,
- istnienie pustki mającej połączenie z szybem.

Także woda przepływająca poza obmurzem szybu może w rezultacie końcowym wywołać zapadlisko w rejonie czynnego szybu (np. kop. "Bobrek" szyb "Bolesław" 1975 r.).

3.1.4. Wpływ odwodnienia warstw wodonośnych

Wielkość i zasięg deformacji powierzchni terenu, wynikające ze zmiany układu hydrogeologicznego wodonośnych warstw i spowodowane odwodnieniem przez roboty górnicze według [36], mogą niejednokrotnie przewyższyć wielkości odkształceń wynikające z wybierania kopaliny. Omawiane odkształcenia powierzchni terenu mogą wystąpić wówczas, gdy warstwy wodonośne składają się ze skał sypkich, jak pył, piasek i żwir lub ze skał zwięzłych z silnie rozwiniętym krasem w wapieniach, dolomitach, gipsach, anhydrytach i solach.

Osuszenie wodonośnych skał związanych, takich jak: piaskowce, żwirowce, wapień, dolomity, anhydryty (bez pustek krasowych) itp. nie spowoduje odkształceń omawianego typu [37].

Wielkość osiadania powierzchni terenu spowodowana odwodnieniem wyżej wymienionych skał jest zależna od:

- stopnia zagęszczenia skał sypkich. Zgodnie z normą PB-54/D-02480 wyróżnia się trzy stany zagęszczenia skał sypkich, a to: luźny, średnio zagęszczony i zagęszczony,
- wielkości jaskiń krasowych zarówno w pionie, jak i w poziomie,
- układu zwierciadła wody,
- ilości odprowadzonych przez wodę części stałych (piasku i frakcji ilastych) - sufozja mechaniczna oraz przez wyługowanie części mineralnych rozpuszczalnych w wodzie - sufozja chemiczna.

Z bezpośrednich obserwacji w terenie, a także badań modelowych wynika, że deformacje spowodowane odwodnieniem warstw sypkich wystąpią wówczas, gdy stan piasków jest luźny lub [średniozagęszczony. Można przyjąć, że wodonośne piaski występujące w nakładzie są zagęszczone w przypadku wód o zwierciadle swobodnym. W związku z powyższym nie będą one osiadać, a jeżeli nawet osiadanie [wystąpi, to w rozmiarach bez praktycznego znaczenia.

W przypadku odwodnienia piasków stanowiących poziom wodonośny o zwierciadle napiętym osiadanie wystąpi, lecz stosunkowo niewielkie.

Zaleganie warstw piasków w stanie luźnym lub średnio zagęszczonym może wystąpić tylko lokalnie i to głównie w dolinach rzek przy tworzeniu się współczesnych osadów składających się z piasków.

Główną przyczyną osiadania powierzchni terenu wywołaną odwodnieniem górotworu jest sufozja mechaniczna, czyli wynoszenie przez wodę frakcji składających się z piasku, pyłu i iłu, a w niektórych przypadkach i sufozja chemiczna spowodowana rozpuszczalnością przez wodę części mineralnych (sole, siarka, gips, wapień). Wielkość sufozji jest uzależniona od charakteru odpływu wody z nakładu do wyrobisk górniczych. Odpływ ten może się odbywać przez:

- pory piaskowca,
- pory, mikro- i makroszczeliny oraz szczeliny uskokowe wypełnione piaskiem,
- szczeliny uskokowe wymyte (otwarte).

W pierwszym przypadku odpływ wody odbywa się bez wynoszenia części mechanicznych, ponieważ woda przenika przez pory piaskowców o mniejszych wymiarach od średnicy ziarn piasku.

W tym przypadku, gdy będzie odwodniony poziom o zwierciadle swobodnym, może wystąpić osiadanie powierzchni tylko w tych rejonach, w których piasek jest luźno lub średniozagęszczony.

Odwadnianie warstw piasków poziome o zwierciadle swobodnym wywoła niewielkie osiadanie powierzchni terenu.

W drugim przypadku odpływająca woda wynosi części mechaniczne zwłaszcza w tych miejscach, w których szczeliny mają wymiary większe od średnicy ziarn części mechanicznych. Wielkość deformacji w rozpatrywanym przypadku jest uzależniona od ilości odprowadzonych wraz z wodą części mechanicznych.

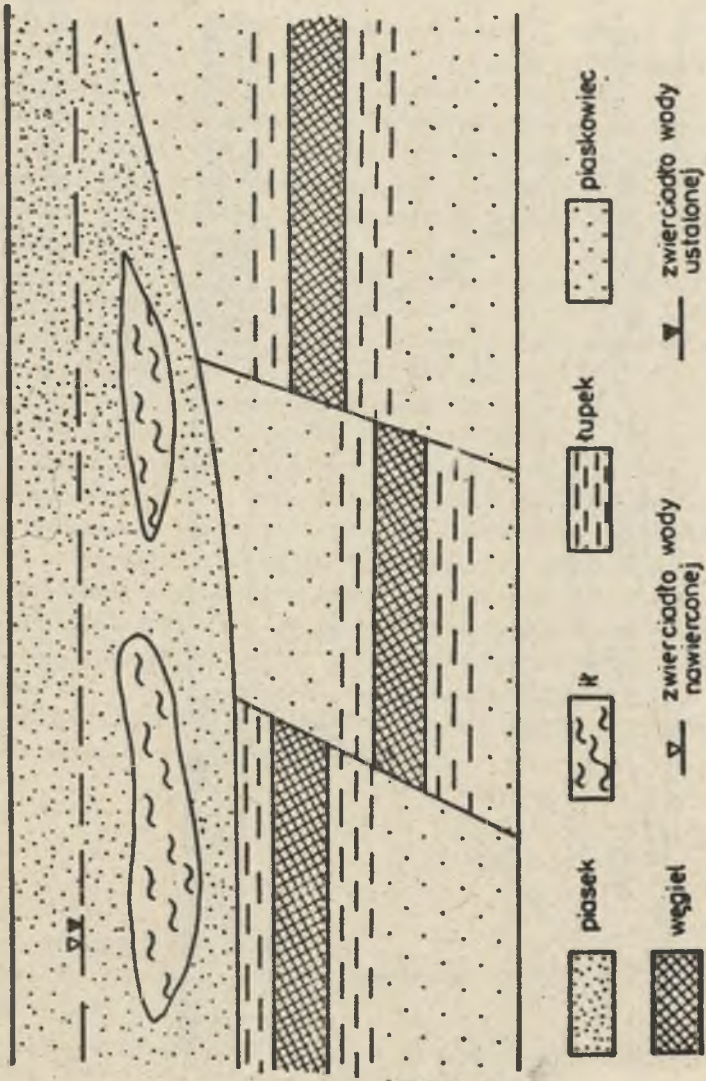
W trzecim przypadku odpływ wody do kopalni w warstwach nadkładu odbywa się całym przekrojem szczeliny uskokowej. Spływająca woda, na skutek działania ciśnienia spływowego, unosi już nie tylko ziarna drobne, lecz również ziarna żwiru a nawet duże otoczaki. W tym przypadku woda z częściami stałymi tworzy jedną mieszaninę hydrauliczną. Odpływ piasku wraz z wodą spowoduje zatem odkształcenie zapadliskowe, którego wysokość pionowa może być równa grubości warstwy wodonośnej. Z tego rodzaju odkształceniami należy się głównie liczyć:

- przy przebijaniu wyrobiskami górniczymi szczelin uskokowych wypełnionych wodonośnym piaskiem,
- przy prowadzeniu wyrobisk, zwłaszcza eksploatacyjnych, w bliskiej odległości od wychodni pokładu węgla, gdy poziom wodonośny jest odizolowany od stropu warstw karbońskich cienką warstwą nieprzepuszczalną, która zostanie przerwana na skutek deformacji górotworu spowodowanej eksploatacją. W tych warunkach w pierwszej kolejności dochodzi najpierw do całkowitego opróżnienia szczeliny uskokowej po jej przebicciu a następnie pustą szczeliną spływa z nadkładu mieszanina wody z piaskiem. W następstwie tego zjawiska tworzy się na powierzchni zapadlisko.

Odształcenie powierzchni spowodowane zmianą układu stosunków hydrogeologicznych bywa na ogół nierównomierne i przy ciągłych poziomach wodonośnych jest największe poza konturami eksploatacji górniczej. Może być spowodowane takimi przyczynami, jak:

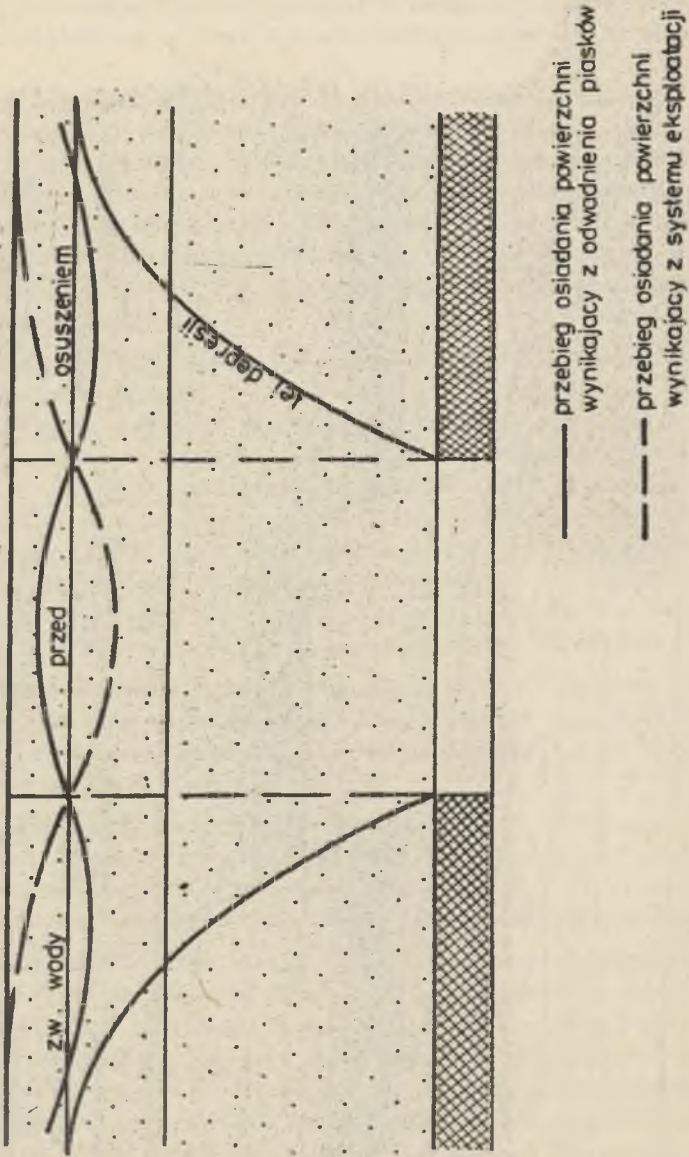
- nieciągłe zaleganie warstwy wodonośnej,
- zmienna grubość warstwy wodonośnej (rys. 3.3),
- zmienny stopień zagęszczenia warstwy wodonośnej,
- zmienna zawartość frakcji drobnoziarnistych, pylastych lub ilastych.

Wspomniano już, że wielkość odkształceń wynikająca z odwodnienia może być największa poza konturami pola eksploatacyjnego, wielkość natomiast odkształceń wynikająca z systemu eksploatacji (eksploatacja z zawałem, z podsadzką hydrauliczną itd.) jest największa w bezpośrednim obrębie pola eksploatacyjnego (rys. 3.4). Uzasadnia się to tym, że bezpośrednio nad wybranym pokładem węgla czas odwodnienia warstwy wodonośnej jest bardzo krótki, a zatem ilość wyniesionych frakcji stałych z tej części jest niewielka w porównaniu do ilości frakcji stałych wyniesionych przez wodę z obszaru znajdującego się poza konturami pola eksploatacyjnego. Dopływ wody spoza konturów eksploatacji jest stały, zatem ubytek części mechanicznych spowodowany sufozją jest duży. W związku z tym poza konturem eksploatacji powstaną większe osiadania niż bezpośrednio nad wybranym pokładem.



Rys. 3.3. Nierregularne osadzenie wodonośnych piaskowców

Fig. 3.3. Irregular deposition of water-bearing sandstones



Rys. 3.4. Osiadanie powierzchni terenu spowodowane odwadnianiem górotworu
Fig. 3.4. Subsidence of the ground surface caused by rock mass drainage

Wielkość osiadania powierzchni terenu wynikająca z odwodnienia wodonośnej warstwy sypkiej jest uzależniona od stopnia zagęszczenia piasków oraz od ilości frakcji ilastych i pylastych znajdujących się w tych piaskach, jak również od grubości warstwy wodonośnej.

Według pracy [36, 37] wynika, że objętość średnio zagęszczonych piasków po przejściu ich w stan zagęszczony zmniejsza się o ok. 14%, a dla luźnych piasków o ok. 29%. Oznacza to, że po osuszeniu warstwy luźnych piasków warstwa ta może być skompresowana z jednego metra do ok. 0,71 m, warstwa zaś piasków [średniozagęszczonych z jednego metra do ok. 0,86 m. Podany wyżej stan zagęszczenia wodonośnych piasków ulega przyspieszeniu na skutek wstrząsów spowodowanych eksploatacją górniczą. Znając grubość warstwy wodonośnej oraz jej stan zagęszczenia można określić maksymalną wielkość osiadania powierzchni terenu wynikającą ze ściśliwości piasków wskutek odwodnienia warstwy wodonośnej.

Wielkość natomiast osiadania powierzchni terenu spowodowaną użyciem części stałych odprowadzanych wraz z wodą można obliczyć, gdy znana jest zawartość frakcji pylasto-piaszczystych w piaskach średnio-lub gruboziarnistych czy też w żwirach. Należy pamiętać, że zawartość frakcji ilasto-pylasto-piaszczystych w piaskach czy żwirach nie przekracza kilku procent, gdyż przy większej ilości piasek staje się już bardzo słabo przepuszczalny. W piaskach drobnoziarnistych i pyłach następuje raczej wymywanie części pyłu lub piasku i to w bezpośrednim sąsiedztwie szczeliny uskokowej, wobec czego w takich warunkach będą występować odkształcenia typu lokalnego o charakterze zapadliskowym. Poza tym odkształcenia zapadliskowe będą powstawać również przy odwadnianiu piasków lub żwirów, jeżeli szczelina uskokowa jest pusta. W takim przypadku przez pustą szczelinę uskokową może do wyrobisk górniczych spłynąć mieszanina wody z piaskiem a nawet żwirem.

Wielkość osiadania powierzchni terenu wynikającą z osuszenia warstwy wodonośnej można określić na podstawie wzoru:

$$S = h c$$

gdzie:

S - osiadanie w m,

h - grubość warstwy wodonośnej, m

c - współczynnik zależny od sposobu odwodnienia warstwy wodonośnej w granicach od 0,01 - 1,

Maksymalny zasięg odkształceń wynikający z odwodnienia poziomu wód o zwierciadle swobodnym można obliczyć na podstawie wzoru:

$$R = S + 410 \sqrt{\frac{g}{\alpha}}$$

gdzie:

- Q - dopływ wody do wyrobisk górniczych, ujęcia wody podziemnej lub badawczego otworu hydrogeologicznego wyrażony m^3/min ,
- α - współczynnik określający w metrach roczną ilość opadów infiltrujących w głąb utworów skalnych, wynosi on 30 do ok. 50% opadów rocznych,
- S - depresja, m.

Promień zasięgu leja depresji zależy głównie od wielkości dopływu wody do kopalni oraz od współczynnika infiltracji.

Zasięg odkształceń powierzchni terenu omawianego typu jest na ogół mniejszy od promienia leja depresji R. Odkształcenia te mogą wystąpić w zasięgu leja depresji wówczas, gdy w jego zasięgu drenowane są piaski luźne i średniozagęszczone, jak również, gdy wśród piasków zalegają gniazda torfów.

W przypadku odwadniania piasków zagęszczonych odkształcenia mogą wystąpić wówczas, gdy wystąpi zjawisko sufozji, np. przy przechodzeniu wyrobiskami górniczymi przez szczeliny uskokowe. W tym przypadku zjawisko sufozji wystąpi w zasięgu leja depresji lecz tylko w bezpośrednim sąsiedztwie szczeliny uskokowej, gdyż wynoszenie części mechanicznych jest uwarunkowane wielkością spadku hydraulicznego. W związku z powyższym omawiane odkształcenia wystąpią w dalekiej odległości od czoła wyrobisk górniczych w bardzo wąskim pasie, wzdłuż szczeliny uskokowej. (rys. 3.5).

3.1.5. Wpływ pożarów w resztkach pokładów zalegających na małej głębokości

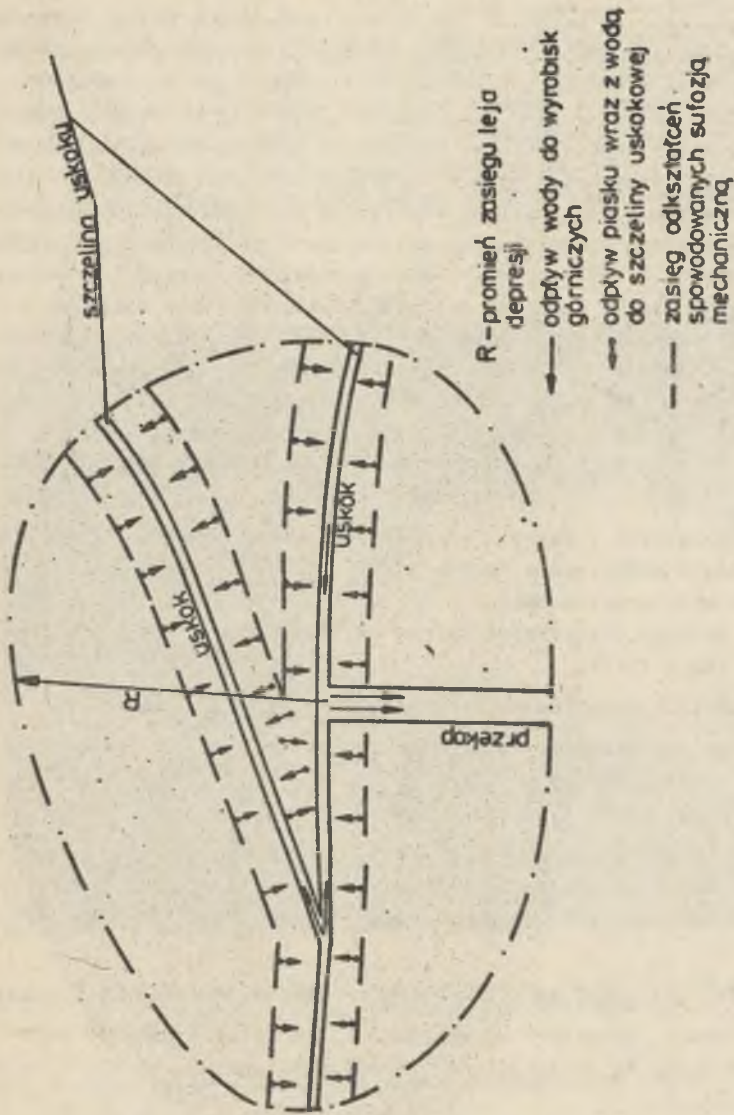
Pożary występujące w starych zrobach zalegających na małej głębokości w rejonie wychodni pokładów, mogą być przyczyną powstawania na powierzchni deformacji nieciągłych [2, 4, 3]. Pożary w resztkach pokładów są przyczyną powstawania około 8% wszystkich zaobserwowanych na terenie GOP deformacji nieciągłych.

Wskutek pożarów powstają w górotworze pustki względnie ulegają zmianie objętości pustek istniejących. Zniszczeniu ulega ewentualna ich obudowa, a istniejące filary oporowe mogą utracić podporność. Wszystkie te czynniki mogą spowodować powstawanie na powierzchni terenu przeważnie deformacji nieciągłych.

3.1.6. Wpływ eksploatacji kilku pokładów do jednej wspólnej krawędzi

Z badań przeprowadzonych w Rybnickim Okręgu Węglowym wynika, że nad pokrywającymi się krawędziami eksploatacyjnymi w kilku pokładach występuje ok. 49% wszystkich zarejestrowanych deformacji nieciągłych typu liniowego.

Nowym niespotykanym przedtem zjawiskiem jest fakt występowania liniowych deformacji nieciągłych w rejonie pokrywających się krawędzi eksploatacyjnych nad eksploatacją górniczą prowadzoną na dużych głębokościach



Rys. 3.5. Odkształcenia powierzchni terenu w bezpośrednim sąsiedztwie szczelin uskoku w zasięgu leja depresji

Fig. 3.5. Ground surface distortion in the direct vicinity of fault crackings within the range of the depression crater

(od 580 m do 615 m na kop. XXX-lecia PRL i Manifest Lipcowy, od 500 m do 700 m na kop. "Nowy Wirek").

Dokładniejsza analiza warunków geologiczno-górnicznych wskazuje, że nie zawsze nad krawędziami eksploatacyjnymi występują nieciągłe deformacje liniowe, nawet w tych samych lub podobnych warunkach geologiczno-górnicznych. O powstawaniu deformacji nieciągłych muszą więc decydować jeszcze inne czynniki. Deformacje nieciągłe liniowe na powierzchni spowodowane usytuowaniem kilku krawędzi w pionie występują bezpośrednio nad krawędziami albo w niewielkiej odległości od krawędzi w kierunku calizny. Nie występują więc w miejscu sumowania się maksymalnych odkształceń poziomych. W rejonie usytuowania kilku krawędzi eksploatacyjnych dochodzi prawdopodobnie do ścięcia warstw skalnych i powstania w górotworze szczeliny i płaszczyzn poślizgowych. W większości przypadków szczeliny i progi powstałe w górotworze ulegają z czasem zanikaniu w kierunku ku powierzchni terenu, zwłaszcza gdy docierają do warstw luźnych nadkładu o dużej miąższości. W niekorzystnych warunkach geologicznych mogą docierać jednak do powierzchni. Do tych sprzyjających warunków geologicznych w górotworze w rejonie kilku krawędzi zaliczyć należy:

- brak warstw zwięzłych o dużej miąższości, np. typu piaskowców czy dolomitów położonych zwłaszcza w średnich partiach górotworu, (nie przy stropie, ani przy powierzchni),
- istnienie w pobliżu powierzchni warstw zwięzłych ale kruchych, jak np. przesuszone ły i gliny.

Z innych czynników prawdopodobnie znaczenie mają następujące:

- czas tworzenia się krawędzi eksploatacyjnych,
- grubość wybieranych pokładów (warstw),
- szybkość postępu frontu eksploatacyjnego.

Im krótszy jest czas tworzenia skarp eksploatacyjnych - im grubsze pokłady się eksploatuje i im większy jest postęp frontu, tym prawdopodobieństwo powstania deformacji nieciągłych typu liniowego jest większe.

3.1.7. Wpływ jednostronnej eksploatacji górniczej w sąsiedztwie uskoku

Przy prowadzeniu jednostronnej eksploatacji w rejonie uskoków może dojść na powierzchni do powstania deformacji nieciągłych, zwykle w rejonie ich wychodni.

Na wystąpienie deformacji nieciągłych w rejonie wychodni uskoku ma wpływ:

- nachylenie płaszczyzny zrzutu uskoku,
- wypełnienie szczeliny uskokowej i rodzaj materiału wypełniającego,
- sumaryczna miąższość wybranych pokładów,
- kierunek eksploatacji w stosunku do uskoku,
- sposób kierowania stropem (zawał, podszadzka hydrauliczna),
- miąższość nadkładu.

Stwierdzono, że najbardziej niebezpieczne są uskoki o kącie nachylenia płaszczyzny zrzutu od 60° do 90° . Szczelina uskokowa wypełniona materiałem ułatwiającym poślizg, względnie prowadząca wodę, stwarza także większe niebezpieczeństwo powstania deformacji nieciągłych liniowych w postaci progów i szczelin. Znaczna miąższość nadkładu swłaszcza o charakterze luźnym lub plastycznym znacznie ogranicza możliwość występowania deformacji nieciągłych (o ile nie występuje zjawisko sufozji).

Przykład zapadliska w rejonie uskoku w wyniku jednostronnej eksploatacji pokazano na zdjęciu 4.



Zdjęcie 4. Zapadlisko cylindryczne o średnicy 30 m powstałe w rejonie wychodni uskoku. Kopalnia "Komuna Paryska"

3.1.8. Eksploatacja w rejonie wychodni pokładów pod luźnym a zwłaszcza zawodnionym nadkładem

Deformacje nieciągłe powierzchni powstałe na skutek prowadzenia robót górniczych w rejonie wychodni pokładu w sąsiedztwie zawodnionych utworów w nadkładzie zajmują pod względem ilościowym podrzędną pozycję w całości udokumentowanych deformacji nieciągłych. W Rybnickim Okręgu Węglowym stanowią one ok. 3% ogólnej liczby zarejestrowanych deformacji nieciągłych [24].

Analiza deformacji nieciągłych powstałych w rejonie zawodnionych utworów w nadkładzie wykazała, że przyczynami powstania tych deformacji jest prowadzenie robót górniczych w sposób nie gwarantujący stabilności warstw zawodnionych, tj. bez zachowania odpowiednio wytrzymałych (grubych) filarów bezpieczeństwa.

Zgodnie z instrukcją [6], filar bezpieczeństwa pod zawodnionymi warstwami nadkładu karbonu liczy się od stropu zwiężzłych skał karbońskich prostopadle do powierzchni stropu, w kierunku czynnych lub projektowanych wyrobisk górniczych. Jeśli bezpośrednio na stropie zwiężzłych skał karbońskich zalega ciągła ilasta warstwa izolująca, filar ten liczy się od stropu tej warstwy do wyrobisk górniczych. Wielkość filaru bezpieczeństwa powinna wynosić

$$D = 15 M$$

nie mniej jednak niż

$$D > 20 \text{ metrów}$$

gdzie:

D - wymiar filaru bezpieczeństwa, m,

M - grubość obliczeniowa wybieranego pokładu, m.

Grubość obliczeniową wybieranego pokładu oblicza się za pomocą wzoru

$$M = a g$$

gdzie:

a - współczynnik osiadania zależny od sposobu kierowania stropem,

g - grubość eksploatacyjna pokładów, m (w razie, gdy źródłem zagrożenia jest zatopione wyrobisko korytarzowe lub gdy wyrobiskiem chronionym jest wyrobisko korytarzowe, do obliczeń należy przyjmować jako g poprzeczny wymiar wyrobiska a nie grubość pokładu).

3.2. Czynniki wpływające na charakter procesu kształtowania się deformacji nieciągłych na powierzchni

Analizując przyczyny występowania deformacji nieciągłych stwierdzić należy, że nie występują one w każdych warunkach nawet przy eksploatacji złoża na małej głębokości. Dla wystąpienia deformacji nieciągłych muszą więc być spełnione jeszcze inne odpowiednie warunki. Do czynników, które sprzyjają powstawaniu deformacji nieciągłych oraz od których zależy wielkość i przebieg procesu powstawania deformacji nieciągłych należą:

1. Wymiary gabarytowe pustki.

2. Budowa geologiczna górotworu nad i w otoczeniu pustki a szczególnie:

- głębokość zalegania pustki od stropu warstw zwięzłych,
- budowa litologiczna skał zwięzłych zalegających nad pustką,
- własności fizykomechaniczne i chemiczne skał zwięzłych, w których znajduje się pustka,
- budowa warstw nadkładu i ich podatność na rozmywanie oraz wynoszenie przez wodę (ich wodonośność i wodoprzepuszczalność),
- tektonika i mikrotektonika oraz stan naruszenia górotworu,
- podatność górotworu zalegającego wokół pustki na deformacje i jego charakter reologiczny,

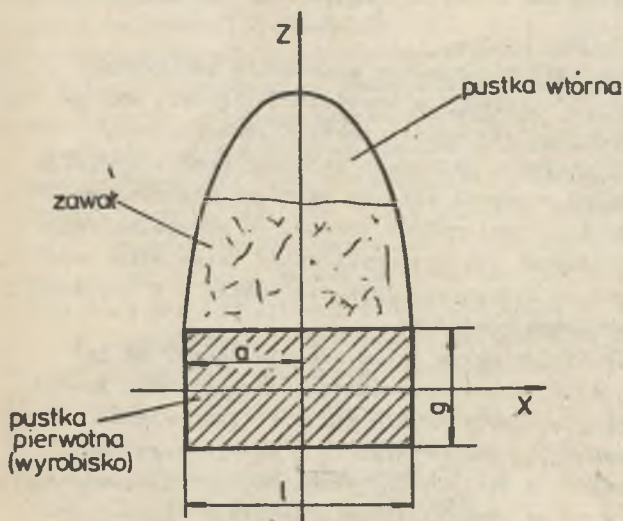
3. Zmiany stanu naprężenia w górotworze wskutek zachodzących w nim różnorodnych procesów, zaburzających ustaloną wtórnie równowagę.

3.2.1. Wymiary gabarytowe pustki

Wymiary gabarytowe pustki (rys. 3.6) mają podstawowe znaczenie dla procesu występowania zapadłisk. Zaważ bowiem pustki o określonych wymiarach

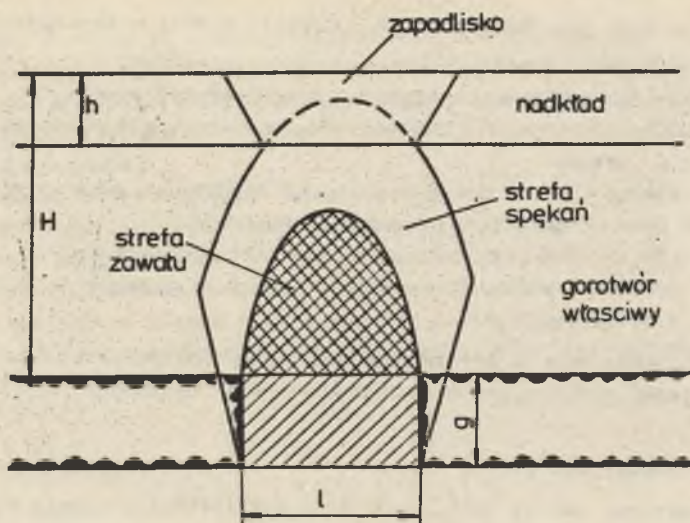
decyduje o wysokościach stref zaważu i spękań górotworu (rys. 3.7). Dojście tych stref do powierzchni terenu lub stropu warstw zwięzłych decyduje z kolei o wielkości i rodzaju deformacji nieciągłych na powierzchni terenu.

Szpecially wysokość pustki (wyrębiska) - g jak i jej szerokość - l (krótszy wymiar) mają istotne znaczenie dla procesu przebiegu deformacji. W skrajnym przypadku w pewnych określonych warunkach pomimo istnienia bardzo wysokiej, ale wąskiej pustki może nie dojść do powstania zapadliska. Natomiast przy szerokiej, ale niewysokiej pustce może



Rys. 3.6. Wymiary gabarytowe pustki
Fig. 3.6. Dimensions of cavity

dojść do powstania deformacji nieciągłej w postaci zapadliska regularnego (tzw. ugięcia terenu) z ewentualnie tworzącymi się deformacjami nieciągłymi typu liniowego. Generalizując, wysokość pustki " g " decyduje o potencjalnym zagrożeniu powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi (mogą, ale nie



Rys. 3.7. Zasięg strefy zawatu i spękań nad pustką
Fig. 3.7. Range of the caving and cracking region over the cavity

muszą wystąpić). Im ta wysokość jest większa, tym zagrożenie powierzchni jest większe. Szerokość pustki "l" decyduje o prawdopodobieństwie wystąpienia deformacji. Im szerokość (krótszy wymiar pustki) jest większa, tym prawdopodobieństwo to jest większe. Natomiast objętość pustki decyduje o wielkości deformacji nieciągłej - zapadliska. Im jest ona większa, tym większe zapadlisko może wystąpić na powierzchni terenu. Te generalne reguły powstawania zapadlisk są łagodzone lub intensyfikowane przez właściwości fizykomechaniczne górotworu, w którym znajduje się pustka i który zalega nad pustką, opisane w następnym rozdziale.

Stabilność pustki wąskiej a długiej w małym tylko stopniu zależy od jej długości, a przede wszystkim od jej szerokości (krótszego wymiaru). Zawal takiej pustki, jeśli wystąpi, obejmuje zwykle tylko krótkie odcinki o długościach równych jej szerokości. Na powierzchni powstaje więc najczęściej jedno lub kilka zapadlisk o powierzchni skupionej (koło, kwadrat), a nie rów zapadliskowy. Wynika to ze specyficznego sklepienia ciśnień, jakie powstaje nad taką pustką.

3.2.2. Budowa geologiczna górotworu nad i w otoczeniu pustki

W większości przypadków w praktyce, górotwór można podzielić na dwie zasadnicze części składające się z warstw skalnych o istotnie różniących się właściwościach fizykomechanicznych [1, 2, 4, 17, 18, 28].

1. Górotwór "właściwy" o miąższości g_w , położony głębiej i składający się z warstw zwięzłych zdolnych do przenoszenia dużych naprężeń bez większych odkształceń i przemieszczeń.
2. Nadkład o miąższości g_n , położony nad górotworem właściwym aż do powierzchni terenu, złożony z warstw niezdolnych do przenoszenia większych naprężeń bez dużych odkształceń i przemieszczeń.

Dla małej głębokości eksploatacji górniczej, tj. takiej, przy której pojawiają się nieciągłe deformacje terenu, najwłaściwszym modelem górotworu właściwego jest model sprężysty, w którym obowiązuje prawo Hooke'a. Górotwór sprężysty, pod wpływem naprężeń ulega stosunkowo małym, sprężystym odkształceniom, by po przekroczeniu pewnej wielkości naprężeń ulec zniszczeniu, co przejawia się w spękaniu i zawałach skał górotworu. Natomiast w górotworze takim nie występuje zjawisko powolnego odkształcania się skał w czasie, czyli tzw. płynięcie skał, obserwowane na dużych głębokościach. Górotwór właściwy jest tą częścią górotworu, w której mogą utrzymywać się przez dłuższy czas puste przestrzenie tak pochodzenia naturalnego (pustki strukturalne i krasowe), jak i sztucznego - pustki po robotach górniczych. Pustki te albo urzymują się w stanie stabilnym nie powodując żadnych widocznych zmian w swoim otoczeniu, albo zawałają się gwałtownie powodując często widoczne skutki na powierzchni terenu, w postaci deformacji nieciągłych.

Grubość warstw zwięzłych nad stropem istniejącej pustki, czyli grubość górotworu właściwego ma zasadnicze znaczenie przy powstawaniu deformacji nieciągłych. Z doświadczenia wiadomo, że jeśli wysokość strefy zawału powstałej nad pustką jest większa od grubości skał zwięzłych zalegających nad pustką (rys. 3.7), to zapadlisko powstanie na pewno. Zapadlisko może również powstać wówczas, jeśli wysokość spękań jest większa od grubości skał zwięzłych zalegających nad pustką (rys. 3.7). Ponieważ wysokość strefy zawału i spękań zależy od wysokości pustki, zatem im wyższa pustka tym większa musi być grubość warstw zwięzłych zalegających nad pustką.

Z punktu widzenia możliwości występowania deformacji nieciągłych, ważnymi parametrami górotworu właściwego są:

- współczynnik rozluźnienia skał, k ,
- odwrotność stałej Poissona $m = \frac{1}{3}$,
- wytrzymałość skał na rozrywanie R_T ,
- wytrzymałość skał na ściskanie R_C ,
- wytrzymałość skał na ścinanie R_S ,
- ciężar właściwy skał γ i ciężar objętościowy γ_0 .

Współczynnik rozluźnienia skał k , zwany także współczynnikiem kruszności, wyraża stosunek objętości skał po rozkruszeniu do objętości skał w całości.

Jest on zawsze większy od 1 i przeciętnie waha się w granicach 1,3 - 1,5 [2, 4, 31, 28]. Od jego wielkości zależy szybkość zanikania pustki w górotworze w miarę jej wędrowki w kierunku ku powierzchni oraz wysokość strefy zawału nad eksploatacją.

Odwrotność stałej Poissona m , wyraża zależność pomiędzy naprężeniami pionowymi i poziomymi w górotworze na określonym poziomie. Jej wielkość zależy od rodzaju skał i wielkości ciśnienia, czyli od głębokości zalegania skały [4, 30].

Dla małych głębokości wielkość m szybko maleje od około 12 przy powierzchni do około 5 na głębokości, na której ciśnienie pionowe wynosi około 100 kg/cm^2 . Od wielkości liczby m zależy przede wszystkim wysokość sklepienia ciśnień, jakie tworzy się w górotworze właściwym nad wyrobiskiem górniczym (pustką). Im większa jest liczba m , tym wyższe jest sklepienie ciśnień.

