

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**

EDMUND ZASTAWNY

**TĄPIANIE EKSPLOZYJNE DO PRZODKA
ŚCIANOWEGO W MODELACH
POKŁADU WĘGLA W ŚWIETLE BADAŃ
LABORATORYJNYCH**

GÓRNICTWO

**Z. 217
GLIWICE
1993**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 1219

EDMUND ZASTAWNY

**TĄPANIA EKSPLOZYJNE DO PRZODKA
ŚCIANOWEGO W MODELACH
POKŁADU WĘGLA W ŚWIETLE BADAŃ
LABORATORYJNYCH**

GLIWICE

1993

OPINIODAWCY

Prof. zw. dr hab. inż. Antoni Kidybiński
Prof. dr hab. inż. Andrzej Zorychta

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY — Prof. dr hab. inż. Jan Bandrowski
REDAKTOR DZIAŁU — Prof. dr hab. inż. Walery Szuścik
SEKRETARZ REDAKCJI — Mgr Elżbieta Leśko

REDAKCJA

Mgr Anna Błażkiewicz

REDAKCJA TECHNICZNA

Alicja Nowacka

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej
ul. Kujawska 3, 44-100 Gliwice

Naki. 150+83 Ark. wyd. 10 Ark. druk. 10 Papier offset. kl.III 70x100, 80g
Oddano do druku 26.10.93 Podpis. do druku 26.10.93 Druk ukończ. w listopadzie 1993
Zam. 481/93 Cena zł 35.000,-

Fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

SPIS TREŚCI

WSTĘP	13
SPIS WAŻNIEJSZYCH OKREŚLEŃ I SYMBOLI	15
1. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY	19
2. POGLĄDY NA TEMAT TĄPAŃ I BADANIA MATERIAŁU WĘGLOWEGO W ZAKRESIE TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH	21
2.1. Wprowadzenie	21
2.2. Poglądy na temat tąpań i badania analityczne tąpań eksplozyjnych	22
2.3. Ocena badań laboratoryjnych tzw. naturalnej skłonności materiału węglowego do tąpań przy jednokierunkowym obciążeniu	32
2.4. Badania zjawiska tąpania materiału węglowego w trójkierunkowym stanie obciążenia	37
2.4.1. Metoda badania zjawiska tąpania materiału węglowego	37
2.4.2. Hipoteza występowania zjawiska tąpania materiału węglowego	41
2.5. Badania tąpań eksplozyjnych do chodnika na modelach pokładu węgla	45
3. BADANIA TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH DO PRZODKA ŚCIANOWEGO NA MODELACH POKŁADÓW WĘGLA	48
3.1. Wprowadzenie	48
3.2. Badania tąpań eksplozyjnych	49
3.2.1. Metoda badania	49
3.2.2. Stanowisko badawcze	51
3.2.3. Metoda badania tąpań modelu pokładu węgla do przodka ścianowego bez obudowy	54
3.2.4. Metoda badania tąpań modelu pokładu węgla do przodka ścianowego z obudową hydrauliczną	57
3.3. Wyniki z badań tąpań modeli pokładów węgla	60
3.3.1. Wyniki z badań tąpań modeli pokładów do przodka ścianowego bez obudowy	61
3.3.2. Wyniki z badań tąpań modeli pokładów do przodka ścianowego z modelem obudowy	66

3.4. Ciśnienie pionowe w modelu pokładu węgla w momencie tąpnięcia eksplozyjnego.....	67
3.4.1. Sposób wyznaczania ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla	67
3.4.2. Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla w trakcie tąpnięcia do przodka ścianowego bez obudowy	74
3.4.3. Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla w trakcie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową.....	78
3.4.3.1. Rozkład ciśnienia pionowego nad modelami pokładu węgla i przodka ścianowego	78
3.4.3.2. Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla	84
4. ENERGIA KINETYCZNA TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH	91
4.1. Przybliżone określanie wielkości energii kinetycznej zjawiska tąpnięcia materiału węglowego	92
4.1.1. Sposoby obliczania energii kinetycznej (wzory przybliżone).....	92
4.1.2. Energia kinetyczna wyzwana w badanych zjawiskach tąpnięcia na próbkach 50 x 50 x 50mm	94
4.2. Energia kinetyczna rozpadu próbki badanej przy jednokierunkowym obciążeniu	99
4.3. Porównanie energii kinetycznej zjawiska tąpnięcia z energią wstrząsu, która powoduje tąpnięcie eksplozyjne pokładu węgla	100
5. PROGNOZOWANIE MOŻLIWOŚCI WYSTĘPOWANIA TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH DO PRZODKA ŚCIANOWEGO W WYBRANYCH POKŁADACH WĘGLA (w świetle badań na modelach)	103
5.1. Ciśnienia w pokładzie przy których występują tąpnięcia eksplozyjne (w świetle badań na modelach)	103
5.1.1. Podobieństwo między tąpnięciami modelu a tąpnięciami eksplozyjnymi w pokładzie węgla	103
5.1.2. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie węglowym, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego	105
5.1.2.1. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie 510 Katowice, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego .	109
5.1.2.2. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie 510 Zabrze, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego.....	112

5.1.2.3. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie 501 Makoszowy, przy którym istnieje możli- wość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego..	112
5.2. Prognozowanie tąpań eksplozyjnych w pokładzie na podsta- wie krytycznych ciśnień, przy których występują tąpnięcia eksplozyjne modeli	115
5.3. Wykorzystanie badań zjawiska tąpań materiału węglowego dla prognozowania tąpań eksplozyjnych w pokładzie	123
6. PODSUMOWANIE.....	127
LITERATURA	131
ZAŁĄCZNIK	141
STRESZCZENIA	152

CONTENTS

PREFACE	13
LIST OF MAJOR DEFINITIONS AND SYMBOLS	15
1.THESIS, OBJECT AND SCOPE OF THE WORK	19
2.OPINIONS ABOUT CRUMPS AND TESTING OF COAL MATERIAL WITHIN SCOPE OF EXPLOSIVE CRUMPS	21
2.1.Introduction	21
2.2.Opinions and analytical studies of explosive crumps	22
2.3.Assessment of laboratory tests of so-called natural proneness of coal material to crumps at unidirectional loading	32
2.4.Studies of crump phenomenon of coal material under three- directional state of stress	37
2.4.1.Method of crump phenomenon research	37
2.4.2.Hypothesis of crump phenomenon occurrence.....	41
2.5.Studies of explosive crumps into coal heading on coal bed models	45
3.STUDIES OF EXPLOSIVE CRUMPS INTO LONGWALL HEADING ON COAL BED MODELS	48
3.1.Introduction	48
3.2.Explosive crump testing	49
3.2.1.Method of testing	49
3.2.2.Test station	51
3.2.3.Method for testing of crumps of coal bed model (without lining).....	54
3.2.4.Method for testing of crumps of coal bed model together with hydraulic mechanized lining	57
3.3.Findings of crumps of coal bed models	60
3.3.1.Findings of crumps of coal bed models into longwall model without a lining	61
3.3.2.Fidings of crumps of coal bed models into longwall model together with a lining model	66

3.4. Vertical pressure in coal bed model at the explosive crump moment	67
3.4.1. Way to determine the vertical pressure distribution in coal bed model	67
3.4.2. Vertical pressure distribution in coal bed model during the crump into model of longwall without a lining	74
3.4.3. Vertical pressure distribution in coal bed model during the crump into model of longwall together with a lining model	78
3.4.3.1. Vertical pressure distribution above coal bed model and longwall model	78
3.4.3.2. Vertical pressure distribution in coal bed model	84
4. EXPLOSIVE CRUMPS ENERGY	91
4.1. Rough determination of kinetic energy value for crump phenomenon of coal material	92
4.1.1. Procedure of kinetic energy evaluation (approximate formulae)	92
4.1.2. Kinetic energy released during research of crump phenomenon on test pieces sized 50x50x50 mm	94
4.2. Disintegration kinetic energy of test pieces being loaded unidirectionally	99
4.3. Comparison between energy of crump phenomenon and energy of shock, which causes the explosive crump of coal bed ..	100
5. FORECASTING OF EXPLOSIVE CRUMPS INTO A LONGWALL IN SELECTED COAL BEDS (in the light of tests on models)	103
5.1. Pressure in a coal bed at which the explosive crumps occur (in the light of tests on models)	103
5.1.1. Similarity between crumps of model and explosive crumps in a coal bed	103
5.1.2. Vertical pressure distribution in a coal bed, at which a possibility of explosive crump occurrence exists	105
5.1.2.1. Vertical pressure distribution in the Katowice 510 coal bed, at which a possibility of explosive crump occurrence exists	109
5.1.2.2. Vertical pressure distribution in the Zabrze 510 coal bed, at which a possibility of explosive crump occurrence exists	112
5.1.2.3. Vertical pressure distribution in the Makoszowy 501 coal bed, at which a possibility of explosive crump occurrence exists	112

5.2. Forecasting of explosive crumps in a coal bed basing on the critical pressure, at which the crumps of model occur.....	115
5.3. Taking advantage of testings of crump phenomenon in coal material to forecast the explosive crumps in a coal bed	123
6. RECAPITULATION	127
REFERENCES	131
APPENDIX	141
SUMMARIES	152

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ.....	13
ПЕРЕЧЕНЬ ВАЖНЕЙШИХ НАЗВАНИЙ И ВЕЛИЧИН.....	15
1. ТЕЗИСЫ, ЦЕЛЬ И ОБЪЕМ РАБОТЫ.....	19
2. ВЗГЛЯДЫ НА ТЕМУ ГОРНЫХ УДАРОВ И ИССЛЕДОВАНИЯ УГОЛЬНОГО МА- ТЕРИАЛА В ОБЛАСТИ ВЗРЫВНЫХ ГОРНЫХ УДАРОВ.....	21
2.1. Введение.....	21
2.2. Взгляды на тему горных ударов и аналитическое исследова- ние взрывных горных ударов.....	22
2.3. Оценка лабораторных исследований так называемой естест- венной склонности угольного материала к ударам при одно- направленной нагрузке.....	32
2.4. Исследования явлений горных ударов угольного материала в тронаправленном состоянии нагрузки.....	37
2.4.1. Метод исследования горных ударов угольного мате- риала.....	37
2.4.2. Гипотеза выступления горных ударов угольного ма- териала.....	41
2.5. Исследование взрывных горных ударов в сторону штрека на моделях угольного пласта.....	45
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРНЫХ УДАРОВ В СТОРОНУ ЗАБОЯ ЛАВЫ НА МОДЕ- ЛЯХ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА.....	48
3.1. Введение.....	48
3.2. Исследование взрывных горных ударов.....	49
3.2.1. Метод исследования.....	49
3.2.2. Испытательный стенд.....	51
3.2.3. Метод исследования горных ударов модели угольного пласта в сторону забоя лавы без крепи.....	54
3.2.4. Метод исследования горных ударов модели уголь- ного пласта в сторону забоя лавы с механизиро- ванной гидравлической крепью.....	57
3.3. Результаты исследований горных ударов моделей уголь- ных пластов.....	60

3.3.1.Результаты исследований горных ударов моделей угольно пласта б сторону забоя лавы без крепи.....	61
3.3.2.Результаты исследований горных ударов моделей угольно пласта в сторону забоя лавы с крепью.....	66
3.4.Вертикальное давление в модели угольно пласта во время взрывного горного удара.....	67
3.4.1.Спооб определения вертикально давления в модели угольного пласта.....	67
3.4.2.Распределение вертикального давления в модели угольного пласта во время горного удара в сторону забоя лавы без крепи.....	74
3.4.3.Распределение вертикального давления в модели угольного пласта б сторону забоя лавы с крепью.....	78
3.4.3.1.Распределение вертикального давления над моделями угольного пласта и забоя лавы.....	78
3.4.3.2.Распределение вертикального давления в модели угольного пласта.....	84
4.КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ВЗРЫВНЫХ ГОРНЫХ УДАРОВ.....	91
4.1.Приблизительное определение критической энергии взрывного горного удара угольного материала.....	92
4.1.1.Способ расчета кинетической энергии (приблизительные формулы).....	92
4.1.2.Кинетическая энергия, освобождающаяся в исследуемых явлениях горных ударов на образцах 50x50x50 мм.....	94
4.2.Кинетическая энергия разрушения исследуемого образца породы при однонаправленной нагрузке.....	99
4.3.Сравнение кинетической энергии явления горного удара с энергией толчка, вызывающей горный удар угольного пласта.....	100
5.ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЗРЫВНЫХ ГОРНЫХ УДАРОВ В СТОРОНУ ЗАБОЯ ЛАВЫ В ИЗБРАННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ (НА ОСНОВАНИИ ИСПЫТАНИЙ НА МОДЕЛЯХ).....	103
5.1.Давления в пластах,при которых выступают взрывные горные удары (на основании испытаний на образцах).....	103
5.1.1.Сходство между горными ударами в моделях и взрывными горными ударами в угольном пласте.....	103
5.1.2.Распределение вертикального давления в угольном пласте, при котором существует возможность выступления взрывного горного удара.....	105
5.1.2.1.Распределение вертикального давления в угольном пласте 510 шахты "Катовице" при котором существует возможность выступления взрывных горных ударов.....	109

5.1.2.2.Распределение вертикального давления в угольном пласте 510 шахты "Забже" при котором существует возможность выступления взрывных горных ударв.....	112
5.1.2.3.Распределение вертикального давления в угольном пласте 501 шахты "Макошovy",при котором существует возможность выступления взрывных горных ударов.....	112
5.2.Прогнозирование взрывных горных ударов в пласте на основании критического давления, при котором выступают взрывные горные удары в моделях.....	115
5.3.Использование исследований явления горных ударов угольного материала для прогнозирования возможности выступления взрывных горных ударов.....	123
6.ИТОГИ.....	127
ЛИТЕРАТУРА.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	141
РЕЗЮМЕ.....	152

WSTĘP

Występujące w kopalniach węgla kamiennego tąpnięcia, będące skutkiem pęknięcia warstw stropowych, noszą nazwę stropowych.

Tąpnięcia, które są wynikiem eksplozji materiału węglowego w pokładzie, zwane są pokładowymi (lub naprężeniowymi). Tąpnięcia spodkowe powstają również w wyniku eksplozji materiału węglowego, dlatego nazywane są także pokładowymi. Tąpnięcia pokładowe w niniejszej pracy nazwano eksplozyjnymi, gdyż mechanizm ich powstania i przebiegu związany jest z eksplozją materiału węglowego.

Tąpnięcia spągowe powstają jako efekt pęknięcia skał spągowych.

W pracy przedstawiono poglądy na temat tąpnięć eksplozyjnych w kopalniach węgla kamiennego oraz wyniki badań tąpnięć materiału węglowego, prowadzonych w celu poznania mechanizmu inicjacji tych tąpnięć, a także dla wyznaczenia różnych sposobów oceny zagrożenia tymi tąpnięciami danych rejonów górniczych w kopalni.

Badania laboratoryjne zjawiska tąpnięcia materiału węglowego pozwoliły autorowi na wyznaczenie hipotezy, która przedstawia w przestrzeni naprężeń obszar występowania zjawiska tąpnięcia. Ponadto opierając się na przebiegu zjawiska tąpnięcia w materiale węglowym określono wyzwalaną przybliżoną wartość energii kinetycznej.

Na podstawie badań tąpnięć na modelach pokładów węgla do przodka ścianowego bez obudowy lub z obudową hydrauliczną wyznaczono wielkość ciśnienia pionowego, jaka jest potrzebna do zaistnienia tąpnięcia eksplozyjnego w modelu.

Dokonując analizy wyników badań:

- zjawiska tąpnięcia materiału węglowego, odzwierciedlającego właściwości materiału w pokładzie,
- tąpnięć modeli pokładów, reprezentujących pokład w pobliżu czoła przodka ścianowego,

wyznaczono najmniejszą wartość maksymalnego ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla, przy której występuje tąpnięcie eksplozyjne, co pozwala na próbę określenia wartości ciśnienia krytycznego, a więc takiego, przy którym już może zaistnieć tąpnięcie eksplozyjne pokładu.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że istnieją dwa konieczne warunki wystąpienia zjawiska tapania materiału węglowego oraz tapania w modelu pokładu i w pokładzie węglowym, tj.:

- 1) odpowiednie wartości składowych głównych stanu naprężenia,
- 2) odpowiednio duże zmniejszanie wartości poziomej głównej składowej stanu naprężenia (a więc zwiększanie poziomej głównej składowej stanu odkształcenia).

Wartość naprężenia pionowego w pokładzie zależy od wielu czynników i można ją zmieniać (np. sposobem eksploatacji). Natomiast zmniejszanie poziomych głównych składowych stanu naprężenia następuje zawsze gdy prowadzone jest wyrobisko górnicze. Zatem znana wartość krytycznego naprężenia pionowego w pokładzie i pomiar w nim wartości ciśnienia eksploatacyjnego za pomocą czujników pozwoli na bieżącą ocenę możliwości wystąpienia tapania eksplozyjnego, a także daje możliwość oceny skuteczności profilaktyki przeciwtapaniowej.

SPIS WAŻNIEJSZYCH OKREŚLEŃ I SYMBOLI

1. *Zjawisko tapania* - występujące tąpienie w próbce węgla (np. o wymiarach 50x50x50 mm) będącej w trójkierunkowym stanie naprężenia; powstające w wyniku zmniejszania wartości składowej poziomej naprężenia i objawiające się przyrostem wartości naprężenia $\Delta\sigma$ wzdłuż tego samego kierunku oraz zmianą składowych stanu odkształcenia wzdłuż osi x , y , z , a także zjawiskiem akustycznym.
2. *Tąpienie w modelu pokładu węgla* - zjawisko dynamiczne występujące w próbce o wymiarach, $h_m \times l_m \times w_m$ (np. 100x100x350 mm) będącej w trójkierunkowym stanie naprężenia i dwukierunkowym stanie odkształcenia; występuje przy wartościach składowych stanu naprężenia oznaczonych $\sigma_{x_{t\dot{a}p}}$, $\sigma_{y_{t\dot{a}p}}$, $\sigma_{z_{t\dot{a}p}}$ i polega na dynamicznym przemieszczaniu się części materiału węglowego modelu do wolnej przestrzeni.
3. σ - naprężenie normalne, jako wartość graniczna stosunku średniej siły działającej prostopadle na powierzchni do wartości powierzchni.
4. ϵ - wydłużenie jednostkowe.
5. R_{m_c} - naprężenie na granicy wytrzymałości na ściskanie (jedno-kierunkowe) \equiv wytrzymałość na ściskanie.
6. σ_x , σ_y , σ_z - składowe główne stanu naprężenia (naprężenia styczne τ_x , τ_y , τ_z są wówczas równe zero); składowe te są na ogół nazywane σ_1 , σ_2 , σ_3 .
7. $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$ - przyrosty składowych głównych stanu naprężenia występujące w momencie tąpienia eksplozyjnego.

8. $\sigma_{red_{czp}}$ - naprężenie zredukowane wg hipotezy występowania zjawiska tapania materiału węglowego.
9. a, b, C - stałe (w równaniach (2.30) i (2.31)) hipotezy występowania zjawiska tapania materiału węglowego.
10. $\sigma_{z_{min}} \equiv C$ - najmniejsza wartość naprężenia pionowego, przy którym występuje zjawisko tapania materiału węglowego.
11. $\sigma_z = a(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} - b)^2 + C$ - równanie powierzchni torusa parabolicznego, wyznaczającego obszar występowania zjawiska tapania w układzie współrzędnych $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$.
12. $\sigma_{red} = \sigma_z - a(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} - b)^2$ - wzór hipotezy występowania zjawiska tapania.
13. $\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}, \sigma_{z_0}$ - naprężenia główne wstępnego obciążenia modelu pokładu (odpowiadające naprężeniom głównym w górotworze nienaruszonym).
14. $\sigma_{x_{czp}}, \sigma_{y_{czp}}, \sigma_{z_{czp}}$ - naprężenia normalne w momencie tapania modelu pokładu.
15. P_x, P_y, P_z - wartości ciśnienia w pokładzie (w warunkach in situ) wzdłuż osi x, y, z ¹⁾.
16. $P_{x_m}, P_{y_m}, P_{z_m}$ - wartości średnie ciśnienia w modelu pokładu węgl¹⁾.
17. $\epsilon_{x_m}, \epsilon_{y_m}, \epsilon_{z_m}$ - główne wydłużenia jednostkowe modelu pokładu węgl¹⁾.
18. *Model pokładu* - próbka wycięta z pokładu węgla (odpowiednio zorientowana w przestrzeni) o wymiarach h_m, l_m, w_m , (patrz rys.3.1), badana w stanach naprężenia i odkształcenia analogicznych do występujących w pokładzie.

¹⁾W mechanice górotworu składowe główne naprężenia przyjęto nazywać ciśnieniami.

19. h_m - wysokość modelu (odpowiadająca wysokości ściany "h"), patrz rys.3.1.
20. l_m - szerokość modelu (odpowiadająca części długości ściany "l"), patrz rys.3.1.
21. w_m - długość modelu (odpowiadająca części wybiegu ściany "w"), patrz rys.3.1.
22. $P_{z_0} = \gamma \cdot H$ - naprężenie grawitacyjne (ciśnienie grawitacyjne) pionowe w pokładzie ¹⁾ w górotworze nienaruszonym.
23. $P_{z_e} = \eta \cdot P_{z_0}$ - ciśnienie eksploatacyjne (pionowe) w pokładzie¹⁾.
25. $P_{z_{eqp}}(kr)$ - ciśnienie pionowe krytyczne (najmniejsza wartość maksymalna rozkładu ciśnienia pionowego, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego w pokładzie)¹⁾.

1. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY

Analizując dotychczasowe poglądy na temat tępowań eksplozywnych, wyniki z doświadczeń laboratoryjnych (doświadczeń stanowiskowych) oraz wyniki wypływające z obserwacji dołowych zachowań przodków ścianowych i wyrobisk chodnikowych w pokładach węgla, można stwierdzić, że:

- tępowania eksplozywne występują zarówno w przodkach ścianowych, jak i chodnikowych,
- możliwość wystąpienia tępnięcia do wyrobiska jest związana z wystąpieniem spiętrzenia naprężeń pionowych w pokładzie węgla,
- także na możliwość wystąpienia tępnięcia eksplozywnego ma wpływ rodzaj obudowy wyrobiska oraz sposób jej zabudowy i wielkość jej podporności.

Cel pracy

Jako cel pracy założono: wyznaczenie wartości ciśnienia pionowego, przy którym występują tępowania pokładu węgla oraz wielkości podporności obudowy wyrobisk ścianowych, jakie należy stosować, by zmniejszyć zagrożenie tępowaniami, w świetle badań laboratoryjnych.

Zakres pracy

Określenia wartości naprężeń pionowych, przy których istnieje możliwość wystąpienia tępowania eksplozywnego do przodków ścianowych, dokonano opierając się na badaniach zjawiska tępowania materiału węglowego i tępowania modeli pokładów węgla do przodka ścianowego. Przeprowadzono badania tępowań modeli pokładów do przodka ścianowego z modelem obudowy hydraulicznej o różnej podporności i bez obudowy.

Zmierzono wartości naprężeń na ścianach modelu pokładu węgla w trzech wzajemnych prostopadłych kierunkach przed i po tępnięciu. Nadto obliczono wielkość wyzwolonej energii kinetycznej przy badaniu zjawiska tępowania materiału węglowego.

Podane cele i zakres pracy pozwalają na określenie tezy pracy.