Wytrzymałość skał na rozrywanie R_T ma także pewne znaczenie dla kształtu i wysokości sklepienia ciśnień, jakie tworzy się nad pustką w górotworze. Górotwór właściwy rozpatrywany w małej skali, tj. na małej przestrzeni, charakteryzuje się określoną wytrzymałością na rozrywanie $R_T > 0$. Rozpatrywany jednak w skali makro, czyli na dużych przestrzeniach, posiada wytrzymałość na rozrywanie zbliżoną do zera, $R_T = 0$. Decyduje o tym makro- i mikrotektonika, a także spękania górotworu pochodzenia sztucznego, np. wskutek robót górniczych,

Podobnie kształtują się inne wskaźniki wytrzymałościowe górotworu R_C i R_S . Dla małych próbek skał badanych laboratoryjnie, wytrzymałości te mogą być znacznie (kilkakrotnie) większe aniżeli dla skał w masywie (in situ), szczególnie, gdy został on naruszony wpływami podziemnej eksploatacji złóż. Wielkości R_C i R_S mają szczególne znaczenie dla wytrzymałości i możliwości zniszczenia filarów pomiędzy pustkami w górotworze, co może się przyczynić do połączenia pustek i ich silnej aktywizacji.

Ciężar właściwy skał γ decyduje o wysokości ciśnienia panującego w górotworze na głębokości zalegania badanej pustki.

Nadkład składa się zwykle z warstw pochodzących z systemów geologicznie młodszych - czwartorzędowych i trzeciorzędowych. Ze względu na właściwości fizykomechaniczne warstw nadkładu, najlepiej oddające ich wpływ na tworzenie się deformacji nieciągłych, nadkład można podzielić na trzy zasadnicze rodzaje:

- nadkład luźny (sypki), którego najlepszym reprezentantem są piaski,
- nadkład ~~kruchy~~, np. złożony ze zlepieńców,
- nadkład ~~kruchy~~ ^{plastyczny}, np. złożony z ilów, margli czy glin.

Nadkład luźny charakteryzuje się kątem naturalnego zsypania α , nadkład kruchy kątem tarcia wewnętrznego φ a nadkład plastyczny dużym współczynnikiem plastyczności.

Rodzaj nadkładu decyduje przede wszystkim o formie deformacji nieciągłej, zwłaszcza nieciągłej powierzchniowej, oraz w mniejszym stopniu wpływa na typ deformacji (nieciągła powierzchniowa czy liniowa?).

W nadkładzie luźnym powstają przede wszystkim leje stożkowe. Ich odmiany - proste, ścięte czy z otworem cylindrycznym, zależą od objętości pustki, jaka dochodzi do stropu górotworu właściwego i od miąższości nadkładu.

Przy małej objętości pustki i cienkim nadkładzie może powstać lej ścięty lub z otworem kołowym.

Znając objętość pustki, która ujawnia się w stropie górotworu właściwego oraz grubość nadkładu i jego kąt naturalnego zsypania, elementy takich lejów można stosunkowo łatwo obliczyć [4, 30]. Należy zauważyć, że głębokość deformacji nieciągłej w formie leja, zwłaszcza prostego, może być znacznie większa aniżeli wysokość pustki dochodzącej do stropu górotworu właściwego, a także znacznie większa od wysokości pustki pierwotnej (wyrobiska). Dna lejów zwykle nie są zawodnione. Są one trudne do likwidacji, gdyż wskutek opadów atmosferycznych następuje wymywanie materiału w zasypnym leju, co pociąga za sobą konieczność jego ponownego zasypiania po upływie pewnego czasu. W przypadku istnienia nadkładu luźnego inną formą deformacji nieciągłej mogą być niecki osiadań o profilu nieregularnym. Powstają one wtedy, gdy do stropu górotworu właściwego dochodzi tylko strefa spękań, powodując poważne spękania tego stropu. Nad powstałymi szczelinami, na powierzchni terenu wskutek łagodzącego działania warstw nadkładu tworzą się tylko garby terenowe (gdy g_n małe) lub nawet deformacje ciągłe w postaci łagodnych niecek osiadań (gdy g_n duże).

W nadkładzie kruchym powstają przede wszystkim zapadliska nieregularne, niecki osiadania o profilach nieciągłych lub nieregularnych a także mogą powstawać wszystkie formy deformacji nieciągłych liniowych. Typ deformacji zależy od tego, czy do stropu górotworu właściwego dochodzi pustka o objętości niezerowej, czy tylko strefa spękań, przy czym aby powstały deformacje liniowe strefa spękań w zasadzie dotrzeć powinna aż do powierzchni. Wielkość powierzchni zapadlisk nieregularnych zależy od objętości i kształtu pustki jaka dociera do stropu górotworu właściwego oraz od kąta tarcia wewnętrznego materiału nadkładu. Zapadliska nieregularne w miarę upływu czasu mają tendencję do przekształcenia się w leje - zwykle ścięte, wskutek zmniejszenia nachylenia ścian bocznych. Głębokość zapadlisk jest w przybliżeniu równa wysokości pustki w stropie górotworu właściwego, ale może być znacznie większa od wysokości pustki pierwotnej (wyrobiska). Zapadlisko nieregularne jest zwykle niezawodnione i na obrzeżu towarzyszą mu liniowe formy deformacji nieciągłych. Przy likwidacji zapadliska nieregularnego występują podobne trudności jak przy likwidacji lejów - konieczność powtórzenia ich wyrównania.

W nadkładzie plastycznym powstają zwykle deformacje ciągłe typu II, a nieciągłe przybierają formę zapadlisk regularnych (ugięć lub zapadlisk). Zapadliskom regularnym mogą towarzyszyć zsuwy i spełzy materiału na zboczach zapadliska. Zapadliska regularne są zwykle zawodnione i mają tendencję do przekształcania się z czasem w zapadliska nieregularne (następuje pęknięcie warstw na ich przegięciu zwłaszcza, np. wskutek obciążenia zapadliska wodą opadową).

W przypadku nadkładu bardzo cienkiego (brak nadkładu), najczęściej występującymi formami deformacji nieciągłych są: wszystkie formy deformacji liniowych, niecki osiadań o profilu nieciągłym a także zapadliska nieregu-

larne. W takim przypadku przy prowadzeniu eksploatacji górniczej na małej głębokości występują prawie wyłącznie deformacje nieciągłe. Mogą one wystąpić nawet przy prowadzeniu eksploatacji z podsadzką.

Osuwiska mogą występować pod wpływem każdej eksploatacji górniczej, tj. zarówno płytkiej jak i głębokiej, zawałowej jak i z podsadzką, ale tylko na terenach, które ze względu na naturalne warunki geologiczne i geotechniczne są zagrożone tą formą deformacji terenu. Prowadzenie robót górniczych może jedynie w niektórych przypadkach aktywizować te naturalne ruchy osuwiskowe, zwłaszcza gdy prowadzi do zwiększenia nachylenia stoków podatnych na osuwiska.

3.2.3. Zmiany stanu naprężenia w górotworze na skutek zachodzących w nim różnorodnych procesów

Nad wydrążonym w górotworze wyrobiskiem wytwarza się sklepienie ciśnień oraz powstaje strefa spękań (rys. 3.7). Jeśli wysokość strefy zawału, a w pewnych warunkach strefy spękań, jest mniejsza od grubości warstw związanych zalegających nad wybranym wyrobiskiem, to zapadlisko nie powstaje, a w górotworze wytwarza się wtórny stan równowagi.

Równowaga ta może ulec zmianie pod wpływem różnych czynników, takich jak np.:

- działanie wody, które prowadzi do obniżenia wytrzymałości skał,
- podebranie wyrobiska przez następny pokład, które może doprowadzić do powstania dodatkowych szczelin i pęknięć oraz zmian wytrzymałościowych w górotworze,
- wstrząsy, tąpnięcia i drgania,
- obciążenia terenu nad pustką.

Czynniki te mogą powodować zmianę stanu naprężeń w górotworze w otoczeniu pustki, a tym samym zmianę wysokości sklepienia ciśnień czy wysokości strefy spękań. W przypadku, gdy wysokości te przekroczą grubość warstw związanych zalegających nad pustką, może dojść do powstania zapadliska.

Częstą przyczyną zmiany naprężeń w górotworze nad pustką jest obciążenie terenu, np. dużym ciężkim budynkiem. Według niektórych badaczy [15] wskutek obciążenia powierzchni zwłaszcza znacznym ciężarem, np. wielokondygnacyjnym budynkiem, następuje w górotworze zmiana sklepienia ciśnień utworzonego nad pustką (tzw. "przesklepienie pustki") [15]. Przesklepienie to następuje w kierunku zwiększenia wysokości sklepienia, wskutek czego maleje grubość warstw pomiędzy powierzchnią terenu a wierzchołkiem sklepienia nad pustką. Tym samym wzrasta prawdopodobieństwo całkowitego zawału pustki i jej przemieszczenia się aż do powierzchni, przy zaistnieniu innych niekorzystnych przyczyn. Wzrasta więc zagrożenie powierzchni ze strony istniejącej pustki.

Powyższe rozumowanie jest jednak co najmniej dyskusyjne i wymaga głębszej analizy. Powszechnie bowiem wiadomo, że w miarę wzrostu głębokości w górotworze, a zatem i wzrostu ciśnienia pionowego p_z , maleje stosunek $p_z:p_x$,

wyrażany odwrotnością stałej Poissona ν ; $p_z : p_x = m - 1$, gdzie $m = \frac{1}{1-\nu}$. Jak wynika z danych empirycznych [4] liczba m maleje wraz ze wzrostem ciśnienia a więc i głębokości w górotworze. Szczególnie silnie maleje przy wzroście ciśnienia w granicach $0 - 100 \text{ kg/cm}^2$, tzn. na stosunkowo małych głębokościach. Tzw. elipsa naprężeń opisana na przekroju wyrobiska górniczego (pustki), w miarę wzrostu ciśnienia otaczających ją skał, zbliża się do koła, który to kształt osiąga na znacznych głębokościach, gdy $p_z = p_x$. Wzrost więc ciśnienia w otoczeniu pustki, niezależnie od przyczyn jego powstania, powinien wywołać zmniejszenie wysokości sklepienia ciśnień a nie jego zwiększenie, jak to podają autorzy pracy [15]. Ponieważ zmniejszenie wysokości sklepienia jest niemożliwe, gdyż istnieje ono już w określonych wymiarach, więc mogą zaistnieć jedynie dwa następujące zjawiska:

1. Kształt pustki i wysokość sklepienia ciśnień nie ulegną zmianie. Natomiast stan naprężeń na powierzchni sklepienia ciśnień zmieni się na korzystniejszy, tj. zapewniający lepszą stabilność sklepienia (wzrosną ciśnienia poziome i pionowe na obwodzie sklepienia). Sytuacja taka będzie miała miejsce wtedy, gdy ciśnienie pionowe w ociosach pustki nie przekroczy wytrzymałości skał na ściskanie.
2. Kształt pustki ulegnie nieznacznej zmianie, wskutek wykruszenia się skał z ociosów pustki, przez co wzrośnie szerokość pustki. Stosunek wysokości sklepienia do nowej szerokości pustki ulegnie więc zmniejszeniu, gdyż wysokość sklepienia nie ulegnie zmianie. Wskutek powyższych zmian stosunku wysokości pustki do jej szerokości, stan naprężeń na powierzchni sklepienia ciśnień nie ulegnie żadnej zmianie, tzn. będzie taki sam jak przed zaistnieniem dodatkowego ciśnienia.

Jest to teoretycznie równoznaczne ze zmniejszeniem wysokości sklepienia pierwotnego. Sytuacja taka może mieć miejsce wtedy, gdy ciśnienie w ociosach pustki jest na granicy wytrzymałości skał na ściskanie. Zarówno więc w pierwszym jak i w drugim przypadku, przyrost ciśnienia w otoczeniu pustki nie tylko nie przyczynia się do zachwiania jej równowagi, ale zwiększa jej stabilność i zmniejsza zagrożenie powierzchni, gdyż uaktywnienie pustki jest mniej prawdopodobne.

Obciążenie powierzchni nad pustką może być jednak przyczyną zwiększenia zagrożenia powierzchni przez deformacje nieciągłe, spowodowane zawałem pustki. Zjawisko to przebiega jednak zupełnie inaczej aniżeli opisano to w pracy [15]. Aktywizacja pustki wskutek wzrostu ciśnienia w jej otoczeniu może nastąpić wtedy, gdy wzrost ciśnienia będzie tak duży, że nastąpi przekroczenie wytrzymałości skał na ściskanie w ociosach pustki i to na dość znacznej szerokości (większej aniżeli wynika to ze zjawiska opisanego w p. 2). Wskutek rozkruszenia skał w ociosach pustki następuje istotny wzrost jej szerokości, co pociąga za sobą wzrost wysokości sklepienia ciśnień, czyli wędrówkę pustki ku powierzchni. Nowy stan stabilny zostanie osiągnięty jeżeli stosunek wysokości nowego sklepienia ciśnień do no-

wej szerokości pustki będzie równy poprzednio występującemu (ściślej, trochę mniejszy, patrz p. 2). Jeżeli stan ten zostanie osiągnięty przed dojściem sklepienia (pustki) do stropu skał związanych, to pustka ulegnie stabilizacji, bez wywołania na powierzchni żadnych deformacji. Niemniej, wzrośnie zagrożenie powierzchni wskutek możliwości zawału tej pustki. Jeżeli natomiast wysokość nowego sklepienia ciśnien osiągnie strop warstw związanych (rys. 3.7), to pustka ujawni się na powierzchni powodując powstanie deformacji nieciągłej. Opisane zjawisko przekroczenia wytrzymałości na ściskanie skał otaczających pustkę, ma istotne znaczenie dla zagrożenia powierzchni, wtedy gdy w górotworze istnieje kilka pustek poprzedzielanych stosunkowo cienkimi filarami oporowymi. Wskutek wzrostu ciśnienia może nastąpić przekroczenie wytrzymałości filarów i to niekoniecznie tylko na ściskanie, do czego potrzeba znacznego wzrostu ciśnienia, ale także na ścinanie, co może mieć miejsce przy znacznie mniejszym wzroście ciśnienia. Zniszczenie filarów pociąga za sobą połączenie się dotychczas rozdzielonych pustek i utworzy się jedna nowa pustka o znacznej szerokości. Nad taką nową pustką górotwór będzie dążył do utworzenia nowego wspólnego sklepienia ciśnien o takiej wysokości, aby był zachowany poprzednio istniejący stosunek pomiędzy wysokością sklepienia f a szerokością pustki l . Ponieważ szerokość nowej pustki jest duża, nowe sklepienie ciśnien uzyskuje też dużą wysokość i istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia na powierzchni terenu deformacji nieciągłych.

W zakończeniu, trzeba jednak podkreślić, że przekroczenie wytrzymałości filarów pomiędzy pustkami poeksploatacyjnymi, a tym bardziej wytrzymałości skał w ociosach pustki odosobnionej, wymaga bardzo dużych obciążeń powierzchni terenu lub występowania pustek bardzo płytko. Następuje bowiem bardzo szybki spadek ciśnienia, spowodowanego, np. budynkiem, w miarę schodzenia w głąb górotworu.

4. METODY WYKRYWANIA PUSTEK W GÓROTWORZE

W celu ograniczenia rozmiaru szkód górniczych w obiektach i urządzeniach powierzchniowych oraz celem zapobiegania nadmiernym deformacjom terenu, jak też powstawaniu zalewisk poeksploatacyjnych, stosowane są na terenach górniczych różne środki zapobiegawcze zarówno ze strony górnictwa, jak i użytkowników powierzchni.

Wśród zespołu środków zapobiegawczych mających na celu ograniczenie rozmiaru szkód na skutek prowadzonej lub projektowanej eksploatacji górniczej wyróżnia się dwa zasadnicze kierunki:

- profilaktykę g ó r n i c z ą,
- profilaktykę i n ż y n i e r y j n o - b u d o w l a n ą.

Zespół środków profilaktycznych, zarówno górniczych jak i inżynieryjno-budowlanych, uzależniony jest przede wszystkim od rodzaju przewidywanych deformacji powierzchni terenu, tj. czy będą to deformacje o charakterze ciągłym, czy też nieciągłym. W przypadku przewidywania ruchów powierzchni o charakterze ciągłym stosowane są na terenach górniczych, w zależności od potrzeb i warunków, powszechnie znane środki profilaktyki górniczej i inżynieryjno-budowlanej.

Zakres i formy profilaktyki górniczej w przypadku ruchów powierzchni o charakterze nieciągłym zależą przede wszystkim od tego, czy zagrożenie powierzchni deformacjami nieciągłymi powodowane jest wskutek dokonanych czy projektowanych robót górniczych. W przypadku zagrożenia powierzchni wskutek dokonanych robót górniczych, zespół środków zapobiegawczych ma na celu usunięcie przyczyn zagrożenia, które to rozwiązanie jest niewątpliwie najlepsze. Dlatego też główny akcent profilaktyki należy w tym przypadku przenieść z zabezpieczenia istniejącej lub projektowanej zabudowy powierzchni na ustalenie lokalizacji pusteł w terenie i ich likwidację.

W przypadku zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi w związku z projektowanymi robotami górniczymi, główne zadanie górniczych środków zapobiegawczych polega na niedopuszczeniu do wystąpienia deformacji nieciągłych na powierzchni lub zmniejszeniu zagrożenia tymi deformacjami. Także w tym przypadku pierwszeństwo należy dać środkom zapobiegawczym mającym na celu przeciwdziałanie powstawaniu deformacji nieciągłych, przed środkami mającymi na celu zabezpieczenie ustroju budowlanego istniejącej lub projektowanej zabudowy powierzchni.

W działaniu profilaktycznym mającym na celu usunięcie przyczyn zagrożenia ze strony istniejących wyrobisk górniczych należy wyróżnić dwa etapy prac:

- wykrywanie przyczyn zagrożenia (pustek),
- likwidacja przyczyn zagrożenia,

W wykrywaniu pustek (przyczyn zagrożenia) należy wyróżnić:

- lokalizację ogólną, tj. rozpoznanie wstępne,
- lokalizację szczegółową, tj. rozpoznanie szczegółowe, a więc wielkość, kształt (obrys) itd.

Podstawą lokalizacji ogólnej terenu zagrożonego deformacją nieciągłą jest rozpoznanie wstępne mające na celu określenie granic rejonów zagrożenia, przeważnie na podstawie archiwalnych map górniczych, czyli ustalenie rozmieszczenia i głębokości występowania wykonanych w przeszłości wyrobisk górniczych. Granice rejonów zagrożeń należy ustalić w oparciu o zasady prognozowania zapadlisk podane w rozdziale 7. Lokalizacja pustek w ten sposób nie zawsze może być wykonana ze względu na częsty brak dokumentacji mierniczo-geologicznej. W przypadku braku map wyrobisk górniczych z rejonów dawnej płytkiej eksploatacji, granice rejonów zagrożenia należy ustalić (orientacyjnie) w oparciu o wywiad terenowy. Można także lokalizację ogólną pustek po wyrobiskach górniczych ustalić w oparciu o specjalnie w tym celu wykonane zdjęcia lotnicze i inne badania specjalne.

Ponieważ lokalizacja ogólna, w szczególności mapy górnicze nie zawsze wiernie podają zakres i miejsce robót górniczych prowadzonych w ubiegłym okresie, należy z kolei przystąpić do rozpoznania szczegółowego (lokalizacji szczegółowej), tj. do penetracji (badania) górotworu w miejscach usytuowania obiektów bądź już istniejących bądź projektowanych, celem stwierdzenia istniejących pustek oraz ich aktualnego stanu.

Mogą tu być stosowane następujące metody penetracji terenu:

- metody geofizyczne,
- metody górnicze,
- metody inne.

4.1. Metody geofizyczne

Badania geofizyczne prowadzone różnymi metodami (elektrooporową, sejsmiczną, grawimetryczną) pozwalają na określenie anomalii w budowie górotworu spowodowanych istnieniem pustek powstałych w wyniku prowadzenia robót górniczych.

M e t o d a e l e k t r o o p o r o w a

Wykrywanie i zlokalizowanie pustek metodą elektrooporową oparte jest na badaniu oporności elektrycznej warstw górotworu. W tym celu nad przy-

puszczalnym rejonem pustek zakłada się kilka linii obserwacyjnych - tzw. profile elektrooporowe. Ogólne zasady metody elektrooporowej są następujące. Przez uziemione elektrody A i B, umieszczone na wyznaczonej linii, przepuszcza się prąd elektryczny i mierzy natężenie wytworzonego tym sposobem pola. Innymi dwiema elektrodami M i N umieszczonymi na tej samej linii mierzy się różnice potencjałów. Na podstawie tych pomiarów oblicza się pozorny opór elektryczny właściwy ośrodka. Długość linii i odstęp między elektrodami uzależniony jest od przypuszczalnej głębokości pustek w górotworze. Zazwyczaj odległość skrajnych elektrod, tzw. elektrod zasilających A i B, przyjmuje się w odstępnie 4-6-krotnej głębokości pustki, natomiast odstęp, tzw. elektrod pomiarowych M i N wynoszą ok. 5 do 10 m. Strefy występowania podwyższonych oporności ośrodka wskazują na spękania górotworu lub występującą pustkę. Metodą tą można określić również przybliżoną głębokość występowania pustki oraz jej wymiary. Przeprowadzone doświadczalne badania nad znanymi wyrobiskami leżącymi na różnych głębokościach wykazały, że metoda elektrooporowa umożliwia wykrywanie pustek zalegających na głębokościach do 60 m, a w sporadycznych przypadkach nawet głębiej. Obecnie metoda ta stosowana jest już na szeroką skalę. Do badań stosuje się aparaturę IKS-50 produkcji ZSRR.

M e t o d a g r a w i m e t r y c z n a

Podstawą tej metody jest założenie, że ubytek masy spowodowany wyeksploatowaniem określonej objętości górotworu (pustką) wywoła na powierzchni ujemną anomalie grawimetryczną. Problem stanowi tutaj wielkość tej anomalii i czy jest ona możliwa do wydzielenia dostępnymi środkami technicznymi i interpretacyjnymi.

Nowoczesnymi grawimetrami można uzyskać duże dokładności pomiarów - rzędu 0,01 mGal. Jednakże dokładność ta nie świadczy o tym, że tego rzędu anomalie można wykrywać. W sprzyjających warunkach, przy bardzo dużej dokładności w pomiarach można wydzielić anomalie rzędu 0,05 mGal.

Metody mikrograwimetryczne znajdują coraz szersze zastosowanie przy lokalizacji pustek w górotworze a zwłaszcza przy lokalizowaniu niezlikwidowanych szybów i szybików.

M e t o d a s e j s m i c z n a

Metody sejsmiczne oparte na badaniu propagacji fal sprężystych w ośrodku skalnym stosowane są w poszukiwaniach geologicznych. Pomimo wielu czynników wpływających na rozchodzenie się fal sejsmicznych, skały można uważać za ciała sprężyste. Do badań stosowane są przede wszystkim metody fal odbitych i refrakcyjnych. Ostatnio coraz częściej stosowana jest metoda, tzw. prześwietlenia sejsmicznego. W metodzie tej wykorzystuje się fale sejsmiczne zwane falami podającymi (bezpośrednie, proste). Fale takie wzbudzone w ośrodku skalnym przebiegają drogą do odbiornika najkrótszą trajektorią. Gdy ośrodek jest jednorodny, wówczas trajektoria jest linią

prostą. Jeżeli istnieje jedna, dwie lub więcej granic, to fala zostaje na nich załamana, przy czym zjawiska tego nie należy utożsamiać z refrakcją. Przy takim załamaniu promień nie traci charakteru promienia przechodzącego.

Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że pustkę lub inne zaburzenia w górotworze udaje się zlokalizować za pomocą fal sprężystych metodą przeswiateł, gdy średnica pustki jest co najmniej trzykrotnie większa, od długości fal sejsmicznych. W innym przypadku zachodzi zjawisko dyfrakcji i fala omija przeszkodę.

4.2. Metody górnicze

Wśród metod górniczych wyróżniamy:

- wiercenie badawcze,
- roboty górnicze podziemne,
- wykopy (roboty górnicze naziemne).

W i e r c e n i a b a d a w c z e stanowią podstawowy sposób rozpoznania górotworu. Pozwalają na znacznie dokładniejsze określenie głębokości i wysokości stref spękań i pustek. Rozpoznanie jest jednak tylko punktowe (w miejscach wiercenia) i nie daje obrazu rozprzestrzeniania się ich w poziomie. Dlatego istotną sprawą jest właściwe rozmieszczenie otworów, np. w obrysie projektowanej budowli, zależnie od jej rozmiarów i kształtu i domniemanej gęstości. Minimalna liczba otworów pod obiektem w rzucie prostokątnym wynosi 5. Powinny one być usytuowane w sąsiedztwie naroży i pośrodku fundamentowania. Wystarcza to w przypadku mniej rozległych budowli odosobnionych. Dla odosobnionych obiektów o większym rzucie i dla długich budynków segmentowych podstawowa siatka powinna być odpowiednio zagęszczona.

Podziemne udostępnienie pustek robotami górniczymi jest raczej rzadko możliwe, tylko wtedy gdy przylegają one do aktualnie prowadzonych robót górniczych. Powierzchniowe roboty ziemne w zasadzie mogą przyczynić się do wykrycia tylko pustek zalegających płytko oraz pionowych wyrobisk górniczych (szyby, otwory). Zaletą metod górniczych jest to, że wykryte pustki jest stosunkowo łatwo zlokalizować, gdyż już jest do nich dostęp (nawet tylko otworem wiertniczym). Likwidacja pustki wykrytej z kolei likwiduje cały problem możliwości występowania deformacji. Wadą metod górniczych jest natomiast ich pracochłonność, a więc związane z tym koszty. W praktyce raczej rzadko można wykorzystać metody górnicze, poza sporadycznymi wierceniami z powierzchni ziemi, które jednak nie dają dostatecznie pewnego rozpoznania możliwości występowania pustek.

4.3. Inne metody wykrywania pustek

M e t o d a t e r m i c z n a

W ostatnim okresie podjęto na świecie próby zastosowania metody termicznej do lokalizacji gorących wód i źródeł podziemnych a także pustek, w których występują pożary endogeniczne resztek pokładów lub rejonów zagrożonych deformacjami nieciągłymi, mogącymi powstać po wypaleniu się części pokładów. Metoda ta jest oparta na zjawisku promieniowania elektromagnetycznego o widmie ciągłym wysyłanym przez obiekt o temperaturze większej od otoczenia.

Całkowitą energię E wypromieniowaną przez ciało można określić z wzoru Stefana-Boltzmana

$$E = \varepsilon(\lambda, T) \sigma_B \cdot T^4 \quad (4.1)$$

gdzie:

$\varepsilon(\lambda, T)$ - emisyjność danego materiału,

σ_B - stała Boltzmana,

T - temperatura.

W myśl tej zasady, ilość wypromieniowanej energii jest proporcjonalna do temperatury w czwartej potęgze, a więc mały wzrost temperatury ciała powoduje znaczny wzrost energii.

Wskutek pożarów w płytko zalegających pokładach lub ich resztek, górotwór i warstwa powierzchni terenu ulegają nagraniu nawet o kilka stopni. Stosując aparaturę do zdalnego pomiaru temperatury i różnicy temperatur powierzchni ziemi, można dokładnie zlokalizować miejsca pożarów, a tym samym określić rejon zagrożony deformacjami nieciągłymi. Zdjęcia terenu, pod którymi zalegają palące się pokłady lub ich resztki (filary oporowe) można wykonać z samolotu. Dla uniknięcia zakłóceń, pochodzących od promieniowania słonecznego, najlepiej pomiary takie wykonywać nocą lub nad ranem.

Urządzenie pomiarowe składa się z:

- detektora, na który kierowane jest promieniowanie emitowane lub odbite przez badany rejon objęty zagrożeniem pożarowym i niebezpieczeństwem powstawania deformacji nieciągłych,
- monitora z systemem rejestrującym.

Analizy fotografowanego terenu można dokonać po obróbce materiałów światłoczułych. Rejon objęty pożarami podziemnymi wychodzi na zdjęciach w postaci jasnych plam.

M e t o d a t e l e w i z y j n a

Metoda telewizyjna została rozpowszechniona w państwach Europy Zachodniej do badania niedostępnych kanałów, rurociągów i ścieków. Została też

zaadaptowana do kontroli rur wrożeńiowych w procesie głębieńia szybów, a także do badania i kontroli likwidacji pustek poeksploatacyjnych [38]. Metoda nie pozwala na lokalizację pustki, lecz tylko umożliwia jej penetrację.

Istotą urządzenia telewizyjnego służącego do penetracji pustek jest kamera - sonda telewizyjna średnicy 76 mm, z wymiennymi przystawkami widzenia i oświetlenia, umocowana na specjalnym, wielożyłowym kablu telewizyjnym, łączącym kamerę ze stanowiskiem obserwacyjnym - pulpitem sterującym. Pulpit sterujący jest stanowiskiem dla obserwatora i jest wyposażony w urządzenia do odtwarzania obrazu (monitory telewizyjne) przekazywanego za pomocą kabla z kamery oraz urządzenia do nastawienia sterowania, kontroli i nadzoru działania kamery. Pulpit sterujący, magnetowid oraz źródło zasilania elektrycznego są zamontowane w odpowiednio przystosowanym pojeździe samochodowym.

Wyżej opisane wyposażenie zasadnicze uzupełniają ponadto: specjalny kołowrót dla kalba z licznikiem głębokości oraz trójnóg ze stalową linką ubezpieczającą kamerę telewizyjną. Specjalne, opisywane urządzenie telewizyjne działa na zasadzie przewodowej telewizji. Obraz oglądanego na monitorach telewizyjnych przedmiotu w kolorze czarnobiałym, można równoległe zapisać na taśmie magnetowidu wraz z komentarzem słownym, a wybrane fragmenty wizji równocześnie fotografować. W ten sposób w dowolnym czasie można odtwarzać z magnetowidu zarejestrowany wcześniej obraz.

5. ISTNIEJĄCE MODELE PRZEBIEGU PROCESU TWORZENIA SIĘ DEFORMACJI

W naukowej i technicznej literaturze polskiej, a także zagranicznej, problematyka nieciągłych deformacji powierzchni terenu w obszarach górniczych nie jest zbyt bogato reprezentowana. W piśmiennictwie polskim pierwsze wzmianki na ten temat można znaleźć w pracy T. Kleczara [27], T. Staronia [33], a także kilku innych autorów. Problematyka ta dopiero pod koniec lat sześćdziesiątych znalazła się w programach badawczych, a w latach siedemdziesiątych została szeroko prezentowana głównie przez dwa ośrodki: Politechnikę Śląską w Gliwicach (prace Chudka, Olszowskiego i Arkuszewskiego) i Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie (prace Janusza-Jarosza). W wymienionych ośrodkach powstały, prawie równoległe w czasie, dwie metody prognozowania deformacji nieciągłych, oparte na odpowiednich założeniach fizykomechanicznych i geometrycznych oraz związane z tym modele procesu deformacji górotworu nad zawalającą się kawerną w górotworze. Całościowo prace ośrodka gliwickiego są opublikowane w pracy [29], a ośrodka krakowskiego częściowo w publikacjach [17, 20] oraz częściowo w pracach niepublikowanych wykonywanych przez obydwie ośrodki. Prócz wymienionych opracowań na uwagę zasługują badania wykonane przez Główny Instytut Górniczo-Hutniczy [34, 35], dotyczące zwłaszcza metod wykrywania pustek w górotworze i sposobów ich likwidacji a także publikacje Sachsa-Zakolskiego-Skinderowicza, w których autorzy podają metodę prognozowania zapadlisk w powiązaniu z wynikami badań górotworu metodą elektrooporową. Sposoby likwidacji pustek przedstawiono także w pracach [9, 10]. Z prac zagranicznych, oprócz badań radzieckich mających jednak charakter opisu zjawiska deformacji nieciągłych, na uwagę zasługuje praca J. Penka (HRD), przedstawiająca metodę prognozy deformacji nieciągłych nad pustkami poeksploatacyjnymi w górotworze luźnym [13, 14]. Obecnie najbardziej kompleksowymi opracowaniami przedmiotowego problemu, pozwalającymi na praktyczne przeprowadzenie prognozy deformacji nieciągłych, są dwie metody: Chudka-Olszowskiego i Janusza-Jarosza.

5.1. Metoda Chudka-Olszowskiego

W całości metoda ta została opublikowana w pracy [2]. Praca [2] stanowi jednocześnie pewnego rodzaju monografię zjawisk deformacji nieciągłych głównie z terenu Górnego Śląska. Ze względu na opublikowanie omawianej metody w całości, będzie ona omówiona w niniejszym opracowaniu tylko w du-

szym skrócie, ujmującym przede wszystkim istotne cechy tej metody. Była ona budowana przede wszystkim w oparciu o bogaty materiał doświadczalny pochodzący z inwentaryzacji około 1800 deformacji nieciągłych z terenu Górnego Śląska z obszarów górniczych kopalń węgla kamiennego: Bytom, Grodziec, Dąbrowa Górnicza, Czeladź, Chrzanów, Sosnowiec, Mysłowice, Jaworzno, Łaziska, Piekary Śl. Wnioski z analizy statystycznej zinwentaryzowanych form deformacji nieciągłych były dodatkowo weryfikowane w oparciu o badania modelowe.

W wyniku badań i analizy materiałów obserwacyjnych i wniosków z badań modelowych [1] przyjęto przedstawiony poniżej model zmian w górotworze nad pustką poeksploatacyjną.

W odniesieniu do górotworu przyjęto następujące założenia:

1. Górotwór nad pustką poeksploatacyjną dzieli się na dwie strefy:
 - górotwór zwieszły,
 - nadkład złożony z utworów luźnych.
2. Górotwór zwieszły zbudowany jest ze skał jednorodnych o małej wytrzymałości na rozrywanie.
3. Ciężar objętościowy skał jest stały dla danej skały i nie zależy od wielkości ciśnienia w górotworze.
4. Współczynnik Poissona skał w przedziale głębokości do 150 m jest stały dla danego rodzaju skały.

Dla scharakteryzowania procesu deformacji wymienionego górotworu nad pustką eksploatacyjną założono, zgodnie z dotychczasowymi poglądami, że po zawale pustki tworzą się nad nią dwie zasadnicze strefy: zawału i spękań (rys. 5.1). Obydwie strefy mają kształt eliptyczny zgodny z teorią sklepienia ciśnień, jednak strefa spękań sięga znacznie poza obrys wyrobiska. Warunkiem powstania zapadliska na powierzchni terenu jest dotarcie co najmniej strefy spękań do stropu górotworu zwieszłego. Następnie wychodząc z warunku zatrzymania rozwoju zawałowego sklepienia (samopodsadzenia pustki w obszarze sklepienia), oblicza się wysokość maksymalną strefy zawału, przyjmując dla uproszczenia płaski model sklepienia ciśnień (przekrój przez pustkę i położony nad nią górotwór) (rys. 5.1). Warunek samopodsadzenia się pustki ujmuje się wzorem:

$$F_g k = F_g + F_w \quad (5.1)$$

gdzie

k - współczynnik rozluźnienia skał

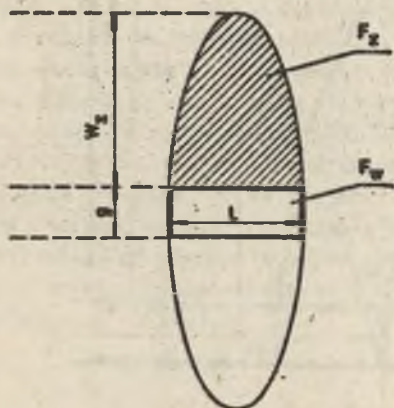
$$F_g = \frac{F_w}{k-1} \quad (5.2)$$

Powierzchnia elipsy se względu na wymiary geometryczne wyrobiska wynosi

$$F_e = \frac{g L(k+1)}{k-1} \quad (5.3)$$

Powierzchnia wyrobiska wynosi

$$F_w = L g \quad (5.4)$$



- F_z - powierzchnia strefy zawoła
- F_w - powierzchnia wyrobiska ($F_w = L \cdot g$)
- F_e - powierzchnia elipsy ($F_e = 2F_z + F_w$)

Rys. -5.1. Obrys strefy zawoła nad wyrobiskami górnictwymi

Fig. 5.1. Outline of the caving zone over mining excavations

Po dokonaniu odpowiednich obliczeń uzyskuje się wzór na maksymalną wysokość strefy zawoła (rys. 5.1) w postaci:

$$W_z = g \frac{4(k+1) - \pi(k-1)}{2\lambda(k-1)} \quad (5.5)$$

gdzie:

- W_z - maksymalna wysokość strefy zawoła,
- g - wysokość pustki pierwotnej (wyrobiska).

Wielkość W_z jest stałą wielkością dla danej partii górotwrcu (gdyż zależy tylko od k) i może wahać się w granicach od 2,25 g do 25,5 g odpowiednio dla $k=1,6$ do $k=1,05$. Może więc być nawet bardzo wysoka, co potwierdzają wyniki doświadczeń, a co odbiega dość znacznie od dotychczasowych poglądów na ten temat.