Teza pracy

Tąpania eksplozyjne pokładu węgla do przodków ścianowych są związane ze stanem naprężenia w pokładzie oraz z wielkością podporności obudowy, ponieważ:

- 1) możliwość wystąpienia tąpań eksplozyjnych do przodków ścianowych zachodzi przy krytycznym ciśnieniu pionowym w pokładzie węglowym, które musi osiągnąć wartość ponad 40 MPa,
- 2) zastosowanie obudowy w przodku ścianowym powoduje wzrost krytycznej wartości ciśnienia pionowego, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpania eksplozyjnego,
- 3) kolejne tąpanie eksplozyjne w tym samym miejscu pokładu wymaga zaistnienia większej krytycznej wartości ciśnienia pionowego niż przy pierwszym tąpaniu.
- 4) tąpania eksplozyjne zachodzące przy większych wartościach ciśnienia pionowego (tak jak to zachodzi w badaniu zjawiska tąpania materiału węglowego) mają większą intensywność i wyzwalają większą energię kinetyczną.

2. POGLĄDY NA TEMAT TĄPAŃ I BADANIA MATERIAŁU WĘGLOWEGO W ZAKRESIE TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH

2.1. Wprowadzenie

Tąpnięcia występujące w kopalniach węgla kamiennego stwarzają problemy zarówno w procesie projektowania wyrobisk górniczych, jak i w trakcie eksploatacji pokładów węgla. Problematyka tąpnięć traktowana jest przez wielu badaczy w sposób analityczny [1,11,12,17,22,23,24,30,32,34,37,46,56,90,91,92] i doświadczalny oparty na badaniach laboratoryjnych materiału węglowego przy jednokierunkowym obciążeniu [5,6,27,28,41,71] oraz w trójkierunkowym stanie obciążenia [2,3,15,16,18,76,95], a także na pomiarach oraz obserwacjach in situ [4,25,42,43,52,61,72,77,78,81,83,86,130].

Tąpnięcia eksplozyjne, zwane w praktyce górniczej pokładowymi, są związane ze znacznym przyrostem ciśnienia w górotworze, co zgodnie podkreślane jest przez wszystkich badaczy [2,8,12,40,43]. Na przyrost wartości ciśnienia eksploatacyjnego (większego od ciśnienia naturalnego) ma wpływ wiele czynników związanych z zaszczością górniczo-geologiczną, a także bieżące zachowanie się stropu i spągu (pęknięcie, załamywanie się, wypiętrzanie) oraz technologia wybierania pokładu i stosowana profilaktyka przeciwtąpniowa.

Do oceny danego rejonu górniczego zagrożeniem tąpnięciami stosuje się metody opisowe (uwzględniające głównie zaszczości górniczo-geologiczne), analityczne, obserwacje sejsmologiczne i sejsmoakustyczne górotworu, a także wskaźniki statystyczne (występowania ruchów górotworu). Powyższe oceny służą do określania tzw. stopni zagrożenia tąpnięciami.

Przeprowadzone różnorodne badania laboratoryjne materiału węglowego i skał otaczających pokład, głównie przy obciążeniu jednokierunkowym, pozwoliły badaczom na wyznaczenie i określenie wielkości różnych wskaźników tąpliwości węgla.

Natomiast prowadzone badania materiału węglowego w trójkierunkowym stanie naprężenia w specjalnych przyrządach pozwoliły wyzwoić w nim eksplozje zwane zjawiskiem tąpnięcia materiału węglowego.

Pomiar składowych głównych stanu naprężenia oraz hipoteza "występowania zjawiska tąpnięcia" pozwoliły określić wartość naprężenia pionowego, przy którym nie występuje to zjawisko, jak i zachodzi z różnym nasileniem.

Wykorzystując pomierzone wartości składowych głównych stanu naprężenia przed, w trakcie i po wystąpieniu zjawiska tąpnięcia materiału węglowego, obliczono wielkość energii kinetycznej, jaka wyzwala się podczas występowania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego z danej objętości węgla.

Uwzględniając charakter przebiegu tąpnięcia materiału węglowego i zachowania się górotworu w trakcie tępnię pokładowych, przyjęto nazywać tąpnięcia pokładowe (naprężeniowe) eksplozywnymi.

2.2. Poglądy na temat tępnię i badania analityczne tępnię eksplozywnych

Badania analityczne tępnię eksplozywnych prowadził H. Gil [34, 35, 36]. Matematyczne ujęcie mechanizmu tępnię pokładowych oparto na teorii szczelin, przy założeniu że górotwór jest jednorodnym i izotropowym ośrodkiem sprężysto-lepkim o modelu "standard".

O wystąpieniu tąpnięcia pokładowego decyduje głównie głębokość zalegania pokładu, czas i prędkość frontu eksploatacyjnego oraz "własności fizyczno-mechaniczne" węgla i skał otaczających. Uwzględniając powyższe, H. Gil wyznaczył kryterium tąpnięcia pokładowego, które przyjmuje postać

$$-\frac{\Pi k}{2} + \gamma H (\sin \alpha + n \cos \alpha) = \sigma_z(l_0, t) - \gamma H (\cos \alpha + n \sin \alpha) \quad (2.1)$$

gdzie:

k - stała plastyczności węgla,

γ - ciężar objętościowy skał,

H - głębokość zalegania,

n - współczynnik, $n = \frac{\nu}{1 - \nu}$, ν - współczynnik Poissona,

α - kąt nachylenia pokładu,

$\sigma_z(l_0, t)$ - rozkład naprężenia pionowego $\sigma_z(x, t)$ na styku pokładu ze stropem,

l_0 - parametr obrazujący zasięg propagacji szczeliny (zasięg tąpnięcia).

Kryterium można stosować, gdy znany jest rozkład naprężenia pionowego $\sigma_z(x,t)$ w ociosie wyrobiska ścianowego lub chodnikowego (wyznaczony z niezależnych równań). Rozkłady naprężeń $\sigma_z(x,t)$ zostały podane w pracach [38,39].

H. Filcek [33] formułując geomechaniczne kryteria zagrożeń tąpnięciami wyróżnił:

- kryterium wstępne, w którym może istnieć skała zdolna do kruchoego pęknięcia z minimalną energią kinetyczną rozpadu

$$\Phi_{\min} = 1,25 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3 \quad (2.2)$$

- kryterium akumulacji energii potencjalnej jako porównanie ze współczynnikiem koncentracji naprężeń k , ($k \geq 4,5$)

$$k^2 \geq 5 \cdot 10^5 \cdot \frac{E}{\gamma^2 \cdot H^2} \quad (2.3)$$

gdzie:

E - moduł Younga skał w otoczeniu rozpatrywanego punktu, Pa,
 γ - średni ciężar objętościowy górotworu, N/m³,
 H - głębokość punktu, m;

- kryterium energii zewnętrznej

$$\Phi_{\Sigma} \geq 2,5 \cdot 10^5 - k^2 \cdot \frac{\gamma^2 \cdot H^2}{2E} \quad (2.4)$$

Autor ww. kryteriów stwierdza, że mogą być one propozycją do dalszej pracy badawczej.

Rozważania G.P. Czerepanowa [29] dotyczą równowagi w przyociosowej części wyrobiska (rys. 2.1), którą określa wzór

$$N(x) = T(x) \quad (2.5)$$

gdzie:

$N(x)$ - siła wywołująca tąpnięcie,

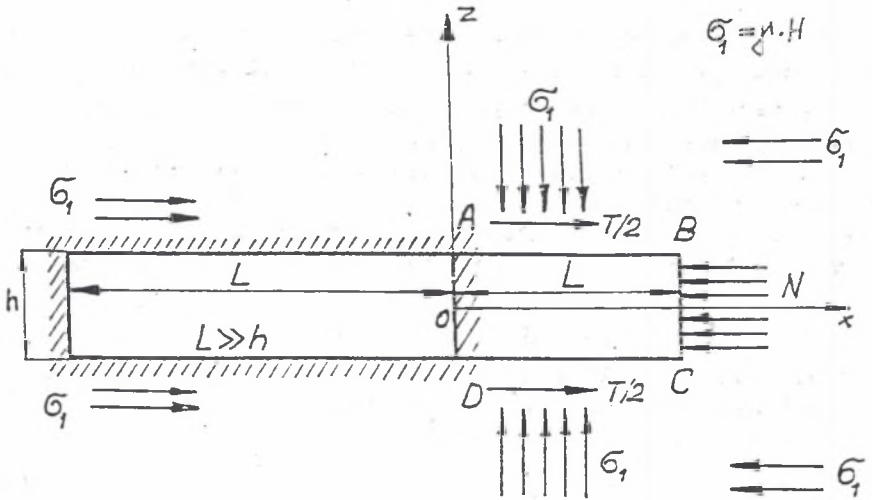
$$N(x) = \beta \left(\frac{x}{h} \right) \cdot h \cdot \gamma \cdot H \quad (2.6)$$

$T(x)$ - wypadkowa siła statyczna, która nie może być większa od siły $T_f(x)$,

$$T_f(x) = \alpha \left(\frac{x}{h} \right) \cdot x \cdot R_c \quad (2.7)$$

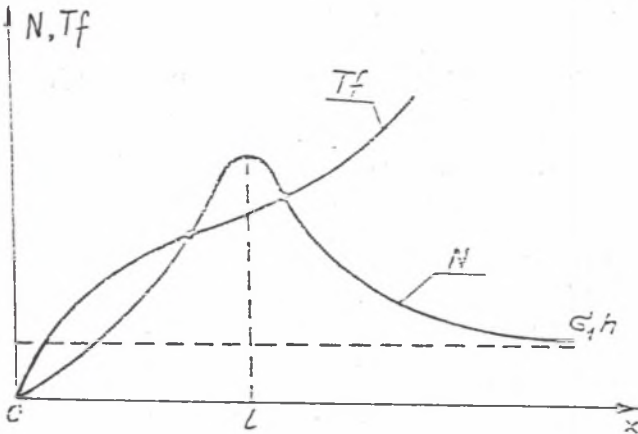
Warunkiem powstania tąpnięcia pokładu jest (rys. 2.2)

$$N(x) > T_f(x) \quad (2.8)$$



Rys.2.1. Schemat obciążenia przyociosowej części wyrobiska wg G.P. Czerepanowa [29]

Fig.2.1. Diagram of load on a side wall portion of an excavation acc. to G.P. Tcherepanov [29]



Rys.2.2. Wykres warunkujący powstanie tąpnięcia pokładowego wg G.P. Czerepanowa [29]

Fig.2.2. Diagram conditioning the origin of a coal bed burst acc. to G.P. Tcherepanov [29]

W metodzie G. Bräunera [9] podobnie jak i w opracowaniu H. Gilla założono, że istnieje w ociosach wyrobiska strefa spękań o szerokości l (rys. 2.3). Metoda ta nadaje się tylko dla chodników. Jej istotną cechą jest to, że tąpnięcie definiowane jest za pomocą kryterium energetycznego określonego zależnością

$$H = \frac{\alpha \dot{A}_s + \beta \dot{A}_p}{\dot{A}_D} \quad (2.9)$$

gdzie:

$0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ - parametry przemiany energetycznej,

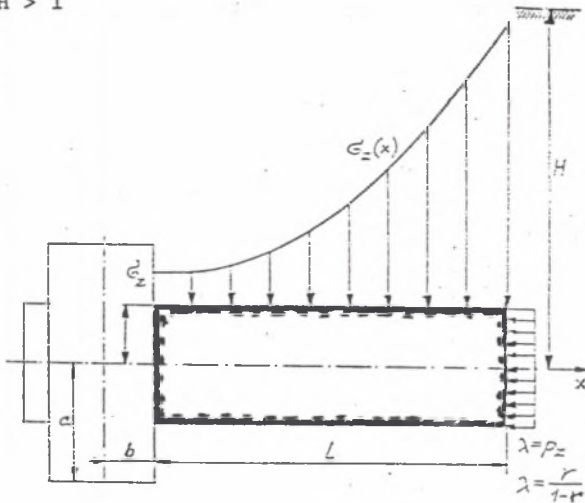
\dot{A}_s - prędkość dostarczania energii ze stropu i spągu do spękanego obszaru,

\dot{A}_p - prędkość dostarczana energii z niespękanego pokładu do obszaru spękanego,

\dot{A}_D - prędkość dyssypowana w trakcie procesu niszczenia.

Tąpnięcie pokładu zachodzi, jeżeli

$$H > 1 \quad (2.10)$$



Rys. 2.3. Schemat obciążenia w ociosach wyrobiska (w strefie spękań) wg G. Bräunera

Fig. 2.3. Diagram of load in sides of work (in a rifts zone) acc. to G. Bräuner

Prace J.M.Pietuchowa [29,75] oparte są także na dwu warunkach koniecznych do powstania tąpnięcia pokładu, tj.:

- istnienia strefy spękań,
- warunku energetycznego propagacji szczeliny.

Strefa spękań określona jest wzorem

$$L = 0,8 \left(\frac{h}{R_c} \cdot k_I \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0,63 \left(\sqrt[3]{\sqrt{1+p} + 1} - \sqrt[3]{\sqrt{1+p} - 1} \right)^2 \quad (2.11)$$

$$k_I = \gamma \cdot H \sqrt{\Pi \cdot x_0} (1 - 0,36q) \quad (2.12)$$

$$q = \frac{x_0}{H \cdot \text{ctg}\Psi} \quad (2.13)$$

gdzie:

R_c - wytrzymałość na ściskanie,

h - grubość pokładu,

k_I - współczynnik intensywności naprężeń uzyskiwany z teorii szczelin,

Ψ - kąt uwzględniający współdziałanie stropu i spągu w przestrzeni wybranej $\Psi \sim 70^\circ$,

H - głębokość pokładu,

x_0 - szerokość przestrzeni wybranej.

$$p = 0,44 \frac{R_c^2}{k_I^2} \cdot h \quad (2.14)$$

Warunek energetyczny wystąpienia tąpnięcia jest następujący

$$\frac{1 - r_s^2}{h} \cdot \frac{M}{E_s} \cdot \left(\frac{k_I}{\sigma_z^s} \right)^2 \geq 1 \quad (2.15)$$

gdzie:

r_s, E_s - wartości stałych sprężystości skał stropu i spągu,

M - moduł odkształcenia w zakrytycznej części charakterystyki naprężenie-odkształcenie,

$$\sigma_z^s = R_c \left(1 + 0,65 \frac{1}{h} \right)$$

Omówione wyżej analityczne warunki występowania tępnię pokładowych odnoszą się do ośrodków ciągłych z górotworem jednorodnym, izotropowym i liniowo sprężystym. Założenia te sprawiają, że otrzymane rozwiązania są kryteriami w małym stopniu zbliżonymi do warunków rzeczywistych.

Do badań analitycznych należy zaliczyć także teorie traktujące tąpnięcie jako proces utraty stateczności. Chronologicznie ujmując zagadnienie, należy wymienić prace N.G.W.Coka, M.G.D.Salomona, A.Dreschera, T.Hueckela i A.Zorychty. Tąpnięcia utożsamia się z procesem utraty stateczności skał otaczających wyrobisko górnicze i definiuje się je za pomocą równań opisujących stany naprężeń i przemieszczeń wokół nich. Korzystając z bilansu energetycznego tąpnięcia [58]

$$A_z^{(s)} + A_z^{(d)} > L_z - A_p \quad (2.16)$$

gdzie:

$A_z^{(s)}$ - statyczna energia zewnętrzna (od statycznego stanu naprężenia),

$A_z^{(d)}$ - dynamiczna energia zewnętrzna (od dynamicznego stanu naprężenia),

L_z - praca zniszczenia,

A_p - energia pierwotna.

W przypadku gdy $A_z^{(d)} = 0$, mamy do czynienia z tąpnięciem pokładowym, pochodzącym od obciążeń statycznych.

A.Zorychta [127] dla tego przypadku podaje równanie określające rozkład przemieszczeń pionowych w pokładzie $z(x)$

$$\frac{EF z_{kr}}{3} \cdot \frac{d^2 z}{dx^2} = [f(x) - p_z] - p_1(x) \quad (2.17)$$

gdzie:

EF - zredukowana sztywność uginających się skał stropowych i spągowych,

$$EF = \frac{E_{str} F_{str} E_{sp} F_{sp}}{E_{str} F_{str} + E_{sp} F_{sp}} \quad (2.18)$$

E_{str} , E_{sp} - moduły odkształcenia skał stropu i spągu przy obciążeniu,

F_{str} , F_{sp} - grubość warstw stropowych i spągowych,

z_{kr} - przemieszczenie krytyczne,

$f(z)$ - nieliniowa funkcja naprężenia i przemieszczenia,

$p_z = \gamma H$ - składowa pionowa stanu naprężenia,

$p_1(x)$ - składowa pionowa będąca skutkiem oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych.

Równanie (2.17) jest nieliniowe, a warunek niestateczności jego rozwiązań można utożsamiać z kryterium tąpnięcia, które zależy m.in. od kierunku eksploatacji, systemu eksploatacji, istniejących zaszczości itd.

A. Zorychta podaje kryteria tąpnięcia dla konkretnych warunków [129]. Na przykład dla wybierania pojedynczego pokładu do granic zachodzi [128]

$$P_1(x) = 0 \quad (2.19)$$

Uwzględniając wzór (2.17) w (2.19) i mając warunek niestateczności równania (2.17), otrzymujemy kryterium tąpnięcia w dwu wariantach:

a) jako efekt utraty nośności pokładu (rys.2.4), gdy

$$\left\{ \begin{array}{l} E + \frac{df(z)}{dz} > 0 \quad \text{dla } 0 \leq z < \infty \\ P_z > R_c^{(r)} \\ A_z^{(s)} > \int_{z_1}^{z_2} [f(z) - p_z] dz \end{array} \right. \quad (2.20)$$

gdzie:

$$E = \frac{E_{str}^{(o)} E_{sp}^{(o)}}{E_{str}^{(o)} + E_{sp}^{(o)}}$$

$E_{str}^{(o)}, E_{sp}^{(o)}$ - moduły odkształcenia warstw stropowych i spagowych przy odciążeniu,

$R_c^{(r)}$ - wytrzymałość resztkowa węgla,

z_1, z_2 - pierwiastki równania: $f(z) - p_z = 0$;

b) jako efekt przeskoku (rys.2.4), gdy:

$$E + \frac{df(z)}{dz} < 0 \quad \text{dla } z > 1$$

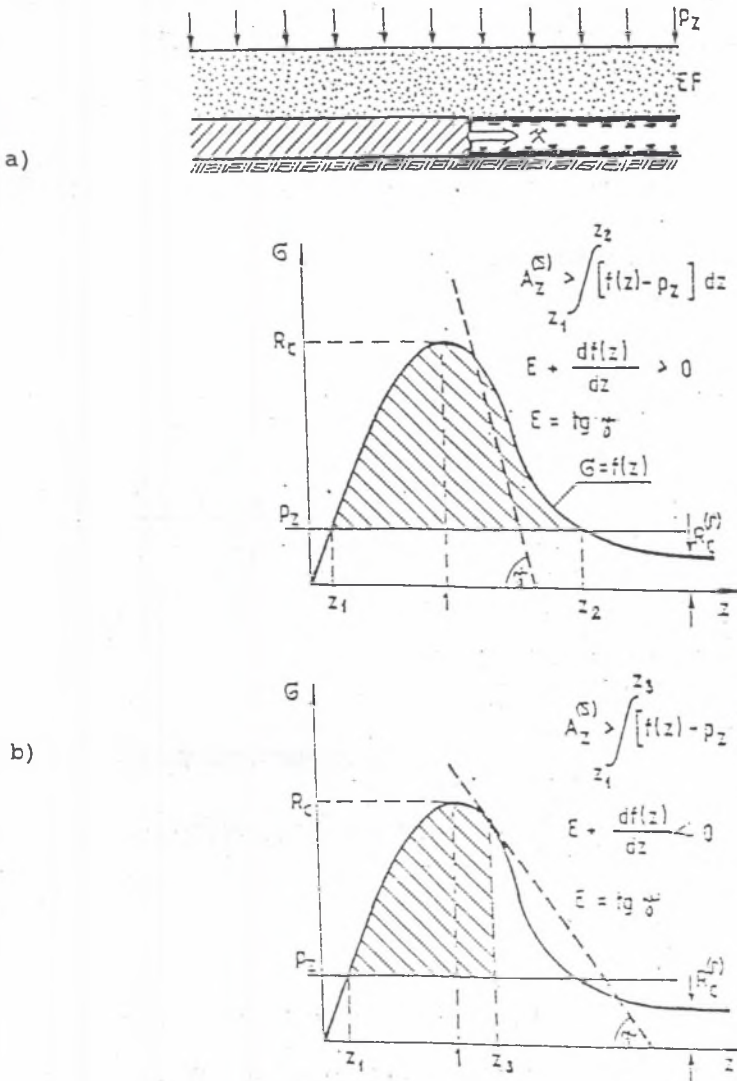
$$f(z_3) > p_z \quad (2.21)$$

$$A_z^{(s)} > \int_{(z_1)}^{(z_3)} [f(z) - p_z] dz$$

gdzie:

z_3 - pierwiastek równania

$$E + \frac{df(z)}{dz} = 0$$



Rys.2.4. Kryterium tąpnięcia przy wybieraniu pojedynczego pokładu do granic: a - wskutek utraty nośności, b - jako efekt przeskoku

Fig.2.4. Criterion for a burst when a single coal bed is won up to a limit: a) caused by the loss of load-carrying ability, b) as effect of leap

Natomiast statyczna energia zewnętrzna $A_z^{(s)}$ zależy od rodzaju wyrobisk [129]. Na przykład dla ściany zawałowej (rys.2.5) wynosi

$$A_z^{(s)} = \frac{p_z^2 \cdot h}{2E_z \cdot z_{kr}} \left[\left(1 - \frac{p_0}{p_z}\right) \alpha_z a_p + \operatorname{tg} h (\alpha_z \cdot l_z) \right]^2 \quad (2.22)$$

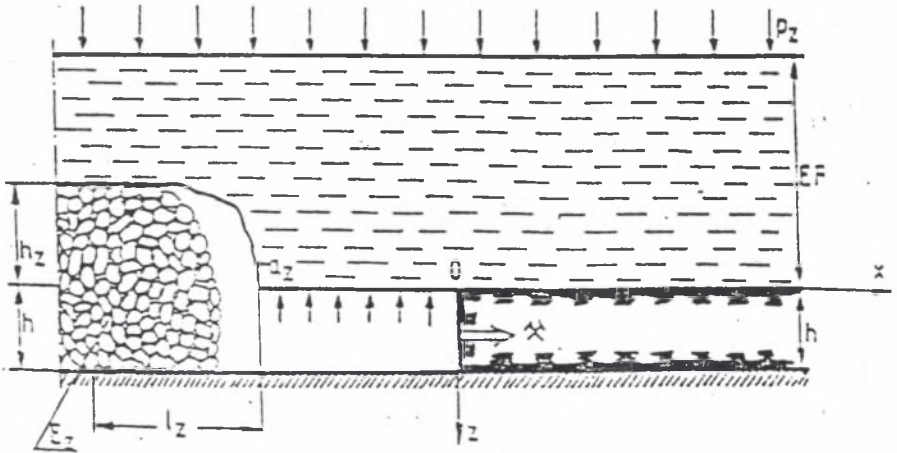
gdzie:

E_z - moduł odkształcalności ośrodka wypełniającego zroby zawałowe,

l_z - połowa szerokości zrobów,

α_z - szerokość przestrzeni roboczej

$$\alpha_z = \sqrt{\frac{3E_z}{E(F - h_1) \cdot (h + h_1)}}$$



Rys.2.5.Schemat obliczeniowy ściany zawałowej dla wzoru (2.22)

Fig.2.5.Analytical diagram for a breaking down longwall, see formula (2.22)

Powyższe wzory mogą pozwolić na ilościowy sposób określania zagrożenia tąpnięciami, pod warunkiem znajomości charakterystyki naprężenie-odkształcenie, również w zakresie późniszczeniowym charakterystyki opisującej własności pokładu [128].