Jeżeli w rozpatrywanym przypadku (rys. 5.2) zachodzi zależność w postaci:

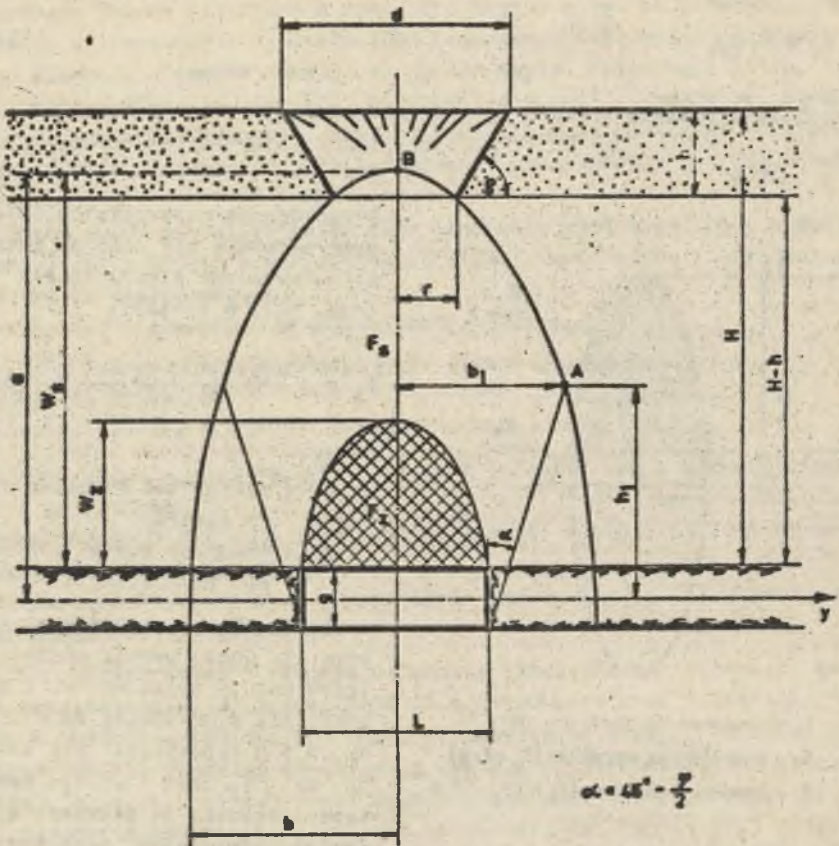
$$W_z > H - h \quad (5.6)$$

gdzie:

- H - głębokość eksploatacji (wyrobiska poeksploatacyjnego).
- h - grubość nadkładu,

to na powierzchni terenu musi wystąpić zapadlisko (deformacja nieciągła).

Wysokość strefy spękań (rys. 5.2) wyprowadzono w oparciu o założenie, że proces spękań związany jest z występowaniem w ociosach wyrobiska płaszczyn poślizgowych, w których skała podlega ścinaniu pod kątem α .



Rys. 5.2. Obrys strefy zawału i spękań nad pustką w górotworze (wyrobiskiem górniczym niepodstawionym)

Fig. 5.2. Outline of the caving and cracking region over the cavity in the rock mass (unfilled mine excavation)

W oparciu o to założenie i dalsze przekształcenia, wyprowadzono wzór na maksymalną wysokość strefy spękań w postaci:

$$W_B = \frac{1}{2} M \sqrt{\frac{(L + b \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)}} - \frac{b}{2} \quad (5.7)$$

gdzie:

- L - szerokość pustki (wyrobiska poeksploatacyjnego),
 $\alpha = 45^\circ - \varphi/2$; φ - kąt tarcia wewnętrznego,
 $M = \frac{a}{b}$; a - oś pionowa elipsy ciśnień, b - oś pozioma elipsy ciśnień.

Z wzoru tego wynika nawet bardzo znaczna wysokość strefy spękań, dochodząca do wielkości wynoszącej $W_{\text{max}} = 50$ g. Pręciennie jednak waha się w granicach 10-50 g.

Dla określenia dokładności prognozowania deformacji nieciągłych w opracowanej metodzie wprowadzono pojęcie tzw. prawdopodobieństwa powstania zapadliśk, uzależniając go od położenia powierzchni spągu nadkładu względem obszaru zawału i spękań górotworu otaczającego wyrobisko. Autorzy tej metody przyjmują że: "...prawdopodobieństwo występowania zapadliśk terenu zmienia się funkcyjnie w warunkach przenikania strefy spękań górotworu wokół wyrobiska do luźnego nadkładu: od wielkości 1 - dla przypadku przenikania wierzchołka obszaru zawału do nadkładu, do wielkości "0" - dla przypadku położenia wierzchołka obszaru spękań poza nadkładem". Wobec tego prawdopodobieństwo występowania zapadliśk na powierzchni można zdefiniować jako "... miarę wielkości powierzchni obszaru spękań górotworu nad strefą zawału przenikającą do nadkładu" [2]. W rezultacie dalszych rozważań można otrzymać odpowiednią krzywą rozkładu prawdopodobieństwa, jednak dla praktycznego stosowania autorzy metody zalecają uproszczony sposób określania prawdopodobieństwa występowania zapadliśk, przy wykorzystaniu wskaźnika Z w postaci

$$Z = \frac{H - h}{g} \quad (5.8)$$

Tak zdefiniowaną wielkość prawdopodobieństwa można zapisać w postaci

$$P = f\left(\frac{Z}{g}\right) = f(Z) \quad (5.9)$$

w obrębie strefy zawału i spękań nad wyrobiskiem górniczym. Dla praktycznych obliczeń można skorzystać z tabelicy 5.1 do obliczania prawdopodobieństwa występowania zapadliśk jako funkcji wskaźnika Z .

Tablica 5.1

Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliśka jako funkcji wskaźnika Z

Z	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	1,0 (0,999)	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69
Z	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
P	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,52	0,50	0,47	0,44	0,42	
Z	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
P	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	
Z	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
P	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,03	0	

W oparciu o wskaźnik Z dokonano klasyfikacji terenów ze względu na zagrożenia zapadliskami, dzieląc tereny zapadliskowe na 4 kategorie, w sposób następujący:

Teren kategorii A - $Z > 50$

Oznacza to, że wierzchołek strefy spękań jest położony poniżej spągu nadkładu. Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk jest równe $P = 0$.

Teren kategorii B - $30 < Z \leq 50$

Oznacza to, że bardzo wysoka strefa spękań osiąga spąg nadkładu. Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk jest małe, $0 < P \leq 0,42$.

Teren kategorii C - $10 < Z \leq 30$

Oznacza to, że strefa saważu nie osiąga spągu nadkładu, ale strefa spękań przenika do nadkładu. Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk jest duże, $10 < Z \leq 20$ to $1 > P > 0,69$ i średnie, gdy $20 < Z \leq 30$ to $0,69 > P > 0,42$.

Teren kategorii D - $0 < Z \leq 10$

Oznacza to, że strefa saważu osiąga lub przekracza spąg nadkładu. W takim terenie prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk wynosi $P = 1$ (pewność).

Podział terenu na kategorie A, B, C, D zobrazowano graficznie na rys. 5.3. Proste na rys. 5.3 dzielą płaszczyznę na cztery strefy A, B, C i D odpowiadające wyodrębnionym kategoriom terenu ze względu na prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk. Odnosząc na wykres faktyczną wielkość H , $H-h$ oraz g w przecięciu otrzymuje się punkt T, którego położenie wskazuje z jakim prawdopodobieństwem wystąpienia deformacji nieciągłych należy się liczyć. Tak np.:

$$H = 80 \text{ m}$$

$$h = 20 \text{ m}$$

$$H-h = 60 \text{ m}$$

$$g = 3,5 \text{ m}$$

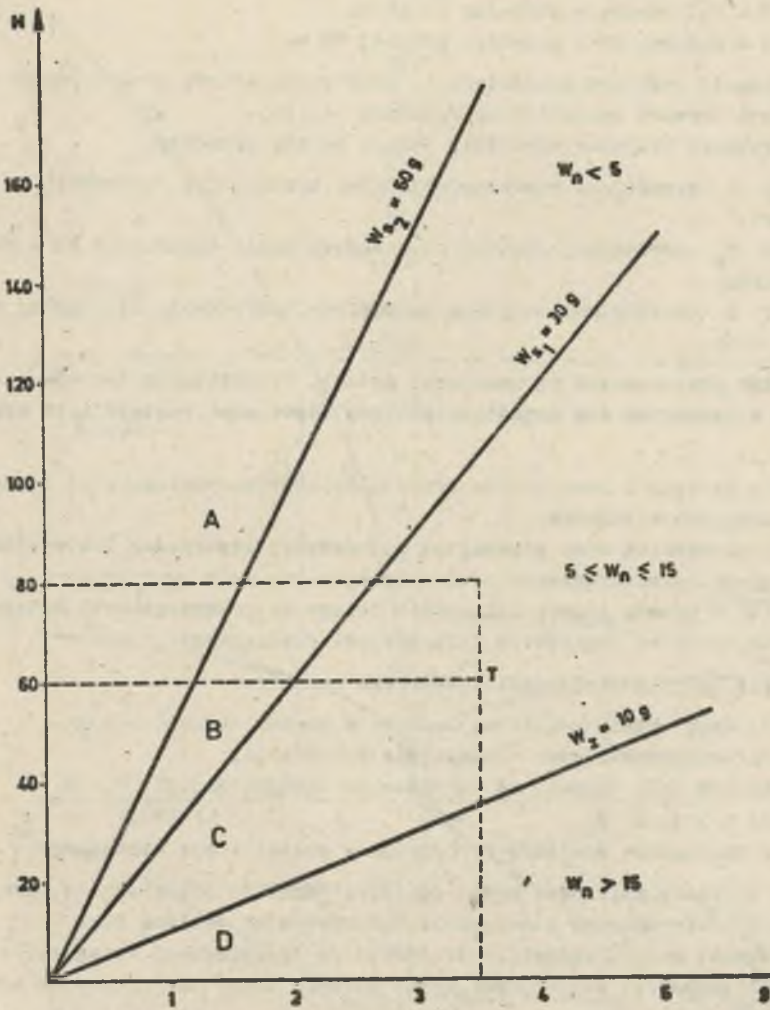
$$Z = \frac{60}{3,5} = 17,2$$

Punkt T położony jest w obrębie kategorii C, a więc prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji jest duże i wynosi $P = 0,78$.

W oparciu o dane statystyczne wprowadzono też, tzw. wskaźnik zagrożenia deformacji nieciągłych - W_n , wiążący go ze wskaźnikiem Z w sposób następujący:

$$\text{Kat. A} - W_n = 0 \text{ sap./km}^2,$$

$$\text{Kat. B} - W_n < 5 \text{ sap./km}^2,$$



Rys. 5:5. Podział terenu na kategorie A, B, C, D w zależności od liczby Z
Fig. 5.5. Division of the area into A, B, C, D categories depending on the Z number

Kat. C - $5 < W_n < 15 \text{ sap./km}^2$,

Kat. B - $W_n > 15 \text{ sap./km}^2$.

Ze względu na wielkość deformacji nieciągłych podzieleno je na 4 grupy według snormalizowanej średnicy leja d, wyznaczanej w oparciu o badania statystyczne, w sposób następujący:

- grupa 1 - deformacje o średnicy do 3 m,
- grupa 2 - deformacje o średnicy do 9 m,
- grupa 3 - deformacje o średnicy do 18 m,
- grupa 4 - deformacje o średnicy powyżej 18 m.

W rezultacie końcowym przedstawiono praktyczną metodę prognozowania i klasyfikacji terenów zapadliskowych spodaną poniżej.

Dla wykonania prognozy zapadlisk terenu należy wyznaczyć:

- wskaźnik Z wyrażający prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji na powierzchni,
- wskaźnik W_n wyrażający przewidywane sąższenie deformacji na 1 km^2 powierzchni,
- wskaźnik d określający średnicę pojedynczej deformacji nieciągłej w postaci leja.

Dla celów praktycznych wg omawianej metody, klasyfikacja terenów zagrożonych ujawnianiem się zapadlisk powinna odpowiadać następującym wymaganiom:

- oceniać przyszyby i rzeczywiste prawdopodobieństwo występowania deformacji nieciągłych w terenie,
- określać maksymalną oraz przeciętną najbardziej oczekiwaną ich wielkość oraz sąższenie deformacji nieciągłych,
- umożliwić w prosty sposób zaliczenie terenu do poszczególnych kategorii ze względu na zagrożenie deformacjami nieciągłymi.

Wg metody [2] dla realizacji powyższego należy:

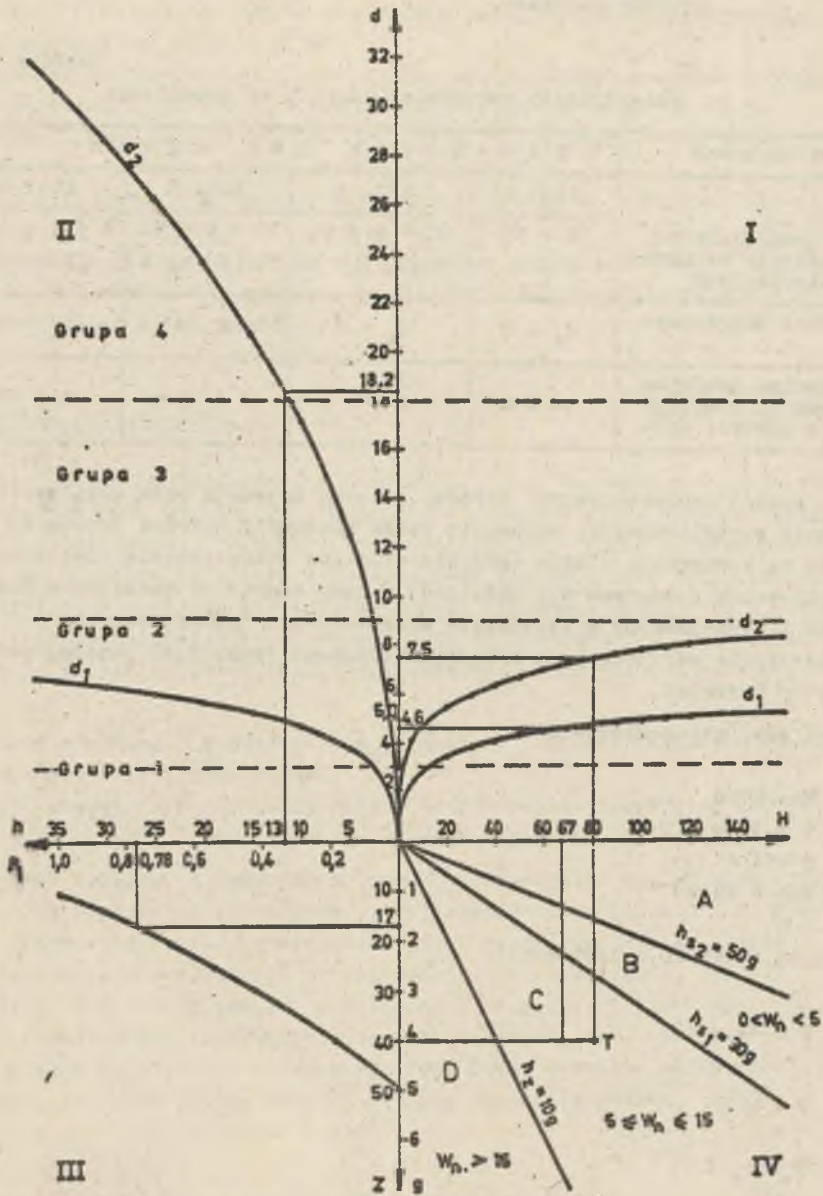
- ustalić zasięg wpływu pustki na nadkład i powierzchnię,
- ustalić prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji,
- określić czas jaki upłynął od zakończenia eksploatacji,
- wyznaczyć wskaźnik W_n ,
- obliczyć maksymalną średnicę deformacji w postaci leja stożkowego.

Znając powyższe wielkości można zaliczyć teren do odpowiedniej kategorii zagrożeń deformacjami nieciągłymi wykorzystując tablicę 5.2.

Wg omawianej metody, klasyfikacji terenu do odpowiedniej kategorii zagrożenia deformacjami nieciągłymi, można dokonać także wykorzystując nomogram (rys. 5.4).

Na rys. 5.4 poszczególne ćwiartki nomogramu przeszacowane są na:

- ćwiartka III - na podanie zależności określającej prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska
- ćwiartka IV - na przedstawienie zależności określającej kategorię terenów i sąższenie zapadlisk,
- ćwiartka I - na przedstawienie zależności określających maksymalne i przeciętne oczekiwane średnice zapadlisk ze względu na głębokość eksploatacji - występowania pustki,



Rys. 5.4. Nomogram klasyfikowania terenu do odpowiedniej kategorii ze względu na zapadliska

Fig. 5.4. Nomogram of classification of the area to a suitable category, considering sink holes

ćwiartka II - na przedstawienie zależności określających maksymalne i przeciętne oczekiwane średnice zapadłisk ze względu na grubość nadkładu.

Tablica 5.2

Klasyfikacja terenów ze względu na zapadliska

Kryterium oceny	K a t e g o r i a l u b g r u p a			
	Kat. A	Kat. B	Kat. C	Kat. D
Prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych	$Z > 50$ $P = 0$	$30 < Z \leq 50$ $0,42 > P > 0$	$10 < Z \leq 30$ $1 > P > 0,42$	$0 < Z \leq 10$ $P = 1$
Wskaźnik zagęszczenia	$W_n = 0$	$W_n < 5$	$15 > W_n > 5$	$W_n > 15$
Maksymalna średnica deformacji nieciągłych w postaci leja	$d < 3 \text{ m}$	$d \leq 9 \text{ m}$	$d \leq 18 \text{ m}$	$d > 18 \text{ m}$

Dla pełnej charakterystyki terenu, autorzy zalecają obok oznaczenia kategorii zapadliskowych, podawanie także kategorii ochrony terenu ze względu na deformacje ciągłe (głównie właściwe odkształcenia poziome).

Opracowanie nomogramu dla omówionej metody oparto na ustalonych empirycznie i wyszacowanych analitycznie zależnościach matematycznych. Dla ułatwienia korzystania z podanego nomogramu (rys. 5.4) poniżej podano konkretny przykład.

Warunki górnictwo-geologiczne:

$$\begin{aligned}
 H &= 80 \text{ m} \\
 h &= 13 \text{ m} \\
 g &= 4 \text{ m} \\
 H-h &= 67 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Otrzymane z metody zależności:

$$Z = \frac{67}{4} = 17$$

$$P = 0,5$$

$$5 < W_n < 15$$

Punkt przecięcia T znajduje się w sektorze kategorii C, w której strefa zawału nie osiąga spągu nadkładu, ale strefa spękań przenika do nadkładu.

W ćwiartce I dla głębokości $H = 30$ m odczytuje się średnicę wypadkową $d_1 = 4,6$ m i maksymalną $d_2 = 7,5$ m.

W ćwiartce II na osi h odcina się 13 m i odczytuje średnicę wypadkową $5,0$ m i maksymalną $d_2 = 18,2$ m.

Prognozowane zatem wielkości średnic dla rozpatrywanych warunków naturalnych będą wynosiły do $7,5$ m, a sporadycznie mogą dochodzić do 18 m.

W ćwiartce III na osi Z odcina się liczbę 17 i odczytuje się prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska wynoszące $0,78$ z.

W ćwiartce IV na osi g odcina się $4,0$ m a na osi H wielkość 30 m i 67 m.

Wskaźnik zagęszczenia będzie się mieścić w przedziale 5 do 15 zapadlisk w km^2 . Teren należy zaliczyć do kategorii $4C$, a prawdopodobieństwo występowania zapadlisk wynosi $0,78$.

5.2. Metoda Janusza-Jarosza

Metoda ta jest opublikowana w pracach [17, 20, 18] oraz w pracach niepublikowanych [25, 27, 28, 29]. Generalnie opiera się o wyniki obserwacji i analizę około 120 zapadlisk powstałych na terenie Olkusko-Bolesławskiego Zagłębia Rud Cynku i Ołowiu. Była też częściowo weryfikowana na obserwacjach z rejonu Rybnickiego Okręgu Węglowego [22]. Jest w swych założeniach bardzo zbliżona do metody Chudka-Olaszowskiego. Autorzy metody także dzielą górotwór nad pustką (kawerną) w górotworze na dwie warstwy:

- górotwór właściwy o miąższości g_g , złożony z warstw zwięzłych odpowiadający modelowi sprężystemu,
- nadkład złożony z warstw niezdolnych do przenoszenia naprężeń bez dużych odkształceń, a więc z warstw luźnych (syplik) lub kruchych.

Górotwór zwięzły, w masywie skalnym, charakteryzuje się znikomą wytrzymałością na naprężenia rozciągające, zbliżoną do zera ($R_T = 0$). Po zawale pustki pierwotnej (kawerny, wyrobiska górniczego), nad pustką wytwarza się strefa zawału o wysokości ograniczonej, tzw. sklepieniem ciśnień (rys. 5.5). Nad strefą zawału, w zależności od geometrycznych wymiarów pustki i właściwości fizykomechanicznych górotworu, może utworzyć się pustka wtórna o objętości niezerowej (rys. 5.5). Wysokość sklepienia ciśnień, a tym samym strefy zawału, autorzy określają wzorem:

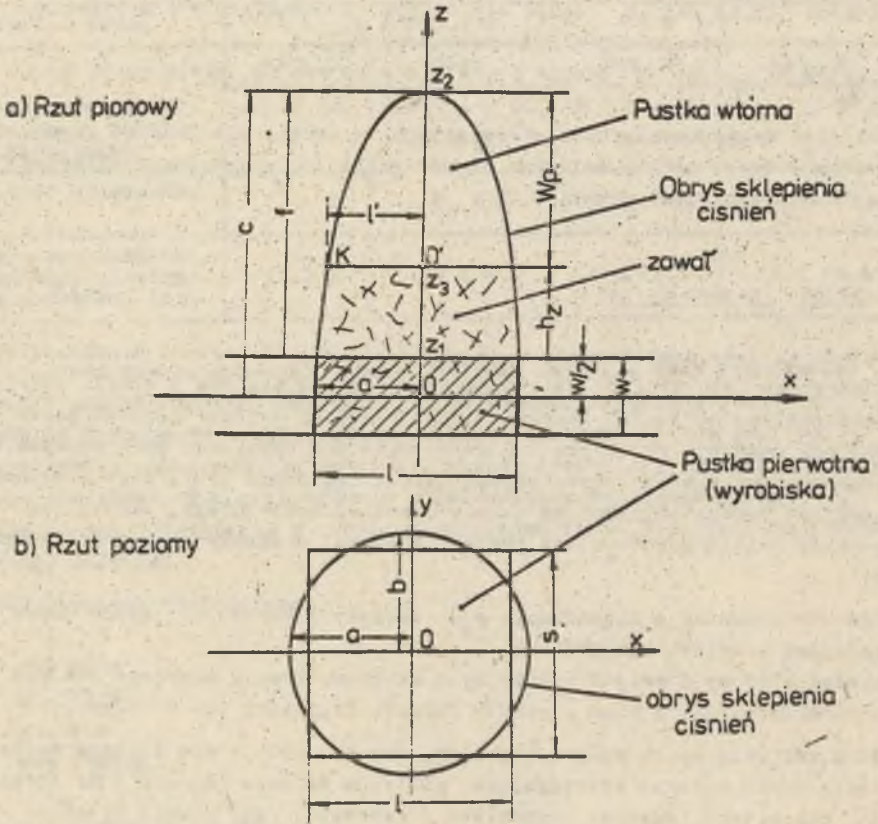
$$n = \frac{1}{2} (m - 2) \quad (5.10)$$

gdzie:

$n = \frac{c}{a}$ - proporcje sklepienia ciśnień,

a - pozioma półos sklepienia ciśnień (w przybliżeniu równa połowie szerokości wyrobiska l),

c - pionowa półoś sklepienia ciśnien,
 $m = \frac{1}{\nu}$ - odwrotność stałej Poissona.



Rys. 5.5. Model sklepienia ciśnien powstającego nad pustką pierwotną
Fig. 5.5. Model of the pressure arch created over primary cavity

Od dotarcia pustki wtórnej o objętości niezerowej do stropu górotworu właściwego (warstw zwięzłych), autorzy metody uzależniają możliwość powstania zapadliska na powierzchni terenu. Natomiast od objętości tej pustki wtórnej zależy wielkość zapadliska. Maksymalną wysokość strefy zawalu autorzy określają na podstawie momentu pełnego samopodsadzenia się pustki wtórnej, wychodząc z modelu przestrzennego.

Objętość pustki wtórnej autorzy wyznaczają na podstawie tzw. bilansu mas skalnych, wg wzoru:

$$V_p = V_w + V_s - V_s \xi \quad (5.11)$$

gdzie:

- V_p - objętość pustki wtórnej,
- V_w - objętość pustki pierwotnej (wyrobiska górniczego),
- V_s - objętość skał wewnątrz sklepienia ciśnieni (w caliznie),
- ξ - współczynnik rozluźnienia skał (po rozkruszeniu).

Ze względu na to, że sklepienie ciśnieni jest elipsoidą obrotową o półosi pionowej c i półosiach poziomych $a = b$, objętość V_s wyznacza się wzorem:

$$V_s = \int_{z_1}^{z_2} \int_0^{x=a\sqrt{1-\frac{z^2}{c^2}}} b \sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}-\frac{z^2}{c^2}} dx, dy \quad (5.12)$$

W wyniku obliczeń, przy założeniu $a = b = 1/2$, otrzymuje się wsór na objętość pustki wtórnej, w postaci:

$$V_p = l^2 w - (\xi - 1) \frac{\pi}{3a^2} \left[P(z_2) - P\left(\frac{w}{2}\right) \right] \quad (5.13)$$

gdzie:

- l - szerokość pustki pierwotnej,
- w - wysokość pustki pierwotnej,

$$a = \frac{c}{\xi} = \frac{2c}{1} \quad (5.14)$$

$$P\left(\frac{w}{2}\right) = 3c^2 \frac{w}{2} - \left(\frac{w}{2}\right)^3; \quad z_2 = c \quad \text{dla} \quad c < g_g + \frac{w}{2} \quad (5.15)$$

$$P(z_2) = 3c^2 z_2 - z_2^3; \quad z_2 = g_g + \frac{w}{2} \quad \text{dla} \quad c > g_g + \frac{w}{2} \quad (5.16)$$

g_g - miąższość górotworu właściwego (części zwięzłej górotworu).

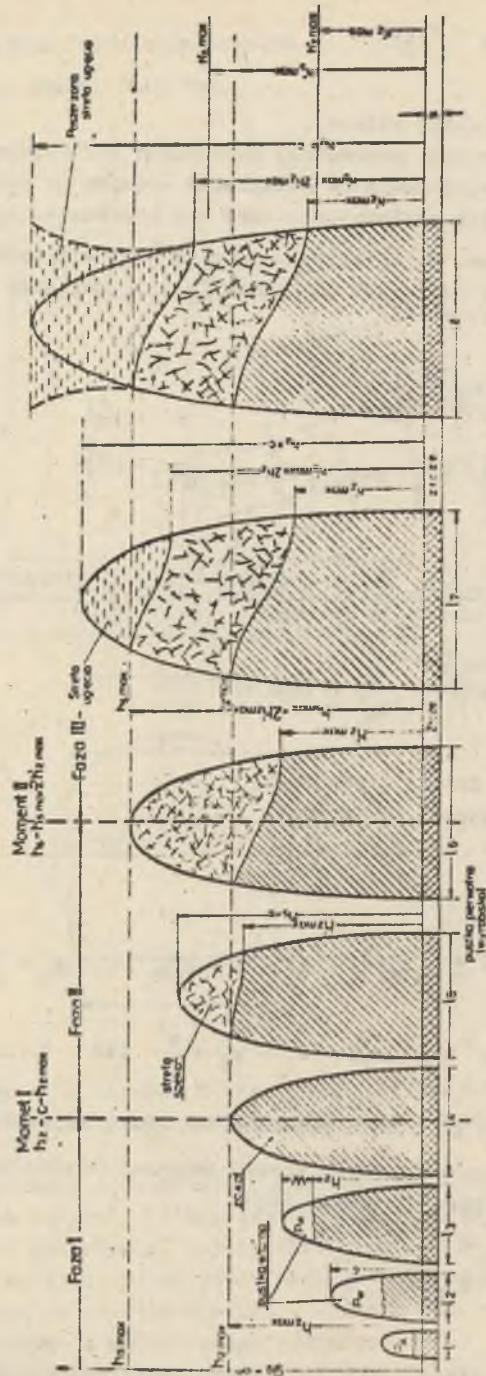
Maksymalną wysokość strefy zawału autorzy obliczają zakładając $V_p = 0$.

W wyniku rozwiązania otrzymuje się:

$$h_{zmax} = w \left[\frac{6}{\pi(\xi-1)} + \frac{1}{4} \right] \quad (5.17)$$

gdzie:

h_{zmax} - maksymalna wysokość strefy zawału (rys. 5.6).



Rys. 5.6. Przebieg zmian w górotworze nad pustką pierwotną w przypadku dużej miąższości górotworu związanego
 Fig. 5.6. Course of changes in the rock mass over primary cavity in the case of great thickness of compact
 rock mass

Jeżeli $h_{zmax} \geq \xi_g$, to na powierzchni terenu może powstać zapadlisko, gdyż pustka o objętości niezerowej (V_p) dociera do stropu warstw związanych powodując wysyp do niej warstw nadkładu, czego rezultatem jest powstanie na powierzchni terenu zapadliska (leja). Objętość tego zapadliska zależy od objętości pustki V_p .

Jeżeli $h_{zmax} < \xi_g$, to na powierzchni terenu nie może powstać zapadlisko, gdyż pustka wtórna zanim dotrze do stropu warstw związanych ulegnie całkowitemu samopodsadzeniu. Te proste reguły prognozowania komplikuje fakt, że wysokość maksymalnego zawału (h_{zmax}) nie jest stała, ale zmienia się wraz ze wzrostem szerokości zawalającej się pustki pierwotnej l , osiągając przy bardzo dużym l swoją wartość końcową równą:

$$h_{zmax} \text{ (końcowe)} = \frac{4 w}{\pi(\xi-1)} \quad (5.18)$$

Trzeba więc wyróżnić jeszcze przypadek, gdy

$$h_{zmax} \text{ (końcowe)} < \xi_g < h_{zmax} \text{ (początkowe)} \quad (5.19)$$

Dla takiego przypadku przy małym l może powstać zapadlisko, natomiast, gdy l jest duże zapadlisko nie powstaje (powstają tylko, tzw. deformacje nieciągłe typu liniowego - pęknięcia, szczeliny, progi terenowe na tle obniżenia terenu).

Według omawianej metody, z chwilą gdy nastąpi pełne samopodsadzenie się pustki wtórnej, ponad strefą zawału pojawia się strefa spękań (której uprzednio nie było (rys. 5.6)). Strefa ta leży w granicach sklepienia ciśnieni i jej wysokości odpowiada wysokość sklepienia ciśnieni (w danym momencie). Przy dużym wzroście szerokości pustki pierwotnej l strefa ta także zanika i przechodzi w strefę ugięcia. Granicę wysokości strefy spękań ustala się ze wzoru:

$$h_{smax} \approx 1,5 h_{zmax} \quad (5.20)$$

gdzie:

h_{smax} - maksymalna wysokość strefy spękań.

Wzór powyższy wynika z dodatkowego założenia (nie jest konsekwencją matematycznych rozwiązań).

W oparciu o powyższe rozumowanie sformułowano wniosek, a mianowicie:

Jeżeli

$$\xi_g > h_{zmax} \quad \text{ale} \quad \xi_g < h_{smax} \quad (5.21)$$

to na powierzchni terenu mogą powstać deformacje nieciągłe, ale tylko tzw. liniowe, tj. w formie szczelin, pęknięć i progów terenowych na tle obniże-

nia terenu (lokalnej niecki osiadania). Jest to przypadek, gdy strefa zawału nie przenika do nadkładu, natomiast strefa spękań tam przenika. Przenikanie strefy spękań do nadkładu może powodować dwa zjawiska:

- komprymację (uszczelnianie) zawału wskutek ciśnienia warstw nadkładu w miarę upływu czasu, czego wynikiem może być powolne tworzenie się na powierzchni zagłębienia terenowego,
- wynoszenie materiału skalnego z nadkładu do strefy zawału poprzez strefę spękań, co dodatkowo może powiększać (pogłębiać) powstające w terenie zagłębienie terenowe. Wynoszenie to może być szczególnie silne w przypadku zawadzonego nadkładu i w ogóle silnej infiltracji wody w głąb górotworu.

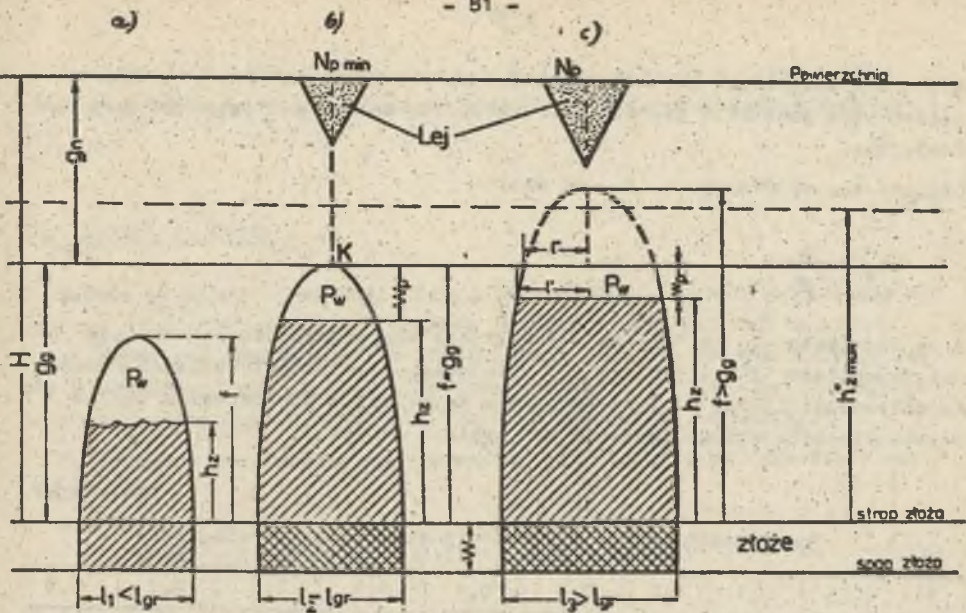
Przenikanie więc tylko strefy spękań do nadkładu, nie może wywołać na powierzchni terenu takiego samego zjawiska, jak przenikanie strefy zawału (dojście pustki do nadkładu). | Niekoniecznie jednak muszą to być deformacje nieciągłe liniowe, a najczęściej będzie to tylko lokalne obniżenie terenowe. Obniżenie to w miarę upływu czasu może się przekształcić w zapadlisko, ale będzie się to odbywać powoli i wymagać będzie jeszcze współdziałania innych czynników (np. wody). Tego typu deformacja jest mniej groźna od zapadliska powstającego nagle, gdyż jest czas na podjęcie ewentualnych działań zabezpieczających, np.: [zасыpywanie obniżenia terenowego,] wzmocnienie budynku blisko położonego itp. Rozpatrując jednak efekt końcowy (np. dla budynku) będzie on podobny do efektu wywołanego zapadliskiem powstającym nagle (głębokie obniżenie lokalne także może silnie uszkodzić budynek). Jednak nie będzie to regułą, gdyż mogą powstawać tylko bardzo płytkie obniżenia terenowe.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenie, należałoby wyróżnić dwa typy zapadlisk:

- zapadlisko typu I - powstające nagle (gdy strefa zawału przenika do nadkładu),
- zapadlisko typu II - powstające (nie zawsze) w sposób powolny (gdy tylko strefa spękań przenika do nadkładu). Zapadlisku typu II mogą towarzyszyć deformacje nieciągłe liniowe, zwłaszcza wtedy, gdy grubość nadkładu będzie mała. Nie będzie to jednak regułą, a raczej wyjątkiem.

W metodzie podkreśla się, że warunek przenikania strefy zawału lub spękań do nadkładu nie jest warunkiem wystarczającym do powstania zapadliska. Jest to tylko warunek konieczny, ale niedostateczny. Warunkiem wystarczającym jest dopiero faktyczne wytworzenie się strefy zawału i strefy spękań nad istniejącą pustką i to o określonych wysokościach. Przy małych bowiem szerokościach pustki pierwotnej, wysokość sklepienia ciśnieni jest też mała, zgodna z wzorem (5.14).

Pomimo więc dużej wysokości pustki pierwotnej w, potencjalnie zagrażającej przenikaniem maksymalnej strefy zawału do nadkładu ($g_g < h_{zmax}$) przy jej małej szerokości l, strefa zawału będzie także niska, a wytworzona pustka wtórna zostanie na stałe uwięziona w górotworze związłym (rys.5.7).