Z. Kleczek [57] bilansuje przemiany energetyczne w masywie górotworu z wyrobiskiem górniczym następująco

$$\Sigma A_p + A_z = A_r + L_z + A_k \quad (2.16.a)$$

gdzie:

ΣA_p - suma energii pierwotnej górotworu, wynikająca z naprężeń grawitacyjnych i zaburzeń tektonicznych,

A_z - energia mająca swe źródło w koncentracji naprężeń wokół wyrobiska i w impulsach zewnętrznych,

A_r - energia rozproszona na odkształcenia trwałe,

L_z - praca zniszczenia powodująca spękania wokół wyrobiska,

A_k - energia kinetyczna wywołująca ruch skał do wyrobiska.

Jeżeli $A_k > 0$, to istnieje nadmiar energii kinetycznej powodującej wyrzut skał ku wyrobisku, którą utożsamiono z dynamiczną formą utraty stateczności wyrobiska górniczego.

Dla przypadku przedstawionego na rys.2.4 i określonego wzorem (2.20), gdy

$$P_z > R_c^{(r)} \quad (2.20.a)$$

mamy nadwyżkę energii A_{max} , jaką może pochłonąć górotwór otaczający wyrobisko.

Jeżeli wielkość energii wywołanej koncentracją naprężeń oraz ewentualnego impulsu zewnętrznego A_z przekroczy wielkość energii pochłanianej przez górotwór A_{max} , wystąpi wówczas energia kinetyczna powodująca skutki w wyrobisku A_k .

A.Kidybiński, wykorzystując dynamiczne kryterium inicjacji tąpnięć, proponuje określać za pomocą programu komputerowego "Tąpnięcia 1" stan zagrożenia tąpnięciami w chodnikach węglowych [51]. Kryterium to określa minimalne skuteczne wzbudzenie sejsmiczne dla podanego poziomu statycznego wyteżenia górotworu, by mogło wystąpić tąpnięcie w wyrobisku.

Wzbudzenie sejsmiczne określa się empirycznie funkcją maksymalnej prędkości ruchu cząstek skały na obrysie wyrobiska (PPV) dla określonej wielkości wyteżenia (Z). Funkcja PPV = f(Z) jest wyznaczana na podstawie analizy zaistniałych tąpnięć.

Stosując numeryczne modelowanie przekroju geomechanicznego prostopadłego do osi podłużnej analizowanego chodnika, można wykorzystać wszystkie informacje dotyczące konkretnej lokalizacji wyrobiska w kopalni.

Z.Mróż i E.Majewski sformułowali dla określania mechanizmu tąpnięć dynamiczny model degradacji dla węgla i rud miedzi [71]. Przyjęte kryterium zniszczenia materiału definiuje stan zniszczenia, w którym naprężenie statyczne równa się zero. Analizowano różne równania ewolucji degradacji naprężenia statycznego. Węgiel

opisano za pomocą modelu ciała sprężysto-lepkoplastycznego. Podano analizie wpływ lepkości w sprężystym zakresie odkształcenia materiału, zakładając odmienne współczynniki lepkości dla stanu przed zniszczeniem i po zniszczeniu materiału. Zwrócono uwagę na elementarne mechanizmy degradacji odkształceniowej i naprężeniowej.

Przedstawione w pracy badania eksperymentalne skał i węgla nie były realizowane w trójkierunkowym stanie naprężenia i model teoretyczny materiału, aczkolwiek przybliżyło określenie hipotezy przebiegu procesu tąpnięcia, to jednak nie uwzględnia ciśnienia występującego w pokładzie w miejscu inicjacji tąpnięć eksplozywnych.

J. Czubaszek twierdzi, że charakter zniszczenia jest związany z budową wewnętrzną ośrodka skalnego, poddając w wątpliwość preferowanie empirycznych czy hipotetycznych powierzchni granicznych dla materiałów skalnych [19]. Proponuje natomiast za ogólne kryterium zniszczenia przyjmując genetyczne kryterium Griffitha. Adaptacja teorii Griffitha dla modelu ciała kruchej pozwoliła J. Czubaszce na opisanie procesu i stanu zniszczenia ośrodka na podstawie jego wytrzymałości na jednokierunkowe ściskanie i jednokierunkowe rozciąganie.

W kryterium tym nie uwzględniono również warunków w pokładzie węgla, jakie występują przy tąpnięciu, pominięto też temperaturę, czas i działanie wody.

2.3. Ocena badań laboratoryjnych tzw. naturalnej skłonności materiału węglowego do tąpnięć przy jednokierunkowym obciążeniu

Wielu badaczy na podstawie przeprowadzonych różnych doświadczeń oraz pomiarów i obserwacji dołowych opisuje w swoich pracach skłonności skał do tąpnięć eksplozywnych. Do opisowej oceny jakościowej zaliczamy prace: W. Budryka [10], W. Parysiewicza [73], A. Sałustowicza [79], A. N. Stawrogina [84], J. Znańskiego [121, 122, 123], w których przedstawiono badania składu petrograficznego skał skłonnych do tąpnięć, ich mikro- i makrostruktury, a także podstawowe własności mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie, moduł sprężystości). Na podstawie tych badań próbowano określić skłonność skał do tąpnięć.

Do opisowej oceny ilościowej tąpnięć zaliczamy według kolejności chronologicznej prace J. Znańskiego [124, 125, 126], w których to przedstawiono metodę określania liczby tąpności T , ścisanych próbek węgla w prasie z tarciami i bez tarcia u podstawy, w chwili ich zniszczenia

$$T \geq \phi_t - \phi_p \quad (2.23)$$

gdzie:

ϕ_t - energia odkształcenia próbek ściskanych z tarcieniem u podstawy, w chwili ich zniszczenia,

ϕ_p - energia odkształcenia próbek ściskanych bez tarcia u podstawy, w chwili ich zniszczenia.

Badania J. Znańskiego były prowadzone w jednokierunkowym stanie obciążenia i jako pierwsze przyczyniły się do określenia tzw. naturalnej skłonności węgla do tąpań.

Kolejną oceną ilościową skłonności skał do tąpań jest pojęcie tąpliwości podane przez K. Drzewieckiego [20,21], w której zdefiniowano tąpliwość jako moc wyładowania energii sprężystej przy rozpadzie materiału kruchego podczas jednokierunkowego obciążenia próbki skały. Autor stwierdza, że całkowita energia zakumulowana w próbce podczas obciążania i wyładowania przy dynamicznym rozpadzie składa się z energii zużytej na rozdzielanie, drgania, odrzut materiału oraz ciepło. Energię E_{kin} odrzutu materiału (kinetyczną) określono zakładając, że tor ruchu odłamków przebiega zgodnie z rzutem poziomym, ze wzoru

$$E_{kin} = \frac{m V_o^2}{2} \quad V_o = R \sqrt{\frac{g}{2h}} \quad (2.24)$$

gdzie:

V_o - prędkość początkowa odłamka (z pominięciem oporu powietrza),

R - średnia odległość poziomu odrzutu,

h - wysokość spadu odłamka,

g - przyspieszenie ziemskie.

Powyższy sposób wyznaczania energii kinetycznej rozpadu próbek skalnych zastosowano w pracach A. Motyczki [66,67] i St. Musioła [68,69].

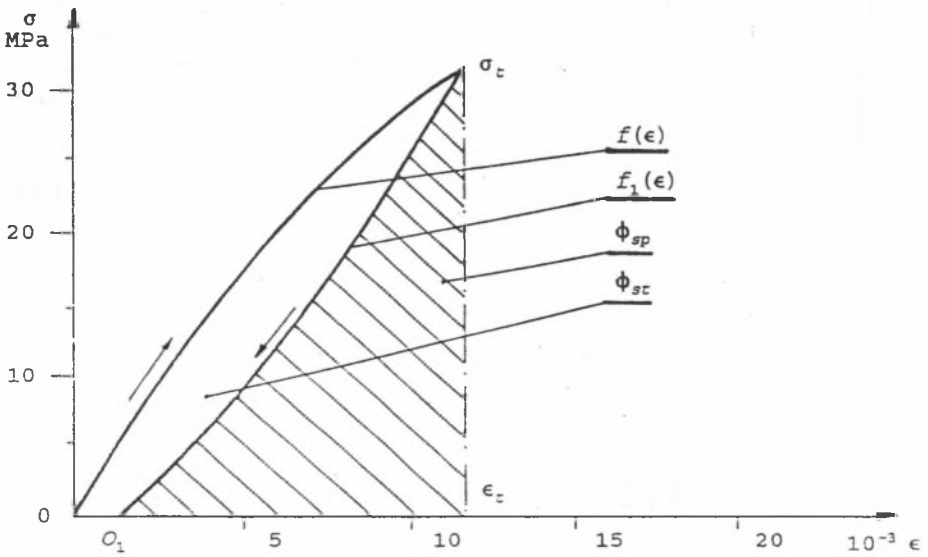
Następną opisową oceną ilościową tąpań eksplozyjnych dokonaną przez Z. Szecówkę [87,88] jest tzw. energetyczny wskaźnik skłonności węgla do tąpań W_{ET} określony wzorem

$$W_{ET} = \frac{\phi_{SP}}{\phi_{ST}} \quad (2.25)$$

$$W_{ET} = \frac{\int_{\epsilon_0}^{\epsilon_c} f_1(\epsilon) d\epsilon}{\int_0^{\epsilon_c} f(\epsilon) d\epsilon - \int_{\epsilon_0}^{\epsilon_c} f_1(\epsilon) d\epsilon} \quad (2.26)$$

gdzie:

- ϕ_{sp} - energia odkształcania sprężystego zaakumulowana w próbce kostkowej w trakcie obciążania (oddana całkowicie przy odciążaniu) z tarciem u podstawy,
- ϕ_{st} - "energia stracona na proces zruszenia, odkształcania trwale i rozproszone"[66].



Rys.2.6. Zależność wydłużenia jednostkowego ϵ od wartości naprężeń normalnych σ w procesie jednokierunkowego obciążania-odciążania próbek węgla dla wyznaczenia wskaźnika W_{ET}

Fig.2.6. Dependence: unitary elongation ϵ vs normal stress values σ during an unidirectional loading-lightening of coal test pieces to determine the W_{ET} indices

Wskaźnik W_{ET} oparty jest na obciążaniu jednokierunkowym próbki węgla do bliskiego naprężenia na granicy wytrzymałości na ściskanie R_{m_c} , a następnie jej odciążaniu (rys. 2.6). Zastosowany podział węgla według wartości wskaźnika W_{ET} pozwala wyróżnić silną bądź słabą skłonność węgla do tępań lub jej brak.

Wskaźnik ten jest już dzisiaj tylko jednym z czynników stosowanych do określania stopni zagrożenia pokładów tępianiami w kopalniach węgla. Metoda ta jest pracochłonna i nie uwzględnia naprężenia w pokładzie.

Uproszczoną metodę wyznaczania wskaźnika W_{ET} zastosowali A. Kidybiński i Zb. Hładysz [53], wykorzystując w tym celu młotek odbojny (Schmidta). Jest to metoda mniej pracochłonna i polega na określeniu odbojności calizny węglowej r_1 , która koreluje ze wskaźnikiem W_{ET} według zależności

$$W_{ET} = \exp(a r_1 - b) \quad (2.27)$$

gdzie:

a, b - współczynniki stałe o wartościach $a=0,0606$, $b=1,7575$.

Kolejnym problemem tępiań eksplozywnych zajmowali się (pod kierunkiem H. Gila) A. Motyczka [66, 67, 68] i St. Musioł [69].

Na podstawie dynamicznego rozpadu próbki obciążonej jednokierunkowo wyznaczono wskaźnik sprawności tępnięcia η [66], z zależności

$$\eta = \frac{\phi_k}{\phi_o} \cdot 100\% \quad (2.28)$$

gdzie:

ϕ_k - energia kinetyczna rozpadu próbki,

ϕ_o - energia (odkształcenia) wydatkowana na zniszczenie próbki.

Energię kinetyczną E_{kin} obliczano ze wzoru (2.24) tak jak w badaniach K. Drzewieckiego. Klasyfikacja węgla według wartości wskaźnika η pozwala wyróżnić (podobnie jak przy wskaźniku W_{ET}) klasy węgla: słabą, średnią i silnie skłoną do tępiań oraz nieskłoną.

Natomiast St. Musioł [69] w swych badaniach dynamicznego rozpadu próbek węgla uwzględnił dodatkowo obciążenie dynamiczne. Wyzaczył w ten sposób wskaźnik sprawności dynamicznego rozpadu

próbki η . Jest to kolejny wskaźnik określający naturalną skłonność węgla do tępań przy jednokierunkowym obciążeniu.

Badania reologiczne próbek węgla dla określenia wskaźnika naturalnej skłonności do tępań prowadził M. Borecki [7] i Zb. Hładysz pod kierunkiem A. Kidybińskiego [41]. Na podstawie badań (obciążanych jednokierunkowo próbek) M. Borecki stwierdził zależność między prędkością pełzania a skłonnością węgla do tępań i określił wskaźnik W_{RT} jako miarę skłonności węgla do tępań według wzoru

$$W_{RT} = \frac{\chi}{\beta} \quad (2.29)$$

gdzie:

χ, β - parametry pełzania.

Na podstawie wartości wskaźnika W_{RT} można wyróżnić węgle mało i bardzo skłonne do tępań, bądź też niesklonne.

Natomiast Zb. Hładysz przyjął jako model wskaźnika naturalnej skłonności do tępań układ, w którym różnica pomiędzy przyrostem naprężeń a ich wartościami po relaksacji determinuje zniszczenie węgla przy tzw. naprężeniowym modelu zniszczenia, który przebiega łagodnie lub dynamicznie. Na podstawie badań próbek węgla przy jednokierunkowym obciążeniu ustalono reologiczny wskaźnik naturalnej skłonności węgla do tępań, oparty na prawdopodobieństwie wystąpienia dwóch parametrów niekorzystnych. Do nich zaliczamy małą prędkość relaksacji i dużą prędkość rozpadu. Metoda jest pracochłonna i złożona. Ma tę zaletę co badania M. Boreckiego, a mianowicie czynnik reologiczny, jednak także nie uwzględnia stanu naprężenia w górotworze.

Przedstawione metody badań laboratoryjnych polegają na wyznaczeniu różnych wskaźników naturalnej skłonności węgla i skał do tępań, wykorzystując wyniki badań ściskania próbek przy jednokierunkowym obciążeniu. Podczas ściskania następuje dynamiczny rozpad próbki, który jednak nie jest tąpnięciem. Proces ten można nazwać zniszczeniem lub dynamicznym rozpadem próbki przy jednokierunkowym obciążeniu, a stan taki występuje tylko na ociosie pokładu. Według doświadczeń kopalnianych [44, 59, 60, 62, 82] tąpnięcia występują w caliznie górotworu, co wskazuje na to, że próbki należałoby badać w takim stanie naprężenia, jakiego tam można się spodziewać.

Dotychczasowy stan wiedzy [8, 26, 40, 47, 49, 50, 54, 55, 64, 65, 74, 80, 89, 96, 98, 103, 109, 111, 112, 113] wskazuje, że na wystąpienie tępań ma wpływ wiele czynników (poza naturalną skłonnością samego węgla do tępań), takich jak warunki i sposób eksploatacji, rodzaj warstw stropowych, stosowanie odpowiedniej profilaktyki przeciw

tąpaniom, zmiana własności mechanicznych węgla i skał itp. Czynniki te mają także wpływ na wystąpienie w pokładzie krytycznego stanu naprężenia (kilkakrotnie większego od naprężenia grawitacyjnego), przy którym może wystąpić tąpanie eksplozyjne pokładu.

Z powyższego wynika, że określenie naturalnej skłonności skał do tąpań jest niewystarczające do wyznaczenia możliwości wystąpienia tąpania. Zatem należy uwzględniać czynniki sprzyjające wystąpieniu tąpania, jak i zmniejszające to zagrożenie.

2.4. Badania zjawiska tąpania materiału węglowego w trójkierunkowym stanie obciążenia

Badania zjawiska tąpania materiału węglowego w trójkierunkowym stanie obciążenia prowadzono w celu wyznaczenia w przestrzeni naprężeń obszaru występowania tego zjawiska.

Do badań laboratoryjnych użyto próbek węgla o wymiarach 50 x 50 x 50 mm z pokładów 419, 501, 507, 510 kopalń: Dymitrow²⁾, Pstrowski i Zabrze zaliczanych do różnych stopni zagrożenia tąpaniami.

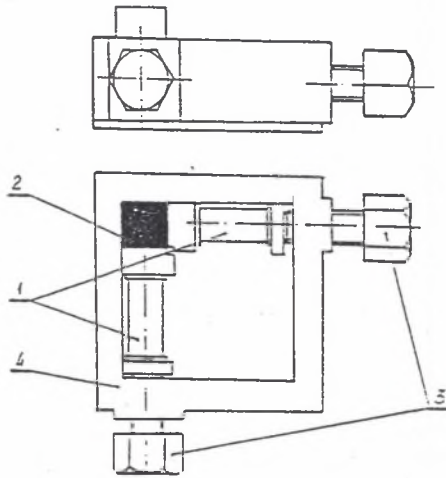
Do badań wykorzystano [85,110,114]:

- prasę wytrzymałościową o zakresie $0 \div 400$ kN,
- przyrząd do trójkierunkowego ściskania próbek prostopadłościennych z czujnikami tensometrycznymi do pomiaru sił (rys.2.7),
- aparaturę do rejestrowania wartości naprężeń wytwarzanych w przyrządzie do trójkierunkowego ściskania próbek.

2.4.1. Metoda badania zjawiska tąpania materiału węglowego

Metoda badania próbek prostopadłościennych w trójkierunkowym stanie naprężenia z doprowadzeniem do zjawiska tąpania polega na tym, że próbkę węgla odpowiednio zorientowaną umieszcza się w przyrządzie, a następnie wraz z przyrządem w prasie wytrzymałościowej. Przyrząd pozwala na realizowanie ściskania próbki w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach z możliwością zmiany wartości dowolnej ze składowych stanu naprężenia (rys. 2.7).

²⁾Nazwy kopalń podane w pracy dotyczą okresu prowadzenia badań laboratoryjnych.



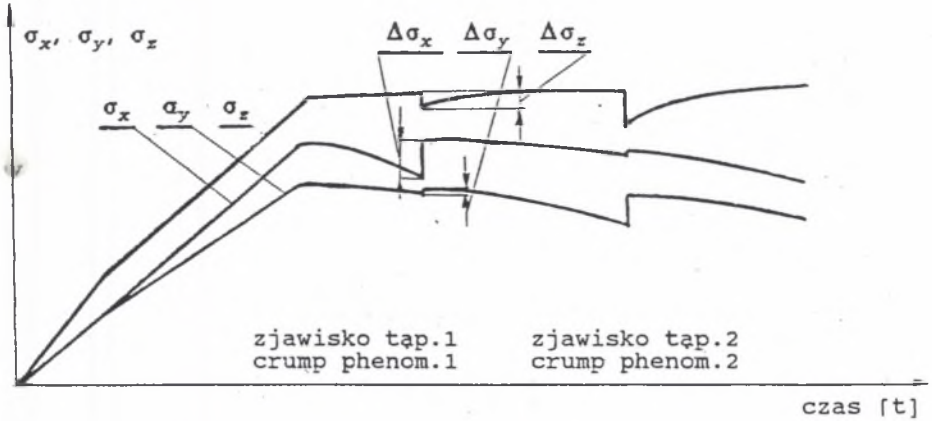
Rys.2.7.Przyrząd do trójkierunkowego ściskania próbek prostopadłościennych: 1 - czujniki tensometryczne, 2 - próbka, 3 - śruby do zmiany wartości naprężeń, 4 - rama przyrządu

Fig.2.7.Device for tridirectional compression of cuboidal test pieces: 1 - strain gauges, 2 - test piece, 3 - screws to adjust the stress values, 4 - frame of the device

Próbkę obciążano wstępnie naprężeniami σ_{x_0} , σ_{y_0} , σ_{z_0} , realizując stan naprężenia zbliżony do stanu, jaki występuje w górotworze nienaruszonym. Następnie zwiększano wartości składowych głównych stanu naprężenia, a po odpowiednim ustaleniu wartości głównych naprężenia σ_x , σ_y , σ_z zmniejszano wartości jednej ze składowych poziomych σ_x lub σ_y , albo też wartości składowych σ_x i σ_y równocześnie i na przemian przy utrzymaniu wartości naprężenia σ_z (rys.2.8 ÷ 2.11).

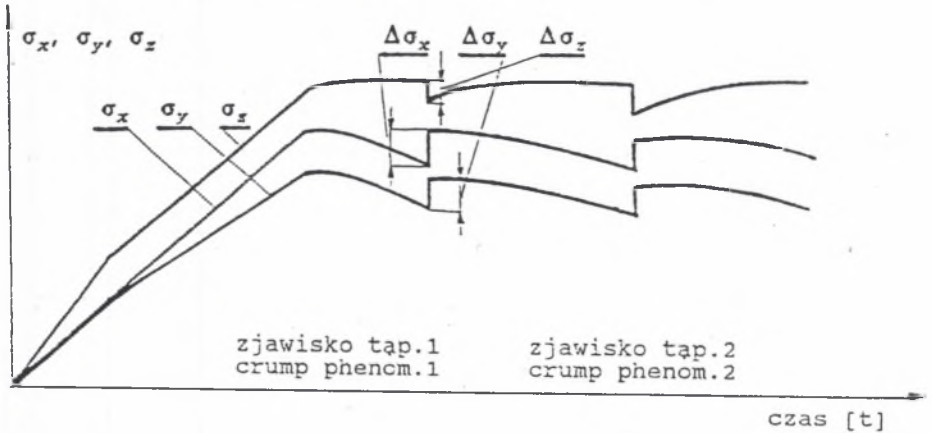
W wyniku takiego działania występowało zjawisko tąpnięcia badanej próbki objawiające się:

- nagłą zmianą wartości składowych głównych stanu naprężenia,
- zjawiskiem akustycznym, niekiedy połączonym z drganiem maszyny wytrzymałościowej,
- zmianą odkształcenia próbki wzdłuż osi x , y , z .



Rys.2.8. Wykres zmian składowych głównych stanu naprężenia przy zmniejszaniu wartości naprężenia wzdłuż osi x i osi y na przemian

Fig.2.8. Changes of components of stress when the stress values were decreased along x-axis and y-axis, alternatively

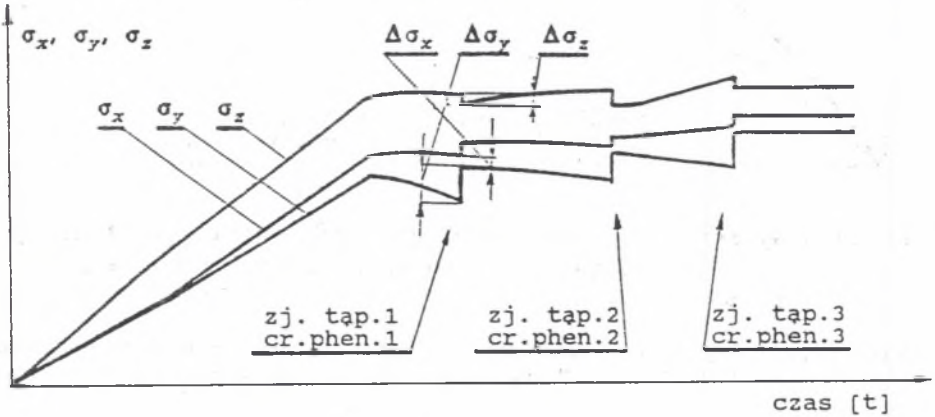


Rys.2.9. Wykres składowych głównych stanu naprężenia przy zmniejszaniu wartości naprężenia wzdłuż osi x i osi y równocześnie

Fig.2.9. Components of stress when the stress values were decreased along x-axis and y-axis, simultaneously

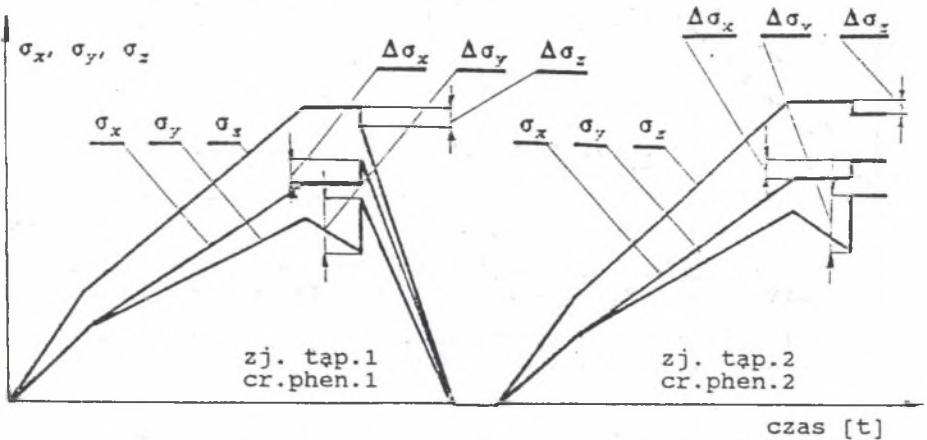
Cpisane zjawisko występujące w próbce węgla podczas badań laboratoryjnych w trójkierunkowym stanie naprężenia nazwano zjawiskiem tąpnięcia. Jako miarę nasilenia (intensywności) zjawiska tąpnięcia materiału węglowego przyjęto przyrost wartości naprężenia $\Delta\sigma$ występującego wzdłuż osi, względem której zmniejszono wartości naprężenia oraz powodowano przyrost odkształcenia. Zarejestrowane

zjawiska tapania przedstawiono w postaci punktów w przestrzeni naprężeń, uwzględniając ich nasilenie. Punkty te o określonym nasileniu zjawiska tworzą obszary w przestrzeni naprężeń, których położenie jest zależne przede wszystkim od wartości naprężenia σ_z i w mniejszym stopniu od wartości naprężeń σ_x i σ_y [115].



Rys.2.10. Wykres składowych głównych stanu naprężenia podczas badania zjawiska tapania przy różnych wartościach naprężenia σ_z

Fig.2.10. Components of stress when the phenomenon was studied at different values of σ_z stress



Rys.2.11. Wykres składowych głównych stanu naprężenia podczas badania zjawiska tapania ze zmniejszaniem tych składowych do zera

Fig.2.11. Components of stress when the crump phenomenon was studied at a decreasing of the components to zero

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że na jednej próbce można otrzymać zjawiska tapania materiału węglowego przy różnych składowych stanu naprężenia (rys.2.10) oraz że istnieje możliwość uzyskania tego zjawiska wielokrotnie na tej samej próbce, jeżeli będzie odpowiedni stan naprężenia (rys.2.8 ÷ 2.11). Mamy tu zatem do czynienia z powtarzalnością zjawiska tapania na jednej próbce.

Pobrana próbka jest obciążana w trójkierunkowym stanie naprężenia (podobnie jak na dole), aż wystąpi zjawisko tapania, a następnie odciążona do zera. Po dłuższym okresie czasu tę samą próbkę obciążamy podobnie jak poprzednio do otrzymania kolejnego zjawiska tapania (rys.2.11). Jest to dowód na to, że materiał badany jest tym samym materiałem węglowym, który występuje w pokładzie.

2.4.2. Hipoteza występowania zjawiska tapania materiału węglowego

Analizując obszary występowania zjawiska tapania, postawiono hipotezę obszaru występowania zjawiska tapania materiału węglowego, którą sformułowano następująco [116]:

w przestrzeni naprężeń σ_x , σ_y , σ_z istnieje obszar ograniczony od dołu powierzchnią torusa parabolicznego o równaniu

$$\sigma_z = a(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} - b)^2 + C \quad (2.30)$$

wewnątrz którego można doprowadzić próbkę węgla do zjawiska tapania. Poza tym obszarem zjawisko tapania nie występuje (rys.2.12).

Trójkierunkowy stan naprężenia można zredukować do zastępczego naprężenia zredukowanego ze względu na możliwość występowania zjawiska tapania materiału węglowego $\sigma_{red_{t\ddot{a}p}}$, przy czym

$$\sigma_{red_{t\ddot{a}p}} = \sigma_z - a(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} - b)^2 \quad (2.31)$$

Wówczas warunek na wystąpienie zjawiska tapania można napisać w postaci

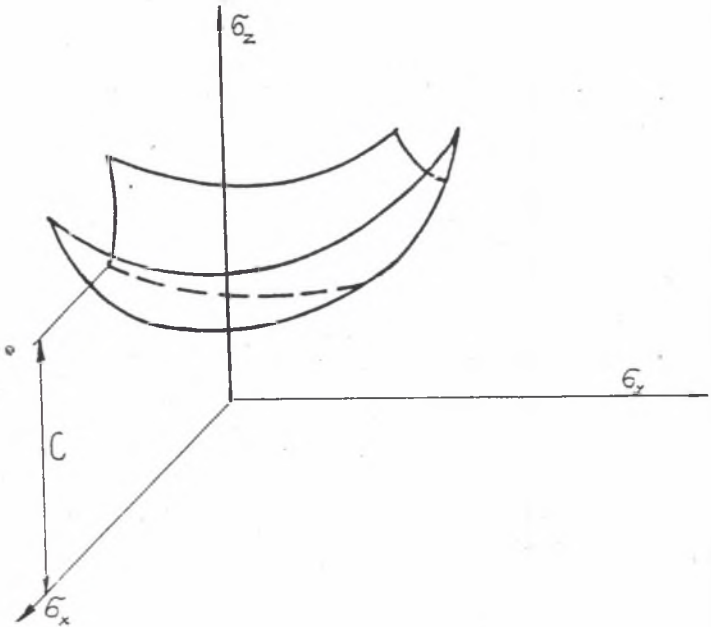
$$\sigma_{red_{t\ddot{a}p}} \geq C \quad (2.32)$$

Analogicznie warunek na niewystępowanie tego zjawiska można podać w postaci

$$\sigma_{red_{t\dot{a}p}} < C \quad (2.33)$$

gdzie:

C - współczynnik równy wartości naprężenia $\sigma_{z_{min}}$, przy którym zjawisko tąpnięcia materiału węglowego jeszcze występuje.

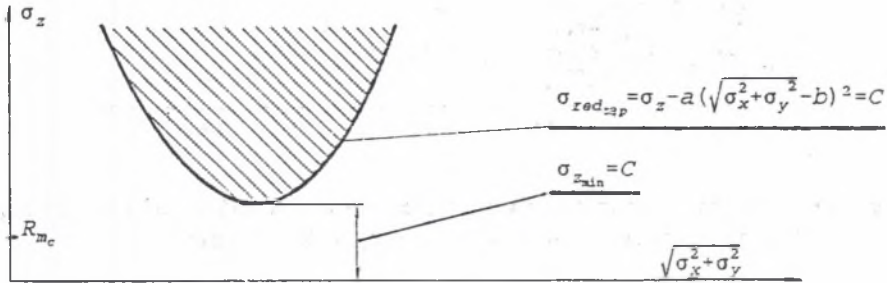


Rys.2.12. Obszar w przestrzeni naprężeń, w którym można doprowadzić próbkę węgla do zjawiska tąpnięcia w trójkierunkowym stanie naprężenia

Fig.2.12. Zone in the stress space, where a coal specimen can be brought to a crump in tridirectional state of stress

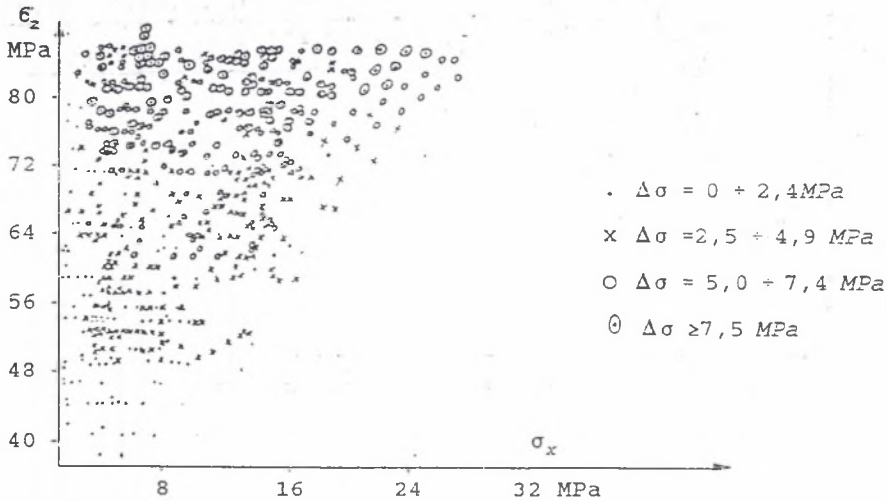
Obszary występowania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego na podstawie postawionej hipotezy przedstawiono na wykresach w układzie współrzędnych $\sigma_z, \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2}$, dla badanych pokładów węgla

Wyniki badań laboratoryjnych w postaci punktów występowania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego w przestrzeni naprężeń pokazano na rys. 2.14 (dla $\sigma_y = 0 \div 28$ MPa) i na rys.2.15 (dla $\sigma_z = 0 \div 80$ MPa). Natomiast wg postawionej hipotezy wyznaczono obszar i podobszary występowania tego zjawiska dla pokładu 419 KWK Dymitrow, co pokazano na rys.2.16.



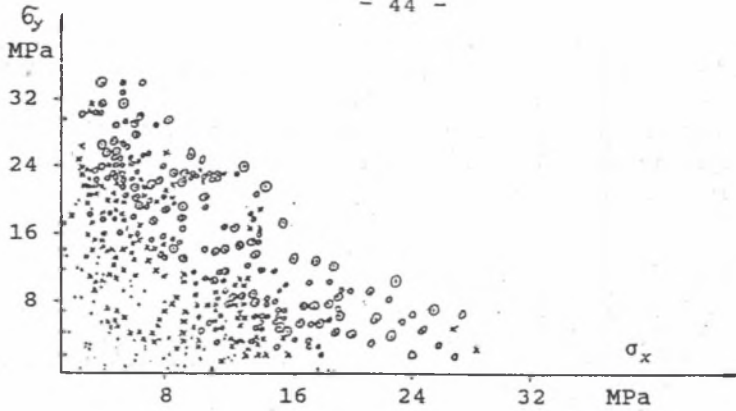
Rys.2.13. Parabola dzieląca przestrzeń naprężeń na obszar, w którym występuje zjawisko tąpnięcia materiału węglowego i na obszar, w którym nie występuje

Fig.2.13. Parabola dividing the stress space into a zone where the crump phenomenon occurs and a zone where it does not



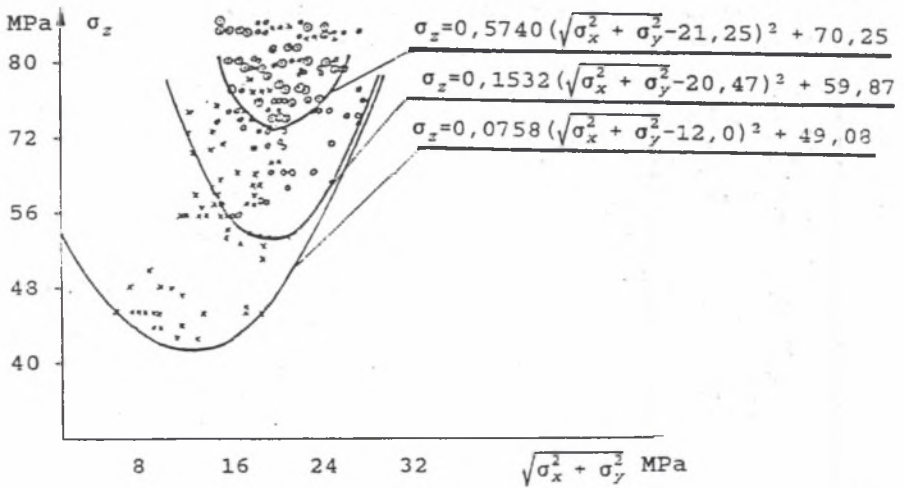
Rys.2.14. Punkty występowania zjawiska tąpnięcia w przestrzeni naprężeń dla $\sigma_y = 0 \div 28,0$ [MPa]

Fig.2.14. Points in the stress space for $\sigma_y = 0 \div 28,0$, where the crump phenomenon occurs



Rys.2.15. Punkty występowania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego w przestrzeni naprężeń dla $\sigma_z = 0 \div 80$ [MPa]

Fig.2.15. Points in the stress space for $\sigma_z = 0 \div 80$, where the crump phenomenon occurs



Rys 2.16. Obszar występowania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego wg postawionej hipotezy

Fig.2.16. Zone where the crump phenomenon occurs, according to the hypothesis made

Na podstawie badań laboratoryjnych i analizy wyników stwierdzono, że:

- zjawisko tapania w próbce jest możliwe do zrealizowania w trójkierunkowym stanie naprężenia wówczas, gdy następuje zmniejszenie wartości co najmniej jednej ze składowych głównych poziomych stanu naprężenia,
- badania laboratoryjne próbek prostopadłościennych węgla pozwalają określić wartości składowych głównych stanu naprężenia i wyznaczyć w przestrzeni naprężeń, obszary i podobszary występowania (o różnym nasileniu) zjawiska tapania materiału węglowego oraz obszar, w którym to zjawisko nie występuje,
- w celu wstępnego określenia zagrożenia zjawiskiem tapania wystarczy wyznaczyć laboratoryjnie dla danego węgla wartość naprężenia $\sigma_{z_{min}} = c$ i porównać z wartością naprężenia pionowego występującego w danej chwili w pokładzie,
- postawiono hipotezę występowania zjawiska tapania materiału węglowego,
- znajomość stanu naprężenia w pokładzie (na który mają wpływ głębokość zalegania, rodzaj robót przygotowawczych i eksploatacyjnych, zaszcłości geologiczno-górniczne, profilaktyka przeciwtapaniowa itp.) oraz znajomość obszaru występowania zjawiska tapania w przestrzeni naprężeń pozwoli na określenie stopnia zagrożenia tapaniami,
- występujące zjawisko tapania w określonym punkcie przestrzeni naprężeń można powtórzyć w tym samym punkcie, po uprzednim całkowitym odciążeniu próbki, a następnie przy identycznym jak poprzednio obciążeniu i odciążeniu próbki; co jest dowodem na to, że materiał węglowy badany w laboratorium nie zmienił swych własności w zakresie zjawiska tapania w stosunku do materiału węglowego w pokładzie [99,115],
- materiał węglowy posiada zdolność zachowania swych własności na wystąpienie zjawiska tapania, tzn. że po zaistnieniu pierwszego zjawiska mogą nastąpić kolejne, przy spełnieniu koniecznych warunków [99,115].

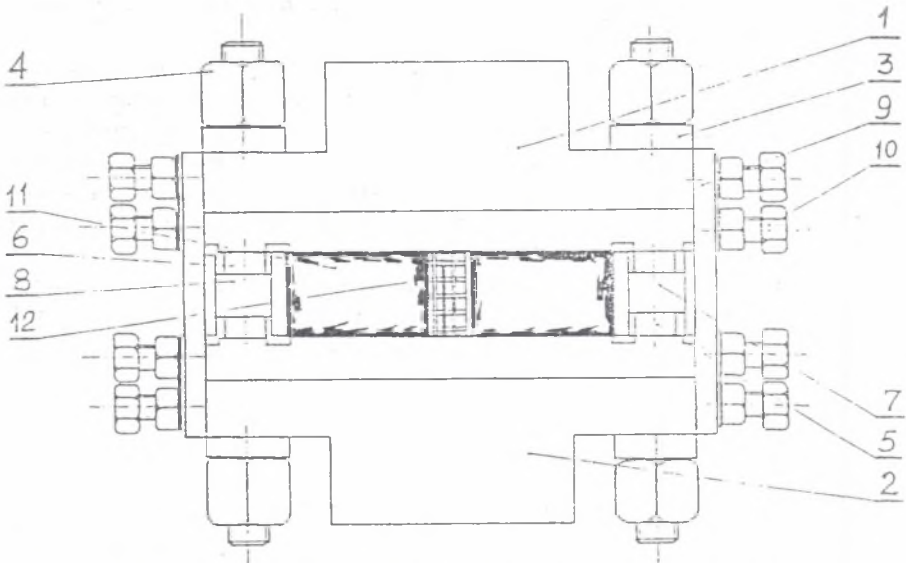
2.5. Badania tapani eksplozyjnych do chodnika na modelach pokładu węgla

Badania tapani eksplozyjnych na modelu pokładu węgla o wymiarach 50 x 100 x 350mm do modelu chodnika przedstawił A.Schyma w swojej pracy doktorskiej. Badaniami objęto modele z pokładu 510 Katowice, 510 Gottwald i 501 Makoszowy. Badania prowadzono w

urządzeniu (rys.2.17) składającym się z płyt bocznych (1,2), śrub (5,6,7,8) z nakrętkami (4) i podkładkami (3) do obciążania poziomego modelu pokładu (11), w którym wydrążono model chodnika (12) o przekroju kołowym i zainstalowano pierścienie stalowe z wykładką drewnianą. Pomiar sił realizowano za pomocą czujników tensometrycznych (5,8). Metoda badań polegała na tym, że odpowiednio zorientowany model pokładu umieszczono w specjalnym urządzeniu poziomego ściskania (rys. 2.17), a następnie w urządzeniu pionowego ściskania na stanowisku badawczym. Obciążanie modelu pokładu i w nim modelu chodnika prowadzono tak długo, aż uzyskano tąpnięcie eksplozyjne [107,108].

Badania te pozwoliły wyznaczyć wartości średnie składowej głównej naprężenia pionowego, przy których występuje tąpnięcie eksplozyjne do modelu chodnika. Analiza wyników tych badań przyczyniła się do określenia warunków wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego do modelu chodnika.

A.Schyma realizował swe badania laboratoryjne opierając się na wynikach z wcześniejszych badań tępaa modeli pokładów węgla, przeprowadzonych przez autora niniejszej pracy.



Rys.2.17.Urządzenie poziomego ściskania z modelem pokładu

Fig.2.17.Device for horizontal compression with a coal bed model

W swej pracy potwierdził, że muszą istnieć dwa warunki konieczne do wystąpienia tąpnięcia, tj. dostatecznie duża wartość naprężenia pionowego oraz zmniejszanie wartości poziomej składowej naprężenia, co uzyskiwano w tym przypadku badań przez odkształcalność modelu obudowy chodnika wraz z modelem chodnika do jego wnętrza. Jeżeli któryś z tych warunków nie był spełniony, wówczas do tąpnięcia eksplozyjnego nie dochodziło.

Badania tąpań na modelach pokładu węgla do modelu chodnika prowadzone były po zakończeniu badań tąpań eksplozyjnych na modelach pokładów węgla do modelu przodka ścianowego, na dostosowanym do tego celu stanowisku badawczym, zbudowanym przez autora niniejszej pracy.

3. BADANIA TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH DO PRZODKA ŚCIANOWEGO NA MODELACH POKŁADÓW WĘGLA

3.1. Wprowadzenie

Badania materiału węglowego na małych próbkach węgla (50x50x50 mm) w trójkierunkowym stanie naprężenia odzwierciedlają własności materiału w pokładzie. Dla poznania mechanizmu zachowania się pokładu (w czasie tąpań eksplozyjnych) w pobliżu czoła przodka ścianowego przeprowadzono badania na modelach pokładu, które obciążano w sposób podobny do obciążenia występującego w pokładzie węgla na dole w kopalni. W tym celu zbudowano stanowisko oraz opracowano metodę badań tąpań modeli pokładów węgla. Zarejestrowane wielkości obciążenia modeli pozwoliły wyznaczyć wartości składowych głównych stanu na-prężenia, które są potrzebne do inicjacji tąpań eksplozyjnych do modeli przodków ścianowych. W celu określenia wpływu wielkości podporności modelu obudowy hydraulicznej na wartość ciśnienia w modelu pokładu, przy którym występuje tąpnięcie eksplozyjne, zainstalowano na stanowisku badawczym model hydraulicznej obudowy zmechanizowanej. Przeprowadzone badania tąpań modeli pokładów węgla wykazały istnienie wpływu podporności obudowy na wielkość ciśnienia pionowego, przy którym występuje inicjacja tąpań eksplozyjnych.

W doświadczeniach laboratoryjnych wyróżniamy badania modelowe, szeroko przedstawione w literaturze [28, 47, 48, 70, 94, 115, 122] i na modelach [104, 118, 119, 120].

Badania prowadzone na modelach (lub w modelach) charakteryzują się następującymi cechami:

- materiał badany (w tym przypadku z pokładu węgla) jest ten sam w warunkach in situ i na stanowisku badawczym, ze względu na zachowanie swych własności na występowanie zjawiska tąpnięcia,
- wielkości obciążenia badanego materiału są podobne do występujących w warunkach naturalnych, np.: na dole w kopalni,

- rodzaj obciążenia (jest także podobny do występującego w warunkach rzeczywistych, np.: jest taki sam jak w pokładzie w pobliżu przodka ścianowego),
- odkształcenie materiału może być w odpowiednich kierunkach tak sterowane, by było np.: podobne do warunków w pobliżu czoła przodka ścianowego.

W badaniach na modelach można zachować także cechy podobieństwa np. wymiarowego.

W niniejszej pracy przeprowadzono badania na modelach, gdyż badania modelowe na obecnym poziomie techniki nie pozwalają na realizowanie tępów węgla. Dotychczas nie znaleziono materiału ekwiwalentnego, mającego taką własność jak węgiel, która pozwala na inicjację tępiania eksplozyjnego.

Wobec powyższego badania przeprowadzono na specjalnie zbudowanym stanowisku, w dwóch odmianach:

- 1) z modelem pokładu bez modelu obudowy,
- 2) z modelem pokładu wraz z modelem hydraulicznej obudowy zmechanizowanej.