Rys. 5.7. Przebieg zmian w górotworze nad pustką pierwotną w przypadku małej miąższości górotworu związłego

Fig. 5.7. Course of changes in the rock mass over primary cavity in the case of small thickness of compact rock mass

Warunkiem wystarczającym do powstania zapadliska będzie więc zależność:

$$c \geq g_g + \frac{w}{2} \quad (5.22)$$

Tzn. wysokość faktycznie wytworzonego sklepienia ciśnień musi być co najmniej równa miąższości warstw górotworu związłego nad pustką pierwotną. Aby warunek ten był spełniony, szerokość pustki pierwotnej musi wynosić:

$$l_{gr} = (g_g + \frac{w}{2}) \frac{2}{n} \quad (5.23)$$

gdzie:

l_{gr} - graniczna szerokość pustki pierwotnej, taka, że $c = g_g + \frac{w}{2}$.

Wysokość sklepienia ciśnień zależy głównie od liczby m i szerokości pustki l . Jeżeli szerokość pustki l można określić dokładnie, to liczba m jest wyznaczona z pewnym przybliżeniem. Wartość liczby m wyznaczona dla skał górotworu cechuje się dużym rozrzutem statystycznym scharakteryzowanym jej odchyleniem standardowym. Wskutek tego wyznaczana wysokość sklepienia ciśnień $f = c - \frac{w}{2}$ także oscyluje wokół swej wartości przeciętnej. Na podstawie tych rozważań autorzy metody wyprowadzają pojęcie prawdopodobieństwa przekroczenia przez wysokość sklepienia f miąższości

górotworu związłego g_g , utożsamiając to prawdopodobieństwo z prawdopodobieństwem powstania zapadliska. Praktyczna metoda postępowania jest następująca:

Oblicza się współczynnik K_p wg wzoru:

$$K_p = \frac{1}{1_{gr}} \quad (5.24)$$

i na podstawie K_p z tablicy 5.3 wyznacza się prawdopodobieństwo powstania zapadliska $P(n)$. Tablicę 5.3 opracowano na podstawie badania rozkładu zmienności liczby ψ , na podstawie materiału empirycznego z terenu Olkusko-Bolesławskiego Zagłębia Rud cynku i ołowiu.

Tablica 5.3

Prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych

P	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
K	0,183	0,273	0,402	0,537	0,673	0,795	0,964	1,146	1,415
P	0,9	1,0							
K	1,791	5,465							

Drugim więc ważnym wskaźnikiem zagrożenia powierzchni terenu deformacjami, poza potencjalnym zagrożeniem związanym z możliwością przenikania strefy zawału i spękań do nadkładu, jest prawdopodobieństwo powstania zapadliska. Zależy ono przede wszystkim od szerokości pustki pierwotnej l . Im l jest większe, tym $P(n)$ jest większe. Dla granicznej szerokości pustki prawdopodobieństwo to wynosi około 0,6 (a nie 1, jak to wynika z teoretycznych obliczeń bez uwzględnienia zmienności stałej m).

W rezultacie końcowym, prognoza deformacji nieciągłych według omawianej metody jest dokonywana w trzech etapach:

- Etap I - prognoza potencjalnych możliwości wystąpienia zapadlisk sporządzana w oparciu o wzajemne porównanie wielkości g_g , h_{zmax} i h_{smax} .
- Etap II - określenie prawdopodobieństwa powstania zapadliska, w oparciu o szerokość pustki l i tablicę 5.3 określającą odpowiednie prawdopodobieństwo,
- Etap III - określenie wielkości deformacji (średnicy i głębokości) w oparciu o obliczenie objętości pustki wtórnej V_p , jaka dociera do stropu warstw związłych.

Uzupełnieniem omawianej metody prognozowania są metody obliczania wskaźników deformacji nieciągłych w przypadku jednoczesnego występowania pustek na różnych poziomach w górotworze oraz występowania tzw. "zespo-

łów pustek", tj. kilku pustek poprzedzielanych wąskimi filarami [28]. Autorzy metody podają także zasady klasyfikacji terenów zapadliskowych [29].

5.3. Metoda J. Fenka

Metoda prognozy deformacji nieciągłych J. Fenka została opracowana w oparciu o badania modelowe i obserwacje praktyczne. Dotyczy to jednak tylko zapadlisk powstających w górotworze luźnym nad starymi zrobami węgla brunatnego i nad chodnikami w tych zrobach [14]. W celu prognozy deformacji nieciągłych autor określa trzy zasadnicze wskaźniki:

1. Względne prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska, określone wzorem:

$$P_B = \exp - [0,08(H-15) + 0,20 M_k + 0,17 (\max MB)] \quad (5.25)$$

gdzie:

- P_B - względne prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska,
- H - głębokość zalegania stropu pustki,
- M_k - miąższość stropu bezpośredniego,
- $(\max MB)$ - miąższość najgrubszej zwięzłej warstwy w górotworze luźnym.

2. Czasokres wystąpienia zapadliska, wg wzoru:

$$t_B = 93,105 P_B^{-0,07} - 69 \quad (5.26)$$

3. Średnicę zapadliska, wg wzoru:

$$D = 4,04 \sqrt{\frac{V_B}{H}} \quad \text{dla} \quad 5,4 \text{ m} \leq \max MB \leq 18,5 \text{ m} \quad (5.27)$$

$$D = 2,95 \sqrt{\frac{V_B}{H} \left(1 + \frac{\max MB}{H}\right)} \quad \text{dla} \quad (\max MB) \leq 4,8 \text{ m} \quad (5.28)$$

gdzie:

- D - średnica zapadliska,
- V_B - pierwotna objętość zawału (pustki wypełnionej zawałem warstw nadległych).

Zależności te wyprowadzono w oparciu o badania statystyczne, oparte o materiał o ograniczonym zakresie zależności między czynnikami przyczynowymi a skutkami. (Dotyczy to prawie każdego badania statystycznego funkcji wielu zmiennych).

Na podstawie badań modelowych, autor stwierdził, że proces powstawania zapadlisk zależy od rozpiętości pustki powstającej w niekohezyjnej strefie

górotworu luźnego, od krytycznej rozpiętości zawału w warstwach kohezyjnych zalegających nad pustką oraz od stopnia zmniejszenia się objętości przemieszczającej się w górotworze pustki. Po uwzględnieniu wymienionych czynników, wyprowadza zależności fizykomechaniczne. W rezultacie otrzymuje szereg skomplikowanych wzorów trudnych do bezpośredniego zastosowania w praktyce, ze względu na konieczną znajomość dużej liczby parametrów fizycznych i geometrycznych poszczególnych warstw skalnych nad pustką. W celu ułatwienia obliczeń praktycznych opracował program na maszynie cyfrową w języku PL/1 dla maszyny serii ESER. Według metody, jeden z pierwszych testów obliczeniowych wykazał 25% odchylenie standardowe pomiędzy obliczonymi a pomierzonymi średnicami zapadlisk.

Omawiana metoda nadaje się do prognozowania zapadliska tylko w górotworze mało związłym (luźnym) i wymaga znajomości dużej liczby parametrów fizycznych i geometrycznych wszystkich warstw skalnych nad pustką, co w praktyce jest bardzo trudne do uzyskania.

5.4. Metoda Sachsa-Zakolskiego-Skinderowicza

Jako niezbędny warunek powstania zapadliska na powierzchni terenu autorzy formułują konieczność przerwania ciągłości warstw w stropie warstw związanych nad pustką. Opierając się na teorii Cymbariewicza, określają wzór na tzw. "zasięg ruchu pustki w kierunku powierzchni warstw związanych", a następnie obliczają promień okna skalnego w stropie utworów związanych (rys. 5.8) według wzoru:

$$r_p = R_p \left[\left(\ln \frac{a}{z - h_n} \right) \left(\ln \frac{a}{R_p} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.29)$$

gdzie:

- r_p - promień okna skalnego w stropie warstw związanych,
- R_p - promień pustki pierwotnej (w kształcie kuli),
- h_n - miąższość nadkładu,
- a - zasięg ruchu pustki (w pionie) wg wzoru:

$$a = \frac{2 R_p}{1 - \frac{1 + 2 \operatorname{tg} (45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{\sqrt{\mu_0 \pi}}} \quad (5.30)$$

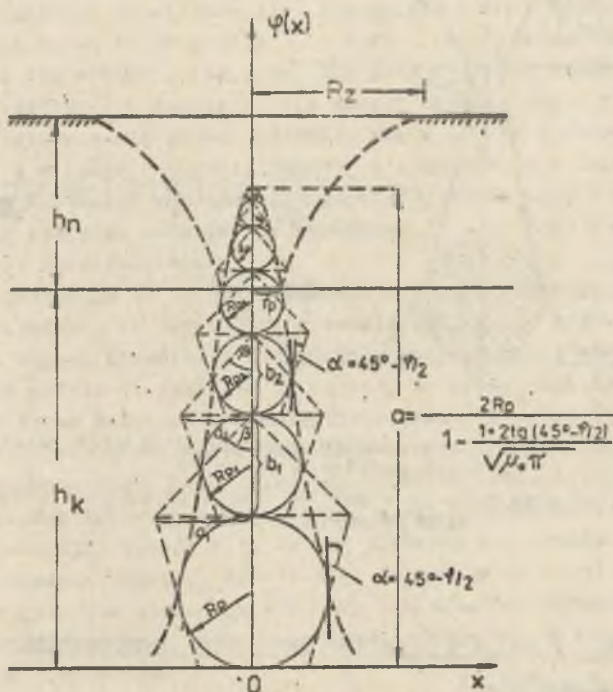
μ_0 - wskaźnik związłości skał (wyznaczany z badań sejsmicznych).

Funkcja opisująca zapadlisko w utworach związanych ma postać krzywej dszonowej (rys. 5.9), może być określona wzorem:

$$z = h_k + \frac{2c}{\gamma_0} \operatorname{ctg} \varphi \ln \left\{ \frac{x}{R_p} \left[\ln \frac{2}{1 - \frac{1,23}{\sqrt{\mu_0}}} \left(\ln \frac{2 R_p}{h_k \left(1 - \frac{1,23}{\sqrt{\mu_0}} \right)} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (5.31)$$

W rezultacie końcowym promień zapadliśka R_z , powstającego na powierzchni ziemi, określa się wzorem:

$$R_z = R_p \left\{ \left[\ln \frac{a}{z - h_n} \right] \left[\ln \frac{a}{R_p} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{2}} \exp \left(\frac{\gamma_0 c \varphi}{2c} h_n \right) \quad (5.32)$$



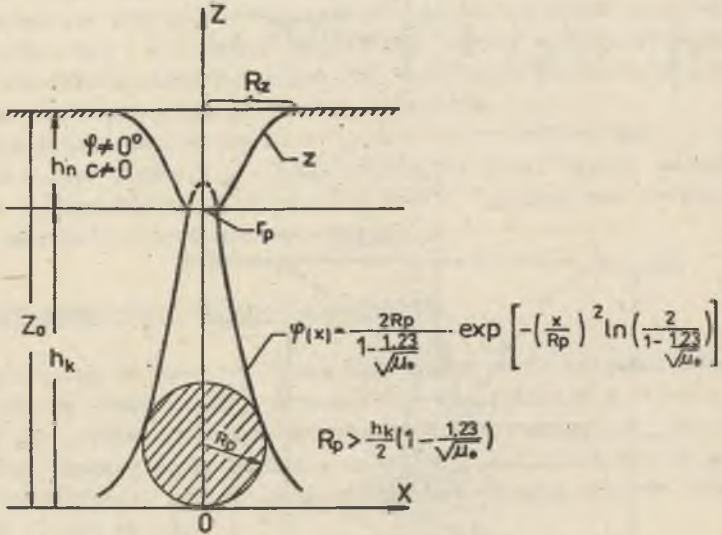
Rys. 5.8. Zasięg ruchu pustki pierwotnej w kierunku stropu skał zwęszłych
Fig. 5.8. Range of movement of primary cavity in the direction of the roof of compact rocks

W dalszej kolejności w metodzie formułuje się geofizyczne kryteria możliwości powstawania zapadliśk, dla pustek pierwotnych o różnym kształcie. Podaje się warunki niezbędne do powstania zapadliśka w oparciu o pomierzone stosunek oporów elektrycznych ρ_p / ρ_0 w górotworze nad pustką, gdzie:

gdzie:

P_p - opór pozorny (pomierzony),
 P_0 - opór porównawczy.

W ten sposób metoda prognozy zapadlisk jest powiązana z elektrooporową metodą wyznaczania pustek w górotworze.



Rys. 5.9. Kształt zapadliska w ośrodku zbudowanym ze skał zwięzłych przykrytych nadkładem spoiistym

Fig. 5.9. Shape of sink hole in a medium, built of compact rocks, covered with cohesive overlay

5.5. Ocena opisanych metod i przydatności ich do prognozowania deformacji nieciągłych

Opracowanie klasyfikacji terenu podatnego na deformacje nieciągłe wymaga przyjęcia (wyboru) odpowiedniego modelu opisującego charakter i przebieg wytwarzania się stref deformacji górotworu w otoczeniu pustki istniejącej w górotworze, szczelin uskokowych, nakładających się krawędzi eksploatacji itp.

Z uwagi na znaczną weryfikację potwierdzającą założenia metod opisanych w punkcie 5.1 i 5.2 w dalszych rozważaniach głównie one zostaną wykorzystane.

Dla uproszczenia, w dalszym tekście, model opisany w p. 5.1 nazwano modelem I, a opisany w punkcie 5.2 modelem II.

Zarówno w modelu I, jak i modelu II, cały górotwór nad pustką podzielono na dwie strefy: górotwór zwężły (zwany w modelu II górotworem właściwym) i nadkład. O możliwości powstania zapadliska decyduje przede wszystkim proces przebiegu deformacji w górotworze zwężonym, a nadkład spełnia tylko rolę podrzędną. W obydwu modelach przyjęto także, że strefa deformacji nad pustką ma kształt eliptycznego sklepienia ciśnień. Istotne różnice występują jednak w kształcie i zasięgu strefy spękań. W modelu I przyjęto, że strefa spękań towarzyszy strefie zawału i rozciąga się także wokół pustki pierwotnej (sklepienia ciśnień). Jest ona stosunkowo wysoka, gdyż może dochodzić do 50 g (50-krotnej wysokości pustki pierwotnej). W modelu II przyjęto, że strefa spękań tworzy się nad strefą zawału dopiero po pełnym samopodsadzeniu się pustki wtórnej (wynika to z teorii sklepienia ciśnień). Początkowo jest niska, ale w swej końcowej postaci może dochodzić nawet do 58 g (dla $\xi = 1,05$). Jednak w modelu II wysokość strefy spękań nie wynika z obliczeń, ale jest wynikiem założenia. W obydwu modelach maksymalny zasięg strefy zawału oblicza się dla momentu pełnego samopodsadzenia się pustki wtórnej, ale w modelu I odpowiedni wzór wyprowadza się w oparciu o model płaski, a w modelu II o model przestrzenny. Wyliczone wielkości maksymalnej wysokości strefy zawału z modelu I i II różnią się pomiędzy sobą bardzo nieznacznie, przy czym z modelu II wysokość ta jest nieco większa.

Różne są założenia co do potencjalnych możliwości wystąpienia zapadlisk. W modelu I założono, że zapadliska powstają jeżeli nie tylko strefa zawału, ale i strefa spękań przenikają do nadkładu (przekraczają strop warstw zwężłych). W modelu II przyjęto natomiast, że zapadliska (ściślej - powierzchniowe formy deformacji nieciągłych) powstają tylko wtedy, jak strefa zawału przenika do nadkładu. Natomiast przenikanie do nadkładu tylko strefy spękań spowodować może tylko powstanie deformacji nieciągłych o formach liniowych (szczeliny, pęknięcia, progi terenowe). W świetle najnowszych obserwacji, wydaje się, że ani pierwsze ani drugie rozwiązanie nie jest całkowicie słuszne. Wydaje się, że trzeba tu wyróżnić dwa typy zapadlisk, o czym już pisano na str. 82. Tak ustalone potencjalne możliwości powstawania różnych typów zapadlisk, wydają się najbardziej logiczne i zgodne z obserwacjami.

Inaczej w obydwu modelach określa się wielkość deformacji. W modelu I wielkość deformacji została ustalona w oparciu o badania statystyczne, dotyczące wpływu różnorodnych czynników na wielkość (średnicę) zapadlisk. W modelu II wielkość zapadlisk wylicza się z odpowiedniego wzoru, będącego konsekwencją przyjęcia określonego sklepienia ciśnień w postaci elipsoidy obrotowej. Wielkość deformacji zależy w tym modelu od objętości pustki docierającej do stropu warstw zwężłych, w obydwu modelach uważano za konieczne, oprócz podania wielkości zapadlisk, określenie także prawdopodobieństwa ich powstania. Jest to postępowanie na pewno słuszne, gdyż pro-

ces tworzenia się zapadłisk jest na pewno w dużej mierze procesem losowym. Tym właśnie różni się od procesu powstawania deformacji ciągłych nad polami eksploatacji górniczej.

Zupełnie jednak inaczej określa się prawdopodobieństwo w obydwu modelach, W modelu I prawdopodobieństwo powstania zapadłisk wiąże się ze wskaźnikiem $z = \frac{H-h}{g}$, czyli z wielkością przenikania strefy spękań do nadkładu.

Od wielkości przenikania strefy spękań do nadkładu zależy także wielkość (wymiary) deformacji ujawniającej się na powierzchni. W modelu II prawdopodobieństwo wystąpienia zapadłisk powiązано przede wszystkim ze zmiennością stałej Poissona w górotworze, która decyduje czy pustka lub strefa spękań będzie przenikać do nadkładu. W tym świetle pustka pierwotna nawet bardzo wysoka, zagrażająca potencjalnie powierzchni terenu zapadłiskami, jeżeli jest dostatecznie wąska, to praktycznie nie zagraża powierzchni terenu. Sklepienie ciśnień nad taką pustką jest bardzo niskie i pustka wtórna będzie uwięziona w górotworze związłym nie wywołując czasowo powyższej żadnej deformacji. Takie przyjęcie wydaje się być zgodne z obserwacjami, o czym świadczą np. stabilność nawet bardzo wysokich, ale wąskich komór solnych w kopalniach soli.

W modelu I, w oparciu o badania statystyczne, określono ważny wskaźnik dotyczący "gęstości występowania zapadłisk". W modelu II określenie takiego wskaźnika jest niemożliwe, gdyż dotyczy on w zasadzie procesu jaki zachodzi nad pojedynczą pustką. Kwestia gęstości występowania zapadłisk będzie więc zależna od gęstości występowania pustek. Generalnie model I, jako oparty głównie na badaniach statystycznych, dotyczy terenów zapadłiskowych sensu stricte. Natomiast model II dotyczy pojedynczych pustek (i zapadłisk) i prognoza na cały obszar zapadłiskowy musi być przenoszona w sposób punktowy, a dopiero wnioski z tej punktowej prognozy mogą być uogólniane na cały obszar zapadłiskowy.

Zarówno w modelu I jak II odrębnego określenia wymaga kwestia prognozy zapadłisk powstających nad wyrobiskami pionowymi (szybami, otworami), która jest rozwiązana jednakowo w obydwu modelach.

Model II jest uzupełniony rozważaniami na temat procesu powstawania zapadłisk w warunkach szczególnych, tj. gdy powierzchni jednocześnie zagrażają pustki położone na różnych głębokościach w górotworze oraz gdy występuje zespół pustek poprzedzielanych stosunkowo wąskimi filarami.

Pomiędzy omawianymi modelami zachodzi także pewna dość istotna różnica co do proporcji sklepienia ciśnień jakie tworzy się nad pustką w górotworze.

W modelu I, jak to wynika z tablicy 5.1 [2], proporcje sklepienia ciśnień przyjęto wg wzoru:

$$\frac{c}{a} = \sigma = \pi - 1$$

(5.33)

Jest to sklepienie, charakteryzujące się występowaniem jednakowych naprężeń ściskających na całej powierzchni sklepienia ($\sigma = \text{constans}$). Jest ono stosunkowo wysokie, takie jakie tworzy się w skałach luźnych, bardzo kruchych, a także w górotworze silnie spękanym (np. naruszonym już wpływami innych eksploatacji górniczych).

W modelu II zasadniczo proporcje sklepienia ciśnień przyjmuje się ze wzoru (5.10), a mianowicie:

$$\frac{c}{a} = n = \frac{1}{2} (m - 2)$$

Jest to sklepienie, na którego powierzchni wszystkie naprężenia są ściskające ($\sigma < 0$), z wyjątkiem wierzchołka sklepienia, gdzie są równe zero ($\sigma = 0$). Jest to sklepienie niższe o ok. 50% od sklepienia przyjętego w modelu I. Odpowiada ono skałom, których wytrzymałość na rozrywanie jest równa zero ($R_T = 0$). Tylko wyjątkowo, dla skał silnie spękanych lub bardzo luźnych (kruchych), w modelu II przyjmuje się sklepienie ciśnień według wzoru (5.33).

W obydwu omawianych modelach prognozę deformacji nieciągłych wykonuje się bardzo podobnie, w trzech zasadniczych etapach:

- etap I - określenie potencjalnych możliwości wystąpienia zapadlisk,
- etap II - określenie prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk,
- etap III - określenie wielkości zapadlisk (obliczenie znormalizowanej średnicy zapadliska w kształcie leja stożkowego).

W modelu I dodatkowo określa się gęstość zapadlisk.

W sposób podobny w obydwu modelach określa się kategorie zagrożeń terenów zapadliskami, jednak są tu pewne istotne dla praktyki różnice. O kwalifikacji terenów do odpowiednich kategorii decydują prawie te same kryteria: potencjalna możliwość wystąpienia zapadlisk, prawdopodobieństwo ich wystąpienia oraz ich wielkość.

W modelu I sprawa ta jednak jest prosta, gdyż z założenia - co jest konsekwencją oparcia modelu o badania statystyczne, tereny o dużych potencjalnych zagrożeniach zapadliskami są najczęściej terenami, na których prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk jest duże a same zapadliska mają dużą wielkość [2], tabl. 5.2. W zasadzie więc wartość wskaźnika Z, określająca potencjalne zagrożenie terenu deformacjami, determinuje kategorie terenu i zbędne jest określanie pozostałych czynników (prawdopodobieństwa, gęstości i rozmiarów zapadlisk). Jest to duże uproszczenie badanego zjawiska, dające wprawdzie duży współczynnik bezpieczeństwa (pewności) prognozy, ale automatycznie wykluczający wiele obszarów zapadliskowych z możliwości ich zagospodarowania jako bardzo niebezpiecznych. Stwarza to więc sytuację podobną do obecnej, kiedy to w zasadzie wszystkie tereny zapadliskowe nie mogą być zagospodarowane i tworzą nieużytki antropogeniczne.

W modelu II sprawa kwalifikacji terenów do odpowiedniej kategorii nie jest tak prosta, gdyż jak to wynika z obliczeń prognostycznych opartych o ten model, niekoniecznie i nie zawsze tereny silnie potencjalnie zagrożone zapadliskami muszą być także terenami, na których prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk jest duże i ich wielkość też jest duża. Mogą istnieć, np. przypadki, że potencjalne zagrożenie powierzchni jest duże, ale prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk jest bardzo małe i ich wielkość jest też mała (np. istnienie w górotworze nawet bardzo wysokich pustek, ale o małej szerokości). Istnieje więc pytanie, jak kwalifikować takie tereny? Czy są to tereny silnie zagrożone i nie należy ich zagospodarowywać, czy wręcz przeciwnie? W praktyce mogą wystąpić różne kombinacje wymienionych trzech wskaźników: potencjalnego zagrożenia, prawdopodobieństwa i wielkości zapadlisk. Prawdopodobnie ustalone kategorie terenów zapadliskowych muszą je uwzględniać w sposób możliwie bezpieczny a jednocześnie bez zbyt dużego współczynnika bezpieczeństwa, gdyż to wykluczałoby zagospodarowywanie tych terenów. Dlatego też w modelu II przyjęto dość skomplikowane kryteria kwalifikacji terenów o określonych zagrożeniach (prognozowanych) do odpowiedniej kategorii ochrony terenu określających zasady ich zagospodarowywania. Niemniej rozwiązanie oparte na modelu II zawiera większy procent ryzyka, trudnego zresztą do ścisłego określenia. Ryzyko to jednak wydaje się uzasadnione i można go zmniejszyć w praktyce poprzez różnego rodzaju przedsięwzięcia techniczne realizowane w trakcie zagospodarowywania tych terenów.

Poza wymienionymi uwagami, różnicą w kwalifikacji terenów zapadliskowych pomiędzy modelami I i II jest to, że model I dotyczy terenów zagrożonych płytką eksploatacją górniczą $H_{\max} = 150$ m, a model II uwzględnia także tereny zagrożone zapadliskami wskutek przyczyn niegórnictwowych (uskoki, wychodnie warstw, kras).

Podsumowując analizę wymienionych dwóch modeli procesu deformacji górotworu nad pustką w górotworze - opartych na nich zasad prognozowania deformacji nieciągnących oraz klasyfikacji terenów zapadliskowych, trzeba stwierdzić co następuje:

Model Janusza-Jarosza jest modelem dość uniwersalnym, opartym na w miarę spójnym rozwiązaniu teoretycznym (matematycznym). Jest modelem trudniejszym i bardziej pracochłonnym przy prowadzeniu obliczeń prognostycznych. Skomplikowane są także kryteria kwalifikacji terenów zapadliskowych do odpowiednich kategorii zagrożeń.

Model Chudka-Olaszowskiego jest modelem opartym głównie o badania statystyczne, a więc opiera się na stwierdzonych bardzo licznych faktach. Generalnie jednak, obydwie rozwiązania są bardzo podobne w swych najważniejszych rozwiązaniach cząstkowych. Dla dalszych prac w ramach niniejszego opracowania proponuje się więc następujące postępowanie: generalny szkielet modelu procesu deformacji górotworu nad pustką w górotworze zostaje przyjęty w oparciu o model Janusza-Jarosza z pewnymi modyfikacjami

i uzupełnieniami wynikającymi z modelu Chudka-Claszowskiego. Uwaga powyższa dotyczy także metod prognozowania deformacji nieciągłych i określania kategorii zagrożeń terenów zapadliskowych.

6. PRZYJĘTY MODEL PRZEBIEGU PROCESU DEFORMACJI I JEGO MATEMATYCZNY OPIS

6.1. Uzupełnienie charakterystyki deformacji nieciągłych

Przyjmuje się występowanie dwóch typów zapadlisk:

Zapadlisko typu I - powstające w sposób gwałtowny w bardzo krótkim czasie rzędu minut i godzin. Jest to zapadlisko bardzo groźne, grożące poważnym wypadkiem.

Zapadlisko typu II - powstające powoli w ciągu długiego okresu czasu. Rozpoczyna się ono powstaniem lokalnego obniżenia terenu (niecki osiadania) ale o małym zasięgu i zmiennej głębokości. W miarę upływu czasu obniżenie to się pogłębia i w sprzyjających okolicznościach (np. wpływ wody) może się przekształcić stopniowo nawet w zapadlisko typu I. Mogą mu towarzyszyć deformacje nieciągłe typu liniowego (szczeliny, progi terenowe) stopniowo się powiększające. Jest ono mniej groźne, gdyż powolne jego powiększanie, daje czas na podjęcie ewentualnych przeciwdziałań. Jednak w efekcie końcowym skutki takiego zapadliska, np. dla budynku, są zbliżone do skutków zapadliska typu I (jeżeli nie przeciwdziałała się powiększeniu zapadliska). Zapadlisko typu II nazywane jest także: ugięciem, deformacją lokalną lub zapadliskiem regularnym.

Prócz wymienionych zapadlisk deformacje nieciągłe mogą występować w formie deformacji typu liniowego lub osuwisk, opisanych w pierwszej części niniejszego opracowania. Deformacji tych przedstawiony model nie obejmuje.

6.2. Charakterystyka górotworu ze względu na możliwość powstawania zapadlisk

Górotwór nad pustką dzieli się na dwie zasadnicze części:

1. Górotwór zwięzły, złożony z warstw zwięzłych - sprężystych, zdolnych do przenoszenia naprężeń bez większych odkształceń, spełniający w przybliżeniu prawo Hooke'a.
2. Nadkład - złożony z warstw luźnych (sypkich), kruchych, niezdolnych do przenoszenia naprężeń bez dużych odkształceń.

W typowym górotworze w rejonach górniczych, górotwór zwięzły składa się z warstw karbońskich lub triasowych (piaskowce, łupki, dolomity, wa-

pienie), natomiast nadkład z utworów trzeciorzędu i czwartorzędu (piaski, gliny, iły, zlepieńce).

Górotwór zwieszły występujący w masywie skalnym, charakteryzuje się wytrzymałością na rozrywanie (naprężenia rozciągające) zbliżoną do zera ($R_T=0$), co wynika ze szczelinowości górotworu w masywie skalnym. Cały górotwór zwieszły traktuje się, dla uproszczenia, jako jednorodny, a o jego właściwościach decyduje charakter najgrubszej warstwy (warstw).

Najistotniejszymi parametrami górotworu zwieszłego, dla procesu deformacji nieciągłych, są:

- współczynnik rozluźnienia skał k , zdefiniowany jako stosunek objętości skał po rozkruszeniu (w zawale) - V_g , do objętości tych samych skał w całości - V_c

$$k = \frac{V_g}{V_c} \quad (6.1)$$

Jest on zawsze większy lub co najwyżej równy 1, a jego wartość przeciętna wynosi około 1,2 - 1,3; przy wahaniach od 1 do 1,5;

- stała Poissona ν i jej odwrotność $m = \frac{1}{\nu}$.

Wielkość m dla głębokości zalegania pustek do 150 m, waha się w granicach od $m = 6$ do $m = 10$, średnio około $m = 8$, w zależności od rodzaju skał;

- wytrzymałość skał na ściskanie R_c .

Istotnym parametrem warstw nadkładu, jest kąt naturalnego zsypania warstw α dla stanu suchego.

6.3. Charakterystyka pustek w górotworze

Pustki w górotworze, które mogą wywoływać na powierzchni terenu sypadliska, mogą być zarówno pochodzenia naturalnego (kras), jak i sztucznego (niepodsadzony wyrobiska górnicze). Najistotniejszymi elementami pustki są:

- wysokość pustki g ,
- szerokość pustki l (ściślej - krótszy wymiar pustki),
- objętość pustki V .

Przez pustkę rozumie się pustkę (kawernę) zupełną (prótną), a nie wypełnioną materiałem, czy to w sposób naturalny (sufozja), czy sztuczny (podsadzka). Wyróżnia się tzw. "pustkę pierwotną", tę która zapoczątkowuje proces deformacji górotworu oraz "pustkę wtórną" mogącą powstawać ponad strefą zawału w granicach sklepienia ciśnien, po zawale stropu nad pustką pierwotną. W przypadku pustki pierwotnej o dużej długości, przyjmuje

się, że zawał stropu nad pustką następuje na przestrzeni równej jej szerokości l (kwadrat $l \times l$), gdyż przekroczenie wytrzymałości skał na naprężenia i ich zawał następuje raczej punktowo a nie od razu na całej długości pustki. Dlatego mało istotna jest długość pustki pierwotnej.

6.4. Model przebiegu procesu deformacji nad pustką

Model ten opiera się na teorii tzw. sklepienia ciśnień. Wokół pustki wytwarza się strefa skał odprężonych o kształcie elipsy (rys. 5.5), (w przekroju) lub elipsoidy obrotowej (w przestrzeni). W części tej strefy położonej nad pustką, materiał skalny ulega spękanu a następnie rozkruszeniu i opada na dno pustki tworząc strefę zawału o wysokości h_z . Nad pustką pierwotną wytwarza się sklepienie ciśnień utrzymujące skały nadległe w stanie pierwotnych naprężeń. Ponad strefą zawału, w ramach sklepienia ciśnień tworzy się pustka wtórna, której dolnym ograniczeniem jest górna powierzchnia strefy zawału. Sklepienie nad pustką ma więc kształt czaszy eliptycznej o wysokości f odciętej z elipsoidy obrotowej o osi pionowej c i osiach poziomych $a=b$. Osie poziome są sobie równe i w przybliżeniu równają się połowie szerokości pustki l :

$$a = b = \frac{l}{2} \quad (6.2)$$

Stosunek osi pionowej c do osi poziomej a jest stały i wynosi:

$$\frac{c}{a} = n = \frac{2c}{l} \quad (6.3)$$

Wielkość n zależy od właściwości skał, w których tworzy się sklepienie ciśnień i określa stan naprężeń na powierzchni sklepienia.

Można wyróżnić trzy charakterystyczne sklepienia ciśnień (rys. 6.1):

1. Pierwsze charakterystyczne sklepienie wyraża się wzorem:

$$\frac{c}{a} = n = \frac{1}{2} \left[(m-2) + (m-1) \frac{R_r}{P_z} \right] \quad (6.4)$$

gdzie:

$$m = 1/\nu$$

R_r - wytrzymałość skał na rozrywanie,

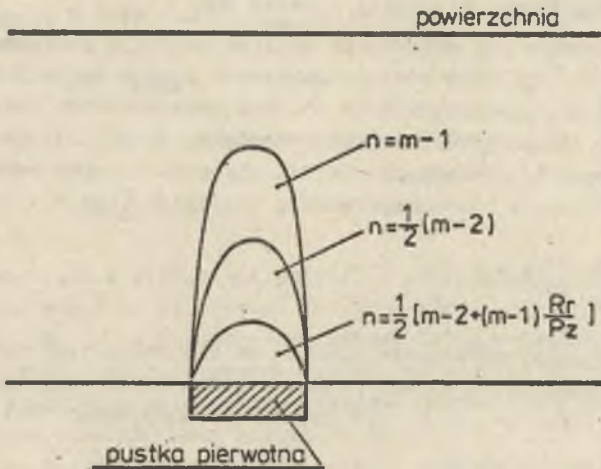
P_z - ciśnienie pionowe na wysokości stropu pustki.

Sklepienie opisane wzorem (6.4) jest. tzw. klasycznym sklepieniem ciśnień. Charakteryzuje się tym, że na jego powierzchni w każdym punkcie zachodzi zależność:

$$\sigma < R_T$$

(0.5)

Znaczy to, że w żadnym punkcie sklepienia nie jest przekroczona wytrzymałość skał na rozrywanie.



Rys. 6.1. Rodzaje tworzących się sklepień ciśnień
Fig. 6.1. Types of pressure arches being created

Takie sklepienie tworzy się w skałach zwięzłych (nie spękanych) i jak wynika ze wzoru (6.4), przy dużym R_T w stosunku do P_z , wysokość sklepienia ciśnień jest mała, sklepienie jest płaskie a nawet wklęsłe (tzn., że zamiast sklepienia może w stropie pustki występować nawet "nawis" skalny). Dla opisu zjawiska deformacji nieciągłych takie sklepienie jest nieprzydatne (przeczy obserwowanym w praktyce zjawiskom). W masywie skalnym skała jest bowiem prawie zawsze spękana i jej R_T jest zbliżone do zera.

2. Drugie charakterystyczne sklepienie (rys. 6.1) wyraża się wzorem:

$$\frac{c}{R} = n = \frac{1}{2} (m-2), \quad (6.6)$$

Powstaje ze sklepienia wyrażonego wzorem (6.4) po wstawieniu $R_T = 0$. Charakteryzuje się tym, że na całej powierzchni sklepienia, z wyjątkiem jego wierzchołka, panujące naprężenia są ściskające. Natomiast w wierzchołku sklepienia naprężenia są równe zero ($\sigma = 0$). Jest ono znacznie wyższe od sklepienia wyrażonego wzorem (6.4).

3. Trzecie charakterystyczne sklepienie (rys. 6.1) wyraża się wzorem:

$$\frac{c}{h} = n = n-1 \quad (6.7)$$

Jest to sklepienie, na którego powierzchni wszystkie naprężenia są równe: $\sigma = \text{constans}$.

Jest ono wyższe od sklepienia (6.6) o około 50%.

W praktyce tworzące się sklepienia ciśnien oscylują pomiędzy sklepieniem (6.6) i (6.7). Dla skał w miarę zwięzłych i mało spękanych są to sklepienia zbliżone do sklepienia (6.6). Dla skał bardziej luźnych i mocno spękanych (np. naruszonych wpływami eksploatacji górniczej), są to sklepienia zbliżone do sklepienia (6.7). Dla przeciętnych warunków tworzenia się zapadłisk, w niniejszym modelu przyjmuje się:

$$n_{kr} = \frac{(6.6) + (6.7)}{2} = \frac{3}{4} n - 1 \quad (6.8)$$

Tak przyjęte proporcje sklepienia ciśnien (a tym samym jego wysokość - f) dają pewien współczynnik bezpieczeństwa, a jednocześnie nie są przyjęciem zbyt przesadnym (tzn. zwiększającym przesadnie możliwości tworzenia się zapadłisk).

Jak wynika z wzoru (6.3), w miarę wzrostu szerokości pustki l wysokość sklepienia ciśnien wzrasta. Wzrasta też wysokość strefy zawału h_z (rys. 5.6) a objętość pustki wtórnej stosunkowo maleje (w stosunku do pustki pierwotnej istniejącej w danej chwili). Przy pewnej szerokości pustki l_x i dostatecznie dużej miąższości górotworu zwięzłego h. następuje samopodsadzanie się pustki wtórnej ($V_p = 0$). Jest to wynikiem zwiększenia się objętości skał w zawałe zgodnie ze współczynnikiem ich rozluźnienia k. W tym momencie wysokość strefy zawału osiąga maksimum (rys. 5.6)

$$h_g = h_{zmax} \quad (6.9)$$

Wielkość h_{zmax} ma charakter stałej (parametru) dla danego górotworu scharakteryzowanego współczynnikiem k.

Jeżeli szerokość pustki dalej wzrasta (ponad l_x), to wysokość sklepienia ciśnien nadal rośnie zgodnie ze wzorem (6.3). Nie może jednak już wzrastać wysokość strefy zawału (zawał nie może nadal przesunąć się ku powierzchni), gdyż brak już jest pustki wtórnej. Skały wewnątrz sklepienia ciśnien wprawdzie nadal pękają, ale nie mogą się przemieszczać. Tak więc ponad strefą zawału pojawia się nowa strefa, której uprzednio nie było, strefa spękani o wysokości h_g (rys. 5.6). Dalsze poszerzanie szerokości pustki l powoduje dalszy wzrost wysokości sklepienia ciśnien wg wzoru (6.3) i równoczesny wzrost wysokości strefy spękani. Wzrost wysokości

strefy spękań musi być jednak ograniczony. Tak więc, przy pewnej szerokości pustki l_{xx} , skały w pobliżu wierzchołka sklepienia ciśnień przestają pękać a jedynie zmienia się ich stan naprężeń, powodując co najwyżej ich ugięcie. Moment ten odpowiada osiągnięciu przez strefę spękań maksymalnej wysokości (rys. 5.6):

$$h_s = h_{smax} \quad (6.10)$$

Wielkość h_{smax} , podobnie jak h_{zmax} , ma charakter stałego parametru dla danego górotworu.

Liczbowe określenie h_{smax} jest trudne, gdyż trudno tu jest znaleźć jakieś zależności, które pozwoliłyby na określenie h_{smax} . Dlatego założono, w przybliżeniu, zgodnie z obserwacjami terenowymi, że:

$$h_{smax} = 1,5 h_{zmax} \quad (6.11)$$

Dalsze zwiększanie szerokości pustki l (ponad l_{xx}) (rys. 5.6) powoduje powstanie ponad strefą spękań trzeciej strefy - strefy ugięcia o wysokości h_u . Strefa ta powstaje początkowo tylko wewnątrz sklepienia ciśnień, a w miarę jej zwiększania (dalszy wzrost l) prawdopodobnie obejmuje też górotwór poza sklepieniem ciśnień. Wysokość strefy ugięcia nie ma górnego ograniczenia (może sięgać do nieskończoności - tzn. poprzez cały dowolnie gruby górotwór). Dojście strefy ugięcia do powierzchni terenu, powoduje na niej formowanie się niecki osiadań (deformacji nieciągłych).

6.5. Determinanty wystąpienia zapadłisk na powierzchni terenu

Aby w ogóle można było mówić o możliwości wystąpienia na powierzchni terenu deformacji nieciągłych typu powierzchniowego (zapadłisk), w górotworze musi istnieć faktyczna pustka (nie wypełniona niczym kawerna) i musi ulec ona gwałtownemu zawałowi z wytworzeniem sklepienia ciśnień. Pustki, które ulegają powolnemu zaciskaniu (np. w górotworze plastycznym - solnym) nie grożą powierzchni terenu zapadłiskami. Uwaga powyższa nie dotyczy deformacji nieciągłych typu liniowego (pęknięć, szczelin i progów terenowych), które mogą powstawać nawet przy zupełnym braku pustki w górotworze (np. nad nieciągłościami warstw - uskokami).

Możliwość wystąpienia lub niewystąpienia zapadłiska na powierzchni terenu zależna jest od wzajemnego stosunku pomiędzy wielkościami h , h_{zmax} i h_{smax} (h = miąższość górotworu związłego). Warunkiem koniecznym na to, aby na powierzchni wystąpiło zapadłisko typu I, jest zaistnienie warunku:

$$h < h_{zmax} \quad (6.12)$$

Tylko wtedy bowiem pustka wtórna o objętości niezerowej dociera do stropu warstw swięzłych lub przenika do nadkładu. W stropie warstw swięzłych otwiera się okno skalne, do którego wspanują się warstwy nadkładu, czego rezultatem końcowym jest powstanie na powierzchni terenu zapadliska typu I (gwałtownie powstającego) (rys. 5.7). Jeżeli natomiast $h > h_{zmax}$, na powierzchni terenu nie może powstać zapadlisko typu I.

Warunek (6.12) nie jest jednak warunkiem wystarczającym do powstania zapadliska, dlatego nazwany jest warunkiem potencjalnych możliwości powstania zapadliska. Jest on związany głównie z wysokością pustki pierwotnej g i właściwościami górotworu nad pustką (poprzez k).

Warunkiem wystarczającym do powstania zapadliska typu I jest dodatkowo warunek;

$$c \geq h + \frac{g}{2} \quad (6.13)$$

Tzn. pustka pierwotna musi być na tyle szeroka, aby co najmniej wierzchołek wytworzonego nad pustką sklepienia ciśnienia dotknął lub przekroczył strop warstw swięzłych (rys. 5.7).

Szerokość pustki, przy której to zjawisko występuje, oznaczono l_{gr} i nazwano graniczną szerokością pustki.

Graniczna szerokość pustki wyraża się wzorem:

$$l_{gr} = \frac{2}{n} \left(h + \frac{g}{2} \right) \quad (6.14)$$

Jeżeli $c < h + \frac{g}{2}$ (tzn. pustka nie jest dostatecznie szeroka), to wytworzona pustka wtórna zostaje uwięziona na stałe w strefie górotworu swięzłego, nie powodując żadnych zmian w górotworze nad sklepieniem ciśnienia a tym samym nie powoduje żadnych zmian w stropie górotworu swięzłego, a także na powierzchni terenu. Brak jest tam jakichkolwiek deformacji (ciąglych i nieciąglych). Warunkiem koniecznym na to, aby na powierzchni terenu mogło powstać zapadlisko typu II (wolno kształtujące się), jest:

$$h_{zmax} < h \quad \text{oraz} \quad h_{smax} > h \quad (6.15)$$

Znaczy to, że strefa zawału nie może przenikać do nadkładu, natomiast do nadkładu musi przenikać strefa spękań. Przeniknięcie strefy spękań do nadkładu uruchamia dwa zjawiska:

- komprymacje zawału pod wpływem nacisku spękannej skały w strefie spękań oraz nacisku warstw nadkładu na strefę spękań,
- proces wynoszenia (sufozji) materiału nadkładu, poprzez szczeliny strefy spękań do zawału.

Wynikiem obydwu zjawisk jest powolne lokalne obniżanie się powierzchni terenu nad pustką i powstanie bądź niecki osiadań, bądź zapadliska typu II.

Jeżeli do procesu tego dołączy się dodatkowy czynnik, jakim, np. może być infiltracja dużej ilości wody w głąb górotworu, to zapadlisko typu II może się przekształcić w końcowej fazie do końcowej formy zapadliska typu I. Podobnie jak poprzednio, warunek (6,15) nie jest warunkiem dostatecznym do rzeczywistego wystąpienia na powierzchni terenu zapadliska typu II, a określa jedynie potencjalną możliwość wystąpienia tego zapadliska. Może bowiem zaistnieć sytuacja, gdy strefa spękań, podobnie jak pustka wtórna, w całości zostanie uwieczniona na stałe w strefie górotworu związanego. Sytuacja ta może mieć miejsce, gdy miąższość górotworu związanego jest dostatecznie duża, a szerokość pustki l stosunkowo mała, gdyż wtedy może być spełniona zależność:

$$c \leq h + \frac{g}{2}$$

i wierzchołek sklepienia ciśnien nie dochodzi do stropu warstw gwieżdżych (rys. 5.7).

Należy zauważyć, że na proces tworzenia się zapadlisk typu II, znaczny wpływ ma grubość nadkładu h_n , a w zasadzie stosunek grubości nadkładu do wysokości przenikania strefy spękań w nadkładzie.

Na podstawie danych statystycznych z opracowania Chudka-Olaszowskiego, można przyjąć następujące orientacyjne reguły (obowiązujące, gdy $h_{smax} > h$):

- jeżeli

$$H - h_{smax} > 30 \text{ m,}$$

to na powierzchni terenu będą powstawać tylko lokalne łagodne obniżenia terenu o charakterze niecek osiadań, które należy raczej zakwalifikować do deformacji ciągłych,

- jeżeli

$$30 \text{ m} \geq H - h_{smax} > 10 \text{ m,}$$

to na powierzchni powstaje zapadlisko typu II, nie mające tendencji do przekształcania się w zapadlisko typu I,

- jeżeli

$$H - h_{smax} < 10 \text{ m,}$$

to powstaje zapadlisko typu II przekształcające się w zapadlisko typu I.

$H = h + h_n$ - całkowita głębokość zalegania stropu pustki pierwotnej (od powierzchni terenu).

Z przedstawionych rozważań wynika jasno, że samo określenie wysokości pustki pierwotnej g nie wystarcza do jednoznacznego określenia zagroże-

nia powierzchni terenu zapadliskami. Pozwala ono jedynie na podanie potencjalnych zagrożeń zapadliskami. Do jednoznacznej prognozy zagrożenia powierzchni zapadliskami potrzebna jest także znajomość szerokości pustki 1. W praktyce wyznaczenie szerokości pustki jest trudne, a często wręcz niemożliwe. Dlatego też często zakłada się, że pustka ta jest bardzo szeroka taka, że wytworzone sklepienie ciśnień na pewno dochodzi do stropu warstw swięsłych. Przy tym założeniu determinantami koniecznymi i wystarczającymi do powstania zapadliska są:

$$h < h_{smax} \text{ - powstaje zapadlisko typu I,}$$

$$h > h_{smax} \text{ oraz } h < h_{smax} \text{ - powstaje zapadlisko typu II.}$$

Daje to wprawdzie, tsw. współczynnik bezpieczeństwa prognozy, ale chyba zbyt wysoki. W rezultacie zwiększa się poważnie ilość terenów zakwalifikowanych do terenów o wysokim zagrożeniu, co może nie mieć potwierdzenia w praktyce. Chcąc realnie ocenić zagrożenia terenu zapadliskami trzeba koniecznie znać (lub ocenić) poziome wymiary pustki (w zasadzie szerokość 1) i poprzez wykonanie drugiej części prognozy (prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk), dokonać pełnej prognozy. Natomiast warunki określone wzorami (6.12) i (6.15), jeżeli są spełnione, mogą wykluczyć całkowicie możliwość powstania zapadlisk i wtedy dalsze obliczenia prognostyczne stają się zbędne.

Uzupełnieniem modelu przebiegu procesu deformacji nad pustką w górotworze jest sposób obliczania prawdopodobieństwa powstania zapadliska. Opiera się on na następującym rozumowaniu: Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego ujawniają się na powierzchni terenu w momencie, gdy pustka wtórna dociera do stropu górotworu właściwego. Moment ten odpowiada osiągnięciu przez pustkę pierwotną szerokości granicznej l_{gr} . Szerokość ta zależy od wielkości n , czyli od kształtu sklepienia ciśnień. Z kolei n zależy od właściwości fizykomechanicznych skał górotworu swięsłego, a swłaszcza od liczby $m = 1/\varphi$. Stała φ wyznaczona na podstawie badań laboratoryjnych charakteryzuje się dużą zmiennością określoną jej odchyleniem standardowym $\delta\varphi$. Na podstawie badań przeprowadzonych w warunkach geologicznych Olkusko-Bolesławskiego Zagłębia Rud Zn i Pb, odchylenie to wahało się w granicach 40-90% wielkości wyznaczonej. Poza tym stwierdzono, że rozkład zmienności liczby φ jest rozkładem niesymetrycznym, którego funkcja gęstości prawdopodobieństwa może być aproksymowana funkcją:

$$f(x) = k_1 \cdot x \cdot e^{-k_2 x^2} \quad (6.16)$$

a dystrybuanta funkcją:

$$f(x) = \frac{k_1}{2k_2} (1 - e^{-k_2 x^2}) \quad (6.17)$$

przy czym

$$x \sim [0; 0,5]$$

Srednie wielkości współczynników k_1 i k_2 wynosiły:

$$k_1 = 171,2 \quad k_2 = 85,6 \quad (6.18)$$

Wskutek znacznej zmienności liczby ψ , obliczone wzorami teoretycznymi wysokości sklepień ciśnień f , są także zmienne i odcylują wokół swych wartości przeciętnych wyliczonych wzorami:

$$f = c - \frac{g}{2} \quad \text{oraz} \quad c = a n \quad (6.19)$$

W celu obliczenia prawdopodobieństwa przekroczenia przez wysokość sklepienia ciśnień f , miąższości górotworu swiężłego h , przy danej konkretnej szerokości pustki pierwotnej l , należy posłużyć się wzorem:

$$l_p = K_p \cdot l_{gr} \quad (6.20)$$

gdzie:

- l_p - szerokość pustki pierwotnej odpowiadająca szanemu prawdopodobieństwu powstania deformacji na powierzchni terenu (prawdopodobieństwo, że dla danego l zachodzi: $f > h$),
- l_{gr} - graniczna szerokość pustki pierwotnej, wzór (6.14),
- K_p - współczynnik wyznaczony wzorem:

$$K_p = \frac{l_p}{l_{gr}} = \frac{\psi_p (1 - 2 \psi_{gr})}{\psi_{gr} (1 - 2 \psi_p)} \quad (6.21)$$

- ψ_{gr} - średnia arytmetyczna wartość liczby Poissona (z całego zbioru danych),
- ψ_p - wartość liczby Poissona odczytana z wykresu dystrybuanty jej rozkładu.

Dla ułatwienia obliczeń, wartości K_p i odpowiadające im prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska można ująć w sposób podany w tablicy 5.3.

6.6. Matematyczny opis modelu

Objętość pustki wtórnej można wyrazić wsorem:

$$V_p = V_w + V_s - V_n \quad k = V_w - (k-1)V_n \tag{6.22}$$

- V_p - objętość pustki wtórnej,
- V_w - objętość pustki pierwotnej,
- V_n - objętość skał wewnątrz sklepienia ciśnieni (w caliznie),
- k - współczynnik rozluźnienia skał.

Ponieważ, według założeń, sklepienie ciśnieni jest odcinkiem elipsoidy obrotowej o osi pionowej c i osiach poziomych $a = b = \frac{1}{2}$ i o wysokości $f = s_2 - s_1$ (s - współrzędna wzdłuż osi pionowej przyjętego układu odniesienia), więc:

$$s_2 = x = a \sqrt{1 - \frac{s^2}{c^2}}$$

$$V_n = \int_{s_1}^{s_2} \int_0^b b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{s^2}{c^2}} dx dy \tag{6.23}$$

W wyniku rozwiązywania tej całki, przy uwzględnieniu wsoru (6.22) oraz zależności:

$$a = b = \frac{1}{2}, \quad c = a n \quad i \quad V_w = l^2 \cdot g$$

otrzymuje się wzór na objętość pustki wtórnej, w postaci:

$$V_p = l^2 g - (k-1) \frac{\pi}{3 n^2} [P(s_2) - P(\frac{h}{2})] \tag{6.24}$$

gdzie:

$$P(\frac{h}{2}) = 3 c^2 \frac{h}{2} - (\frac{h}{2})^3 \tag{6.25}$$

$$P(s_2) = 3 c^2 s_2 - s_2^3 \tag{6.26}$$

Za s_2 należy przyjmować (rys. 5.6)

$$s_2 = c \quad \text{dla okresu, gdy } c < h + \frac{h}{2} \tag{6.27}$$

$$s_2 = h + \frac{h}{2} \quad \text{dla okresu, gdy } c > h + \frac{h}{2}$$

Obliczenie wielkości h_{zmax} dokonuje się poprzez przyrównanie objętości pustki wtórnej V_p do zera i przyjęciu $z_2 = c$, wtedy bowiem następuje pełne samopodsadzenie pustki wtórnej i wysokość zawału osiąga wielkość największą.

$$V_p = 0 \quad \text{oraz} \quad z_2 = c$$

Wstawiając w równanie (6.24) - $V_p = 0$, po przekształceniu równania i odrzuceniu wyrazów nieznaczących, otrzymuje się:

$$h_{zmax} = g \left(\frac{6}{\pi(k-1)} + \frac{1}{4} \right) \quad (6.28)$$

Należy zauważyć, że jeżeli zawałowi ulega pustka pierwotna o takiej szerokości l , że tworzące się sklepienie ciśnień przenika do nadkładu, to maksymalna wysokość strefy zawału ulega zmianie (zmniejsza się). Wniosek ten wynika z przyrównania wzoru (6.24) do zera, ale przy założeniu, że $z_2 > c$, wówczas pustka wtórna, która ujawnia się w stropie górotworu związłego, nie ma już kształtu odcinka elipsoidy, ale kształt pasa elipsoidy (rys. 5.7 faza c). Po przyrównaniu równania (6.24) do zera, odrzuceniu wyrazów mało znaczących, dla $l \rightarrow \infty$, otrzymuje się:

$$h'_{zmax} = \frac{4g}{\pi(k-1)} \quad (6.29)$$

Jest to jak gdyby końcowa wysokość maksymalnej strefy zawału, którą zawał osiąga przy bardzo dużym l , np. nad polem eksploatacji. Wysokość strefy zawału podana wzorem (6.29) jest bardzo zbliżona do podawanej dotychczas w literaturze technicznej, np. nad polami eksploatacji górniczej [2]. Z porównania wzorów (6.28) i (6.29) wynika, że końcowa wysokość maksymalnej strefy zawału jest o około 50% niższa aniżeli początkowa wysokość maksymalnej strefy zawału. Jest to bardzo ciekawy wniosek, pociągający za sobą znaczne konsekwencje praktyczne. Należy zauważyć, że nie jest on wynikiem jakichś dodatkowych założeń teoretycznych, lecz konsekwencją bilansu mas skalnych przed i po zawałe. Zgodnie z tym wnioskiem, zawał pustki stosunkowo wąskiej (jeżeli nastąpi) jest groźniejszy aniżeli pustki dostatecznie szerokiej. Jeżeli, np. miąższość górotworu związłego spełnia nierówność:

$$h'_{zmax} \text{ końcowe} < h < h_{zmax} \text{ początkowe}$$

to przy małej szerokości pustki mogą powstawać na powierzchni zapadliska typu I, a przy większej szerokości zapadliska typu II. Właśnie tym można wytłumaczyć obserwowane w praktyce zjawisko, że nad polem eksploatacji nie występują zapadliska, natomiast często występują nad chodnikami w ta-

kim polu, pomimo tego, że miąższość eksploatowanej warstwy (na sawał) jest równa wysokości posostawionego chodnika. Dla eksploatacji z wymuszonym sawałem stropu, jaka np. ma miejsce na terenie Olkuszko-Boleżańskie-go Zagłębia Rud Zn i Pb, w pewnych warunkach geologicznych, lepiej jest dokonywać sawału pustki (pola) poeksploatacyjnej o większej powierzchni, aniżeli o mniejszej. W pierwszym przypadku mogą nie wystąpić zapadliska a tylko ugięcie terenu (niecka osiadań lub zapadlisko typu II) a w drugim powstaną zapadliska typu I.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, należy stwierdzić, że sprawa warunków determinujących powstanie zapadliska nieco się komplikuje. Trzeba bowiem wyróżnić nie dwa, ale trzy następujące przypadki:

1. $h < h_{\text{zmax}} \text{ końcowe}$

Wtedy na pewno (dla każdego $l > l_x$) może powstać zapadlisko typu I, lub nie powstaną żadne deformacje, jeżeli dodatkowo nie jest spełniony warunek $c < h + \frac{h}{2}$ (czyli $l < l_x$)

2. $h_{\text{zmax}} \text{ końcowe} < h < h_{\text{zmax}} \text{ początkowe}$

Sytuacja wtedy może się kształtować różnie:

- gdy $l < l_x$ (tzn. $c < h + \frac{h}{2}$), to nie będzie żadnych deformacji, gdyż pustka wtórna zostanie uwięziona w strefie górotworu związłego,
- gdy $l > l_x$, ale l bliskie l_x , to powstanie zapadlisko typu I,
- gdy $l \gg l_x$, to powstaje zapadlisko typu II.

3. $h > h_{\text{zmax}} \text{ początkowe}$ oraz $h < h_{\text{zmax}}$

może powstać tylko zapadlisko typu II o ile $l > l_x$.

Dla uproszczenia prognozy, przy zachowaniu pewnego współczynnika bezpieczeństwa, można przyjąć jedynie jedną (większą) wysokość maksymalną sawału, tzn. $h_{\text{zmax}} \text{ początkowe}$. Wtedy przypadek "2" nie będzie miał miejsca (zostanie zaliczony do przypadku "1"). Tak właśnie proponuje się przyjmując w niniejszym opracowaniu dla celów prognostycznych obliczeń deformacji nieciągłych.

Obliczenie wielkości (wymiarów) zapadliska

Wielkość zapadliska typu I jest zależna od objętości pustki wtórnej V_p (wzór 6.24) jaka dociera do stropu warstw związłych. Zakładając, że wysyp warstw nadkładu do pustki wtórnej odbywa się praktycznie bez powiększania objętości ($k_D \approx 1$), otrzymuje się:

$$V_p \approx V_z \quad (6.30)$$

gdzie:

V_z - objętość zapadliska,

V_p - objętość pustki wtórnej ujawniającej się w stropie górotworu związłego (wzór 6.24).

Najczęstszą formą zapadliska będzie lej stożkowy o promieniu R i głębokości W_1 . Do formy tej, dla uproszczenia, sprowadza się wszystkie zapadliska. Promień leja R wyznacza się ze wzoru:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 V_p}{T \operatorname{tg} \alpha}} \quad (6.31)$$

α - kąt naturalnego zsypu warstw nadkładu w stanie suchym. Głębokość leja W_1 wyznacza się ze wzoru:

$$W_1 = R \operatorname{tg} \alpha \quad (6.32)$$

W ten sposób otrzymuje się najważniejszy dla praktyki parametr zapadliska typu I, jakim jest jego wymiar poziomy, przedstawiany znormalizowaną wielkością średnicy $S = 2 R$ zapadliska w kształcie leja stożkowego.

Sprawa obliczenia wymiarów zapadliska komplikuje się w przypadku zapadlisk typu II, gdyż nie można tu wyprowadzić prostego wzoru na jego wielkość (brak pustki w stropie warstw związanych). Wielkość takiego zapadliska (jego głębokość i zasięg) będą przede wszystkim zależały od wysokości przenikania strefy spękań do nadkładu, ale także od tego czy mamy do czynienia tylko z komprymacją warstw w sawale, czy też dodatkowo z sufosją materiału skalnego. Dlatego bardzo trudno jest tu o jakieś uogólnienia. Należy jednak sądzić, że powierzchnia takiego zapadliska będzie zbliżona do powierzchni zawalającej się pustki pierwotnej, zwłaszcza gdy grubość nadkładu jest mała. Przy dużej grubości nadkładu i małym zasięgu strefy spękań w nadkładzie, zapadlisko to będzie zbliżone do niecki osiadań (lokalne obniżenie terenowe). Dla bardzo orientacyjnego określenia rzędu wielkości wymiarów takiego zapadliska można posłużyć się następującymi zależnościami:

- maksymalna głębokość zapadliska typu II wyrazi się wzorem:

$$W_{\max} \approx g(2-k)C \quad (6.33)$$

gdzie:

g - wysokość pustki pierwotnej,

k - współczynnik rozluźnienia skał górotworu związanego,

C - stała zależna od wielkości przenikania strefy spękań do nadkładu, obliczana według poniższych reguł:

- $C \approx 1$ dla $H - h_{\max} < 10$ m (powstaje zapadlisko typu II mające tendencje do przekształcenia się w zapadlisko typu I

- $C \approx 0,5$ dla $10 \text{ m} < H - h_{\max} < 30$ m (powstaje zapadlisko typu II)

- $C \approx 0,1$ dla $H-h_{\text{smax}} > 30$ m (powstaje niekiedy osiadań - deformacja ciągła).

- średnicę zapadliska wyznacza się następująco:

- dla $C = 1$ $S \approx 1 + g \operatorname{tg} \alpha$
- dla $C = 0,5$ $S \approx 21 + g \operatorname{tg} \alpha$
- dla $C = 0,1$ $S \approx 41$

Należy jednak jeszcze raz podkreślić, że są to wzory podające rząd wielkości zapadliska typu II.

6.7. Szczególne przypadki przebiegu procesu deformacji

Przypadki te obejmują:

- tworzenie się zapadlisk w przypadku jednoczesnego oddziaływania (istnienia) pustek na różnych poziomach w górotworze,
- istnienia zespołu pustek poprzedzielanych stosunkowo cienkimi filarami,
- zagrożenie powierzchni ze strony starych szybów i otworów pionowych.

6.7.1. Istnienie pustek na kilku poziomach w górotworze

W sytuacji, gdy dwie pustki, jedna o wysokości g_1 i druga o wysokości g_2 , zalegają w pionie nad sobą odpowiednio na poziomach H_1 i H_2 , zawał pustki dolnej może mieć wpływ na pustkę położoną wyżej, a tym samym może zwiększyć możliwość powstania na powierzchni terenu zapadliska (rys. 6.2). W przybliżeniu, zagadnienie powyższe można sprowadzić do oddziaływania tylko jednej pustki położonej na poziomie wyższym (H_1), ale o wysokości g_1 poprawionej (zwiększonej) o przyrost wysokości spowodowany oddziaływaniem pustki na poziomie niższym (H_2).

Przyjmuje się, że zmniejszenie wysokości pustki położonej na poziomie niższym w jej wędrowce ku powierzchni, a zatem i ku górnemu poziomowi H_1 , następuje według przybliżonego wzoru:

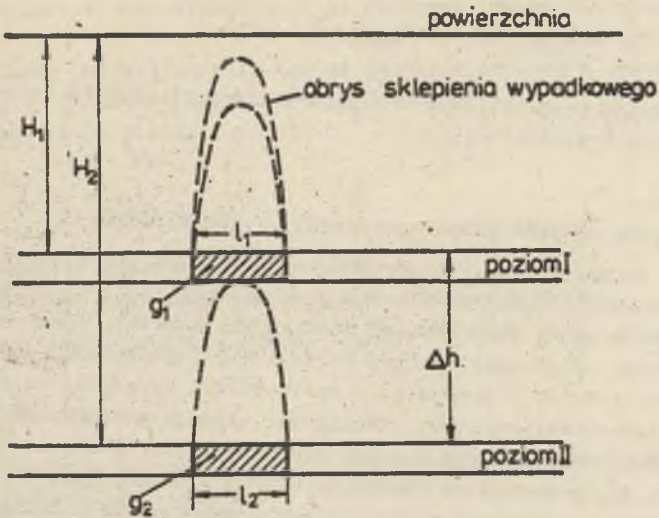
$$g'_2 = g_2 \left(1 - \frac{\Delta h}{h_{\text{smax}}} \right) \quad (6.34)$$

gdzie:

- g'_2 - wysokość pustki wtórnej będąca wynikiem wędrowki pustki pierwotnej na poziomie niższym (H_2),
- g_2 - wysokość pustki pierwotnej na poziomie H_2 ,

$$\Delta h = H_2 - H_1.$$

h_{smax} - wysokość maksymalnej strefy zawału odpowiadająca części górotworu pomiędzy poziomami H_1 i H_2 .



Rys. 6.2. Położenie pustek na dwóch poziomach w górotworze
 Fig. 6.2. Location of cavities at two levels in the rock mass

Ostatecznie więc wysokość pustki pierwotnej g_1 na poziomie H_1 , poprawiona z tytułu oddziaływania pustki na poziomie H_2 , wyniesie:

$$g'_1 = g_1 + g'_2 \quad (6.35)$$

czyli

$$g'_1 = g_1 + g_2 \left(1 - \frac{\Delta h}{h_{zmax}}\right)$$

Wzór powyższy obowiązuje oczywiście dla $\Delta h < h_{zmax}$. Jeżeli natomiast $\Delta h > h_{zmax}$, to zaważ pustki położonej niżej nie ma wpływu na wysokość i objętość pustki pierwotnej na poziomie wyższym. Może on mieć natomiast wpływ na stabilność pustki na poziomie wyższym i tym samym prawdopodobieństwo jej zaważenia, a więc i prawdopodobieństwo powstania na powierzchni terenu zapadliska, jeżeli zachodzą zależności:

$$\Delta h > h_{zmax} \quad \text{ale} \quad \Delta h < h_{smax}$$

Jeżeli ma miejsce powyżej opisany przypadek, to proponuje się powiększenie wysokości maksymalnej strefy spękań nad pustką na poziomie wyższym o wielkość $h_{smax} - \Delta h$ wynikającą z wpływu pustki na poziomie niższym, co wynika z zależności:

$$h'_{smax}(H_1) = h_{smax}(H_1) + h_{smax}(H_2) - \Delta h \quad (6.36)$$

Dalsze obliczenia prognostyczne wykonuje się jak dla pustek położonych na jednym poziomie (rozdział 6).

6.7.2. Istnienie zespołu pustek poprzedzielanych filarami

Jeżeli na jakimś poziomie w górotworze istnieje kilka pustek poprzedzielanych stosunkowo wąskimi filarami (pasami calizny), to określenie zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi z tytułu oddziaływania tych pustek może przebiegać inaczej aniżeli dla pojedynczych pustek (tzw. pustek odosobnionych). W przypadku zespołu pustek wskaźniki zagrożenia powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi ulegają zmianie. Zwiększa się silnie prawdopodobieństwo wystąpienia zapadłisk, natomiast nieznacznie zmniejsza się potencjalna możliwość wystąpienia deformacji. W celu ustalenia, czy badane pustki należy traktować jako odosobnione, czy jako zespół pustek, można posłużyć się wzorami podanymi przez Protodiakonowa [4]. Według Protodiakonowa, dla dwu pustek powstaje wtedy wspólne sklepienie ciśnień, jeżeli szerokość filara s pomiędzy pustkami jest mniejsza lub równa wielkości C_{min} podanej wzorem:

$$C_{min} = 0,65 \sqrt{\frac{A H \gamma_0}{P}} \quad (6.37)$$

gdzie:

A - wielkość obliczona wzorem:

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{l_1}{2} + \frac{l_2}{2} \right) \quad (6.38)$$

l_1 i l_2 - szerokości pustek,

H - głębokość zalegania pustek (od powierzchni terenu),

γ_0 - ciężar objętościowy skał nad pustką,

P - stała Protodiakonowa.

Jeżeli

$$s > C_{min},$$

to dwie pustki należy traktować jako pustki odosobnione, nad którymi wytwarzają się niezależne sklepienia ciśnień i prognoza zagrożenia powierzchni terenu wskutek ich zawału przebiega normalnie (rozdział 6).

Jeżeli natomiast

$$s < C_{min},$$

to pustki należy potraktować jako zespół pustek, nad którymi wytwarza się wspólne sklepienie cieni. W tym przypadku, prognozowanie zagrożenia powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi, ulega następującym korektom:

Dwie lub więcej pustki zamienia się na pustkę wypadkową o zmiennej szerokości l_w i zmiennej wysokości ϵ_w .

Wypadkowa szerokość pustki wynosi:

$$l_w = \sum (l_i + s_i) \quad (6.39)$$

l_i - szerokość poszczególnych pustek,

s_i - szerokość poszczególnych filarów pomiędzy pustkami.

Natomiast wypadkowa wysokość pustki wynosi:

$$\epsilon_w = \epsilon_{\text{śr}} K_1 \quad (6.40)$$

$\epsilon_{\text{śr}}$ - średnia wysokość obliczona na podstawie faktycznych wysokości poszczególnych pustek,

K_1 - współczynnik gęstości eksploatacji obliczony wzorem:

$$K_1 = k(M-1) + 1 \quad (6.41)$$

M - stosunek powierzchni pustek do łącznej powierzchni całej powierzchni (filarów) i pustek,

k - współczynnik rozluźnienia skał budujących filary pomiędzy pustkami (zwykle taki sam jak dla górotworu świeżego nad pustkami).

Obliczenia prognostyczne prowadzi się wzorami jak dla pustek odosobnionych, przyjmując jedynie poprawione wielkości l i g wzorami (6.39) - (6.41). Należy zauważyć, że w przypadku zespołu pustek bardzo silnie wzrasta prawdopodobieństwo powstania sapadliśk, gdyż sklepienie cieni jest bardzo wysokie (co wynika z dużej wielkości l).

Zespoły pustek zwykle utrzymują się w stanie stabilnym przez długi okres czasu nie powodując żadnych deformacji na powierzchni terenu. Z chwilą jednak przekroczenia wytrzymałości filaru (filarów) pomiędzy pustkami zawalają się gwałtownie, a skutki zawalu sięgają wysoko. Dlatego bardzo ważną jest ocena, czy stwierdzone w górotworze pustki można traktować jako pustki odosobnione czy jako zespoły pustek. Często przekroczenie wytrzymałości filarów pomiędzy pustkami jest wynikiem wpływów poniżej prowadzonych eksploatacji górniczych, nawet wtedy gdy do spągu pustki dociera tylko strefa ugięcia warstw nad prowadzoną eksploatacją górniczą.

6.7.3. Zagrożenia ze strony starych zlikwidowanych szybów i szybików

Potencjalne zagrożenie powierzchni terenu wskutek aktywizacji starych zlikwidowanych wyrobisk szybowych ma miejsce zawsze wtedy, gdy w samym szybie lub bezpośrednio jego pobliżu istnieją pustki, do których może przedrzeć się materiał wypełniający rurę szybową. Przemieszczenie się materiału wypełniającego szyb jest bezpośrednim powodem powstania na powierzchni terenu deformacji - najczęściej w postaci zapadliska (leja). Do najważniejszych czynników rzutujących na zagrożenie powierzchni przez dany szyb należą:

- rozmiary i przeznaczenie szybu,
- sposób i rodzaj jego obudowy oraz obecny stan obudowy,
- własności fizykomechaniczne skał górotworu w jakim głębiejony był szyb,
- czas jaki upłynął od chwili wykonania i likwidacji szybu,
- sposób likwidacji szybu.

Wymienione czynniki zostały wnikliwie przeanalizowane w opracowaniu [27]. Dlatego tutaj ograniczono się jedynie do podania najważniejszych wskaźników deformacji, jakie mogą powstać na powierzchni terenu w przypadku aktywizacji takiego szybu. W najgorszym przypadku (gdy w szybie istnieje pustka o dużej objętości) na powierzchni, bezpośrednio nad wlotem szybu może powstać zapadlisko (lej) o średnicy:

$$S_{\max} = 2R = 2(h_p \operatorname{tg} \alpha + r) \quad (6.42)$$

gdzie:

- S_{\max} - maksymalna średnica zapadliska w kształcie leja,
- h_p - miąższość nadkładu,
- α - kąt naturalnego zrywania warstw nadkładu w stanie suchym,
- r - faktyczny (stwierdzony) promień szybu.

Zapadlisko to może mieć kształt leja stożkowego pełnego lub leja stożkowego z otworem cylindrycznym, nawet o bardzo znacznej głębokości (zależnej od objętości faktycznej pustki w szybie). Powstaje ono zwykle gwałtownie, a więc ma charakter zapadliska typu I.

Najmniejsze wymiary (średnica) zapadliska, jakie może powstać nad wlotem szybu, wynosi:

$$S_{\min} = 2r, \quad (6.43)$$

czyli odpowiada faktycznej średnicy szybu.

Dla bezpieczeństwa, zagrożenie powierzchni przez stary zlikwidowany szyb należy określać wielkością S_{\max} wg wzoru (6.42).

7. PROGNOZA DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH WEDŁUG PRZYJĘTEGO MODELU PRZEBIEGU DEFORMACJI NAD PUSTKĄ

Prognoza dotyczy zagrożenia powierzchni terenu tylko deformacjami typu powierzchniowego, tzn. zapadliskami, powstającymi w wyniku zawału pustek (kawern) dowolnego pochodzenia (naturalnych i sztucznych). Nie obejmuje ona natomiast deformacji nieciągłych typu lisowego mogących powstawać np. nad uskokami tektonicznymi, wychodniami warstw geologicznych czy nad tzw. skarpami eksploatacyjnymi. Dotyczy ona deformacji mogących występować w wyniku oddziaływania pojedynczej pustki lub tzw. zespołu pustek, czyli dwu lub więcej pustek położonych blisko siebie. Nie dotyczy natomiast prognozy dla całego obszaru zapadliskowego, jaka potrzebna jest np. dla określenia kategorii zagrożeń zapadliskami tego obszaru (w tym celu prognozę punktową trzeba uogólniać na cały obszar zapadliskowy).