3.2. Badania tępów eksplozyjnych

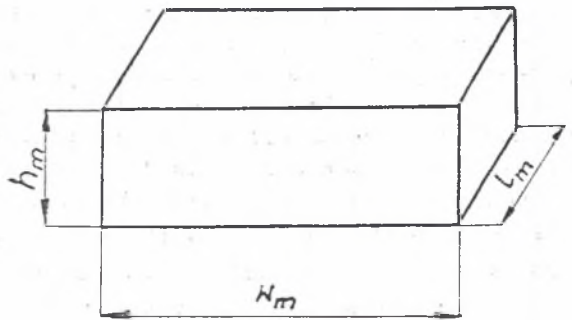
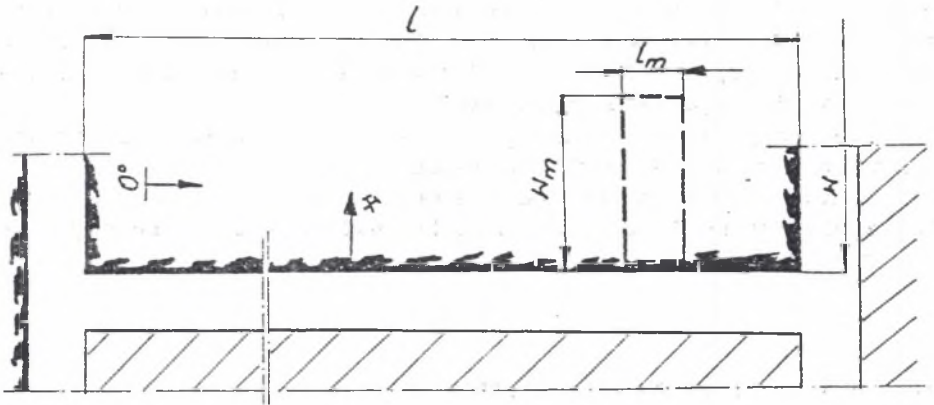
3.2.1. Metoda badania

Metoda badania tępów na modelu pokładu polega na tym, że zastosowany materiał na stanowisku badawczym jest ten sam co i w pokładzie pod względem własności na występowanie zjawiska tępiania. Natomiast wielkości naprężeń pionowych w badanych modelach są porównywalne z wielkościami opisującymi rozkład naprężenia występujący w pokładzie [13, 14, 29, 31, 35, 127].

Badania tępów modelu pokładu węgla prowadzono na prostopadłościennych próbkach węgla (zwanymi modelami) o wysokości (h_m), szerokości (l_m) i długości (l_m), odpowiadających wysokości ściany (h), długości ściany (l) i wybiegowi ściany (w) (rys. 3.1).

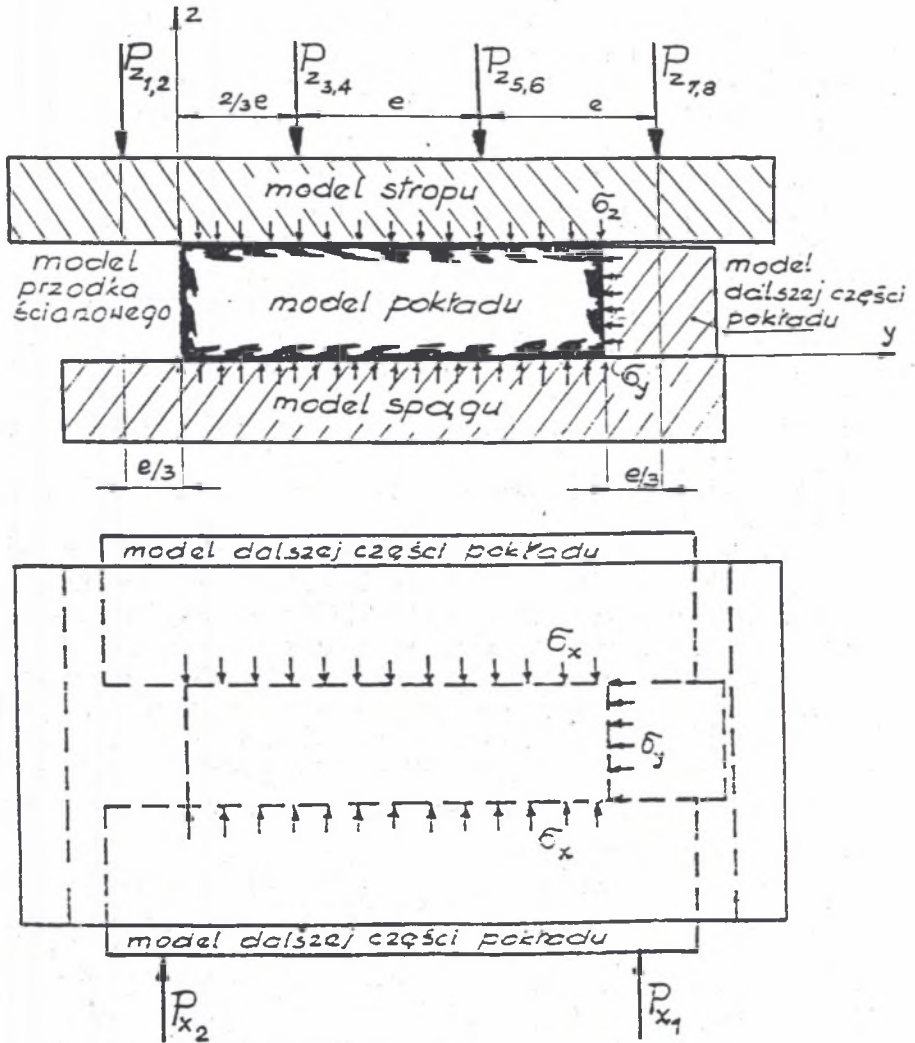
Odpowiednio zorientowany model pokładu umieszczano między modelami stropu i spągu oraz dalszej części pokładu. Zastosowana aparatura badawcza pozwoliła na realizowane ściskania modelu wzdłuż osi z naprężeniem σ_z , osi x naprężeniem σ_x oraz wzdłuż osi y, gdzie występuje naprężenie σ_y , wywołane jednostronnie reakcją w wyniku ograniczenia odkształcenia modelem dalszej części pokładu (rys. 3.2). Jednocześnie z drugiej strony istnieje możliwość przemieszczenia się próbki i nagłego wyrzutu materiału w wyniku

zaistniałego tąpnięcia. Próbkę wycina się mechanicznie, a następnie umieszcza się w aparaturze w taki sposób, by naprężenie σ_z odpowiadało naprężeniu prostopadłemu do uławicenia, σ_x naprężeniu równoległemu do uławicenia i czola ściany, σ_y naprężeniu równoległemu do uławicenia i prostopadłemu do czola ściany (rys.3.1 i 3.2).



Rys.3.1. Model pokładu węgla

Fig.3.1. Coal bed model



Rys.3.2. Schemat obciążenia modelu pokładu

Fig.3.2. Loading diagram for the coal bed model

3.2.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko do badania tępaków na modelu pokładu węgla zostało zbudowane i zafundamentowane w pomieszczeniu Zakładu Zastosowań Mechaniki w Górnictwie Instytutu Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej.

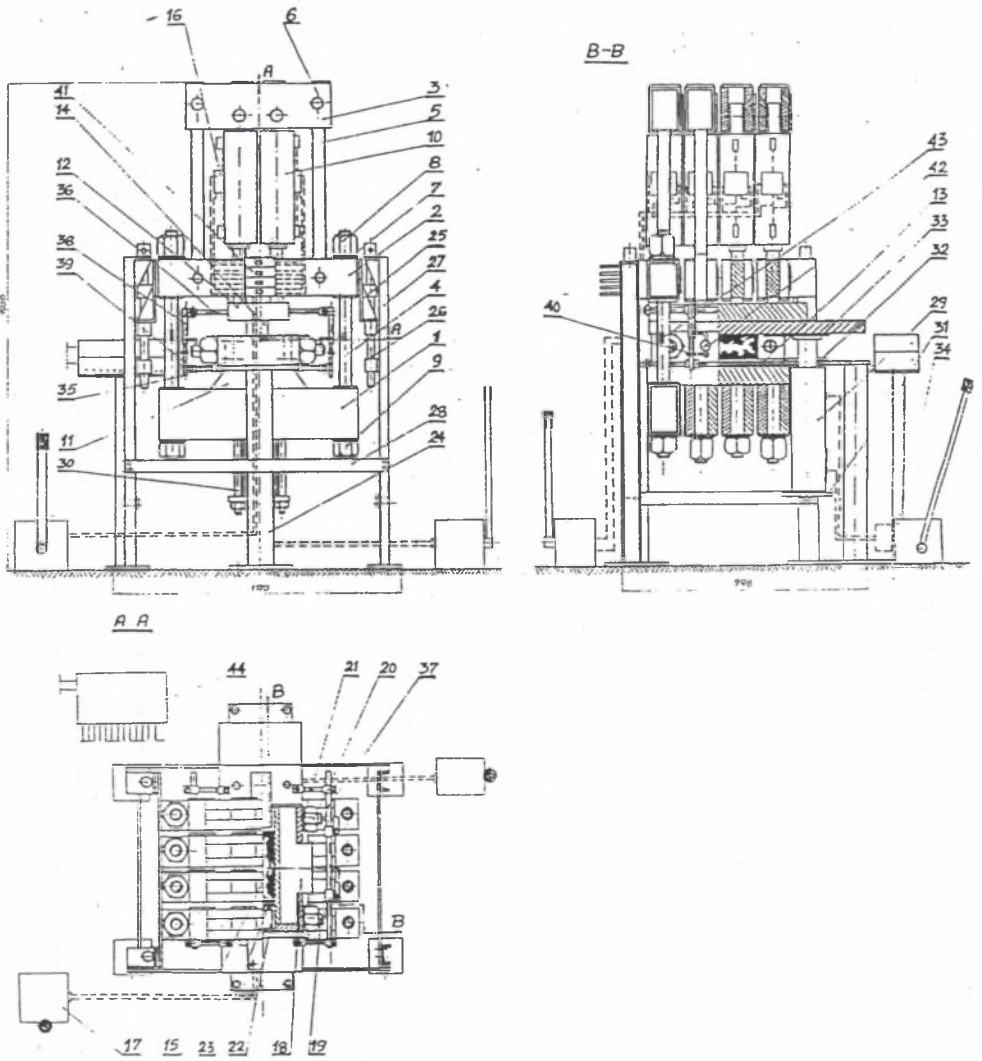
- Budowa stanowiska obejmuje następujące zespoły (rys.3.3):
- urządzenie do pionowego ściskania z siłownikami hydraulicznymi dwustronnego działania (10), belkami dolnymi (1), środkowymi (2) i górnymi (3) połączonymi ciągnami (5) i miernikami siły (4),
 - urządzenie do poziomego ściskania z belkami (18) i miernikami siły (19) oraz z czujnikiem siły (22),
 - urządzenie montażowe podtrzymujące urządzenie pionowego ściskania podczas realizacji technologii badania,
 - rama stanowiska (24) (przytwierdzona do podłoża), na której spoczywa urządzenie poziomego ściskania,
 - układ hydrauliczny do zasilania siłowników hydraulicznych urządzenia pionowego ściskania,
 - układ elektroniczny do pomiaru wartości naprężenia pionowego i poziomego,
 - układ mechaniczny do pomiaru odkształcenia pionowego modelu pokładu węgla.

Urządzenie pionowego ściskania stanowią cztery belki dolne (1) połączone śrubami M 50 (4) z czterema belkami środkowymi (2). Na śrubach naklejone są tensometry w układzie pełnego mostka tensometrycznego i połączone przewodami elektrycznymi z elektronicznym układem wzmacniacza tensometrycznego. Cztery belki górne (3) zabudowane są za pomocą ciągów (5) nad belkami środkowymi, między którymi usytuowano osiem (odpowiednio dostosowanych) siłowników hydraulicznych (10). Siłowniki te poprzez płytę górną (12) powodują obciążenie modelu naprężeniami σ_x i σ_z , co wywołuje w modelu badanego pokładu ciśnienie $P_{z_0}, P_{x_0}, P_{y_0}$.

Urządzenia poziomego ściskania stanowią dwie belki (18) ze śrubami M 50 (19) służącymi, podobnie jak wyżej, do pomiaru wielkości obciążenia poziomego σ_x w kierunku osi x. Ponadto między belkami zabudowano, odpowiednio mocując, czujnik tensometryczny (22) do pomiaru obciążenia poziomego σ_y w kierunku osi y.

Układ hydrauliczny do zasilania siłowników urządzenia pionowego ściskania składa się z przewodów hydraulicznych $\phi 10$, połączeń typu steko, ośmiu bloków zaworowych zabudowanych na siłownikach hydraulicznych, czterech rozdzielaczy dźwigniowych, zaworów i zbiornika hydraulicznego, pompy z napędem mechanicznym do wytwarzania ciśnienia $0 \div 16$ MPa wraz z multiplikatorem do zwiększania ciśnienia w zakresie 40 MPa.

Parametry techniczne stanowiska badawczego pozwalają na uzyskanie ciśnienia pionowego w modelu pokładu powyżej 100 MPa.



Rys.3.3.Stanowisko do badania tupań na modelu pokładu węgla

Fig.3.3.Stand to study the crumps on the coal bed model

3.2.3. Metoda badania tępów modelu pokładu węgla do przodka ścianowego bez obudowy

Obciążanie modelu pokładu węgla realizowano w trzech fazach w sposób następujący.

W fazie pierwszej obciążano model pokładu naprężeniami przedwstępnymi $\sigma_{x_{op}}, \sigma_{z_{op}}$ (które wynikają z zamocowania modelu na stanowisku badawczym), wg zależności

$$\sigma_{x_{op}} = \sigma_{y_{op}} = 0,66 \sigma_{z_{op}} \text{ MPa} \quad (3.1)$$

gdzie:

$\sigma_{z_{op}}$ - odzwierciedla naprężenie prostopadłe do uławicenia,
 $\sigma_{z_{op}} = 0,57 \text{ MPa}$, wynika z masy urządzenia pionowego ściskania,

$\sigma_{x_{op}}$ - odzwierciedla naprężenie równoległe do czoła ściany, ustalane jest w wyniku dokręcenia śrub w urządzeniu poziomego ściskania, $\sigma_{x_{op}} = \sigma_{y_{op}} = 0,38 \text{ MPa}$.

W fazie drugiej obciążano model pokładu naprężeniami wstępnymi $\sigma_{z_0}, \sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}$ (rys. 3.4), realizując stan naprężenia zbliżony do występującego w górotworze nienaruszonym w pobliżu ociosu przodka ścianowego, przy wydłużeniu jednostkowym wzdłuż osi x równym zeru

$$\epsilon_x = 0 \quad (3.2)$$

Wartość naprężenia σ_{z_0} ustalono ze wzoru

$$\sigma_{z_0} = \gamma \cdot H \text{ MPa} \quad (3.3)$$

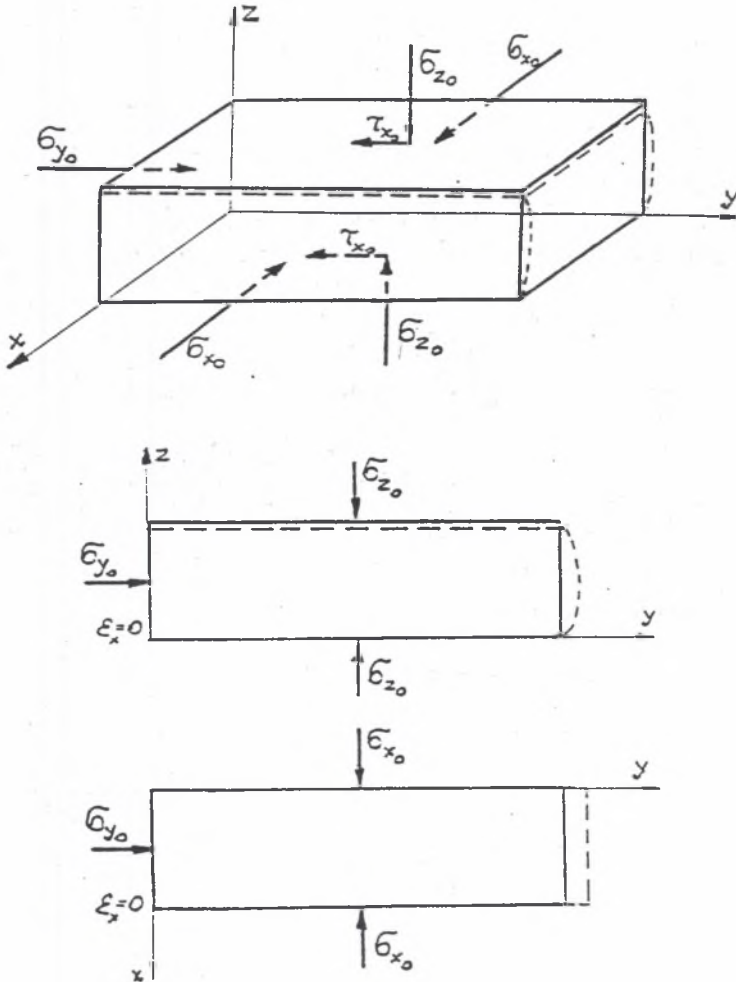
gdzie:

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ - ciężar właściwy skał,

H - głębokość zalegania pokładu w miejscu pobrania próby, m.

Obciążanie modelu pokładu realizowano następująco (rys.3.4):
- naprężeniami σ_{z_0} , które powstawały w wyniku pracy ośmiu siłowników hydraulicznych P_{z_1}, \dots, P_{z_8} ,

- naprężeniami σ_{x_0} , które powstawały w wyniku zamocowania modelu oraz jego obciążenia w urządzeniu poziomego ściskania siłami P_{x_1}, P_{x_2} ,
- naprężeniami σ_{y_0} , które powstawały w wyniku zamocowania modelu między płytami pionowego i poziomego ściskania.



Rys.3.4. Model pokładu węgla obciążony wstępnie

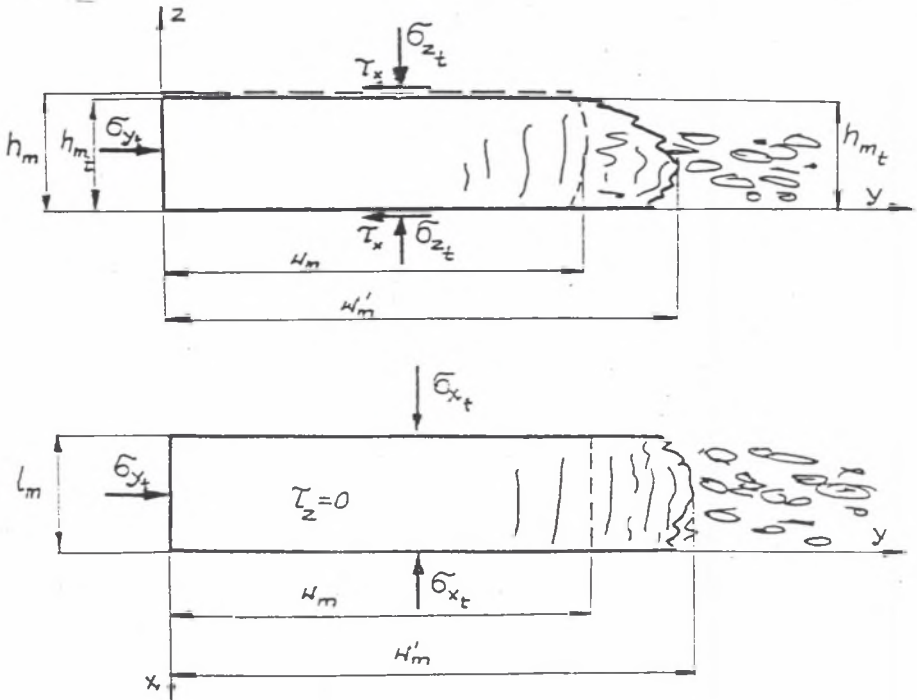
Fig.3.4. Pre-loaded coal bed model

W fazie trzeciej obciążano model pokładu, aż do uzyskania wartości naprężeń $\sigma_{z_{ca}p}$, $\sigma_{x_{ca}p}$, $\sigma_{y_{ca}p}$, przy których występowało tąpnięcie modelu pokładu węgla.

Wartość naprężenia $\sigma_{z_{ca}p}$ uzyskuje się w wyniku obciążenia realizowanego za pomocą siłowników hydraulicznych (rys.3.1). Wartości naprężeń $\sigma_{x_{ca}p}$ i $\sigma_{y_{ca}p}$ uzyskano jako wynik zamocowania modelu i wpływu obciążenia pionowego przy spełnianiu warunku (3.2)

$$\epsilon_x = 0$$

W wyniku obciążenia modelu pokładu naprężeniami $\sigma_{z_{ca}p}$, $\sigma_{x_{ca}p}$, $\sigma_{y_{ca}p}$ oraz jego odkształcenia w kierunku osi y występowało tąpnięcie modelu pokładu węgla, charakteryzujące się stukami (przy małym nasileniu), hukiem lub potężnym hukiem z drganiami stanowiska (rys.3.3). Obserwowano równocześnie wypływ lub wyrzut kawał-



Rys.3.5. Model pokładu węgla po tąpnięciach

Fig.3.5. Coal bed model after crumps

ków węgla z modelu w kierunku osi y do wolnej przestrzeni (rys. 3.5) oraz zmniejszanie się wartości obciążenia σ_z i σ_y (od strony zamkniętej) i niewielki wzrost naprężenia σ_x .

Pomiaru wartości obciążenia modelu pokładu dokonywano za pomocą czujników tensometrycznych i zapisywano rejestratorem pętlicowym na papierze fotograficznym.

3.2.4. Metoda badania tępaków modelu pokładu węgla do przodka ścianowego z obudową hydrauliczną

Badania tępaków na modelu pokładu węgla prowadzono w ten sposób, że odpowiednio zorientowany model pokładu umieszczano między modelem stropu i spągu obok modelu hydraulicznej obudowy zmechanizowanej na stanowisku badawczym (rys. 3.6).

Obciążanie modelu pokładu węgla i modelu hydraulicznej obudowy realizowano także w trzech fazach.

W fazie I tak samo jak przy badaniu modelu pokładu bez obudowy (pkt 3.2.3 niniejszej pracy).

W fazie II obciążano model pokładu i model obudowy naprężeniami wstępnymi σ_{z_0} , σ_{x_0} , σ_{y_0} (rys. 3.7), realizując podobny stan naprężenia, jaki istnieje w górotworze w pobliżu czoła przodka ścianowego, gdzie jest zabudowana obudowa hydrauliczna posiadająca podporność wstępną P_w .

Natomiast na stanowisku badawczym zainstalowany model obudowy posiadał podporność wstępną $P_{w(m)}$ obliczoną wg zależności

$$P_{w(m)} = \frac{P_z F_{c2}}{F_s} \quad \text{MPa} \quad (3.4)$$

gdzie:

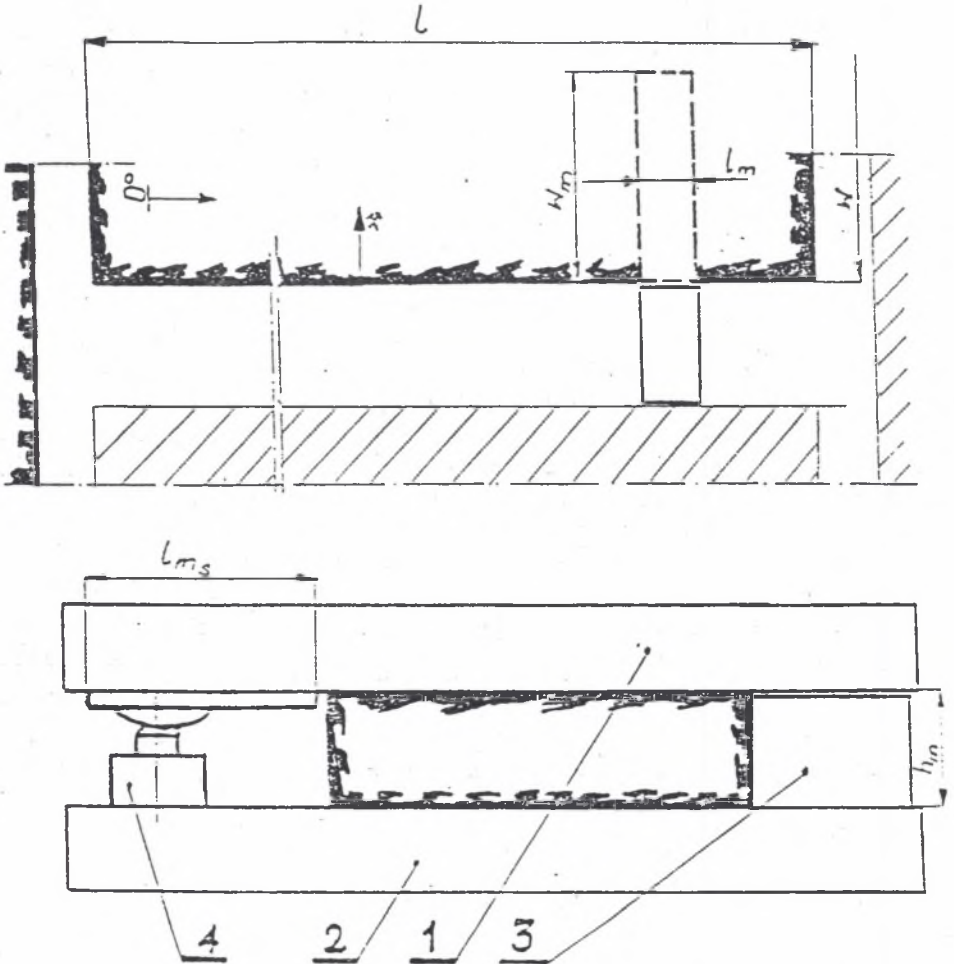
P_z - ciśnienie zasilania modelu obudowy, MPa,

F_{c2} - powierzchnia tłoka w podporze hydraulicznej modelu obudowy, m^2

F_s - powierzchnia stropnicy modelu obudowy, m^2 , $F_s = 0,02m^2$.

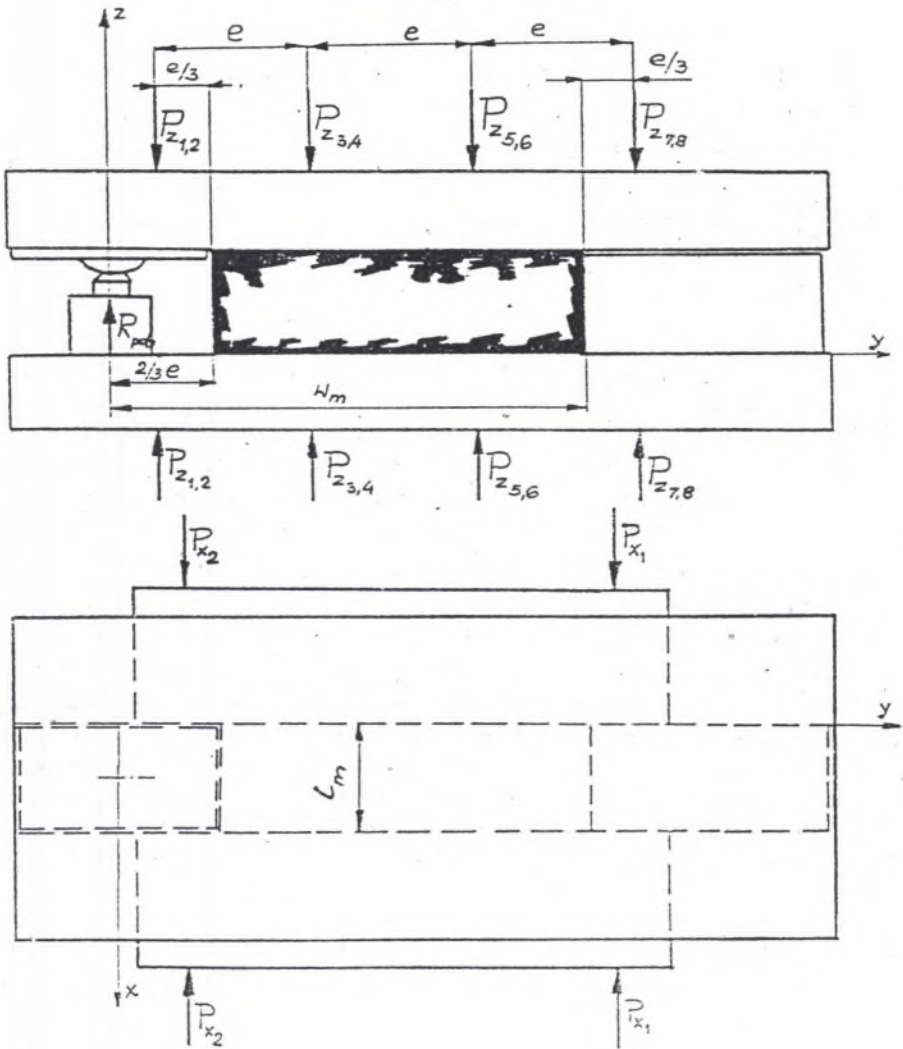
Sposób obciążania modelu pokładu był realizowany, jak opisano w pkt. 3.2.3, natomiast model obudowy utrzymywał podporność wstępną $P_{w(m)}$ z niezależnego agregatu hydraulicznego.

W fazie trzeciej obciążano model pokładu i model obudowy za pomocą siłowników hydraulicznych, aż do uzyskania wartości naprę-



Rys.3.6. Model pokładu i hydraulicznej obudowy zmechanizowanej
 1-model stropu, 2-model spągu, 3-modelu dalszej części pokładu,
 4-model obudowy, l_m -długość ściany, w -wybieg ściany, h_m -wysokość
 modelu pokładu, l_m -szerokość modelu pokładu, w_m -długość (wybieg)
 modelu pokładu, l_m -długość modelu stropnicy

Fig.3.6. Coal bed and hydraulic mechanized lining model 1-roof
 model, 2-floor model, 3-further portion of bed model, 4-lining
 model, w_m -coal bed model length, l -longwall length, w -longwall
 in the winning, h_m -coalbed model height, l_m -roof bar model
 length



Rys.3.7.Schemat obciążenia modelu pokładu i modelu obudowy

Fig.3.7.Loading diagram for coal bed model and lining model

zeń, przy których występowało tąpnięcie modelu pokładu węgla do modelu przodka ścianowego. W tym samym czasie podporność modelu obudowy była równa wartości podporności pracy obudowy $P_{pob(m)}$ lub podporności roboczej $P_{z(m)}$, jako wynik działania sił P_{z_1}, \dots, P_{z_8} pochodzących od siłowników hydraulicznych.

Podporność pracy modelu obudowy hydraulicznej $P_{pob(m)}$ obliczono ze wzoru

$$P_{pob(m)} = \frac{D_{pob} \cdot F_{t1}}{F_s} \quad \text{MPa} \quad (3.4.a)$$

oraz podporność roboczą modelu obudowy $P_{r(m)}$ z zależności

$$P_{r(m)} = \frac{D_r \cdot F_{t2}}{F_s} \quad \text{MPa} \quad (3.4.b)$$

gdzie:

P_{pob}, P_r - ciśnienie w podporze modelu obudowy hydraulicznej, w czasie jej obciążenia.

Zachowanie się naprężeń poziomych w modelu pokładu było takie samo jak przy obciążaniu modelu bez obudowy (opisane w pkt.3.2.3).

Model pokładu doprowadzono do tąpnięcia przy różnych wartościach podporności pracy obudowy $P_{pob(m)}$ i podporności roboczej $P_{r(m)}$ modelu obudowy hydraulicznej (tablica 3.5÷3.7).

W warunkach dołowych w stropie powstają pęknięcia, które w pewnym stopniu uniezależniają część stropu nad pokładem od części nad wyrobiskiem (obudową). Jednakże obudowa szczególnie zmechanizowana przenosi obciążenie statyczne skał stropowych w wielkości zależnej od ich rodzaju oraz dodatkowo obciążenie dynamiczne. Zaś model stropu jest sztywny i kończy się za stropnicą modelu obudowy. Zatem można przyjąć, że układ na stanowisku jest podobny do występującego w przodku ścianowym prowadzonym na zawał, gdyż obudowa jest obciążona zarówno statycznie, jak i dynamicznie na skutek tąpnięcia eksplozyjnego modelu pokładu.

Wyniki przeprowadzonych na stanowisku badań potwierdzają, że sposób obciążenia (rys.3.7) modelu pokładu i obudowy jest podobny do wyników otrzymanych z pomiarów obciążeń obudów zmechanizowanych na dole przeprowadzonych przez CMG Komag [97,100,101,105].

3.3. Wyniki z badań tępnię modeli pokładów węgla

Badaniami objęto węgiel z pokładu 510 w KWK Katowice i KWK Zabrze oraz 501 KWK Makoszowy. Badano tąpnięcia modeli pokładów węgla o wymiarach $100 \times 100 \times 350 \text{mm}$ ($h_m \times l_m \times w_m$) do przodka ścianowego bez obudowy i z modelem hydraulicznej obudowy zmechanizowanej.

3.3.1. Wyniki z badań tępnię modeli pokładów do przodka ścianowego bez obudowy

Opróbowania pokładów węgla dokonano w przodkach ścianowych w odległości około 15m od chodników przyścianowych (tablica 3.1). Bloki węgla pobrano na całej wysokości pokładu, a wycięte modele pokładu reprezentują wszystkie warstwy petrograficzne występujące w pokładzie.

Modele te otrzymały obciążenie przedwstępne w fazie I

$$\sigma_{z_0p} = 0,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x_0p} = \sigma_{y_0p} = 0,38 \text{ MPa}$$

Zaś w fazie II naprężenia wstępne σ_{z_0} , σ_{x_0} , σ_{y_0} kształtowały się, jak podano w tablicy 3.1.

Wartości sił pionowych P_{z_1}, \dots, P_{z_8} (które w dalszej części pracy dla uproszczenia zapisu nazwano P_1, \dots, P_8), przy których wystąpiło tępnięcie modelu pokładu do modelu przodka ścianowego, wywołują wypadkową W (rys. 3.2), która obciąża pionowo model pokładu węgla, wg zależności

$$W = P_1 + P_2 + \dots + P_8 \quad (3.5)$$

Zaś wartość współrzędnej tej wypadkowej y_0 obliczano ze wzoru (rys. 3.2)

$$y_0 = \frac{-\frac{e}{3}(P_1 + P_2) + \frac{2e}{3}(P_3 + P_4) + \frac{5e}{3}(P_5 + P_6) + \frac{8e}{3}(P_7 + P_8)}{W} \quad (3.6)$$

gdzie:

P_1, P_2, \dots, P_8 , - siły siłowników hydraulicznych mierzone podczas tępnięcia modelu, MN,

e - odległość między siłami siłowników hydraulicznych,

$$e = 0,15 \text{ m}$$

Na stanowisku siłowniki hydrauliczne są połączone parami, co powoduje, że siły parami są sobie równe w następujący sposób:

$$P_1=P_2 \quad P_3=P_4 \quad P_5=P_6 \quad P_7=P_8 \quad (3.7)$$

Zatem wartość współrzędnej wypadkowej y_0 wynosi

$$y_0 = 0,05 \left(\frac{-P_1 + 2P_3 + 5P_5 + 8P_7}{P_1 + P_3 + P_5 + P_7} \right) \quad [m] \quad (3.8)$$

Wartości sił pionowych wg zależności (3.7), wielkość wypadkowej tych sił określonej wzorem (3.5) oraz wartość współrzędnej tej wypadkowej wg wzoru (3.8) dla badanych pokładów podano w tablicach 3.2, 3.3 i 3.4.

Tablica 3.1

Modele pokładu węgla

Pokład, kopalnia	Miejsce opróbowania	Głębokość H m	Obciążenie wstępne modelu		Wytrzymałość na ściskanie ^{*)} R_{m_c} MPa
			σ_{z_0} MPa	$\sigma_{x_0} = \sigma_{y_0}$ MPa	
510 Katowice	śc. 532	670	16,8	11,1	21,0
510 Zabrze	śc.306	570	14,3	9,4	18,0
501 Makoszowy	śc. 001	649	16,2	10,7	19,0

^{*)}mierzona na próbkach prostopadłościennych o wymiarach 50x50x50mm

Tablica 3.2

Obciążenia modeli pokładu 510 Katowice, przy których wystąpiły tąpnięcia eksplozyjne do modelu przodka ścianowego bez obudowy

Nr modelu pokładu	Siły pionowego obciążania				Wypadkowa sił pionowych W MN	Współrzędna wypadkowej sił pionowych Y_0 m
	$P_1=P_2$ MN	$P_3=P_4$ MN	$P_5=P_6$ MN	$P_7=P_8$ MN		
1	0,120	0,148	0,170	0,190	1,256	0,203
1	0,092	0,160	0,186	0,200	1,276	0,216
1	0,084	0,188	0,198	0,220	1,380	0,220
2	0,126	0,140	0,180	0,204	1,300	0,207
2	0,081	0,165	0,196	0,210	1,304	0,223
2	0,070	0,192	0,199	0,215	1,352	0,224
3	0,119	0,153	0,190	0,200	1,324	0,207
3	0,092	0,169	0,198	0,208	1,334	0,217
3	0,082	0,185	0,206	0,222	1,390	0,223
4	0,130	0,155	0,175	0,190	1,300	0,198
4	0,092	0,179	0,190	0,200	1,322	0,213
4	0,098	0,172	0,204	0,210	1,368	0,215
5	0,122	0,145	0,160	0,180	1,214	0,198
5	0,090	0,160	0,185	0,196	1,262	0,216
5	0,098	0,180	0,198	0,222	1,396	0,217
6	0,128	0,158	0,170	0,190	1,292	0,198
6	0,078	0,178	0,186	0,206	1,296	0,220
6	0,078	0,190	0,200	0,230	1,396	0,225
7	0,129	0,140	0,189	0,210	1,336	0,208
7	0,099	0,166	0,192	0,214	1,342	0,216
7	0,090	0,168	0,202	0,225	1,370	0,223
8	0,130	0,168	0,180	0,200	1,356	0,200
8	0,098	0,188	0,194	0,219	1,398	0,215
8	0,090	0,198	0,208	0,226	1,444	0,218

Tablica 3.3

Obciążenia modeli pokładu 510 Zabrze, przy których wystąpiły tąpnięcia eksplozyjne do modelu przodka ścianowego bez obudowy

Nr modelu pokładu	Siły pionowego obciążania				Wypadkowa sił pionowych W MN	Współrzędna wypadkowej sił pionowych Y_0 m
	$P_1=P_2$ MN	$P_3=P_4$ MN	$P_5=P_6$ MN	$P_7=P_8$ MN		
1	0,110	0,120	0,170	0,180	1,160	0,209
1	0,099	0,126	0,183	0,199	1,214	0,219
1	0,091	0,132	0,192	0,214	1,258	0,226
2	0,110	0,125	0,160	0,190	1,170	0,210
2	0,098	0,135	0,180	0,200	1,226	0,218
2	0,088	0,160	0,198	0,219	1,330	0,224
3	0,120	0,140	0,180	0,190	1,260	0,205
3	0,100	0,168	0,190	0,206	1,328	0,213
3	0,088	0,178	0,198	0,226	1,380	0,222
4	0,136	0,150	0,190	0,198	1,348	0,200
4	0,116	0,168	0,194	0,202	1,360	0,206
4	0,102	0,188	0,196	0,220	1,412	0,213
5	0,129	0,140	0,180	0,200	1,298	0,204
5	0,090	0,169	0,188	0,210	1,314	0,218
5	0,085	0,180	0,192	0,215	1,344	0,220
6	0,129	0,162	0,180	0,199	1,340	0,201
6	0,102	0,178	0,198	0,212	1,380	0,213
6	0,098	0,190	0,199	0,217	1,408	0,214

Tablica 3.4

Obciążenia modeli pokładu 501 Makoszowy, przy których wystąpiły łapaniecia eksplozyjne do modelu przodka ścianowego bez obudowy

Nr modelu pokładu	Siły pionowego obciążania				Wypadkowa siła pionowych W MN	Współrzędna wypadkowej siły pionowych Y_0 m
	$P_1=P_2$ MN	$P_3=P_4$ MN	$P_5=P_6$ MN	$P_7=P_8$ MN		
1	0,126	0,148	0,160	0,180	1,228	0,196
1	0,092	0,152	0,186	0,198	1,256	0,217
1	0,080	0,166	0,189	0,212	1,294	0,224
2	0,130	0,150	0,170	0,180	1,260	0,195
2	0,098	0,157	0,190	0,200	1,290	0,214
2	0,084	0,166	0,200	0,222	1,344	0,225
3	0,124	0,144	0,167	0,190	1,250	0,202
3	0,100	0,164	0,188	0,205	1,314	0,214
3	0,080	0,172	0,198	0,215	1,330	0,224
4	0,110	0,139	0,159	0,176	1,168	0,203
4	0,096	0,144	0,190	0,208	1,276	0,220
4	0,086	0,177	0,202	0,219	1,368	0,221
5	0,132	0,158	0,175	0,185	1,300	0,195
5	0,102	0,170	0,190	0,200	1,324	0,211
5	0,090	0,180	0,199	0,220	1,378	0,220
6	0,136	0,154	0,166	0,180	1,272	0,192
6	0,099	0,163	0,180	0,192	1,278	0,209
6	0,089	0,176	0,196	0,218	1,358	0,220

3.3.2. Wyniki z badań tępań modeli pokładów do przodka ścianowego z modelem obudowy

Badane modele pokładów węgla są określone w tabelicy 3.1, a sposób ich obciążenia jest następujący:

- w fazie I model otrzymał obciążenie przedwstępne (podobnie jak w badaniach bez modelu obudowy)

$$\sigma_{z_{0p}} = 0,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x_{0p}} = \sigma_{y_{0p}} = 0,38 \text{ MPa}$$

- w fazie II naprężenia wstępne σ_{z_0} , σ_{y_0} , σ_{x_0} w modelu pokładu kształtowały się, jak podano w tabelicy 3.1, natomiast model obudowy miał zadawaną podporność wstępną $P_{w(m)}$ równą 0,3; 0,5 i 0,7 MPa,
- w fazie III występowały tępania modelu pokładu przy wartościach sił pionowych P_1, \dots, P_8 i podporności pracy obudowy $P_{pob(m)}$ lub roboczej $P_{r(m)}$.

Podporność wstępna modelu obudowy $P_{w(m)}$ zależy od ciśnienia zasilania podpory hydraulicznej modelu p_r , które wynosiło 12 lub 20 bądź 28 MPa. Podporność pracy modelu obudowy $P_{pob(m)}$ zależy od nacisku modelu stropu.

Podporność robocza modelu obudowy $P_{r(m)}$ zależy od ciśnienia p_r ustawionego na zaworze roboczym w bloku zaworowym, które wyniosło $p_r = 4,8$ MPa.

Wartość wypadkowej W (rys. 3.7) obliczono uwzględniając zależność (3.5) oraz wartość siły działania podpory modelu obudowy R_{pob} (w czasie podporności pracy obudowy) ze wzoru

$$\dot{W} = P_1 + P_2 + \dots + P_8 - R_{pob} \quad [\text{MN}] \quad (3.5.a)$$

Wartość R_{pob} jest rejestrowana podczas badań MN, $R_{pob} = P_{pob} F_{r-2}$ (wg wzoru 3.4.a).

Natomiast wartość współrzędnej y_0 tej wypadkowej obliczono uwzględniając (rys.3.7) z zależności

$$y_0 = \frac{\frac{e}{3} (P_1 + P_2) + \frac{4}{3} e (P_3 + P_4) + \frac{7}{3} e (P_5 + P_6) + \frac{10}{3} e (P_7 + P_8)}{W} \quad (3.6a)$$

Wykorzystując zależności (3.6.a) i (3.7) wartość współrzędnej y_0 określono następująco

$$y_0 = 0,1 \left[\frac{P_1 + 4 P_3 + 7 P_5 + 10 P_7}{2 (P_1 + P_3 + P_5 + P_7) - R_{pob}} \right] \quad [\text{m}] \quad (3.8.a)$$

Wartości sił pionowych P_1, \dots, P_8 , wypadkowej tych sił W , współrzędnej tej wypadkowej y_0 oraz wartości podpórności wstępnej $P_{w(m)}$, pracy obudowy $P_{pob(m)}$ i podpórności roboczej $P_{r(m)}$ podano, dla badanych modeli pokładów, w tablicach 3.5, 3.6 i 3.7.

Podczas badań stwierdzono, że w momencie tąpnięcia modelu pokładu gwałtownie maleje wartość naprężenia pionowego w modelu i nagle wzrasta wartość podpórności pracy modelu obudowy $P_{pob(m)}$ (rys. 3.8). Czas zarejestrowanych tąpnięć modelu pokładu wynosi około 0,01 s.

3.4. Ciśnienie pionowe w modelu pokładu węgla w momencie tąpnięcia eksplozyjnego

3.4.1. Sposób wyznaczenia rozkładu ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla

Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu uwzględnia siły tarcia pokładu o strop i spąg, jak również ich względną sztywność wobec pokładu poprzez dobór powierzchni styku w sposób następujący. Na stropie i spągu modelu pokładu zrealizowano tarcie poprzez zastosowanie gruboziarnistej obróbki powierzchni płyty modelu stropu i spągu. Zaś na ociosach modelu pokładu w celu zmniejszenia sił tarcia stosowano teflon i smary stałe.

Wobec powyższego w wyznaczaniu rozkładu ciśnienia pionowego przyjęto nie uwzględniać dodatkowego wpływu sztywności stropu i spągu na pokład. Ponadto przyjęto, że model pokładu węgla będąc obciążony, jak podano w pkt.3.2.1, jest jednorodny w momencie tąpnięcia. Na ociosie modelu pokładu od strony modelu przodka ścianowego występuje dwukierunkowy stan naprężenia, zaś na wybiegu modelu w kierunku osi y mamy do czynienia z naprężeniem przechodzącym z dwukierunkowego do trójkierunkowego stanu naprężenia.