Właściwą prognozę poprzedza wyznaczenie (określenie) odpowiednich parametrów potrzebnych do obliczeń prognostycznych. Należą do nich: lokalizacja pustki w górotworze względem powierzchni i stropu warstw zwięzłych, wymiary pustki i niektóre parametry fizykomechaniczne skał górotworu nad pustką. Nie zawsze istnieje możliwość dokładnego wyznaczenia wszystkich wymienionych parametrów, a więc także nie zawsze możliwe jest wykonanie pełnej prognozy lub dostatecznie pewnej prognozy (gdy niektóre parametry przyjmuje się tylko szacunkowo). Niemniej należy podkreślić, że dokładność i pewność prognozy zależy głównie od dokładności i pewności wyznaczenia parametrów zwłaszcza dotyczących wymiarów pustki.

Biorąc pod uwagę, że:

- proces deformacji nieciągłych jest zjawiskiem w dużej mierze losowym,
- nie jest on jeszcze dobrze poznany,
- w rozwiązaniach teoretycznych konieczne jest stosowanie wielu uproszczeń i uogólnień,
- istnieją trudności w dostatecznie pewnym wyznaczeniu parametrów potrzebnych do prognostycznych obliczeń,

prognozowanie deformacji nieciągłych zawiera w sobie pewien większy stopień niepewności, np. w stosunku do prognozy dla terenów podlegających deformacjom ciągłym w oparciu wyłącznie o prognozę deformacji ciągłych. Ryzyko związane z tym można i należy zmniejszyć poprzez różnego rodzaju przedsięwzięcia górnicze, budowlane, techniczne i planistyczne (projektowe), prowadzone już w trakcie inwestowania na terenach zapadliskowych. Tak więc prognoza deformacji nieciągłych powinna być tylko jednym z pod-

stawowych elementów podejmowania decyzji co do zagospodarowania danego terenu zapadliskowego.

7.1. Wyznaczenie (określenie) parametrów potrzebnych do prognozy

7.1.1. Określenie lokalizacji i wymiarów pustki

Przes lokalizację pustki rozumie się określenie:

- położenia jej na płaszczyźnie, czyli miejsca w terenie, pod którym znajduje się pustka (współrzędne x i y na mapie topograficznej),
- głębokości jej zalegania w stosunku do powierzchni terenu H i stropu warstw swięższych w górotworze h ,
- rodzaju skał górotworu nad pustką (górotworu swięższego i nadkładu).

Jeżeli badana pustka powstała sztucznie (wzrobisko górnictwa), to określenie wymienionych parametrów powinno nastąpić w oparciu o materiały kartograficzne (o ile istnieją) znajdujące się w archiwach Działów Mierniczo-Geologicznych kopalń, na których obszarze dana pustka występuje (mapy pokładowe, przekroje geologiczne, dane z otworów geologicznych lub górnictwa). Jeżeli materiały takie nie istnieją lub pustka ma charakter naturalny (kawerna krasowa), to w celu lokalizacji trzeba zastosować metody pośrednie, np. geofizyczne lub górnictwa (wiercenie kontrolne). Z wierceń kontrolnych uzyskuje się możliwe pewne dane co do rodzaju skał nad pustką, co może być trudne przy określaniu lokalizacji pustki metodami geofizycznymi. Wtedy o rodzaju górotworu należy wnioskować w oparciu o dane geologiczne badanego obszaru (np. dane z najbliższych otworów geologicznych).

Do najważniejszych wymiarów pustki należą:

- wysokość pustki g ,
- szerokość pustki (krótszy wymiar) - l ,
- określenie czy pustka jest pustką pojedynczą (odosobnioną) czy jest to zespół pustek, czyli kilka obok siebie występujących pustek poprzedzielanych wąskimi filarami.

W ostatnim przypadku potrzebne jest także określenie ilości tych pustek i szerokości filarów pomiędzy pustkami - s . Jeżeli są to pustki poeksploatacyjne i istnieją odpowiednie mapy, to określenie wymienionych parametrów sprowadza się do odczytania z map odpowiednich wielkości. W przypadku braku map, sytuacja się komplikuje i zwykle szerokość pustki l a także stwierdzenie czy jest to pustka odosobniona czy zespół pustek, nie dadzą się dokładnie określić. Wyjaśnienie tej sprawy należy wtedy opierać albo na odpowiednich badaniach geofizycznych, albo na wnioskowaniu pośrednim (przez domniemanie) na podstawie danych dotyczących eksploatacji górnictwa, która te pustki wytworzyła (system eksploatacji, przypuszczalna szerokość chodników, zabierek itp.). Z badań geofizycznych

zwykle otrzymuje się orientacyjną objętość pustki. Utożsamiając pustkę tak wykrytą do kuli o objętości wyznaczanej, za wysokość i szerokość pustki należy przyjmować średnicę tej kuli. Wysokość pustki g można także określić (dokładnie) za pomocą wiercenia kontrolnego z powierzchni terenu. Teoretycznie wymiary pustki można określić za pomocą sondowania; sondą ultradźwiękową lub akustyczną spuszczoną do pustki przez otwór wiertniczy. Jest to jednak w sumie nieopłacalne i trudne do przeprowadzenia i może być stosowane tylko w szczególnie ważnych przypadkach (jeżeli już odwierci się otwór wiertniczy, to lepiej, bezpieczniej jest po prostu pustkę zlikwidować przez jej podsadzenie).

W zakończeniu powyższych rozważań, należy podkreślić, że jeśli w ogóle może być przeprowadzona prognoza deformacji nieciągłych, to przynajmniej wysokość pustki g musi być stosunkowo dokładnie wyznaczona (umożliwi to wykonanie przynajmniej I części prognozy). Brak wielkości g wyklucza w zasadzie możliwość przeprowadzenia jakiegokolwiek prognozy.

Ważne jest także wyznaczenie szerokości l , gdyż umożliwia to wykonanie II i III części prognozy (wielkość deformacji i prawdopodobieństwo jej powstania). Bez znajomości wielkości l (choćby w przybliżeniu), niemożliwe jest wykonanie II i III części prognozy (prognoza staje się niepełna).

7.1.2. Wyznaczenie (określenie) parametrów fizykomechanicznych górotworu

Dla prognozy deformacji nieciągłych najważniejszymi parametrami dotyczącymi fizykomechanicznych własności górotworu są:

- współczynnik rozluźnienia skał k (dla górotworu świeżego),
- stała Poissona ν i jej odwrotność $m = \frac{1}{\nu}$,
- kąt naturalnego zrypu warstw nadkładu α .

Dodatkowo, gdy mamy do czynienia z tzw. zespołem pustek, potrzebne jeszcze są:

- wytrzymałość na ściskanie skał górotworu właściwego R_c ,
- ciężar objętościowy skał nad pustką γ_c .

Wszystkie wymienione parametry należy w zasadzie wyznaczać zgodnie z zasadami przyjętymi w mechanice górotworu. Należy jednak podać tu następujące uwagi:

1. Dla prognozy deformacji nieciągłych ważna jest znajomość wymienionych parametrów, ale "in situ" a nie w oparciu o badania laboratoryjne małych próbek skał, gdyż jak wiadomo z doświadczeń, parametry wyznaczone obydwu wymienionymi metodami różnią się znacznie pomiędzy sobą.
2. Wyznaczane parametry charakteryzują się dużym rozrzutem statystycznym, dlatego też przyjmowanie ich w oparciu o badania jednej czy kilku próbek skał. może nawet bardzo znacznie odbiegać od rzeczywistości. W celu ich możliwie dokładnego wyznaczenia należałoby przebadać co najmniej kilkadziesiąt próbek skał.

Biorąc pod uwagę wymienione powyżej stwierdzenia, w większości przypadków, lepiej jest potrzebne parametry przyjmować w oparciu o dane literaturowe, gdyż kryją się w nich doświadczenia wykonane na tysiącach próbek. Dobrze by było, aby dane te dotyczyły konkretnego rejonu badań, np. pochodziły z okolicznych kopalń. Jedynym wyjątkiem może tu być współczynnik rozluźnienia skał k , co do którego brak jest jeszcze w literaturze odpowiedniej ilości danych (był dotychczas mało potrzebny). Ponieważ jest to bardzo ważny parametr dla prognozowania deformacji nieciągliwych, należałoby podjąć działania w celu zebrania odpowiedniej ilości danych co do jego kształtowania się dla różnych skał (lub lepiej - dla różnych przeciętnych górotworów). Powinien on być również wyznaczony metodą "in situ". Można tu wykorzystać udostępniające i przygotowawcze roboty górnicze, np. drążenie chodników i przekopów. Objętość urobku z jakiegoś odpowiednio długiego odcinka chodnika w stosunku do objętości skał w caliznie na tymże odcinku, pozwala na stosunkowo dokładne wyznaczenie współczynnika k .

Reasumując, określenia parametrów fizykomechanicznych górotworu dla potrzeb prognozy deformacji nieciągliwych należy dokonywać następująco:

1. Parametr k należy wyznaczać metodą "in situ", według wzoru:

$$k = \frac{V_u}{V_c}$$

V_u - objętość urobku, V_c objętość calizny na wybranym odcinku przekopu (chodnika),

V_u można uzyskać na podstawie ilości wózków urobku i ich objętości,

V_c na podstawie przekroju poprzecznego przekopu i długości badanego odcinka przekopu.

W przypadku braku możliwości wyznaczenia k , a także braku danych na temat jego wielkości w badanym rejonie, należy przyjąć:

$$k = 1,25$$

2. Parametr $m = \frac{1}{3}$ należy przyjmować w granicach $m = 10 - 8$, według poniższych zasad:

- $m = 10$ dla skał zwięzłych (piaskowce, łupki piaszczyste, dolomity),
- $m = 8$ dla skał miękkich (łupek miękki, łupek, piaskowiec miękki, wapienie).

O przyjęciu liczby m decyduje przewaga określonych warstw w górotworze zwięzłym. (Uwaga: są to nieznacznie zawyżone wielkości m dla użycia współczynnika bezpieczeństwa).

3. Kąt naturalnego zsypania warstw nadkładu należy przyjmować jak dla piasku suchego

$$\alpha = 32^{\circ}$$

4. Parametry R_c i γ_0 należy określać w oparciu o dane literaturowe na podstawie rodzaju warstw górotworu nad pustką (dane z przekroju geologicznego lub otworu wiertniczego).

7.2. Prognoza właściwa

Po wyznaczeniu parametrów potrzebnych do prognozy, prognoza właściwa odbywa się w trzech zasadniczych etapach:

Etap I - określenie potencjalnych możliwości wystąpienia zapadlisk, do wykonania której potrzebne są parametry: g , k , h i H .

Etap II - określenie prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk, do którego potrzebne są dodatkowo parametry: m i l .

Etap III - określenie wielkości deformacji, dla której potrzebna jest znajomość dodatkowo parametru α .

7.2.1. Określenie potencjalnych możliwości wystąpienia deformacji

Najpierw oblicza się wielkości pomocnicze wg wzorów:

$$h_{zmax} = g \left(\frac{6}{3(k-1)} + \frac{1}{4} \right)$$

oraz

$$h_{smax} = 1,5 h_{zmax}$$

Jeżeli z braku danych przyjęto $k = 1,25$, wielkości te wynoszą:

$$h_{zmax} = 7,89 g \approx 8 g$$

oraz

$$h_{smax} = 11,885 g \approx 12 g$$

Następnie porównuje się obliczone wielkości h_{zmax} i h_{smax} z wyznaczonymi uprzednio wielkościami h i H , według następujących reguł:

1. Jeżeli

$$h > h_{smax}$$

to na powierzchni terenu nie mogą wystąpić żadne deformacje nieciągłe. W tym przypadku dalsze obliczenia prognostyczne są zbędne, gdyż teren nie jest zagrożony deformacjami nieciągłymi z tytułu występowania pustek w górotworze.

2. Jeżeli

$$h_{\text{gmax}} < h < h_{\text{smax}}$$

to na powierzchni terenu mogą wystąpić deformacje nieciągłe w postaci zapadlisk typu II (powolnie się kształtujących), przy czym:

a) jeżeli

$$H - h_{\text{gmax}} < 10 \text{ m,}$$

to może powstać zapadlisko typu II mające tendencję, w miarę upływu czasu, do przekształcenia się w końcową formę zapadliska typu I,

b) jeżeli

$$10 \text{ m} < H - h_{\text{gmax}} < 30 \text{ m,}$$

to może powstać zapadlisko typu II nie mające tendencji do przekształcania się w zapadlisko typu I, ale mogą mu towarzyszyć liniowe formy deformacji nieciągłych w postaci pęknięć, szczelin i progów terenowych,

c) jeżeli

$$H - h_{\text{gmax}} > 30 \text{ m,}$$

to na powierzchni terenu może powstać tylko lokalne obniżenie o charakterze płaskiej i mało rozległej niecki osiadań (forma przejściowa od deformacji ciągłych do nieciągłych).

3. Jeżeli

$$h < h_{\text{gmax}}$$

to na powierzchni terenu może powstać wyłącznie zapadlisko typu I (gwałtownie tworzące się).

Na tym kończy się pierwszy etap prognozy ujmujący potencjalne możliwości wystąpienia deformacji nieciągłych, potencjalnych dlatego, że ich faktyczne wystąpienie zależy jeszcze od innych czynników określanych w dalszej części prognozy (głównie od szerokości pustki l i wysokości formującego się sklepienia ciśnień - liczby m).

7.2.2. Prognoza prawdopodobieństwa wystąpienia deformacji

Prognoza ta dotyczy oczywiście prawdopodobieństwa wystąpienia takich deformacji, jak to wynika z I części prognozy. Najpierw oblicza się następujące wielkości pomocnicze:

$$n = \frac{3}{4} = -1$$

oraz

$$l_{gr} = \frac{2}{n} (h + \frac{h}{2})$$

Następnie mając wyznaczoną szerokość pustki 1, oblicza się współczynnik K_p według wzoru:

$$K_p = \frac{1}{l_{gr}}$$

Następnie z podanej tablicy 5.3, na podstawie obliczonego współczynnika K_p , określa się prawdopodobieństwo P wystąpienia danej deformacji (ewentualnie stosując interpolację liniową pomiędzy danymi podanymi w tablicy 5.3).

Przyjmuje się, że jeżeli:

- $P < 0,1$ to prawdopodobieństwo uznaje się jako małe (co 10 pustka grozi wywołaniem zapadliska)
- $0,1 \leq P < 0,25$ to prawdopodobieństwo uznaje się za średnio duże
- $0,25 \leq P < 0,5$ to prawdopodobieństwo jest duże
- $P > 0,5$ to prawdopodobieństwo jest bardzo duże.

Na tym kończy się drugi etap prognozy - prognozy prawdopodobieństwa wystąpienia wyznaczonej w etapie I deformacji nieciągłej.

7.2.3. Prognoza wielkości deformacji

Inaczej prowadzi się obliczenia wielkości zapadliska typu I a inaczej zapadliska typu II. W zależności więc od wyników I części prognozy stosuje się jeden z wymienionych niżej sposobów obliczania.

1. Obliczanie wielkości zapadliska typu I

Najpierw oblicza się objętość pustki wtórnej, jaka dochodzi do stropu warstw zwięzłych w wyniku zawału pustki pierwotnej, wg wzoru:

$$V_p = l^2 g - (k-1) \frac{\pi}{3n^2} [P(z_2) - P(\frac{w}{2})]$$

gdzie:

$$P(z_2) = 3 c^2 z_2 - z_2^3$$

$$P(\frac{g}{2}) = 3 c^2 \frac{g}{2} - (\frac{g}{2})^3$$

oraz

$$n = \frac{3}{4} m - 1 \quad i \quad c = \frac{ln}{2}$$

We wzorach tych za s_2 należy wstawić

$$s_2 = c \quad \text{gdy} \quad c < h + \frac{h}{2}$$

$$s_2 = h + \frac{h}{2} \quad \text{gdy} \quad c \geq h + \frac{h}{2}$$

Dla ułatwienia obliczeń, wykonuje się je w następującej kolejności:
Najpierw oblicza się

$$c = \frac{ln}{2}, \quad \text{przy czym} \quad n = \frac{3}{4} m - 1$$

Następnie porównuje się tak wyznaczoną wielkość c z wielkością $h + \frac{h}{2}$.
Mogą zachodzić dwa przypadki:

1. Jeżeli

$$c < h + \frac{h}{2}$$

wtedy przyjmuje się $c = h + \frac{h}{2}$ oraz $s_2 = c = h + \frac{h}{2}$. Tym samym

$$P(s_2) = 2 c^3 = 2 \left(h + \frac{h}{2} \right)^3$$

W tym przypadku do wzoru na Y_p wstawia się wielkość n obliczoną ze wzoru:

$$n = \frac{2c}{1} = \frac{2 \left(h + \frac{h}{2} \right)}{1}$$

a nie ze wzoru:

$$n = \frac{3}{4} m - 1$$

2. Jeżeli

$$c \geq h + \frac{h}{2}$$

to c przyjmuje się tak, jak to wynika z obliczeń oraz przyjmuje się

$$s_2 = h + \frac{h}{2}$$

a za n do wzoru na V_p wstawia się wielkość wyliczoną wzorem:

$$n = \frac{3}{4} m - 1$$

Uwaga: przypadek 1 odpowiada uwięzieniu pustki wtórnej wewnątrz górotworu związłego (rys. 5.7, faza a).

Przypadek 2 -- przenikaniu pustki wtórnej do nadkładu (rys. 5.7, faza c) lub dojściu jej co najmniej do stropu warstw związłych (rys. 5.7, faza b).

Zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku na powierzchni terenu może wystąpić zapadlisko typu I, ale prawdopodobieństwo jego powstania będzie w obydwu przypadkach różne (znacznie mniejsze dla przypadku 1).

Mając obliczoną objętość pustki wtórnej V_p oraz znając parametr α , promień zapadliska sprowadzonego do znormalizowanego leja stożkowego oblicza się wzorem:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 V_p}{\pi \operatorname{tg} \alpha}}$$

Największy wymiar zapadliska typu I (średnica) wyniesie więc:

$$S = 2 R$$

2. Obliczanie wielkości zapadliska typu II

Orientacyjną wielkość zapadliska typu II określa się następująco:

a) Jeżeli $H - h_{\text{smax}} < 10$ m, to średnica zapadliska S wynosi:

$$S \cong 1 + g \operatorname{tg} \alpha$$

a maksymalna głębokość W_{max}

$$W_{\text{max}} \cong g(2 - k)$$

Jest to zapadlisko mające tendencje do przejścia w zapadlisko typu I.

b) Jeżeli $10 \text{ m} < H - h_{\text{smax}} < 30$ m, to

$$S \cong 2.1 + g \operatorname{tg} \alpha$$

oraz

$$W_{\text{max}} \cong 0.5 g(2 - k)$$

Jest to zapadlisko nie mające tendencji do przekształcania się w zapadlisko typu I.

c) Jeżeli $H - h_{\text{smax}} > 30 \text{ m}$, to

$$S \approx 4 l$$

oraz

$$W_{\text{max}} \approx 0,1 g (2-k)$$

Jest to forma przejściowa od deformacji nieciągłych do ciągłych (lokalne obniżenie terenowe zbliżone do mało równoległej niecki osiadań).

Na tym kończy się trzeci etap prognozy i cała prognoza deformacji nieciągłych.

Uwaga końcowa:

Deformacja nieciągła (zapadlisko) powstaje bezpośrednio nad centrum pustki pierwotnej, niezależnie od kąta nachylenia warstw górotworu.

7.3. Wykonywanie prognozy deformacji nieciągłych w przypadkach szczególnych

Szczególne przypadki dotyczą sytuacji, gdy powierzchnie terenu zagrażają:

- dwie (lub więcej) pustki położone w pionie nad sobą na różnych poziomach w górotworze,
- tzw. zespoły pustek, tj. kółka pustek położonych blisko siebie i poprzedzielanych filarami (caliznami),
- zlikwidowane wyrobiska szybowe, w których mogą istnieć pustki.

7.3.1. Prognoza deformacji w przypadku 2 pustek zalegających w pionie na różnych poziomach w górotworze (rys. 6.2)

Przypadek ten sprowadza się do oddziaływania jednej tylko pustki położonej na poziomie wyższym o ewentualnie poprawionej wysokości g i poprawionej wysokości h_{smax} .

Najpierw oblicza się wielkości:

$$h_{\text{smax}}(H_2) \quad \text{i} \quad h_{\text{smax}}(H_1),$$

tj. odpowiadające pustce o wysokości g_2 położonej na poziomie niższym (H_2) oraz wielkość

$$\Delta h = H_2 - H_1$$

gdzie:

H_1 - głębokość zalegania spągu pustki wyżej leżącej, o wysokości ξ_1 .

H_2 - głębokość zalegania stropu pustki niżej leżącej, o wysokości ξ_2 .

Teraz dokonuje się następujących porównań:

1. Jeżeli

$$\Delta h > h_{smax}(H_2)$$

to pustka dolna nie ma wpływu na pustkę górną i prognozę deformacji wykonuje się tak jakby pustki dolnej nie było (rozdział 7.2).

2. Jeżeli

$$h_{smax}(H_2) < \Delta h < h_{smax}(H_1),$$

to wysokość $h_{smax}(H_1)$ poprawia się do wielkości:

$$h'_{smax}(H_1) = h_{smax}(H_1) + h_{smax}(H_2) - \Delta h$$

i dalsze obliczenia prognostyczne prowadzi się normalnie, tzn. jak dla jednej pustki położonej na poziomie H_1 i wysokości ξ_1 .

3. Jeżeli

$$h_{smax}(H_2) > \Delta h$$

to wysokość pustki na poziomie wyższym (ξ_1) poprawia się (zwiększa) o wielkość wyliczoną ze wzoru:

$$\Delta \xi_{11} = \xi_2 \left(1 - \frac{\Delta h}{h_{smax}(H_2)} \right)$$

i dalsze obliczenia prowadzi się jak dla pojedynczej pustki położonej na poziomie H_1 i o wysokości $\xi_1 + \Delta \xi_{11}$.

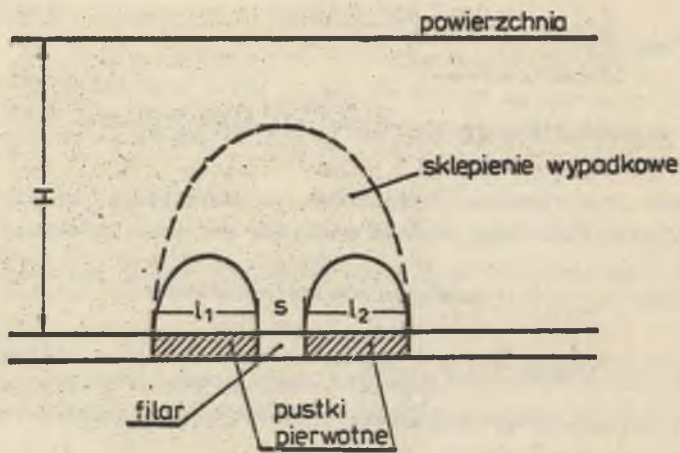
Uwaga: w tym przypadku nie poprawia się wielkości $h_{smax}(H_1)$.

Jeśli w górotworze istniało więcej pustek, np. na trzech poziomach w pionie, to obliczenia wykonuje się kolejno idąc od pustki najgłębiej zalegającej.

7.3.2. Prognoza deformacji dla przypadku "zespołu pustek" (rys. 7.1)

W celu dokonania takiej prognozy konieczna jest dodatkowo znajomość następujących parametrów:

- szerokości filarów pomiędzy pustkami s ,
- ciężaru objętościowego γ_0 skał nad pustkami,
- stałej Protodiakonowa F dla skał górotworu świętego.



Rys. 7.1. Zespół pustek na poziomie H
Fig. 7.1. Set of cavities at level H

Najpierw dokonuje się sprawdzenia, czy rzeczywiście rozpoznane pustki należy traktować jako zespół pustek, nad którym wytwarza się wspólne sklepienie ciśnień. W tym celu oblicza się następujące wielkości:

$$A = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{l_1}{2}} + \sqrt{\frac{l_2}{2}} \right),$$

oraz

$$C_{\min} = 0,65 \sqrt{\frac{AH\gamma_0}{F}}$$

l_1, l_2 - szerokości pustek w metrach,
 γ_0 - ciężar objętościowy, T/m^3 .

Następnie dokonuje się porównania C_{\min} i szerokości filaru (filarów) s . Mogą wystąpić dwa przypadki:

1. Jeżeli

$$s > C_{\min}$$

to pustki należy traktować jako odosobnione i prognozę zagrożenia powierzchni przez te pustki dokonuje się osobno dla każdej pustki według normalnych zasad (rozdział 7.2).

2. Jeżeli

$$s \leq C_{\min}$$

to pustki należy traktować jako "zespół pustek".

W tym przypadku zespół pustek sprowadza się do jednej pustki wypadkowej o wymiarach:

- szerokość pustki wypadkowej l_w

$$l_w = \sum (l_i + s_j)$$

i - ilość pustek,

j - ilość filarów pomiędzy pustkami ($j = i-1$).

Jeżeli tak obliczone l_w przekroczy długość zespołu pustek (wymiar pustki wypadkowej prostopadły do wymiaru l_w), to za szerokość pustki wypadkowej należy zawsze przyjąć krótszy wymiar pustki wypadkowej.

- wysokość pustki wypadkowej g_w

$$g_w = \frac{g_1}{1} [k(M-1) + 1]$$

M - gęstość pustek, czyli stosunek powierzchni pustek do całkowitej powierzchni pustki wypadkowej (powierzchni pustek + powierzchni filarów)

k - współczynnik rozluźnienia skał, z których zbudowane są filary (zwykle taki sam jak dla górotworu nad pustką).

Dalszą prognozę wykonuje się jak dla pojedynczej pustki (rozdział 7.2) posługując się jedynie wielkościami l_w i g_w .

7.3.3. Prognoza oddziaływania pustek w zlikwidowanych szybach

Prognoza ta sprowadza się do obliczenia średnicy największej deformacji w kształcie leja, jaka może powstać nad wylotem szybu na powierzchni terenu. Średnicę tę oblicza się ze wzoru:

$$S_{\max} = 2(h_n \operatorname{tg} \alpha + r)$$

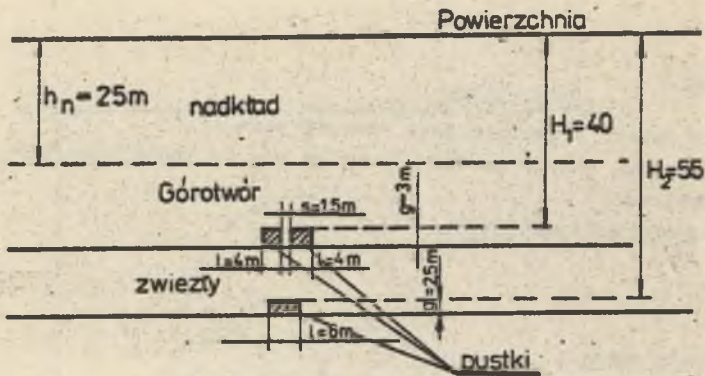
gdzie:

h_n - miąższość nadkładu,

α - kąt naturalnego zsypu warstw nadkładu przyjmowany dla piasku suchego ($\alpha = 32^\circ$),

r - stwierdzona wielkość promienia szybu.

7.4. Przykład przeprowadzenia prognozy (rys. 7.2)



Rys. 7.2. Przykład położenia pustek w górotworze
Fig. 7.2. Example of location of cavities in the rock mass

- Na podstawie rozpoznania ustalono, że na dwóch poziomach w górotworze $H_1 = 40\text{ m}$ i $H_2 = 55\text{ m}$ istnieją pustki o następującej charakterystyce:
- na poziomie H_1 istnieją dwie pustki o jednakowych wymiarach $l = 4\text{ m}$ i $g = 3\text{ m}$, przedzielone filarem o szerokości $s = 1,5\text{ m}$, przy czym długość pustek wynosi około 20 m ,
 - na poziomie H_2 , bezpośrednio pod pustkami na poziomie H_1 , zalega pustka o wymiarach: $l = 6\text{ m}$ i $g = 2,5\text{ m}$.

Górotwór, w którym udokumentowano pustki składa się z następujących warstw:

- $0 - 5\text{ m}$ - czwartorzęd złożony z piasków i piasków gliniastych
- $5 - 25\text{ m}$ - trzeciorzęd złożony z piasków, glin piaszczystych i iłów,
- $25 - 55\text{ m}$ - karbon złożony w 50% z piaskowców i 50% łupków piaszczystych.

Pustki są wykonane w górotworze karbońskim (caliźnie).

Należy określić zagrożenie powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi z tytułu zawału stwierdzonych pustek.

Rozwiązanie

Najpierw należy dokonać oceny, czy pustka na poziomie H_2 ma wpływ na pustki na poziomie H_1 (rozdział 7.3.1). W tym celu należy obliczyć wielkość Δh . Ponieważ głębokości H_1 i H_2 dotyczą zalegania spągu pustek, więc

$$\Delta h = H_2 - H_1 - g_2$$

$$\Delta h = 55 - 40 - 2,5 = 12,5\text{ m}$$

Teras, przyjmując (lub wyszacząc) współczynnik $k = 1,25$, oblicza się:

$$h_{smax}(H_2) = g_2 \left(\frac{6}{k(k-1)} + \frac{1}{4} \right)$$

$$h_{smax}(H_2) = 7,89 g_2 \approx 8 g_2 = 8 \times 2,5 \approx 20 \text{ m}$$

Ponieważ:

$$h_{smax}(H_2) = 20 \text{ m} > \Delta h_{\text{min}} = 12,5 \text{ m}$$

więc pustka dolna ma bezpośredni wpływ na pustki górne (powiększa wysokość pustek na poziomie H_1). Należy więc obliczyć przyrost wysokości pustek górnych z tytułu zawazu pustki położonej niżej, wg wzoru:

$$\Delta \bar{g}_{\text{min}} = g_2 \left(1 - \frac{\Delta h}{h_{smax}(H_2)} \right)$$

$$\Delta \bar{g}_{\text{min}} = 2,5 \left(1 - \frac{12,5}{20} \right) = 0,93 \text{ m} \approx 0,9 \text{ m}$$

Tak więc z tytułu zawazu pustki niżej leżącej należy wysokość pustek położonych na poziomie H_1 zwiększyć o wielkość $\Delta \bar{g}_{\text{min}} = 0,9 \text{ m}$.

Następnie trzeba dokonać oceny czy pustki na poziomie H_1 należy traktować jako pustki odosobnione, czy jako zespół pustek (rozdział 7.3.2). W tym celu oblicza się:

$$A = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{l_1}{2}} + \sqrt{\frac{l_2}{2}} \right)$$

$$A = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{4}{2}} + \sqrt{\frac{4}{2}} \right) = \sqrt{2} = 1,4 \text{ m}$$

oraz

$$C_{\text{min}} = \sqrt{\frac{A H_1 \gamma_0}{F}}$$

Przyjmując: $H_1 = 40 \text{ m}$, $\gamma_0 = 2,5 \text{ T/m}^3$ i $F = 10$, otrzymuje się:

$$C_{\text{min}} = \sqrt{\frac{2,4 \cdot 40 \cdot 2,5}{10}} = 3,74 \text{ m}$$

Ponieważ:

$$s = 1,5 \text{ m} < C_{\text{min}} = 3,74 \text{ m}$$

więc pustki na poziomie H_1 należy traktować jako zespół pustek, nad którym tworzy się jedno wspólne sklepienie cieni. Obydwie pustki należy więc zamienić na pustkę wypadkową (zastępczą) o wymiarach l_w i g_w , obliczonych wzorami:

$$l_w = l_1 + l_2 + s = 4 + 4 + 1,5 = \underline{9,5 \text{ m}}$$

$$g_w = \frac{g_1}{k} [k(M-1) + 1]$$

M - gęstość pustek

$$M = \frac{P_p}{P_p + P_f}$$

P_p - powierzchnia pustek,

P_f - powierzchnia filarów.

W danym przypadku otrzymuje się:

$$P_p = 2 \times 4 \times 20 = 160 \text{ m}^2 \quad \text{i} \quad P_f = 1 \times 1,5 \times 20 = 30 \text{ m}^2$$

$$M = \frac{160}{190} = 0,84$$

W rezultacie otrzymuje się:

$$g_w = 4 [1,25(0,8 - 1) + 1] = 4 \times 0,8 = \underline{3,2 \text{ m}}$$

Wypadkowa wysokość pustki zastępczej, z tytułu rozkruszenia filaru pomiędzy pustkami, zmniejszy się z 4 m do 3,2 m.

Ponieważ, jak to wynikało z poprzednich obliczeń, zawał pustki na poziomie H_2 powodował zwiększenie wysokości pustki na poziomie H_1 o wielkość $\Delta g_1 = 0,9 \text{ m}$, więc ostateczna wysokość pustki wypadkowej (zastępczej) na poziomie H_1 wyniesie:

$$g_1 = g_w + \Delta g_1 = 3,2 + 0,9 = \underline{4,1 \text{ m}}$$

Dalszą prognozę wykonuje się tak, jakby na powierzchnię terenu oddziaływała ujedna pustka o wymiarach $l = 9,5 \text{ m}$ i $g = 4,1 \text{ m}$, położona na poziomie $H_1 = 40$ (rozdział 7,2).

I e t a p p r o g n o z y - określenie potencjalnych możliwości wystąpienia deformacji.

Najpierw oblicza się h i h_0

$$h_0 = h_{cz} + h_{grz.} = 5 + 20 = 25 \text{ m}$$

$$h = H - h_0 - g = 40 - 25 - 4,1 = 10,9 \text{ m} \approx 11 \text{ m}$$

Następnie oblicza się

$$h_{zmax} = g \left(\frac{6}{k(k-1)} + \frac{1}{4} \right)$$

dla przyjętego $k = 1,25$ otrzymuje się $h_{zmax} = 8 \text{ g} = 32 \text{ m}$.
Ponieważ:

$$h = 11 \text{ m} < h_{zmax} = 32 \text{ m}$$

więc powierzchnia terenu jest zagrożona wystąpieniem zapadliska typu I (gwałtownie powstającego).

II e t a p p r o g n o z y - określenie prawdopodobieństwa powstania zapadliska

Najpierw oblicza się:

$$n = \frac{3}{4} m - 1$$

za m należy przyjąć: $m = 10$, gdyż górotwór zwięzły jest zbudowany ze skał mocnych (piaskowce, łupki piaszczyste).

$$n = \frac{3}{4} 10 - 1 = 6,5$$

Potem oblicza się l_{gr} ze wzoru:

$$l_{gr} = \frac{2}{n} (h + \frac{g}{2}) = \frac{2}{6,5} (11 + \frac{4,1}{2}) = 4,01 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

a następnie współczynnik K_p ze wzoru:

$$K_p = \frac{1}{l_{gr}} = \frac{9,5}{4} = 2,35$$

Następnie na podstawie tablicy 5.3 otrzymuje się dla $K_p = 2,35$ prawdopodobieństwo powstania zapadliska

$$P = 0,91$$

Ponieważ $P > 0,5$ prawdopodobieństwo powstania zapadliska należy ocenić na bardzo duże (prawie pewne).

III etap prognozy - obliczenie wielkości deformacji.

Najpierw oblicza się wielkość

$$c = \frac{ln}{2}$$

ponieważ $n = 6,5$ (I etap prognozy), więc

$$c = \frac{9,5 \times 6,5}{2} = 30,8 \text{ m}$$

Teraz porównuje się c z wielkością $h + \frac{h}{2}$.

Ponieważ

$$c = 30,8 \text{ m} > h + \frac{h}{2} = 11 + 2,05 = 13,05 \text{ m}$$

więc do dalszych obliczeń przyjmuje się:

$$c = 30,8 \text{ m}, \quad z_2 = 13,5 \text{ m} \quad \text{oraz} \quad n = 6,5$$

Następnie oblicza się objętość pustki wtórnej V_p jaka dociera (w tym przypadku przenika do nadkładu) do stropu górotworu świeżego wg wzoru:

$$V_p = l^2 g - (k-1) \frac{\pi}{3n^2} [P(z_2) - P(\frac{h}{2})]$$

$$P(z_2) = 3 c^2 z_2 - z_2^3 = 3 \times 30,8^2 \times 13 - 13^3 = 34 \ 839$$

$$P(\frac{h}{2}) = 3 c^2 \frac{h}{2} - (\frac{h}{2})^3 = 3 \times 30,8^2 \times 2,05 - (2,05)^3 = 5825$$

$$V_p = 9,5^2 \times 4,1 - (1,25 - 1) \frac{3,14}{3 \times 6,5^2} 29014 = 370 \text{ m}^3 - 180 \text{ m}^3 = 190 \text{ m}^3$$

Objętość pustki pierwotnej wynosząca $V = 370 \text{ m}^3$ wskutek rozkruszenia skał wewnątrz sklepienia ciśnień zmalała w pustce wtórnej do wielkości $V_p = 190 \text{ m}^3$.

Teraz oblicza się promień zapadliska R w kształcie leja stożkowego wg wzoru:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_p}{\pi \cdot \text{tg} \alpha}}$$

Ponieważ $\alpha = 32^\circ$ oraz $\text{tg} \alpha = 0,62$, więc otrzymuje się:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \times 190}{3,14 \times 0,62}} = \sqrt[3]{293} = 6,65 \text{ m}$$

Srednica zapadliska wyniesie więc:

$$S = 2R = 13,3 \text{ m}$$

Głębokość zapadliska W_z wyniesie:

$$W_z = R \text{ tg} \alpha = 6,65 \times 0,62 = 4,1 \text{ m}$$

Uwaga: zbieżność W_z z wysokością pustki pierwotnej g jest przypadkowa, może ona być większa lub mniejsza od wysokości pustki pierwotnej.

Rezultatem ostatecznym prognozy jest stwierdzenie, że w wyniku zawału udokumentowanych pustek powierzchnia terenu jest zagrożona wystąpieniem zapadliska typu I (gwałtownie powstającego) o średnicy $S = 13,3 \text{ m}$ i głębokości $W_z = 4,1 \text{ m}$, a prawdopodobieństwo jego powstania jest bardzo duże (prawie pewne, $P = 0,91$).

7.5. Uwagi na temat prognozowania deformacji nieciągłych dla obszarów zapadliskowych

Przez obszar zapadliskowy należy rozumieć bądź obszar, na którym ujawniły się już zapadliska i istnieje obawa ich dalszego powstawania, bądź też obszar, który tylko podejrzewa się o możliwość występowania zapadlisk, co wynika z analizy materiałów górnictwo-geologicznych dotyczących tego rejonu. Najczęściej są to tereny, pod którymi w czasach historycznych prowadzono płytką eksploatację górnictwem, zwykle na zawał i dla których często brak jest dostatecznej dokumentacji tak robót górniczych, jak i warunków geologicznych. Najczęściej są to obszary o powierzchni od kilku do kilkunastu hektarów, rzadziej kilkudziesięciu ha. Zwykle powierzchnia całkowicie zdewastowana przez zapadliska stanowi kilka a najwyżej kilkanaście procent całości obszaru uznanego za zagrożony (zapadliskowy). Pozostała powierzchnia nie podlega prawie żadnym deformacjom i pod tym względem jest, np. bardziej przydatna do zabudowy aniżeli tereny podlegające deformacjom ciągłym. Nie mniej jako tereny zagrożone nie są one dotychczas zwykle w ogóle zagospodarowywane i stanowią nieużytki antropogeniczne.

W dobie obecnej, drastycznego braku powierzchni terenu, zwłaszcza dla celów budowlanych, z punktu widzenia społecznego postępowania takie jest na dłuższą metę nie do przyjęcia. Konieczne jest systematyczne zajęcie się terenami zapadliskowymi i stopniowe włączanie ich do terenów zagospodarowanych.

Podstawą do zagospodarowania terenu zapadliskowego powinna być możliwie pewna prognoza możliwości występowania deformacji nieciągłych. Ze względu na to, że proces powstawania deformacji nieciągłych jest w dużej mierze procesem losowym, prognoza ta różni się tym od prognozy deformacji ciągłych, że przewidywane wskaźniki deformacji (rodzaj i wielkość zapadliak) niekoniecznie muszą wystąpić, czyli prawdopodobieństwo ich wystąpienia waha się od $P = 0$ do $P = 1$. Determinantą wystąpienia deformacji ciągłych jest istnienie pod badaną powierzchnią terenu eksploatacji górniczej, której wpływy mogą być większe lub mniejsze, ale zawsze wystąpią na powierzchni terenu. Prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest zawsze równe 1 ($P = 1$).

Natomiast istnienia pustki w górotworze nie determinuje powstania deformacji nieciągłej, która może powstać (w prognozowanej wielkości) lub w ogóle nie powstaje i wtedy teren nie podlega żadnym deformacjom. Stąd też prognoza deformacji nieciągłych musi zawierać dwa składniki: rodzaj i wielkość deformacji oraz prawdopodobieństwo jej powstania. Na tym właśnie polega zasadnicza różnica pomiędzy prognozą deformacji ciągłych i nieciągłych. W praktyce ta właśnie sprawa prowadzi do zasadniczych kontrowersji pomiędzy inżynierem praktykiem budującym obiekty na terenie zapadliskowym, a ekspertem prognozującym deformacje nieciągłe. Inżynier praktyk twierdzi, że nie interesuje go prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji, gdyż musi on mieć pewność czy deformacja wystąpi czy nie wystąpi, więc czy może budować obiekt czy też nie? Natomiast ekspert wiedząc, że zjawisko powstawania deformacji nieciągłej jest w dużej mierze zjawiskiem losowym, nie może takiego jednoznacznego stwierdzenia przedstawić. Gdyby bowiem przyjął za pewność dostatecznie małe prawdopodobieństwa, takie jak, np. przyjmuje się w wytrzymałości materiałów ($P = 10^{-4}$), to praktycznie każdy teren zagrożony deformacjami nieciągłymi musiałby być wyłączony z zabudowy. Praktyka natomiast wskazuje, że na terenie zapadliskowym istnieją duże powierzchnie nie podlegające żadnym deformacjom. Ze społecznego punktu widzenia niezagospodarowywanie takich terenów jest marnotrawstwem. Decyzja o zabudowie takiego terenu kryje w sobie wprawdzie większy stopień ryzyka, ale to ryzyko jest na pewne uzasadnione społecznie i może być dodatkowo zmniejszone poprzez podjęcie odpowiednich przedsięwzięć zarówno w trakcie budowy obiektów, jak i ich użytkowania. To zwiększone ryzyko nie może być jednak składane ani na barki eksperta prognozującego deformacje, ani tym bardziej na inżyniera praktyka budującego obiekty. Muszą oni być chronieni odpowiednimi przepisami prawnymi, podobnie jak to ma miejsce przy zagospodarowywaniu terenów podlegających

deformacjom ciągłym. Istniejący podział tych terenów na kategorie ochrony z podaniem wskaźników deformacji i sposobów ich obliczania, od których uzależniony jest rodzaj i sposób zabudowy terenu, zabezpiecza zarówno eksperta jak i inżyniera budowlanego od mogących wystąpić nieprzewidzianych przypadków losowych, które jak uczy praktyka także tu mają miejsce (nieprzewidziany wzrost wskaźników deformacji i związane z tym duże uszkodzenia a nawet zniszczenia obiektów). Tylko prawne uregulowanie także sprawy zabudowy terenów zapadliskowych, oparte o dotychczasowy dorobek praktyczny i teoretyczny, może się przyczynić do planowej, społecznie uzasadnionej likwidacji nieużytków antropogenicznych typu terenów zapadliskowych. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem, wzorem terenów podlegających deformacjom ciągłym, byłoby podzielenie terenów zapadliskowych na odpowiednie kategorie specjalne, w zależności od prognozowanych wskaźników deformacji nieciągłych (rodzaju, wielkości i prawdopodobieństwa powstania deformacji). Dla poszczególnych kategorii należy określić możliwość określonych dopuszczalnych sposobów ich zagospodarowania. Przeszkodą w opracowaniu tego rodzaju przepisów jest obecnie nie tylko brak doświadczeń i odpowiednich opracowań teoretycznych dotyczących deformacji nieciągłych, ale rozpowszechnione w praktyce przeświadczenie, że zawsze teren przeznaczony pod budowę da się dokładnie zbadać i w razie stwierdzenia pustki w podłożu zagrażającej powierzchni, zlikwidować ją przez podsadzenie. Sprawa ta nie znajduje jednak potwierdzenia w praktyce i wymaga głębszego naświetlenia. Oczywiście jest, że najlepszym rozwiązaniem w praktyce jest dokładne zbadanie podłoża budowlanego obiektu i likwidacja ewentualnej wykrytej pustki. Praktycznie jest to jednak możliwe do przeprowadzenia jedynie dla pojedynczych obiektów o małej powierzchni rzutu poziomego, a i to wymaga dużych kosztów i zwiększa pracochłonność i czas inwestycji, a tym samym na jej koszt. Konieczne jest bowiem wykonanie dużej liczby gęsto rozmieszczonych i głębokich otworów badawczych w podłożu i następnie podsadzenie wykrytej pustki. Z reguły nie wystarczają tu tylko rutynowe badania podłoża stosowane w budownictwie. O wiele gorzej przedstawia się sprawa wtedy, gdy mamy do czynienia nie z pojedynczym małym budynkiem, ale np. z całym osiedlem mieszkaniowym złożonym z wielu obiektów o różnej kubaturze, wysokości i przeznaczeniu. W takim przypadku zbadanie podłoża budowlanego, wykluczające istnienie w górotworze pustki zagrażającej powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi jest praktycznie niewykonalne, zarówno z powodu ogromnych kosztów jak i pracochłonności takiego przedsięwzięcia. Natomiast wszelkie inne (poza wierceniami) metody badania podłoża są zawodne i niewystarczające. Dotyczy to zarówno różnych badań geofizycznych, wykrywających przeważnie tylko płytko zalegające pustki, jak i analiz map wyrobisk górniczych, zwykle niekompletnych, uniemożliwiających szczegółową lokalizację pustek, jak i rozpoznanie ich obecnego stanu. Mogą one co najwyżej posłużyć do ogólnej lokalizacji stref najbardziej zagrożonych. Nie dają

natomiast swykle informacji o szczególowej lokalizacji pustek, o ich rozmiarach (wysokości, szerokości), a co najwyżej o ich przybliżonej objętości.

Reasumując zasady procesu deformacji, można bezspornie stwierdzić, że w takich przypadkach dokładne rozpoznanie podłoża budowlanego dające pewność niewystąpienia pod budynkiem deformacji jest praktycznie niemożliwe. Wymagało by to bowiem wiercenia otworów badawczych w siatce o oczkach nie większych jak 5 x 5 m i dużej głębokości otworów, rzędu kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Nie wystarczy bowiem przewiercenie podłoża bezpośredniego, które swykle składa się z utworów luźnych (nadkładu), ale trzeba przewiercić odpowiednio grubą warstwę skał zwiąszych, rzędu kilkunastu i więcej metrów (zalety to od przewidywanej wysokości pustki).

Prognoza deformacji nieciągłych dla terenów zapadliskowych dość znacznie różni się od prognozy nad dobrze rozpoznanymi pustkami pojedynczymi (odosobnionymi). Ze względu na trudności z dokładnym rozpoznanem pustek, tzn. ich lokalizacji i wymiarów, z konieczności musi się opierać na daleko idącej generalizacji w przybliżeniu rozpoznanych warunków górniczo-geologicznych. Wynikiem tej generalizacji stanu wyjściowego (danych do prognozy) jest także generalizacja samej prognozy i jej poszczególnych wskaźników, co prowadzi do małej pewności prognozy. Trzeba sobie wyraźnie zdać sprawę z tego, że w wielu przypadkach prognoza taka będzie stała na pograniczu "przepowiedni", gdyż z konieczności będzie się opierać na wielu niemożliwych do udowodnienia przesłankach i domniemaniach. Czy znaczy to jednak, że nie należy jej wtedy wykonywać i tym samym godzić się na pozostawianie nieużytków antropogenicznych? Kto więc ma o tym decydować jak nie ekspert znający najlepiej te zagadnienia, chociażby opierał się na niepewnych danych? Rzeczywistość stawia nas przed faktem konieczności wykonywania takich prognoz, ale przy pełnej świadomości zwiększonego ryzyka jakie takie postępowanie za sobą pociąga. Dlatego w takich przypadkach prognoza deformacji nie może być jedynym czynnikiem decydującym o zagospodarowywaniu terenów zapadliskowych. Trzeba tu także uwzględnić przede wszystkim dotychczasowe spostrzeżenia z przebiegu deformacji na analizowanym terenie, mogą one często mieć większą wagę aniżeli obliczenia prognostyczne. Trzeba także wziąć pod uwagę możliwości techniczne różnego rodzaju przedsięwzięć zmniejszających ryzyko powstania deformacji w istotnych miejscach danego terenu. Często za podjęciem ryzyka zagospodarowania takich terenów przemawiają względy posatechniczne - społeczne, jak np. deficyt wolnych terenów w danym rejonie. Analiza wszystkich wymienionych czynników, łącznie z prognozą deformacji nieciągłych, stanowi dopiero w miarę pełny materiał do podjęcia ostatecznej decyzji.

-W przypadku terenów zapadliskowych o znacznej powierzchni, rozpoznania terenu i warunków górniczo-geologicznych dokonuje się w dwu etapach. Najpierw dokonuje się ogólnej rejonizacji terenu zapadliskowego. W tym celu należy wykorzystać przede wszystkim istniejące materiały kartograficzne, które swykle znajdują się w Działach Mierniczo-Geologicznych naj-

bliższych zakładów górniczych (kopalń) lub w archiwach służb geodezyjnych obsługujących badany rejon. Należy zwracać uwagę przede wszystkim na stare, płytkie eksploatacje górnicze systemem na zaważ (ale nie tylko) oraz eksploatacje prowadzone w pobliżu wychodni warstw geologicznych i ustoków tektonicznych. W przypadku braku dostatecznej dokumentacji kartograficznej, pomocą w ogólnej lokalizacji terenów zapadliskowych mogą być następujące materiały i przedsięwzięcia:

- odpowiednio zinterpretowane fotogrametryczne zdjęcia lotnicze badanego terenu,
- wyniki wywiadów terenowych, w trakcie których należy zwracać uwagę na wszelkie przejawy antropogenicznych form terenowych, a zwłaszcza różnego rodzaju formacji wklęsłych,
- wyniki wywiadów ze starszymi mieszkańcami badanych terenów a zwłaszcza z właścicielami gruntów podejrzanych o zakwalifikowanie do zagrożonych zapadliskami,
- wyniki specjalnych badań geofizycznych (sejsmicznych, grawimetrycznych i elektrooporowych), jakie były przeprowadzane na tym terenie,
- wyniki z otworów geologicznych odwierconych na lub w pobliżu badanego rejonu.

W wyniku analizy tych materiałów, istniejących lub świadomie dla tego celu przeprowadzonych, otrzymuje się ogólną lokalizację terenu zapadliskowego z ewentualnym wyodrębnieniem stref intensyfikacji robót górniczych, a tym samym możliwej intensyfikacji występowania zapadlisk.

Po rozpoznaniu ogólnym, przystępuje się do szczegółowego rozpoznania już niekoniecznie na całym obszarze zapadliskowym, ale np. tylko w strefach poprzednio wyodrębnionych. Do szczegółowego rozpoznania pustek należy:

- lokalizacja szczegółowa (współrzędne x, y, z) na planie topograficznym oraz odległość pustek od stropu warstw związanych,
- ustalenie czy są to pustki odosobnione czy zespoły pustek poprzedzielane filarami,
- określenie parametrów geometrycznych pustek (wysokość, szerokość, objętość oraz ewentualnie długość pustki).

Jeśli nie da się określić szczegółowej lokalizacji pustek z planów górniczych (map pokładowych i przekrojów geologicznych), to można próbować tego dokonać odpowiednio zaprojektowanymi badaniami geofizycznymi lub sporadycznymi wierceniami z powierzchni terenu, a w najgorszym razie w oparciu o różne przesłanki górniczo-geologiczne (wnioskowanie przez domniemanie). Należy podkreślić, że najważniejszymi parametrami pustek są: faktyczna wysokość pustki g i odległość stropu pustki od stropu warstw związanych h . Brak tych parametrów praktycznie wyklucza możliwość sporządzenia prognozy deformacji nieciągłych. W następnej kolejności ważnym parametrem jest szerokość pustki l , która umożliwia podanie prawdopodobieństwa wytworzenia zapadliska wskutek zaważu pustki. Jest to jednak parametr często trudny do wyznaczenia i w związku z tym nie zawsze da

się przeprowadzić II i III część prognozy - określenie prawdopodobieństwa wystąpienia deformacji i wyznaczenie wielkości zapadliska.

W celu zmniejszenia ryzyka niespodziewanego wystąpienia zapadliska i skutków z tym związanych, przed przystąpieniem do inwestycji na terenie zapadliskowym a nawet w trakcie budowy, należy wykorzystać 3 grupy działań profilaktycznych.

1. P r o f i l a k t y k ę p l a n i s t y c z n ą polegającą na odpowiednim rozlokowaniu obiektów w obrębie terenu zapadliskowego w zależności od ich ważności i podatności na deformacje, w stosunku do miejsc o różnym stopniu zagrożenia zapadliskami. Budynki zwłaszcza wysokie i wielkokubaturowe powinny być lokowane na terenie możliwie najmniej zagrożonym. Dotyczy to także budownictwa mieszkaniowego (blokowego) i budynków komunalnych, w których będzie przebywać znaczna ilość ludzi). Budynki pomocnicze (garaże, magazyny itp.) oraz trasy komunikacyjne i place mogą być lokalizowane na terenach mniej pewnych, a zieleń osiedlowa na terenach najbardziej zagrożonych. Zmiana lokalizacji poszczególnych budynków może być dokonana nawet już w trakcie budowy (fundamentowania), gdy np. penetracja wykopu pod fundamenty wykaże istnienie w obrębie fundamentów np. wlotu starego zasypanego szybu górniczego.

2. P r o f i l a k t y k ę g ó r n i c z ą, stosowaną w przypadku pewnego stwierdzenia pustki pod projektowanym obiektem, np. za pomocą standardowego odwiertu budowlanego. Wtedy stwierdzoną pustkę można zlikwidować przez podsadzenie różnego rodzaju materiałem podsadzkowym (piasek, piasek z cementem, pyły dymnicowe itp.), wykorzystując do tego już wykonany odwiert. Pod szczególnie ważnymi obiektami można wykonać jeden do kilku głębszych otworów wiertniczych w celu upewnienia się czy pod projektowanym budynkiem nie występuje ewentualna pustka. W szczególnych przypadkach możliwe jest nawet udostępnienie pustek robotami górniczymi w celu jej likwidacji przez podsadzenie (udostępnienie np. pochylnią z powierzchni terenu lub pod ziemią od istniejących wyrobisk górniczych). Należy jednak podkreślić, że profilaktyka górnicza jest zwykle droga i pracochłonna i należy ją stosować tylko w szczególnych, ważnych przypadkach.

3. P r o f i l a k t y k ę i n ż y n i e r y j n o - b u d o w l a n ą, polegającą na zabezpieczeniu budowlanego obiektu przed skutkami wystąpienia zapadliska o prognozowanych rozmiarach (głównie poziomych). Polega to przede wszystkim na odpowiednim posadowieniu obiektów na specjalnym fundamencie (zwykle na płycie zbrojonej o rozmiarach przekraczających przypuszczalne wymiary zapadliska). Mogą być też stosowane różne inne rozwiązania zabezpieczenia tak fundamentów, jak i samej konstrukcji obiektu.

Trzeba jednak podkreślić, że zabezpieczenia obiektu mają wtedy sens i zdają egzamin, jeżeli są [zaprojektowane tam, gdzie rzeczywiście zapadlisko może wystąpić i to zapadlisko w określonych dostatecznie pewnie

rozmiarach (poziomach). Natomiast zabezpieczanie przed zapadliskami wszystkich budynków i na zapadlisko, które może wystąpić w każdym miejscu pod budynkiem, jest generalnie nie celowe, gdyż jest kosztowne i pracochłonne. Poniesione koszty absolutnie nie rekompensują zwykle małego prawdopodobieństwa wystąpienia zapadliska właśnie w obrębie obiektu. Jeżeli bowiem przez $P_{1,2}$ oznaczymy całkowite prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska w obrębie zarysu poziomego obiektu, to jest one iloczynem dwu prawdopodobieństw P_1 i P_2 :

$$P_{1,2} = P_1 \cdot P_2$$

- P_1 - prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska zależne od wymiarów pustki i właściwości górotworu nad pustką (obliczane w II etapie prognozy deformacji),
 P_2 - prawdopodobieństwo, że zapadlisko o prawdopodobieństwie P_1 wystąpi właśnie w obrębie zarysu budynku.

To ostatnie prawdopodobieństwo w przybliżeniu można określić ze wzoru:

$$P_2 = \frac{f_0}{f_x}$$

- f_x - powierzchnia całego terenu zapadliskowego,
 f_0 - sumaryczna powierzchnia rzutów poziomych wszystkich budowlanych obiektów w obrębie terenu zapadliskowego.

Przyjmując nawet, że prawdopodobieństwo P_1 jest średnio duże ($0,1 < P < 0,25$), to przy wartości P_2 najczęściej wahającej się w granicach $0,2 - 0,5$, otrzymuje się w rezultacie:

$$0,02 \leq P \leq 0,075$$

Jest to prawdopodobieństwo na tyle małe, że nie usprawiedliwia ponoszenia znacznych kosztów na pełne zabezpieczenie wszystkich obiektów.

Z innych przedsięwzięć, mających na celu zmniejszenie ryzyka wystąpienia zapadliska w trakcie budowy lub po wybudowaniu obiektu, wymienić należy:

1. Sztuczne (wymuszone) wywołanie zapadliska i zasypanie go (zrekultywowanie terenu). Można tego dokonać, np. poprzez:
 - odstrzelenie ładunku wybuchowego w otworze wykonanym do skał związłych, w których podejrzewa się występowanie pustek,
 - uderzanie dużym ciężarem o teren, np. wlewkami hutniczymi, w celu wywołania wstrząsów aktywizujących powstanie zapadliska.

2. Kontrola geodezyjna równomierności osiadania budynku, wykonana po dobudowaniu każdej nowej kondygnacji (może sygnalizować tworzenie się zapadliska typu II - wolno powstającego).

3. Penetracja wykopów pod fundamenty każdego budynku, przeprowadzona przez doświadczonego geologa inżynierskiego, w celu stwierdzenia czy w wykopie nie znajdują się ślady robót górniczych, np. wylot zasypanego szybu. Wyniki oględzin powinny być zapisywane w specjalnie do tego celu założonej książce kontręli. W przypadku stwierdzenia wlotu szybu można zastosować jedną z możliwości profilaktyki górniczej (przewiercenie szybu i podsadzenie pustki), planistycznej - przesunięcie wkopu poza szymb, lub inżynieryjno-budowlanej - zabezpieczenie obiektu na prognozowaną wielkość zapadliska.

4. Czynnikiem silnie aktywizującym ewentualne pustki w górotworze jest woda, przy czym najistotniejsze nie jest samo istnienie wody, ale np. spowodowanie przepływu wody uprzednio stagnującej. Z tego względu przy projektowaniu np. osiedla na terenie zapadliskowym, należy zwrócić szczególną uwagę na właściwe odprowadzenie wód użytkowych i opadowych poza teren zapadliskowy (szczelność kanalizacji i rurociągów). Nie należy też naruszać stosunków wodnych na przewidywanej głębokości występowania pustek (chyba, że na długo przed podjęciem budowy). Niedopuszczalne powinno więc być np. czerpanie wód głębinowych dla celów komunalnych za pomocą studni, w takim rejonie.

5. Ważnym przedsięwzięciem jest powiadomienie dozoru i robotników pracujących na terenie zapadliskowym o możliwościach nagłych ruchów terenu. Chodzi bowiem o nielekceważenie zaobserwowanych nawet małych zmian zachodzących w terenie. W razie wizualnego stwierdzenia jakichś zmian w terenie (obiekcie), ludzie i sprzęt powinny być natychmiast wycofane a sam teren obserwowany za pomocą niwelacji technicznej. Wyniki tej niwelacji będą potrzebne w celu podjęcia decyzji odnośnie tego rejonu.

6. Z powodów wymienionych w p. 4, także użytkownik wybudowanego już obiektu (np. administracja osiedla) powinien być powiadomiony o fakcie wybudowania obiektu na terenie, w którym mogą się jeszcze ujawniać deformacje terenu (zapadliska). Chodzi o nielekceważenie tego typu zjawisk i podejmowanie jak najszybszych przeciwdziałań w razie stwierdzenia takich ruchów terenowych.

Prawidłowe i wnikliwe powiązanie wszystkich wymienionych działań, zmniejsza do minimum ryzyko wystąpienia deformacji nieciągłej i spowodowanie poważniejszego wypadku budowlanego na terenach zapadliskowych. Ryzyko to jednak nadal istnieje i np. w stosunku do terenów podlegających deformacjom ciągłym jest większe. Tak więc decyzja o zagospodarowaniu terenu zapadliskowego, zwłaszcza takiego, którego rozpoznanie jest niepewne i nie może być lepsze, nie może być wyłączną domeną eksperta prognozującego deformacje nieciągłe, ale wszystkich zainteresowanych stron - in-

westora, użytkownika, administracji terenowej, władz górniczych i eksperta prognozującego deformacje. Dlatego powinna być podejmowana kolegialnie, po zapoznaniu się stron z pełną informacją na ten temat i uświadomieniu sobie skali ryzyka z tym związanego.

Stosując tego rodzaju postępowanie na terenie zapadliskowym po starych eksploatacjach rud żelaza w rejonie Kielc z powodzeniem wybudowano 3 duże osiedla mieszkaniowe dla kilkudziesięciu tys. mieszkańców (osiedla: "Świątokrzyskie", "Słoneczne Wzgórze" i "Na Stoku").

8. PROPONOWANY PODZIAŁ TERENÓW PODLEGAJĄCYCH DEFORMACJOM NIECIĄGŁYM

8.1. Kryteria podziału

W oparciu o pełną prognozę deformacji nieciągłych uzyskuje się rozpoznanie zagrożenia terenu według następujących trzech stopni rozpoznania:

I stopień rozpoznania - rodzaj deformacji

Wyróżnia się:

1. Zapadlisko typu I - gwałtownie powstające.
2. Zapadlisko typu II - powoli kształtujące się.

Zapadlisko typu II dzieli się dodatkowo na następujące jego formy:

- forma IIa - jest to zapadlisko mające tendencje do przejścia w zapadlisko typu I,
- forma IIb - zapadlisko typu II nie mające tendencji do przejścia w zapadlisko typu I, ale mogą mu towarzyszyć liniowe formy deformacji nieciągłych (szczeliny, progi terenowe),
- forma IIc - łagodne lokalne obniżenie terenu (forma zbliżona do niecki osiadań - deformacji ciągłej).

II stopień rozpoznania - prawdopodobieństwo powstania zapadliska

Wyróżnia się następującą skalę prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk:

- P_m - prawdopodobieństwo małe - $P < 0,1$
- $P_{\text{śr}}$ - prawdopodobieństwo średnio duże - $0,1 < P < 0,25$
- P_d - prawdopodobieństwo duże - $0,25 \leq P < 0,5$

Prawdopodobieństwo to dotyczy możliwości powstania obydwu typów zapadlisk. Np. oznaczenie: IIb, $P_{\text{śr}}$ oznacza teren zagrożony zapadliskami typu IIb o prawdopodobieństwie ich wystąpienia średnio dużym.

III stopień rozpoznania - wielkość deformacji

Dotyczy tylko zapadlisk typu I. Dla zapadlisk typu II określenie wielkości deformacji jest niemożliwe.

Wyróżnia się:

- S_m - zapadlisko małe (o średnicy małej) - $S < 3$ m
- $S_{\text{śr}}$ - zapadliska o wielkości średnio dużej - 3 m $\leq S < 9$ m
- S_d - zapadliska duże - 9 m $\leq S < 18$ m
- S_{bd} - zapadliska bardzo duże - $S \geq 18$ m

Powyżej wymienione stopnie rozpoznania pozwalają na wyróżnienie aż 18 kombinacji wskaźników deformacji, pokazanych na rys. 3.1 (18 różnych rejonów o różnym stopniu zagrożenia deformacjami). Na rys. 3.1 pokazano też przyporządkowanie terenów o określonym zagrożeniu deformacjami do terenów odpowiedniej kategorii ochrony oznaczonych symbolami literowymi A, B, C i D. W rezultacie więc wyróżniono 4 kategorie terenów zapadliskowych o następującej charakterystyce:

K a t e g o r i a A

Charakterystyka zagrożeń:

Teren jest zagrożony powstawaniem zapadlisk typu IIc, tj. w formie lokalnych obniżzeń terenu zbliżonych do mało rozległych niecek osiadań, przy czym prawdopodobieństwo ich powstania waha się od małego do dużego. Są to rejonny oznaczone symbolami: IIc - P_m, IIc - P_{śr} i IIc - P_d. Sporadycznie na takim terenie mogą występować zapadliska typu IIb, tj. lokalne obniżenia terenowe z towarzyszącymi im małymi formami liniowych deformacji nieciągłych w postaci szczelin i pęknięć terenowych. Prawdopodobieństwo powstania takiego zapadliska jest jednak małe. Jest to rejon oznaczony symbolem IIb - P_m.

Rygory i zalecenia odnośnie zagospodarowania takiego terenu: Jest to teren w zasadzie bezpieczny dla wszelkiego rodzaju zagospodarowania łącznie z budownictwem. Konieczna jednak jest kontrola geodezyjna równomierności osiadań budowlanych obiektów, zwłaszcza wysokich i wielkokubaturowych.

K a t e g o r i a B

Charakterystyka zagrożeń:

Teren jest zagrożony powstawaniem zapadlisk typu IIb o prawdopodobieństwie ich powstania średnim i dużym, a także typu IIa o prawdopodobieństwie małym i średnim. Są to rejonny oznaczone symbolami: IIb - P_{śr}, IIb - P_d oraz IIa - P_m i IIa - P_{śr}.

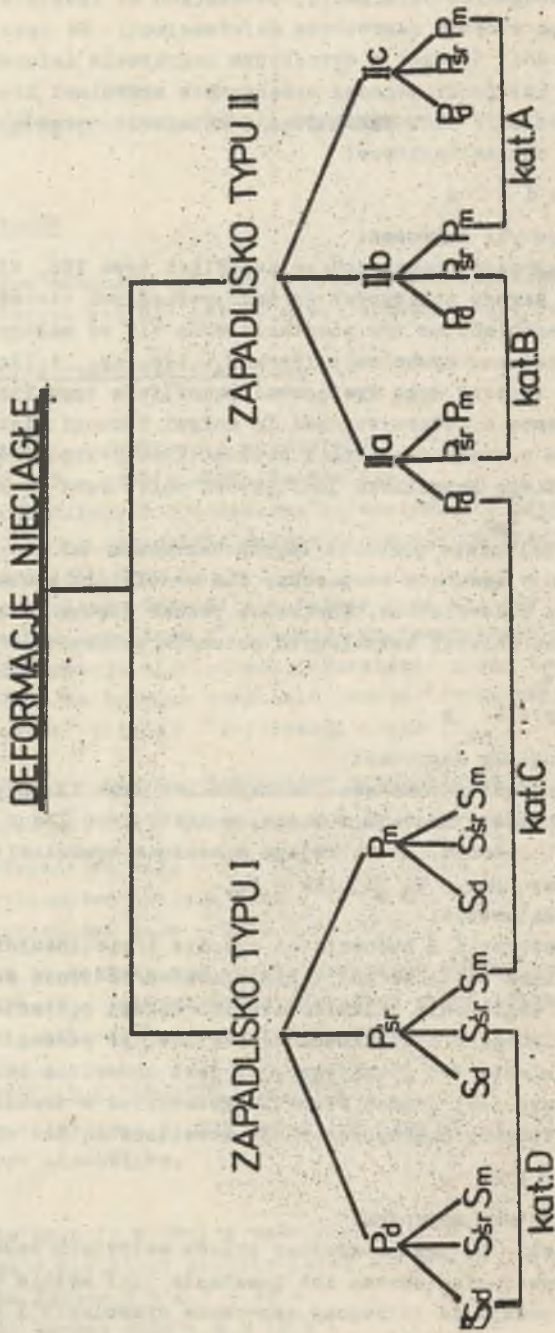
Rygory i zalecenia:

Na terenie kategorii B budownictwo wysokie i wielkokubaturowe nie jest dozwolone, chyba że teren pod takim obiektem zostanie dodatkowo dokładnie rozpoznany a zagrożenie zlikwidowane lub obiekt zostanie zabezpieczony na deformacje nieciągłe o wielkości wynikającej ze szczegółowej prognozy. Budownictwo niskie (do 2 kondygnacji) jest dozwolone bez dodatkowych rygorów. Wskazana jest jednak kontrola geodezyjna w trakcie wznoszenia budynku. Inne sposoby zagospodarowania dozwolone są bez ograniczeń.

K a t e g o r i a C

Charakterystyka zagrożeń:

Teren kategorii C jest zagrożony przede wszystkim zapadliskami typu I, przy czym prawdopodobieństwo ich powstania jest małe, a wielkość zapadlisk od dużej do małej. Są to rejonny oznaczone symbolami: I - P_m - S_m, I - P_m - S_{śr}, I - P_m - S_d. Dodatkowo salicza się tu tereny oznaczone



Rys. 8.1. Stopnie i kategorie zagrożenia terenu deformacjami nieciągłymi
Fig. 8.1. Degrees and categories of areas threatened by discontinuous deformation

symbolami: IIa - P_d oraz I - $P_{\acute{s}r}$ - S_m . Jest to teren niebezpieczny dla każdego budownictwa, chociaż generalnie niebezpieczeństwo to jest raczej małe.

Rygory i zalecenia:

Budownictwo wysokie i wielkokubaturowe niedozwolone. Budownictwo niskie o małej kubaturze dozwolone pod warunkiem przestrzegania zasad inwestowania na terenach zapadliskowych (podanych w rozdziale 7.5) - penetracja wykopu pod fundamenty, kontrola geodezyjna osiadań budynku i właściwe odprowadzenie wód użytkowych i opadowych. Wskazane zabezpieczenie budynku (wzmocnienie konstrukcji i fundamentów). Wskazane jest nielokowanie budownictwa mieszkalnego i komunalnego na takich terenach z wyjątkiem budynków pomocniczych (magazyny, garaże itp.). Teren taki należy wykorzystać raczej na prowadzenie podrzędnych tras komunikacyjnych, placów, zieleni miejskiej, ogrodów i terenów rolniczych.

K a t e g o r i a D

Charakterystyka zagrożeń:

Jest to teren bardzo silnie zagrożony zapadliskami typu I. Prawdopodobieństwo ich powstania jest duże i średnio duże, a wielkość zapadlisk od średniej do dużej. Są to tereny oznaczone symbolami: I - P_d - S_m , I - P_d - $S_{\acute{s}r}$, I - P_d - S_d , I - $P_{\acute{s}r}$ - $S_{\acute{s}r}$ i I - $P_{\acute{s}r}$ - S_d .

Rygory i zalecenia:

Jest to teren niebezpieczny, grożący wypadkiem. Na terenie tym budownictwo jest niedozwolone. Niedozwolone jest też prowadzenie tras komunikacyjnych. Użytkowanie rolnicze (sadownicze) możliwe, chociaż niewskazane. Najlepiej teren ten przeznaczyć pod zielenią osiedlową lub pod zalesienie. Tworzenie obecnie tego typu terenów przez górnictwo powinno być niedozwolone.

Uwaga końcowa: kategorie terenów zapadliskowych oddają przeciętne zagrożenia powierzchni dla danego obszaru. W konkretnych, lokalnych miejscach obszaru zapadliskowego zagrożenia te mogą nawet znacznie odbiegać od przeciętnych. Dlatego mogą istnieć odstępstwa od rygorów i zaleceń podanych dla poszczególnych kategorii, jeżeli zgromadzone dodatkowo doświadczenia i obserwacje (nie ujęte w danych do prognozy) to dokumentują. Możliwe jest też przekwalifikowanie danego terenu do innej kategorii, jeżeli dodatkowe badania rozpoznawcze (nie ujęte w prognozie) na to pozwolą. Wymaga to jednak dodatkowej ekspertyzy zarówno co do przewidywanych deformacji jak i zasad budowy projektowanego obiektu.

8.2. Przybliżone kryteria podziału terenów zapadliskowych na kategorie w przypadku słabego rozpoznania zagrożeń

Jeżeli rozpoznanie warunków górniczko-geologicznych w danym obszarze zapadliskowym jest niewystarczające i nie może być lepsze, a tym samym

prognoza zagrożeń deformacjami jest niepełna - ograniczona tylko do I części prognozy, to przybliżone kategorie terenów zapadliskowych proponuje się określać następująco:

Za główne kryterium kategorii terenu proponuje się przyjąć położenie stropu warstw związanych (wielkości h) w stosunku do odpowiednich wielkości h_{zmax} (rys. 8.2).

K a t e g o r i a A

Występuje wtedy, gdy: $h > 2 h_{zmax}$.

Teren jest bezpieczny, w sasadzie nie grożą mu deformacje nieciągłe.

K a t e g o r i a B

Występuje wtedy, gdy: $1,5 h_{zmax} < h \leq 2 h_{zmax}$

Teren jest zagrożony przede wszystkim zapadliskami typu II i sporadycznie typu I.

K a t e g o r i a C

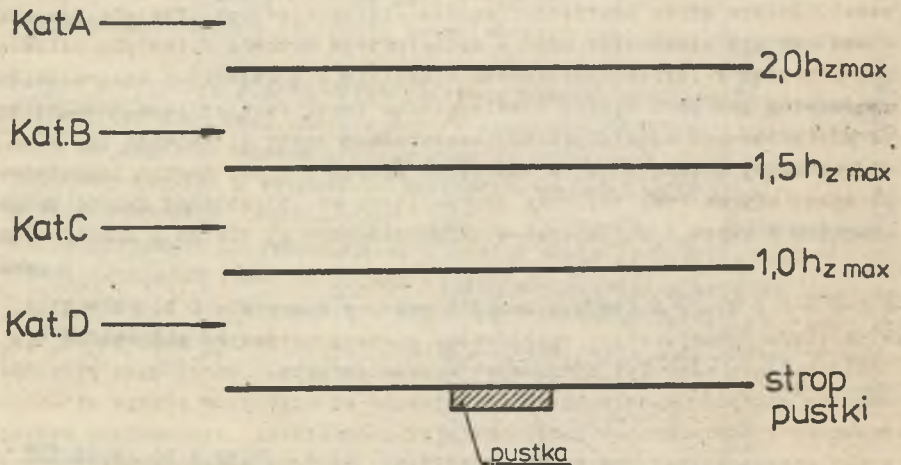
Występuje wtedy, gdy: $1,0 h_{zmax} < h \leq 1,5 h_{zmax}$

Teren jest zagrożony zapadliskami typu I i II, przy czym zapadliska typu I występują raczej rzadko i mają wielkość małą, a co najwyżej średnią.

K a t e g o r i a D

Występuje wtedy, gdy: $h \leq h_{zmax}$

Jest to teren silnie zagrożony zapadliskami typu I o wielkościach od małych do dużych.



Rys. 8.2. Określenie kategorii terenu w zależności od położenia stropu warstw związanych względem wielkości h_{zmax}

Fig. 8.2. Determination of the area category, depending on the location of compact strata towards the quantity h_{zmax}

W przypadku tak określonych kategorii terenów zapadliskowych, należy szczególnie przestrzegać zasad zagospodarowywania takich terenów sformułowanych w rozdziale 7.5. W szczególności taki podział terenów nie może być jedyną podstawą do podjęcia na nich działalności inwestycyjnej. Ma on znaczenie tylko orientacyjne i przed podjęciem jego zagospodarowania powinien być poddany szczegółowej analizie uwzględniającej zarówno ewentualne nowe obserwacje (doświadczenia) z tego rejonu, jak też projektowany sposób jego zagospodarowania.

Uwaga:

Alternatywnym rozwiązaniem klasyfikacji terenów zapadliskowych w przypadku niemożliwości przeprowadzenia pełnej prognozy deformacji nieciągłych jest przyjęcie klasyfikacji zaproponowanej przez Chudka-Olassowskiego w pracy [2], tablica 31, według wskaźnika

$$Z = \frac{H - h_n}{g}$$

9. INSTRUKCJA KLASYFIKACJI TERENÓW GÓRNICZYCH ZAGROŻONYCH WYSTĘPOWANIEM DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH

9.1. Wstęp

Niniejsza instrukcja służy do klasyfikacji terenów górniczych zagrożonych deformacjami nieciągłymi. Stosowana może być dla potrzeb zagospodarowania przestrzennego na terenach górniczych kopalń podziemnych węgla kamiennego i innych kopalni.

Przez deformacje nieciągłe rozumie się deformacje powierzchni terenu występujące w postaci: zapadlisk (lejów), szczelin i progów terenowych.

Tereny podlegające deformacjom nieciągłym dzieli się na:

- tereny podlegające deformacjom nieciągłym typu powierzchniowego, na których ujawniły się lub mogą ujawnić się zapadliska (leje),
- tereny podlegające deformacjom nieciągłym typu liniowego, na których ujawniły się lub mogą ujawnić się deformacje tylko w postaci szczelin i progów terenowych,
- tereny podlegające jednocześnie obydwu wymienionym powyżej typom deformacji nieciągłych.

Uwagi: Deformacje nieciągłe mogą towarzyszyć deformacjom ciągłym lub mogą występować samodzielnie.

Deformacjami typu powierzchniowego, tj. zapadliskami zagrożone są tereny, pod którymi w górotworze znajdują się pustki (kawerny) pochodzenia antropogenicznego - wyrobiska poeksploatacyjne, bądź pochodzenia naturalnego - np. kawerny krasowe.

Deformacjami liniowymi zagrożone są tereny położone bezpośrednio nad:

- wychodniami uskoków tektonicznych,
- wychodniami warstw geologicznych, zwłaszcza wtedy, gdy warstwy te były lub są obecnie eksploatowane, a także wtedy gdy wychodnia stanowi rejon infiltracji wód opadowych do górotworu,
- nad strefami o dużym zagęszczeniu krawędzi poeksploatacyjnych na małej powierzchni w rzucie poziomym.

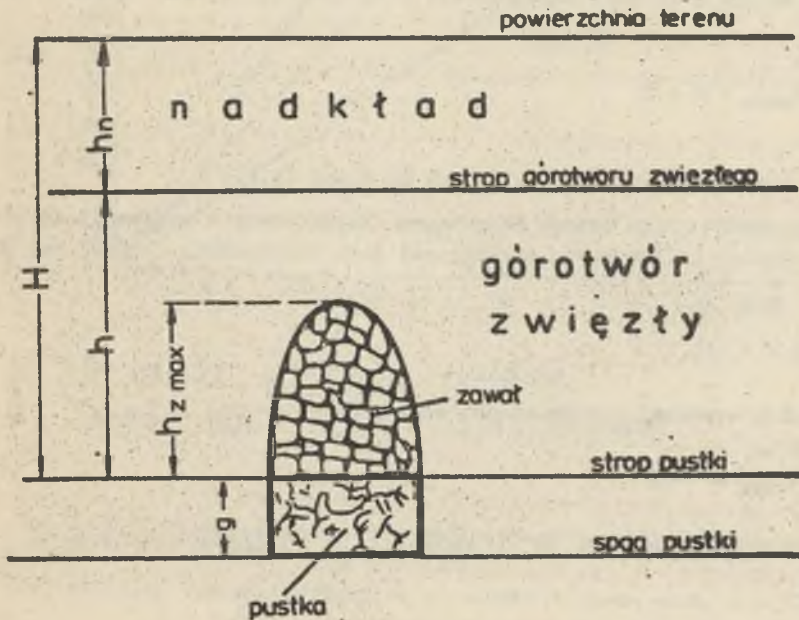
9.2. Kategorie terenów górniczych zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych typu powierzchniowego

Wprowadza się do stosowania cztery następujące kategorie terenów górniczych zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych typu powierzchniowego:

- Kategoria A - tereny niezagrażone
- Kategoria B - tereny średnio zagrożone
- Kategoria C - tereny silnie zagrożone
- Kategoria D - tereny bardzo silnie zagrożone

Podstawowym kryterium zakwalifikowania terenu górniczego do danej kategorii jest zależność pomiędzy miąższością zwięzłego górotworu - h , залегаjącego nad pustką (rys. 9.1) a maksymalną wysokością strefy zawału - h_{zmax} , przy uwzględnieniu następujących zasad.
Jeżeli

$$\begin{aligned}
 h &> 2 h_{zmax} && - \text{kategoria A} \\
 1,5 h_{zmax} &< h \leq 2 h_{zmax} && - \text{kategoria B} \\
 1,0 h_{zmax} &< h < 1,5 h_{zmax} && - \text{kategoria C} \\
 h &< h_{zmax} && - \text{kategoria D}
 \end{aligned}
 \tag{9.1}$$



Rys. 9.1. Przekrój przez górotwór nad pustką

Fig. 9.1. Cross-section through the rock mass over a cavity

Przez górotwór zwięzły należy rozumieć górotwór zbudowany z warstw karbońskich (piaskowce, łupki, łupki piaszczyste) lub z warstw triasowych (dolomity, wapienie).
Maksymalną wysokość strefy zawału należy obliczać ze wzoru:

$$h_{zmax} = g \cdot \left[\frac{6}{\pi(k-1)} + \frac{1}{\pi} \right]
 \tag{9.2}$$

gdzie:

g - wysokość pustki, czyli wysokość faktycznie pustej przestrzeni,
 k - współczynnik rozluźnienia skał (po ich rozkruszeniu) obliczamy ze wzoru

$$k = \frac{V}{V_c} \quad (9.3)$$

przy czym:

$$k \geq 1$$

V_c - objętość skał w całości (górotworze),

V_z - ta sama objętość skał V_c po ich rozkruszeniu (w zawałe).

Obliczoną wartość h_{zmax} zaokrągla się do liczby całkowitej.

Dla danego górotworu współczynnik rozluźnienia k jest zwykle stały, więc

$$h_{zmax} = n \cdot g$$

gdzie:

n - współczynnik stały wynikający ze wzoru (9.2).

W przypadku braku danych dotyczących kształtowania się współczynnika rozluźnienia k lub małej dokładności jego wyznaczania, zaleca się przyjmować

$$k = 1, 20$$

Maksymalna wysokość strefy zawału wynosi wówczas

$$h_{zmax} \approx 10 g \quad (9.4)$$

Wstawiając wzór (9.4) do zależności (9.1) otrzymamy odpowiednio.

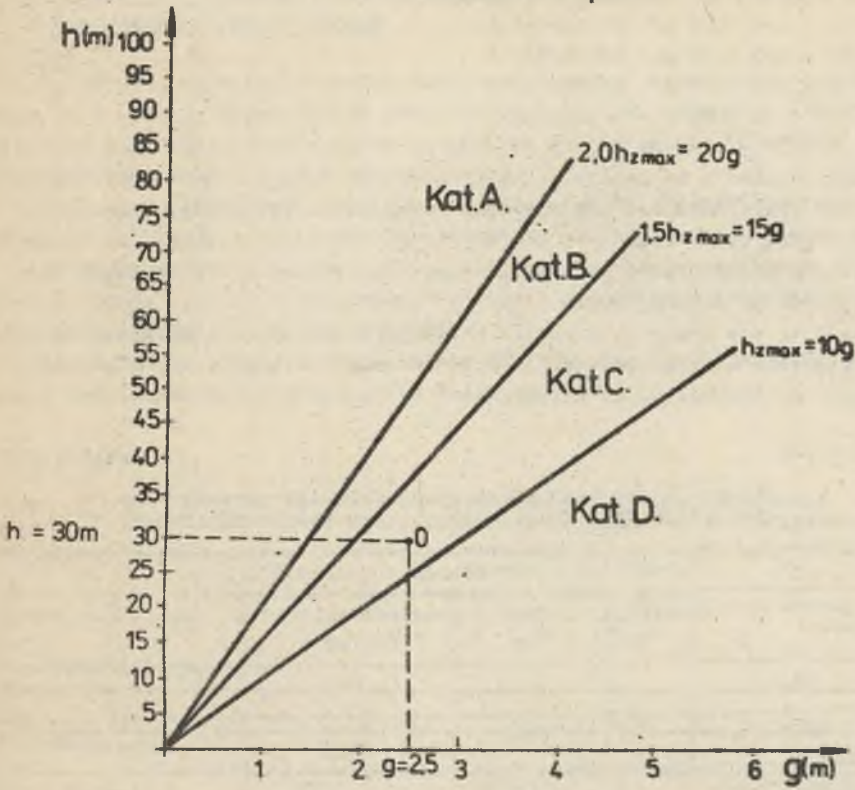
Jeżeli

$$\begin{aligned} h > 20 g & - \text{kategoria A} \\ 15 g \leq h < 20 g & - \text{kategoria B} \\ 10 g \leq h < 15 g & - \text{kategoria C} \\ h < 20 g & - \text{kategoria D} \end{aligned} \quad (9.5)$$

W celu ułatwienia przyporządkowania danego terenu zapadliskowego do określonej kategorii można posłużyć się nomogramem podanym na rys. 9.2.

W przypadku, gdy nadkład - h_n (rys. 9.1) jest silnie zawodniony i brak jest w nim warstw wodonieprzepuszczalnych, istnieje duże prawdopodobieństwo infiltracji wód w głąb górotworu.

dla $k=1,20$



Przykład : $g = 2,5$ m , $h = 30$ m
wynik : kat. C (punkt „0” na rysunku)

Rys. 9.2. Nomogram do klasyfikacji terenów zapadliskowych dla $k = 1,20$

Fig. 9.2. Nomogram for classification of sinkhole areas with $k = 1,20$

Należy wtedy przyjmować

$$\begin{aligned} h > 30 \text{ g} & - \text{ kategoria A} \\ 20 \text{ g} < h < 30 \text{ g} & - \text{ kategoria B} \\ 10 \text{ g} < h < 20 \text{ g} & - \text{ kategoria C} \\ h < 10 \text{ g} & - \text{ kategoria D} \end{aligned} \tag{9.6}$$

Przez nadkład - h_n należy rozumieć górotwór luźny, zbudowany z warstw młodszych (czwartorzędu, trzeciorzędu) wykształconych zwykle w postaci piasków, glin, ilów itp.

Dla terenów zapadliskowych, w tablicy 9.1 zestawiono orientacyjne wskaźniki deformacji nieciągłych.

Tablica 9.1. nie służy do określania kategorii terenów, a jedynie informuje z jakimi wartościami deformacji nieciągłych będzie się miało do czynienia na terenie danej kategorii.

Tablica 9.1

Orientacyjne wartości wskaźników deformacji terenów podlegających deformacjom nieciągłym typu powierzchniowego

Kategoria	Wskaźnik deformacji		
	wartość deformacji - W [m]	prawdopodobieństwo - P	gęstość - G [zapadlisk/km ²]
Kategoria A	-	-	-
Kategoria B	< 3	≤ 0,25	< 5
Kategoria C	3 - 9	0,25 - 0,50	5 - 15
Kategoria D	9 - 18 > 18	0,5 0,25 - 0,50	> 15

Oznaczenia:

- W - wielkość deformacji, rozumiana jako powierzchnia koła o średnicy d w metrach,
- P - prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji
P waha się w granicach od 0 - brak deformacji do 1 - pewność wystąpienia deformacji. Np. gdy $P = 0,20$ znaczy, że co 5 punktka może ujawnić się na powierzchni terenu wywołując deformacje,
- G - gęstość deformacji, tj. ilość zapadlisk na 1 km²
- "-" - dany wskaźnik nie występuje.

Wielkości W, P, G można obliczyć przy przyjęciu określonej metody prognozowania deformacji nieciągłych (np. Chudka-Olaszowskiego lub Janusza-Jarozsa). Do wstępnej kwalifikacji terenów podlegających deformacjom nieciągłym, obliczenia te nie są potrzebne.

9.3. Kategorie terenów górniczych zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych typu liniowego

Dla terenów zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych liniowych brak jest obecnie odpowiednich metod obliczania tych deformacji. Obecnie prowadzi się kompleksową analizę dotychczas występujących deformacji nieciągłych liniowych.

Podstawowym kryterium określenia terenów zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych liniowych jest wielkość szczelin - s i progów - p.

Wielkości te obecnie można określić przez analogię na podstawie doświadczeń z innych rejonów o zbliżonych warunkach geologiczno-górniczych, gdzie wystąpiły deformacje nieciągłe liniowe.

Deformacje nieciągłe liniowe należy kwalifikować do odpowiedniej kategorii według zasad przedstawionych w tablicy 9.2.

Tablica 9.2

Orientacyjne wielkości wskaźników deformacji terenów podlegających deformacjom nieciągłym typu liniowego

Kategoria	Wskaźnik deformacji		
	szczelina - s mm	próg - p mm	prawdopodobieństwo - P
Kategoria A ₁	< 10	< 50	< 0,10
Kategoria B ₁	10 - 50	50-200	0,10-0,25
Kategoria C ₁	50 -100	200-500	0,25-0,50
Kategoria D ₁	> 100	> 500	> 0,50

W rejonach wychodni uskoków, wychodni pokładów, względnie kilku krawędzi doprowadzonych w pionie do wspólnej granicy, należy określić szerokość terenu zagrożonego występowaniem deformacji nieciągłych liniowych. W tym przypadku za zagrożony należy uważać teren wychodni strefy uskokuwej (pokładów, krawędzi), poszerzony z obu stron o pasy (rys. 9.3) szerokości

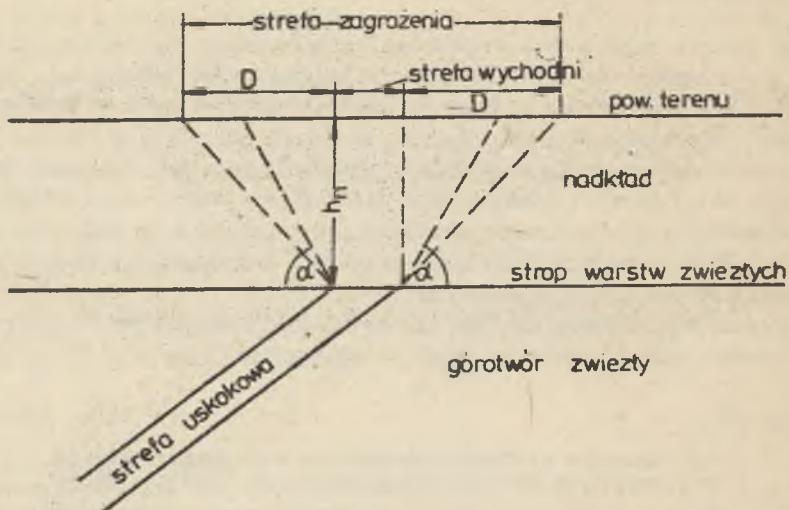
$$D = 1,2 h_n \operatorname{ctg} \alpha$$

gdzie:

h_n - miąższość nadkładu,

α - kąt naturalnego zsypania warstw nadkładu, którego średnia wartość zawarta jest w przedziale od 34° do 43° .

Pasy te liczone są od zewnętrznych obrysów wychodni strefy uskokuwej (pokładów, krawędzi) pokrywających się w pionie).



Rys. 9.3. Zagrożenie terenu w przypadku wychodni (uskoków, warstw geologicznych)

Fig. 9.3. Ground hazard in the case of fault or rock stratum outcrope

9.4. Spis oznaczeń

- A, B, C, D - kategorie terenów podlegających deformacjom nieciągłym typu powierzchniowego
- A_1, B_1, C_1, D_1 - kategorie terenów podlegających wyłącznie deformacjom nieciągłym typu liniowego
- H - głębokość zalegania stropu pustki (eksploatowanego pokładu)
- h - miąższość skał zwięzłych nad pustką w górotworze
- h_n - miąższość nadkładu, tj. warstw mało zwięzłych nad pustką w górotworze
- h_{zmax} - maksymalny zasięg strefy zawału w pionie (wysokość zawału)
- k - współczynnik rozluźnienia górotworu ($k \geq 1$)
- g - wysokość pustki (rzeczywista)
- P - prawdopodobieństwo powstania deformacji nieciągłej (dotyczy tylko deformacji typu powierzchniowego)
- G - gęstość występowania deformacji nieciągłych (dotyczy tylko deformacji typu powierzchniowego)

- W - wielkość deformacji nieciągłej typu powierzchniowego zgeneralizowana do powierzchni koła o średnicy d
- s - szerokość szczeliny (tylko dla deformacji nieciągłych typu liniowego)
- p - wysokość progu (uskoku) terenowego (tylko dla deformacji nieciągłej typu liniowego)
- α - kąt naturalnego zrywania warstw nadkładu
- M - współczynnik
- V_c - objętość skał w całym zawałku
- V_z - objętość skał po rozkruszeniu (w zawałku)
- D - pas terenu zagrożonego nad uskokiem, wyhodnią warstw lub skarpą eksploatacyjną.

10. ZASADY ZAGOSPODAROWANIA TERENÓW GÓRNICZYCH PODLEGAJĄCYCH DEFORMACJOM NIECIĄGŁYM

10.1. Tereny zapadliskowe

K a t e g o r i a A

Każdy rodzaj zagospodarowania terenu jest dozwolony.

K a t e g o r i a B

Budownictwo wysokie (ponad 4 kondygnacje) i wielkokubaturowe nie jest dozwolone. Budownictwo niskie dozwolone jest bez dodatkowych ograniczeń. Inne sposoby zagospodarowania bez ograniczeń.

K a t e g o r i a C

Budownictwo wysokie i wielkokubaturowe nie jest dozwolone. Budownictwo niskie i małokubaturowe dozwolone jest pod warunkiem przestrzegania zasad inwestowania na terenach zapadliskowych (penetracja wykopu pod fundamenty) kontrola geodezyjna osiadań budynku, prawidłowe odprowadzenie wód użytkowych i opadowych). Konieczne jest zabezpieczenie budynków (wzmocnienie konstrukcji i fundamentów). Niewskazane jest lokowanie tu budownictwa mieszkalnego i komunalnego. Teren taki należy wykorzystać przede wszystkim na prowadzenie podrzędnych tras komunikacyjnych, placów, zieleni miejskiej, ogródków działkowych itp.

K a t e g o r i e D

Budownictwo nie jest dozwolone. Niedozwolone jest prowadzenie przez taki teren tras komunikacyjnych. Użytkowanie rolnicze (sadownicze) jest dozwolone, choć niewskazane. Najlepiej teren ten przeznaczyć pod zielenią osiedlową lub zalesienie.

Uwaga: Przekwalifikowanie terenów kategorii C i D do kategorii B jest możliwe po rozpoznaniu i zlikwidowaniu pustek.

10.2. Tereny podlegające deformacjom nieciągłym liniowym

K a t e g o r i a A₁

Każdy rodzaj zagospodarowania terenu jest dozwolony. Niewskazane jest jednak lokowanie budynków odpowiednio niezabezpieczonych, bezpośrednio

nad wychodnią uskoku (warstw, skarpą eksploatacyjną). Budynki wysokie (ponad 4 kondygnacje) i wielkokubaturowe lokowane bezpośrednio nad wychodnią muszą być zabezpieczone na występowanie progów terenowych.

K a t e g o r i a B₁

Możliwy jest każdy rodzaj zagospodarowania, Budynki lokalizowane w tym terenie muszą być jednak odpowiednio zabezpieczone (przed progami terenowymi i szczelinami).

K a t e g o r i a C₁

Wykluczone jest budownictwo mieszkalne oraz wysokie i wielkokubaturowe. Może być jedynie lokalizowane budownictwo podrzędne (garaże, magazyny). Nie jest wskazane prowadzenie ważniejszych tras komunikacyjnych. Pozostałe sposoby zagospodarowania bez ograniczeń.

K a t e g o r i a D₁

Budownictwo jest wykluczone. Pozostałe sposoby zagospodarowania możliwe, choć niewskazane. Teren taki przeznaczyć pod zalesienie lub sieleń osiedlową.

Uwaga: Odstępstwa od podanych zasad wymagają dodatkowej szczegółowej ekspertyzy geologiczno-górnicznej (prognozy) i ekspertyzy budowlanej.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Model górotworu podatnego na zapadliska. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 107, 1981.
- [2] Chudek M., Arkuszewski J., Olaszowski W.: Deformacje nieciągłe w obszarach górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 101, 1980.
- [3] Chudek M., Olaszowski W.: Określenie rodzaju i wielkości deformacji nieciągłych. OTG, nr 38, 1976.
- [4] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1981.
- [5] Chudek M., Arkuszewski J.: Wpływ warunków naturalno-górnicznych oraz czasu na proces tworzenia się deformacji zapadliskowych OTG nr 53, 1980.
- [6] Chudek M.: Model górotworu podatnego na zapadliska. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 107, 1981.
- [7] Chudek M., Arkuszewski J.: Matematyczny sposób opisu procesu powstawania deformacji o charakterze zapadliskowym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 106, 1980.
- [8] Chudek M., Arkuszewski J.: Identyfikacja deformacji zapadliskowych w obszarach dawnej i płytkiej eksploatacji górniczej na terenie GOP. Projekty Problemy, Budownictwo Górnicze nr 4, 1980.

- [9] Chudek M., Olszowski W.: Zagrożenie powierzchni ze starych szybów usytuowanych w obszarze górniczym KGH "Orzeł Biały" oraz sposoby jego likwidacji. OTG nr 39, 1977.
- [10] Chudek M., Zadecki W., Łabanowicz H.: Technologia likwidacji nieczynnych szybów na przykładzie szybu wentylacyjnego. OTG Nr 65, 1983.
- [11] Chudek M., Olszowski W., Prus B.: Klasyfikacja terenów górniczych zagrożonych deformacjami nieciągłymi. Przegląd Górniczy nr 6, 1973.
- [12] Chwastek J.: Wpływ dawnych robót górniczych Dolnego Śląska na zagospodarowanie terenu. OTG nr 34, 1975.
- [13] Fajkiewicz Z.: Prognozowanie metodą mikrograwimetryczną gwałtownych naruszeń powierzchni terenów górniczych. OTG Nr 60, 1982.
- [14] Fenk J.: Eine Theorie zur Entstehung von Tagesbrüchen über Kohlräumen im Lockergebirge. Freiberges Forschungsheft A 639, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1981.
- [15] Gryczmański M., Śliwa J.: Problemy fundamentowania na terenach dawnej płytkiej eksploatacji górniczej. OTG Nr 31, 1975 i OTG nr 32 1973.
- [16] Instrukcja bezpiecznego wykonywania robót górniczych w warunkach zagrożenia wodnego w podziemnych zakładach górniczych węgla kamiennego. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Katowice 1974.
- [17] Janusz W., Jarosz A.: Nieciągłe deformacje powierzchni wywołane płytką podziemną eksploatacją górnictwem. Zbiór referatów Konferencji N-T pt. Budownictwo na terenach o dużych deformacjach powierzchni. Katowice 1976.
- [18] Janusz W., Jarosz A., Szkup K., Ligas A.: Prognozowanie występowania deformacji terenu na skutek eksploatacji złóż cynkowo-olowiowych w rejonie olkusko-bolesławskim. Zbiór referatów na IV Krajowy Zjazd Górnictwa Rud. Bukowno 1976.
- [19] Janusz W.: Problematyka zagospodarowania terenów pogórnicznych zagrożonych deformacjami nieciągłymi. Materiały Konferencji N-T z okazji Dnia Górnika w AGH, 1982.
- [20] Jarosz A.: Model powstawania deformacji nieciągłych. Zeszyty Naukowe PAN. Prace Kom. Górniczo-Geodezyjnej. Geodezja 1975.
- [21] Klenczar T.: Szkody Górnicze. Katowice PWT, 1951.
- [22] Palki J.: Występowanie nieciągłych deformacji terenu w warunkach Rybnickiego Okręgu Węglowego. Praca doktorska AGH, 1978.
- [23] Palki J.: Zakres, formy i przyczyny występowania deformacji nieciągłych terenu w warunkach Rybnickiego Okręgu Węglowego OTG nr 56. Katowice 1981.
- [24] Palki J.: Powstawanie deformacji nieciągłych powierzchni terenu przy prowadzeniu robót górniczych pod zawodnionymi utworami w stropie karbonu. OTG nr 45, 1978.
- [25] Prace badawcze IK10Ś-AGH, lata 1973-1978. Archiwum IK10Ś AGH i ZBiPM CUPRUM we Wrocławiu. Badania wpływu eksploatacji górniczej i odwadniania na zachowanie się powierzchni terenu celem opracowania zasad jej zagospodarowania.
- [26] Prace Kom. d/s Ochrony Powierzchni przed Szkodami Górniczymi przy WUG. Temat 4/76 1977 r. Metody likwidacji pustek poeksploatacyjnych płytkich wyrobisk górniczych.
- [27] Prace badawcze IK10Ś-AGH, 1977 r. Doskonalenie metod prognozowania deformacji nieciągłych, próba ilościowego ujęcia deformacji liniowych oraz deformacje powierzchni sprowadzone starymi szybikami. Archiwum IK10Ś-AGH oraz ZBiPM CUPRUM we Wrocławiu.
- [28] Prace badawcze IK10Ś-AGH, Kraków 1977 r. Zebranie danych dotyczących możliwości zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych ZG. "Chrząnow". Archiwum IK10Ś-AGH i ZBiPM CUPRUM we Wrocławiu.

- [29] Prace badawcze IKiOŚ-AGH Kraków, 1978 r. Archiwum IKiGŚ-AGH i KBiPM CUPRUM we Wrocławiu. Prognozy deformacji powierzchni terenu dla potrzeb zagospodarowania przestrzennego rejonu olkuskiego. Opracowanie klasyfikacji terenów zapadliskowych. Wpływ obciążenia terenu na możliwość powstania deformacji.
- [30] Prace badawcze IKiOŚ-AGH w Krakowie ZB i PM CUPRUM we Wrocławiu. Etap II/1973 i etap III/1974 r. Badanie wpływów eksploatacji górniczej i odwadniania na zachowanie się powierzchni terenu, celem opracowania zasad jej kompleksowej ochrony.
- [31] Praca badawcza w zakresie wykrywania i likwidacji zagrożenia ze strony płytkiej eksploatacji górniczej pokładów węgla.
- [32] Sałustowicz A., Galanka J.: Mechanika Górnotworu. Kraków, 1960. Skrypty uczelniane AGH.
- [33] Staroń T., Zamojski B.: Wyznaczanie zasięgu deformacji górotworu nad pokładem eksploatowanym z zawałem stropu, w świetle pomiarów podziemnych i rozważań teoretycznych. OTG nr 36 1976.
- [34] Sachs J., Skinderowicz B., Zakolski R.: Prognozowanie rodzaju i wielkości deformacji nieciągłych powierzchni na terenach płytkiej eksploatacji górniczej. Materiały Konferencji N-T pt.: Wybrane zagadnienia budownictwa na terenach górniczych. Katowice - Jaszowiec, 1974.
- [35] Skinderowicz B., Buchner W., Ogródowski H.: Deformacje nieciągłe wywołane eksploatacją górniczą. Materiały Konferencji N-T na temat: Zagrożenia powierzchni w wyniku płytkiej eksploatacji górniczej. Chorzów 1973.
- [36] Sztelak J.: Osłanianie powierzchni spowodowane osuszeniem nadkładu oraz nowe kryteria dla określenia filarów bezpieczeństwa. Prace Głównego Instytutu Górniczo-Geologicznego. Komunikat nr 408, Katowice 1969.
- [37] Sztelak J.: Hydrogeologia górnicza i zagrożenia wodne w kopalniach podziemnych i sposoby ich zwalczania. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1975.
- [38] Zimny W.: Telewizyjna metoda kontroli wypełniania pustek w górotworze. OTG nr 43, 1987.

STUDIUM DOTYCZĄCE STANU ROZPOZNANIA, TWORZENIA SIĘ
I PROGNOZOWANIA DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH POD WPLYWEM
PODZIEMNEJ EKSPLOATACJI ŻŁÓŻ

S t r e s z c z e n i e

Problematyka deformacji nieciągłych przez długi czas nie była przedmiotem systematycznych badań, gdyż deformacje te traktowane były jako zjawisko typowo losowe, trudne do opisu i prognozowania, a równocześnie niebezpieczne, zagrażające poważnie powierzchni terenu i obiektom. Tereny podlegające takim deformacjom uznawano jako całkowite nieużytki antropogeniczne. Obszar zagrożony występowaniem deformacji nieciągłych jest bardzo duży i w skali kraju szacuje się go na ponad 500 km².

W związku z rozwojem przemysłu i urbanizacji oraz z deficytem terenów budowlanych zaistniała konieczność systematycznego zajęcia się terenami podlegającymi deformacjom nieciągłym w celu włączenia ich do planowej działalności gospodarczej.

W pracy przedstawiono podział i charakterystykę deformacji nieciągłych oraz przyczyny i warunki ich powstawania. Do najważniejszych przyczyn należą m.in.:

- eksploatacja złóż zalegających na małej głębokości,
- reaktywacja starych zrobów po płytkiej eksploatacji górniczej,
- aktywizacja częściowo zlikwidowanych lub niezlikwidowanych szybów i szybków.

Do najważniejszych czynników wpływających na charakter procesu kształtowania się deformacji nieciągłych na powierzchni należą:

- wymiary gabarytowe pustki,
- budowa geologiczna górotworu nad i w otoczeniu pustki,
- zmiany stanu naprężenia w górotworze na skutek zachodzących w nim różnorodnych procesów.

Problematyka deformacji nieciągłych powierzchni nie jest zbyt bogato reprezentowana w naukowej i technicznej literaturze. W pracy przedstawiono istniejące modele przebiegu procesu tworzenia się deformacji nieciągłych oraz dokonano oceny opisanych metod i ich przydatności do prognozowania deformacji nieciągłych. W oparciu o dotychczasowe modele oraz badania własne przedstawiono model przebiegu deformacji nad pustką podając jego matematyczny opis oraz determinanty wystąpienia zapadlisk na po-

wierzchni terenu. Sprecyzowano warunki konieczne i wystarczające dla powstania zapadliska na powierzchni. Rozpatrzono przy tym różne szczególne przypadki przebiegu procesu deformacji nieciągłych.

W końcowej części pracy podano propozycję podziału terenów górniczych podlegających deformacjom nieciągłym.

Rezultatem pracy jest instrukcja klasyfikacji oraz zasady zagospodarowania terenów górniczych zagrożonych występowaniem deformacji nieciągłych.

ИССЛЕДОВАНИЯ КАСАЮЩИЕСЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ, СОЗДАВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАЛЕЖЕЙ

Резюме

Проблема разрывных деформаций длительное время не была систематически исследована, ибо деформации эти считались вероятностными, трудно поддающимися описанию и прогнозированию, которые одновременно являются опасными, представляющими угрозу для поверхности и построек. Земли подвергшиеся деформациям признаны непригодными. Территория находящаяся под [угрозой] выступления разрывных деформаций большая и оценивается на около 500 м^2 .

В настоящее время, в связи с развитием промышленности и городостроительства а также в виду острого дефицита стройповерхности, появилась необходимость систематического исследования территории подвергавшейся разным деформациям с целью включения их в плановую хозяйственную деятельность.

В настоящей статье дана классификация и характеристика разрывных деформаций а также причины и условия их возникновения.

К важнейшим причинам относятся:

- эксплуатация залежей на небольшой глубине,
- восстановление старых заделов после неглубокой эксплуатации,
- активизация частично ликвидированных или ещё действующих стволов.

К важнейшим факторам влияющим на характер процесса формирования разрывных деформаций на поверхности принадлежат:

- габаритные размеры пустого пространства,
- геологическое строение горообразования над и в окрестности пустого пространства,
- изменение состояния напряжения в горообразовании в виду происходящих в нём различных процессов.

Проблема разрывных деформаций поверхности в научной и технической литературе пока не нашла своё соответствующее место.

В данной работе представлены существующие модели протекания процесса создания разрывных деформаций а также произведена оценка описанных методов и их пригодности в целях прогнозирования разрывных деформаций. На основании имеющихся моделей и собственных исследованиях, представлена модель протекания деформаций над пустым пространством. В качестве математического описания а также детерминанта выступления обвалов на поверхности. Уточнены необходимые и достаточные условия для возникновения обвалов на поверхности. Рассмотрены при этом различные частные случаи протекания процесса разрывных деформаций.

В окончании работы предложено разделение эксплуатируемой территории подвергавшейся разрывным деформациям. Результатом работы является инструкция классификации а также принципы обслуживания поверхности подверженной опасности выступления разрывных деформаций.

A STUDY ON THE STATE OF IDENTIFICATION, FORMATION AND PROGNOSTICATION OF DISCONTINUOUS STRAINS AS A RESULT OF UNDERGROUND MINING OF BEDS

S u m m a r y

For a long time the problems of discontinuous strains has not been the subject of systematic studies as the strains have been, treated as a typical phenomenon of chance, difficult to describe and prognostigate about and, at the same time, dangerous, seriously threatening the surface and objects. The grounds subject to such strains have been considered to be anthropogenically useless. The area threatened with discontinuous strains is very large and is estimated to cover over 500 km² in the scale of the country.

In relation to the development of industry and urbanization, and the shortage of building sites, there is a need for a systematic interest in the grounds subject to discontinuous strains for the purpose of including them in the planned economic activity.

In the paper are presented the division and characteristic of discontinuous strains as well as the causes and conditions of their origin.

Among the most important causes are:

- mining of beds deposited at small depths,
- reactivation of old works,
- activation of partially closed down or not closed down pit shafts and small shafts.

Among the most important factors affecting the character of the process of formation of discontinuous strains on the surface are:

- overall dimensions of the void,
- geological structure of the rock mass over and in the vicinity of the void,
- changes in the state of stress in the rock mass resulting from various processes.

The problems of discontinuous strains on the surface are not widely represented in scientific and technical litterature. In the paper are presented the existing models of the course of the process of discontinuous strain formation and an estimation of the described methods, and their application for prognostication of discontinuous strains is given. On the basis of the present models and own studies, a model of the course of strains over the void is presented, together with a mathematical descrip-

tion and the determinants of the occurrence of sing holes on the grounds surface. The conditions necessary and sufficient for the formation of sink holes on the surface are specified. Various particular cases of the course of discontinuous strains are reviewed.

In the final part of the paper suggestions are given about the division of mining grounds subject to discontinuous strains.

The result of the research is a classification instruction and the principles of planning of the mining grounds threatened with the occurrence of discontinuous strains.



**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
MOŻNA NABYĆ W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

- 44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b
44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33
40-098 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12
41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 23
41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2
47-400 Racibórz — Księgarnia nr 143, ul. Odrzańska 1
44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1
41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN —
Pałac Kultury i Nauki
Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę
Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.