Tablica 3.5

Obciążenia modeli pokładu 510 Katowice, przy których wystąpiły tąpnięcia oraz podporności modelu obudowy

Nr mod.	Siły pionowego obciążania				W MN	y ₀ m	Podporność modelu hydraulicznej obudowy zmechanizowanej		
	P ₁ =P ₂	P ₃ =P ₄	P ₅ =P ₆	P ₇ =P ₈			wstępna P _{w(m)} MPa	pracy P _{pob(m)} MPa	robocza P _{rim} MPa
	MN	MN	MN	MN					
9	0,190	0,190	0,196	0,198	1,540	0,279	0,30	0,42	1,20
9	0,186	0,206	0,212	0,215	1,628	0,285	0,30	0,49	1,20
9	0,179	0,208	0,216	0,226	1,647	0,290	0,30	0,57	1,20
10	0,180	0,190	0,203	0,206	1,549	0,285	0,30	0,45	1,20
10	0,173	0,210	0,220	0,222	1,640	0,291	0,30	0,49	1,20
10	0,170	0,215	0,224	0,226	1,658	0,293	0,30	0,62	1,20
11	0,200	0,206	0,210	0,210	1,642	0,280	0,30	0,50	1,20
11	0,194	0,210	0,210	0,212	1,641	0,282	0,30	0,56	1,20
11	0,188	0,212	0,214	0,216	1,647	0,285	0,30	0,67	1,20
12	0,180	0,190	0,200	0,204	1,536	0,285	0,50	0,59	1,20
12	0,168	0,199	0,208	0,208	1,552	0,290	0,50	0,69	1,20
12	0,166	0,202	0,210	0,215	1,571	0,292	0,50	0,76	1,20
13	0,190	0,192	0,196	0,200	1,545	0,280	0,50	0,56	1,20
13	0,178	0,200	0,200	0,202	1,548	0,284	0,50	0,59	1,20
13	0,162	0,204	0,205	0,210	1,549	0,291	0,50	0,64	1,20
14	0,196	0,197	0,200	0,204	1,582	0,280	0,50	0,60	1,20
14	0,192	0,203	0,203	0,205	1,593	0,281	0,50	0,64	1,20
14	0,180	0,209	0,211	0,215	1,616	0,287	0,50	0,71	1,20
15	0,190	0,192	0,199	0,206	1,559	0,283	0,70	0,73	1,20
15	0,182	0,193	0,203	0,208	1,557	0,286	0,70	0,77	1,20
15	0,175	0,206	0,210	0,213	1,592	0,289	0,70	0,79	1,20
16	0,200	0,206	0,210	0,211	1,639	0,281	0,70	0,75	1,20
16	0,194	0,208	0,219	0,219	1,664	0,285	0,70	0,79	1,20
16	0,181	0,216	0,223	0,223	1,669	0,290	0,70	0,86	1,20

Tablica 3.6

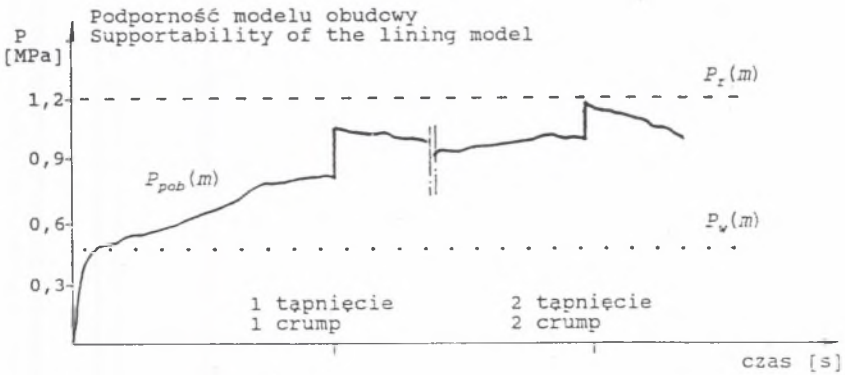
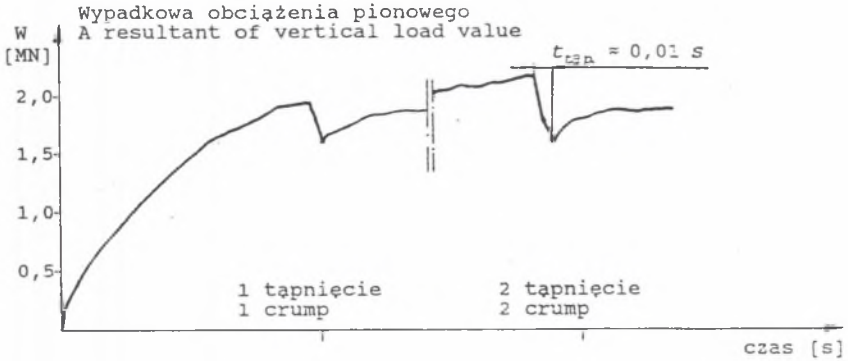
Obciążenia modeli pokładu 510 Zabrze, przy których wystąpiły tąpnięcia oraz podporności modelu obudowy

Nr mod.	Siły pionowego obciążania				W MN	Y ₀ m	Podporność modelu hydraulicznej obudowy zmechanizowanej		
	P ₁ =P ₂ MN	P ₃ =P ₄ MN	P ₅ =P ₆ MN	P ₇ =P ₈ MN			wstępna P _{w(tm)} MPa	pracy P _{pob(tm)} MPa	robocza P _{t(tm)} MPa
7	0,200	0,201	0,210	0,226	1,667	0,284	0,30	0,38	1,20
7	0,190	0,210	0,216	0,226	1,684	0,287	0,30	0,48	1,20
7	0,184	0,212	0,220	0,228	1,688	0,290	0,30	0,68	1,20
8	0,190	0,191	0,199	0,206	1,563	0,282	0,30	0,38	1,20
8	0,184	0,196	0,202	0,212	1,579	0,285	0,30	0,40	1,20
8	0,180	0,198	0,206	0,214	1,586	0,287	0,30	0,52	1,20
9	0,200	0,206	0,210	0,216	1,632	0,282	0,50	0,60	1,20
9	0,195	0,212	0,216	0,218	1,668	0,284	0,50	0,69	1,20
9	0,190	0,226	0,226	0,228	1,727	0,288	0,50	0,86	1,20
10	0,202	0,202	0,204	0,210	1,624	0,280	0,50	0,69	1,20
10	0,198	0,209	0,209	0,228	1,674	0,285	0,50	0,70	1,20
10	0,180	0,220	0,229	0,229	1,702	0,291	0,50	0,68	1,20
11	0,180	0,190	0,204	0,216	1,564	0,290	0,70	0,82	1,20
11	0,176	0,196	0,206	0,216	1,592	0,290	0,70	0,89	1,20
11	0,174	0,216	0,217	0,220	1,635	0,291	0,70	0,96	1,20
12	0,190	0,190	0,194	0,200	1,516	0,281	0,70	0,82	1,20
12	0,186	0,199	0,199	0,206	1,561	0,284	0,70	0,99	1,20
12	0,174	0,216	0,216	0,220	1,632	0,291	0,70	1,01	1,20
13	0,206	0,206	0,210	0,212	1,637	0,280	0,70	0,78	1,20
13	0,190	0,210	0,212	0,215	1,643	0,285	0,70	0,84	1,20
13	0,182	0,212	0,215	0,218	1,654	0,288	0,70	0,95	1,20

Tablica 3.7

Obciążenia modeli pokładu 501 Makoszowy, przy których wystąpiły tąpnięcia oraz podporności modelu obudowy

Nr mod.	Sily pionowego obciążania				W MN	Y ₀ m	Podporność modelu hydraulicznej obudowy zmechanizowanej		
	P ₁ =P ₂ MN	P ₃ =P ₄ MN	P ₅ =P ₆ MN	P ₇ =P ₈ MN			wstępna P _{w(m)} MPa	pracy P _{pob(m)} MPa	robocza P _{r(m)} MPa
7	0,189	0,199	0,202	0,206	1,582	0,282	0,30	0,50	1,20
7	0,180	0,201	0,206	0,210	1,581	0,286	0,30	0,65	1,20
7	0,170	0,206	0,210	0,212	1,580	0,290	0,30	0,80	1,20
8	0,199	0,206	0,212	0,213	1,650	0,281	0,30	0,48	1,20
8	0,188	0,207	0,219	0,220	1,654	0,287	0,30	0,70	1,20
8	0,176	0,210	0,220	0,224	1,643	0,292	0,30	0,84	1,20
9	0,206	0,208	0,210	0,218	1,670	0,281	0,50	0,70	1,20
9	0,188	0,214	0,218	0,223	1,669	0,288	0,50	0,86	1,20
9	0,178	0,220	0,222	0,226	1,674	0,291	0,50	0,92	1,20
10	0,190	0,198	0,200	0,210	1,582	0,283	0,50	0,72	1,20
10	0,184	0,208	0,218	0,220	1,644	0,288	0,50	0,80	1,20
10	0,180	0,222	0,228	0,230	1,702	0,292	0,50	0,88	1,20
11	0,199	0,205	0,215	0,217	1,656	0,283	0,70	0,78	1,20
11	0,183	0,216	0,220	0,226	1,672	0,290	0,70	0,92	1,20
11	0,178	0,220	0,226	0,226	1,676	0,292	0,70	1,20	1,20
12	0,200	0,209	0,210	0,216	1,652	0,282	0,70	0,90	1,20
12	0,192	0,212	0,220	0,222	1,672	0,287	0,70	0,98	1,20
12	0,182	0,216	0,224	0,226	1,674	0,291	0,70	1,10	1,20



Rys.3.8.Przebieg wielkości obciążenia pionowego wypadkową W modelu pokładu i obudwy oraz podporności modelu obudwy

Fig.3.8.A run of vertical load value, a resultant W of coal bed model and a lining as well as supportability of the lining model

Oddziaływanie wypadkowej W (rys 3.9) powoduje rozkład wartości ciśnienia pionowego w modelu pokładu P_{z_m} , wg przyjętej zależności

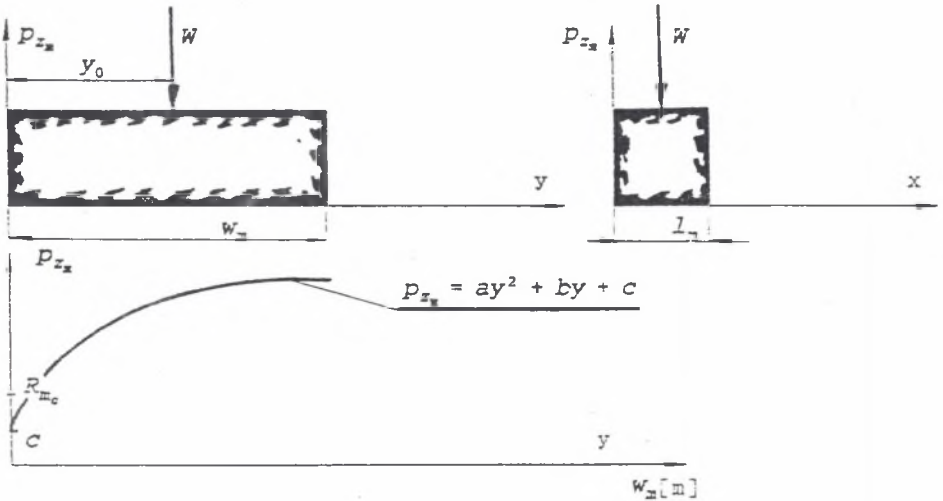
$$p_{z_m} = ay^2 + by + c \quad (\text{dla } a < 0) \quad (3.9)$$

Wypadkowa sił obciążenia pionowego W wynosi

$$W = l_m \cdot \int_0^{w_m} P_{z_m} dy \quad (3.10)$$

Natomiast moment wypadkowej znajdujemy ze wzoru

$$W \cdot y_0 = l_m \int_0^{w_m} P_{z_m} \cdot y dy \quad (3.11)$$



Rys.3.9.Schemat wyznaczania ciśnienia w modelu pokładu węgla

Fig.3.9.Diagram to determine the pressure in a coal bed model

Trzecim warunkiem jest przyjęcie, że ciśnienie pionowe na ośrodku modelu pokładu węgla: dla $y = 0$ wynosi

$$P_{z_m} = c \quad (3.12)$$

c przyjmuje wartości

$$c = 0,5 R_{m_c} \quad \text{lub} \quad c = 0 \quad \text{i} \quad c = P_{pob(m)} \quad (3.12.a)$$

gdzie:

- P_{z_m} - ciśnienie pionowe w modelu pokładu, MPa,
- W_m - wybieg modelu pokładu, m,
- l_m - szerokość modelu pokładu, m.
- Y_0 - współrzędna wypadkowej W , m,
- R_{m_c} - naprężenie na granicy wytrzymałości na ściskanie węgla przy jednokierunkowym obciążeniu, MPa,
- $P_{pob(m)}$ - podporność pracy modelu hydraulicznej obudowy zmechanizowanej, MPa.

Po podstawieniu wzoru (3.9) do wzoru (3.10) i (3.11) otrzymujemy

$$W = l_m \int_0^{w_m} (ay^2 + by + c) dy \quad (3.13)$$

oraz

$$W \cdot y_0 = l_m \int_0^{w_m} (ay^2 + by + c) y dy \quad (3.14)$$

Zaś z rozwiązania zależności (3.13) i (3.14) otrzymujemy układ równań

$$\begin{cases} \frac{6}{w_m^2} \left(\frac{W}{l_m} - c \cdot w_m \right) = 2a w_m + 3b \\ \frac{12}{w_m^3} \left(\frac{W \cdot y_0}{l_m} - \frac{c \cdot w_m^2}{2} \right) = 3a w_m + 4b \end{cases} \quad (3.15)$$

Z układu równań (3.15) wyznaczamy

$$a = \frac{12W}{l_m \cdot w_m^3} \left(3 \frac{Y_0}{w_m} - 2 \right) + 6 \frac{c}{w_m^2} \quad (3.16)$$

$$b = \frac{6W}{l_m \cdot w_m^2} \left(3 - 4 \frac{Y_0}{w_m} \right) - 6 \frac{c}{w_m} \quad (3.17)$$

Wobec powyższego rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} w modelu pokładu węgla w momencie tąpnięcia eksplozyjnego jest określony zależnością

$$P_{z_m} = \left[\frac{12W}{l_m \cdot w_m^2} \left(3 \frac{Y_0}{w_m} - 2 \right) + 6 \frac{c}{w_m^2} \right] y^2 + \left[\frac{6W}{l_m \cdot w_m^2} \left(3 - 4 \frac{Y_0}{w_m} \right) - 6 \frac{c}{w_m} \right] y + c$$

dla $\frac{2W}{l_m \cdot w_m} \left(3 \frac{Y_0}{w_m} - 2 \right) + c < 0$ (3.9.a)

Natomiast gdy $c = 0$ rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} jest określony następująco

$$P_{z_m} = \left[\frac{12 W}{l_m \cdot w_m^3} \left(3 \frac{y_0}{w_m} - 2 \right) \right] y^2 + \left[\frac{6W}{l_m \cdot w_m^2} \left(3 - 4 \frac{y_0}{w_m} \right) \right] y \quad (3.9.b)$$

dla $y_0 < \frac{2}{3} w_m$

3.4.2. Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla w trakcie tąpnięcia do przodka ścianowego bez obudowy

Rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} w modelach pokładu węgla 510 Katowice, 510 Zabrze i 501 Makoszowy w momencie tąpnięcia do modelu przodka ścianowego bez obudowy wyznaczono na podstawie wyników z badań przedstawionych w tablicach 3.2, 3.3 i 3.4.

Założono, że w wyniku obciążenia modelu pokładu bez obudowy na jego ociosie podczas tąpnięcia do przodka ścianowego wystąpi ciśnienie (rys.3.9)

$$P_{z_m} = c = 0,5 R_{m_c} \quad (3.12.a)$$

Zatem wykorzystując równania (3.16) i (3.17), dla badanych modeli o wymiarach $l_m = 0,1$ [m] i $w_m = 0,35$ [m] współczynniki równania (3.9) wynoszą

$$a = 5597,667 W(4,286 y_0 - 1) + 48,980 c \quad (3.18)$$

$$b = 1469,388 W(1 - 3,809 y_0) - 17,142 c \quad (3.19)$$

Wobec tego równanie (3.9.a) po podstawieniu zależności (3.12.a), (3.18) i (3.19) dla badanych modeli pokładów przyjmuje postać

$$P_{z_m} = [5597,667 W(4,2857 y_0 - 1) + 48,980 c] y^2 + [1469,388 W(1 - 3,809 y_0) - 17,142 c] y + c \quad (3.20)$$

Równanie (3.20) pokazuje nam rozkład ciśnienia P_{z_m} w badanych modelach węgla zgodnie z rys.3.9, jeżeli $a < 0$, tj.:

$$5597,667 W(4,286 y_0 - 1) + 48,980 c < 0$$

Zatem dla

$$y_0 < 0,233 - 0,001 \frac{R_{m_c}}{W} \quad (3.21)$$

Rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} w badanych modelach jest opisany parabolą wg wzoru (3.20) dla pierwszych tąpnięć modelu pokładu.

Natomiast przy drugim i trzecim tąpnięciu modelu pokładu (ze względu na częściowe zniszczenie modelu w jego ociosie) rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} określono za pomocą zmodyfikowanego wzoru (3.20)

$$P_{z_m} = [5597,667 W (4,2857 y_0 - 1)]y^2 + [1469,388 W (1 - 3,809 y_0)] y \quad (3.20a)$$

uwzględniając, że na ociosie wytrzymałość modelu $R_{m_c} = 0$.

Dla badanych modeli pokładów węgla 510 Katowice, 510 Zabrze, i 501 Makoszowy rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} w momencie tąpnięcia do modelu przodka ścianowego bez obudowy określono za pomocą paraboli danej wzorem (3.20) dla pierwszych tąpnięć oraz wzorem (3.20.a) dla następnych tąpnięć.

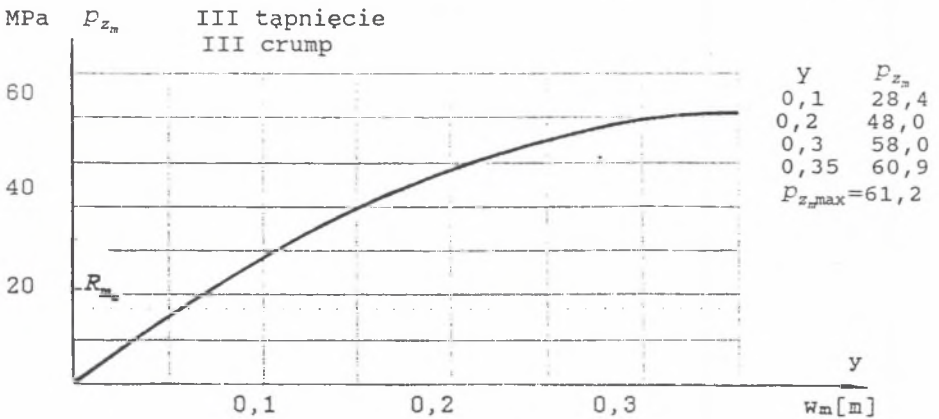
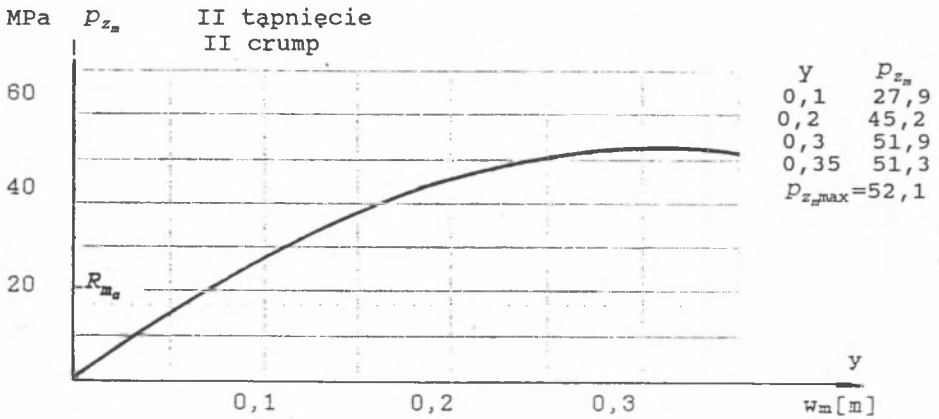
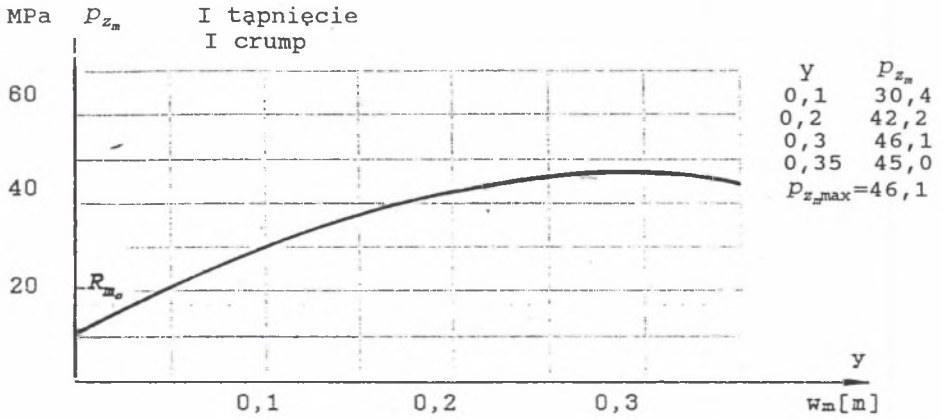
Wartości współczynników a , b i c paraboli opisującej rozkład ciśnienia w modelach pokładu w momencie tąpnięcia przedstawiono w Załączniku w tablicach Z.1, Z.2 i Z.3. Ponadto w tych tablicach umieszczono obliczone średnie wartości ciśnienia pionowego $P_{z_m, \bar{x}}$ oraz wartość ciśnienia dla $y = 0,35$ m (miejsce, gdzie model pokładu styka się z modelem dalszej części modelu pokładu).

Dla przykładu, wykres rozkładu ciśnienia pionowego P_{z_m} w momencie tąpnięcia w modelu pokładu nr 1/510 Katowice przedstawiono na rys. 3.10. Natomiast zbiór krzywych rozkładu tego ciśnienia dla badanych modeli pokładu 510 Katowice ukazano na rys. 3.11.

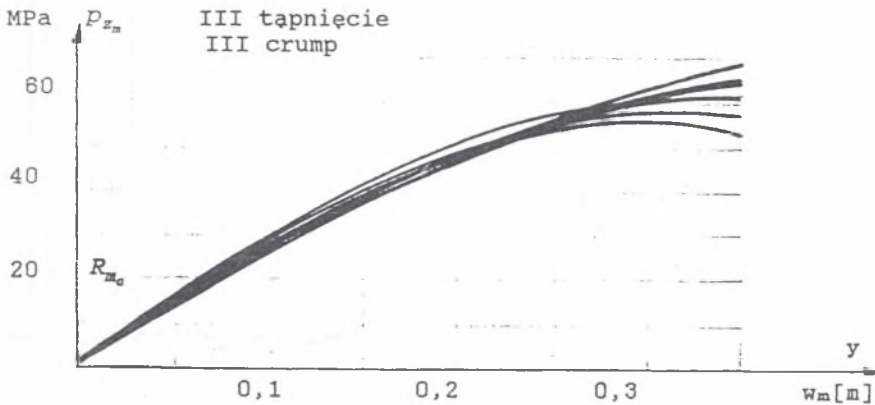
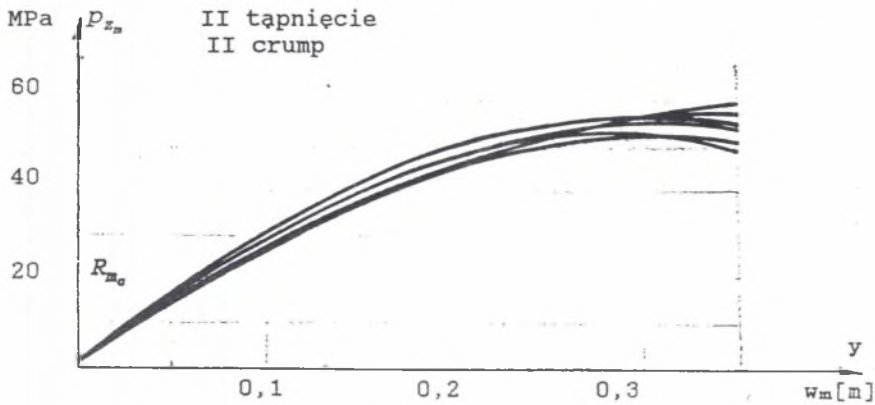
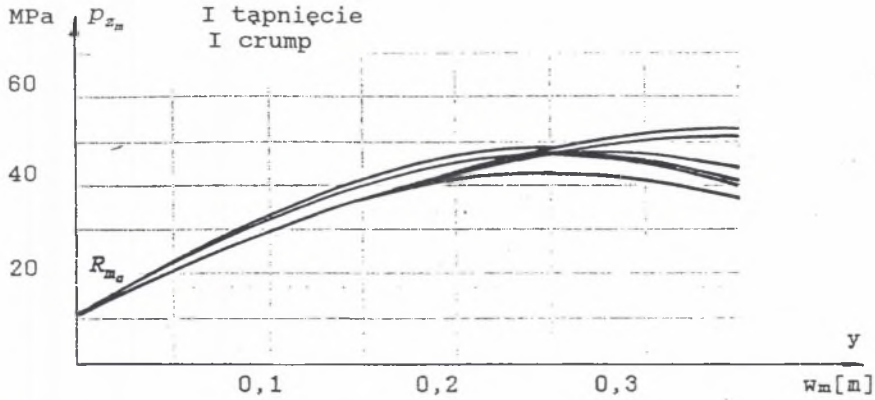
Zbiór krzywych rozkładu ciśnienia pionowego P_{z_m} w momencie tąpnięcia modeli pokładu 510 Zabrze umieszczono na rys.3.12, zaś dla 501 Makoszowy na rys.3.13.

Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu P_{z_m} w momencie pierwszego tąpnięcia, określony równaniem (3.20), na ociosie modelu jest ściśle związany z wytrzymałością na ściskanie R_{m_c} i możliwością wybożenia ociosu. Maksymalna wartość ciśnienia $P_{z_m, \max}$ występuje najczęściej w 2/3 długości w_m modelu pokładu (rys.3.10÷3.13).

Przy następnym tąpnięciu mamy czoło modelu zniszczone i częściowo przemieszczone do wyrobiska, co powoduje, że w miejscu pierwotnego położenia czoła modelu ciśnienie pionowe P_{z_m} jest równe zero. W dalszej odległości od czoła występują spękania



Rys.3.10. Rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia w modelu pokładu nr 1/510 Katowice
Fig.3.10. Vertical pressure distribution at the moment of crump in the Katowice No 1/510 coal bed model



Rys.3.11. Zbiór krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia w modelu pokładu 510 Katowice, bez modelu obudowy w przodku ścianowym
Fig.3.11. Set of curves determining the vertical pressure distribution at the moment of crump in the Katowice 510 coal bed model, without model of lining in longwall

slupowe, które powodują, że wartość maksymalna ciśnienia pionowego $P_{z_2, \max}$ jest zlokalizowana w większej odległości od czoła modelu pokładu.

Analizując wyniki badań tępnię modelu, można stwierdzić, że maksymalne ciśnienie $P_{z_2, \max}$ przemieszcza się w głąb modelu pokładu w miarę występowania kolejnego tępnięcia. Natomiast wartość zarówno maksymalnego ciśnienia pionowego $P_{z_2, \max}$, jak i wartość średnia $P_{z_2, \bar{z}}$ wzrastają przy każdej następnej inicjacji tępnięcia. Kolejne tępnięcia modelu pokładu do modelu przodka ścianowego bez obudowy cechują się coraz większą dynamiką (intensywnością tępnięcia).

Dokonując analizy wyników badań tępnię modeli pokładów 510 Katowice, 510 Zabrze, 501 Makoszowy, przedstawiono na rys.3.11 do 3.13 zbiory krzywych określających rozkłady ciśnienia pionowego P_{z_2} w momencie tępnięcia pierwszego, drugiego i trzeciego do modelu przodka ścianowego bez obudowy.

Z wykresów wynika, że na wystąpienie tępnięcia ma wpływ głównie wartość maksymalna naprężenia pionowego $P_{z_2, \max}$, z tym że wartość ta nieznacznie wzrasta w miarę występowania kolejnych tępnięć modelu pokładu.

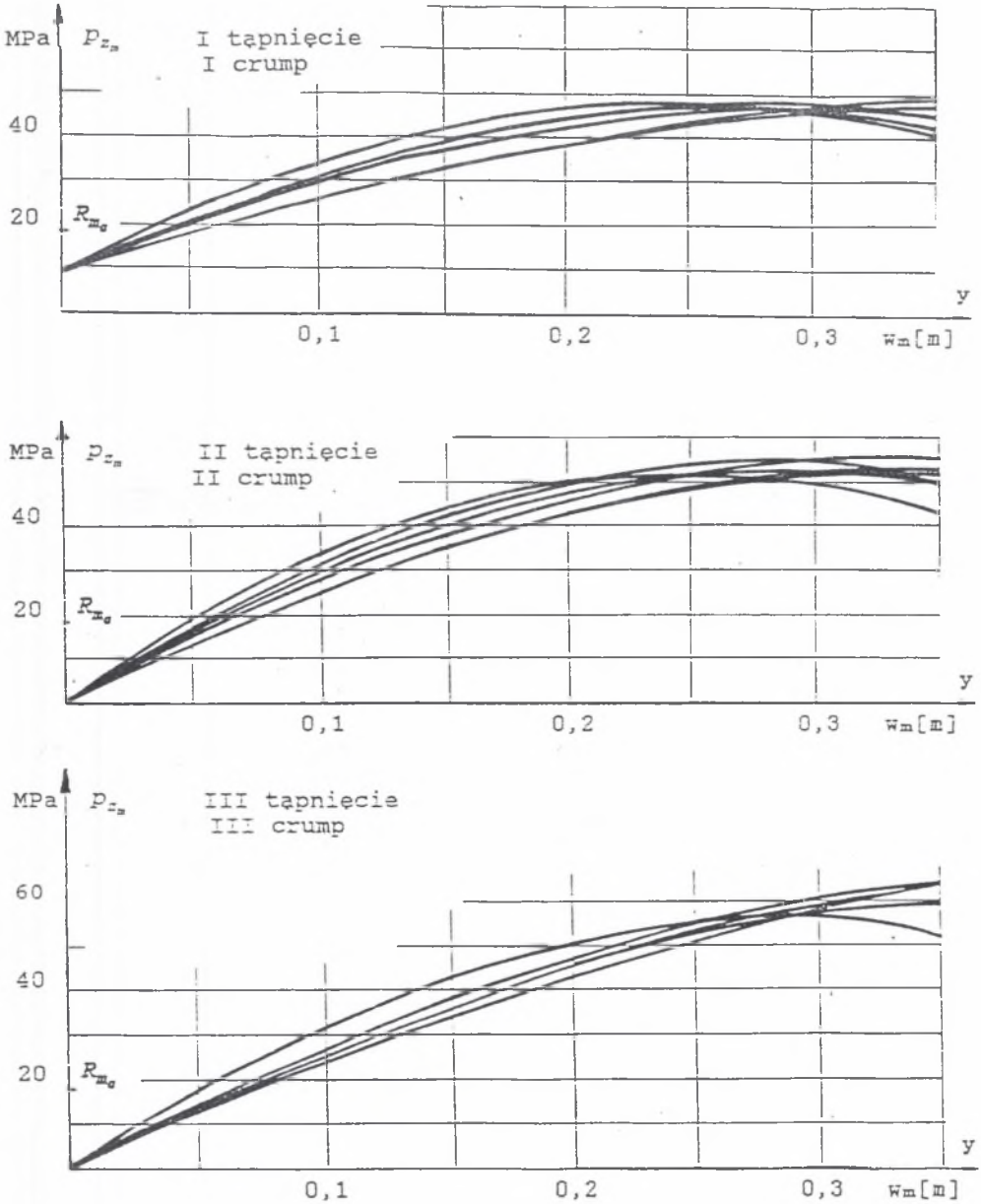
Na podstawie badań można stwierdzić także, że gdy wzrasta wartość wytrzymałości na ściskanie modelu R_{m_2} , to wartość maksymalnego ciśnienia pionowego zbliża się do czoła modelu (przodka ścianowego) i zwiększa zagrożenie tępnięciem.

3.4.3. Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla w trakcie tępnięcia do przodka ścianowego z obudową

3.4.3.1. Rozkład ciśnienia pionowego nad modelami pokładu węgla i przodka ścianowego

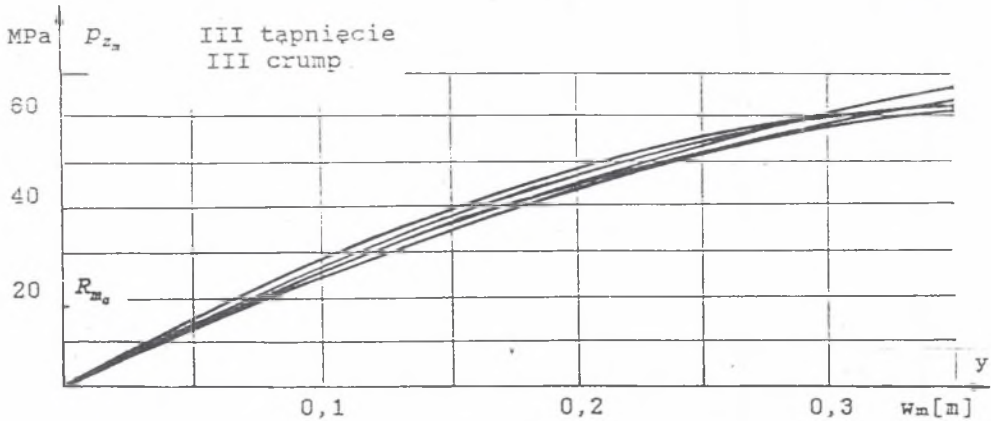
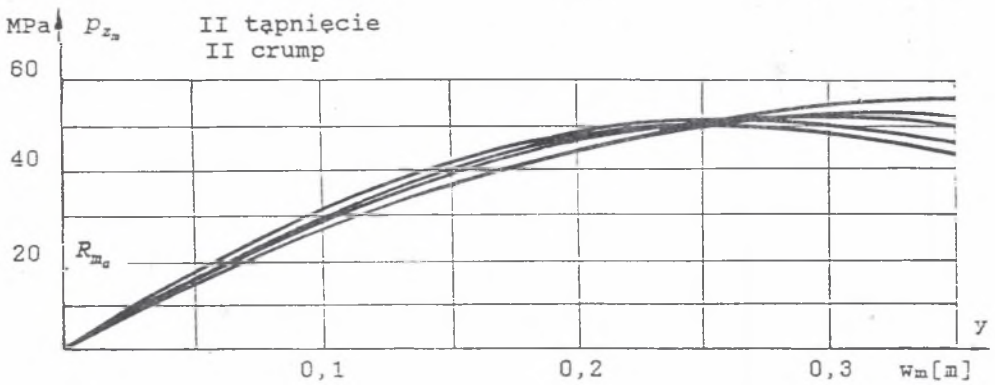
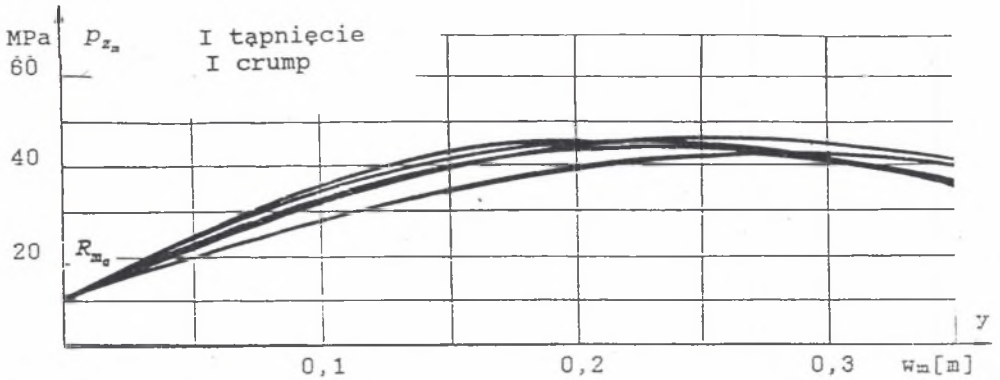
Rozkład ciśnienia pionowego P_{z_2} nad modelami pokładów węgla 510 Katowice, 510 Zabrze i 501 Makoszowy i przodka ścianowego w momencie tępnięcia do przodka ścianowego z hydrauliczną obudową zmechanizowaną wyznaczono na podstawie wyników badań zestawionych w tablicach 3.5 ÷ 3.7.

Rozkład ciśnienia pionowego P_{z_2} w badanych modelach pokładu został przyjęty, według zależności (3.9) i wyznaczony na podstawie równań (3.10), (3.11). Natomiast równanie (3.12) modyfikowano tak, by dla $y=0$ (rys.3.7) było uwzględnione oddziaływanie podpory modelu obudowy R_{pob} na strop.



Rys.3.12. Zbiór krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia w modelu pokładu 510 Zabrze, bez modelu obudowy w przodku ścianowym

Fig.3.12. Set of curves determining the vertical pressure distribution at the moment of crump in the Zabrze 510 coal bed model, without the model of lining in longwall



Rys.3.13. Zbiór krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia w modelu pokładu 501 Makoszowy, bez modelu obudowy w przodku ścianowym

Fig.3.13. Set of curves determining the vertical pressure distribution at the moment of crump in the Makoszowy 501 coal bed model, without the model of lining in longwall

Zatem założono, że w tym miejscu będzie występować ciśnienie pionowe określone wzorem

$$c = P_{pob}(m) \quad (3.12.a)$$

co pozwala na uwzględnienie pracy modelu obudowy zmechanizowanej w przodku ścianowym.

Z rozwiązania równań (3.16), (3.17) i (3.12.a) dla badanych modeli pokładu węgla z modelem obudowy dla (rys.3.7): $l_m = 0,1[m]$ $w_m = 0,45 [m]$, otrzymujemy współczynniki równania (3.9), które wynoszą

$$a = 2633,745 W (3,333 y_0 - 1) + 29,630 c \quad (3.18.b)$$

$$b = 888,888 W (1 - 2,963 y_0) - 13,333 c \quad (3.19.b)$$

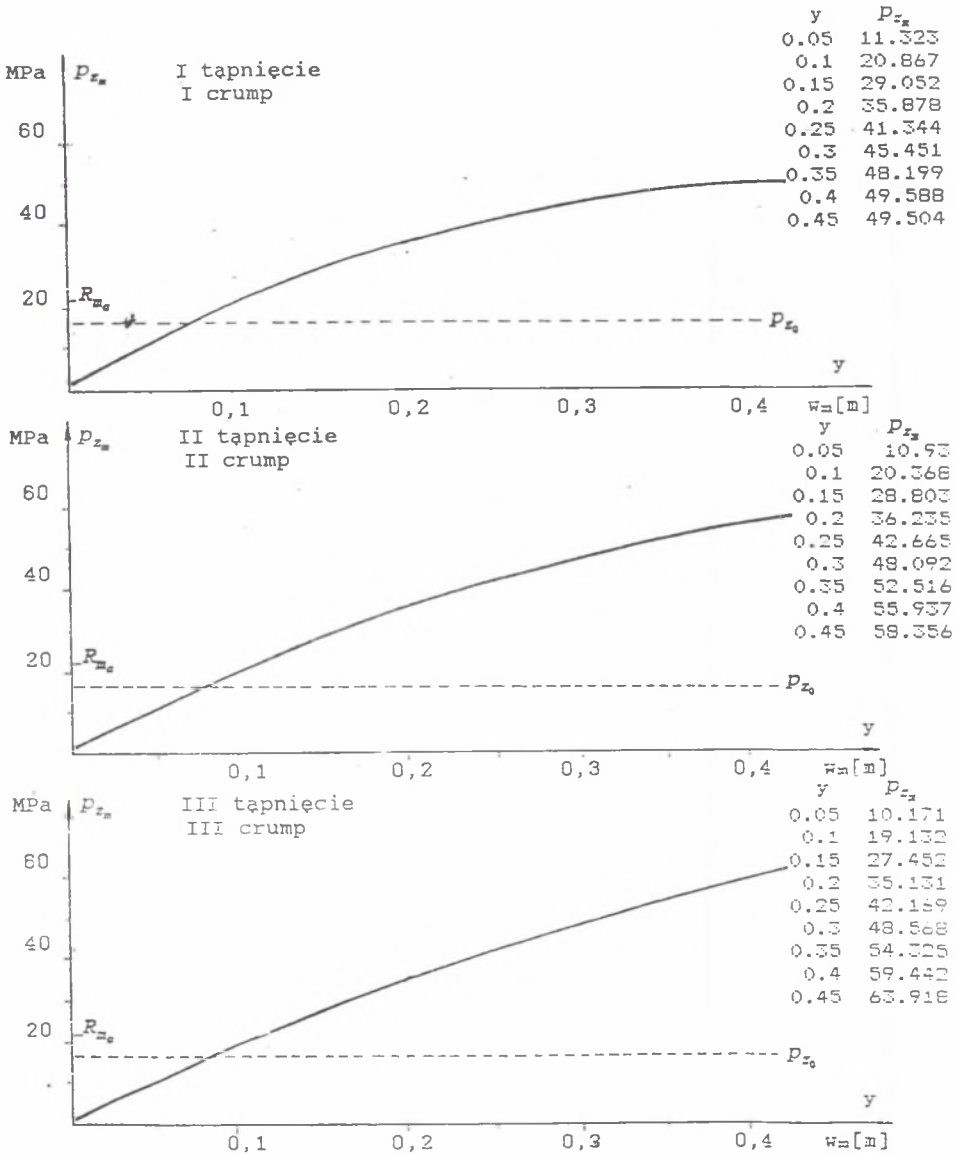
Wobec powyższego równanie (3.9) dla określenia ciśnienia pionowego P_{z_m} nad modelami pokładu węgla i przodka ścianowego w trakcie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową przyjmuje postać

$$P_{z_m} = [2633,745 W (3,333 y_0 - 1) + 29,630 c] y^2 + [888,888 W (1 - 2,963 y_0) - 13,333 c] y + c \quad (3.20.b)$$

Równanie (3.20.b) ukazuje rozkład ciśnienia pionowego P_{z_m} nad badanymi modelami pokładów węgla i przodków ścianowych zgodnie z rys.3.7 dla $a < 0$.

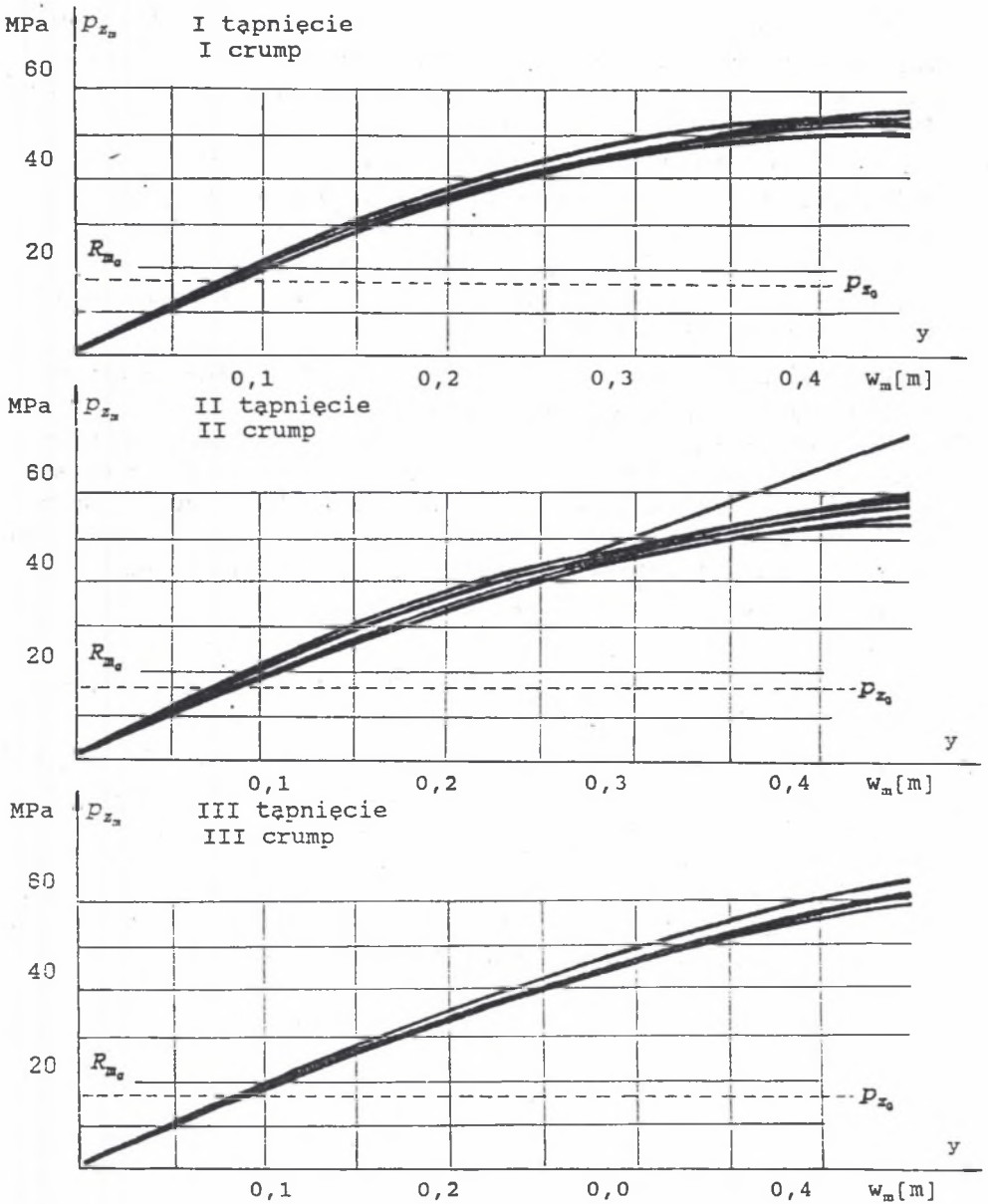
Wartości współczynników a , b i c paraboli opisującej rozkład ciśnienia nad modelem pokładu i przodka ścianowego w momencie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową przedstawiono w Załączniku Z w tablicach Z.4 ÷ Z.6. Podano w nich także średnie wartości ciśnienia pionowego $P_{z_m \leq x}$, maksymalną wartość $P_{z_m \max}$ oraz wartość ciśnienia na końcu modelu, tj. na styku z dalszą częścią modelu pokładu (dla $y = 0,45$).

Dla przykładu na rys.3.14 przedstawiono wykres rozkładu ciśnienia pionowego P_{z_m} nad modelem pokładu nr 9/510 Katowice w momencie tąpnięcia, zaś na rys. 3.15 ukazano zbiór krzywych rozkładu tego ciśnienia dla przebadanych modeli pokładu 510 Katowice.



Rys.3.14. Rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia nad modelami pokładu nr 9/510 Katowice i przodka ścianowego z modelem obudowy

Fig.3.14. Vertical pressure distribution at the moment of crump above the Katowice No 9/510 coal bed model and a longwall one together with a lining model



Rys.3.15. Zbiór krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia nad modelami pokładu 510 Katowice i przodka ścianowego z modelem obudowy

Fig.3.15. Set of curves determining the vertical pressure distribution at the moment of crump above the Katowice 510 coal bed model and a longwall one together with a lining model

Zbiór krzywych rozkładu ciśnienia pionowego P_{z_n} w momencie tąpnięcia modeli pokładu 510 Zabrze do przodków ścianowych z obudową umieszczono na rys.3.16, natomiast dla 501 Makoszowy także do przodków ścianowych wyposażonych w obudowę na rys.3.17.

Rozkład ciśnienia pionowego nad modelem pokładu P_{z_n} określony równaniem (3.20.b) w miejscu działania podpory obudowy (dla $y=0$) jest ściśle związany z wartością podporności pracy modelu obudowy $P_{pob(m)}$, zaś na ociosie modelu pokładu (dla $y=0,1$) przyjmuje najczęściej (wg krzywej) wartość równą wytrzymałości węgla na ściskanie jednokierunkowe R_{m_c} .

Maksymalna wartość ciśnienia $P_{z_{nmax}}$ występuje głównie na końcu modelu pokładu ($y=0,45$), (rys. 3.14 ÷ 3.17).

Przy kolejnych tąpnięciach wzrasta wartość podporności modelu obudowy, a materiał węglowy o zniszczonej strukturze przemieszcza się do przodka ścianowego w kierunku obudowy. Przy drugim i trzecim tąpnięciu można zauważyć przemieszczanie się wartości $P_{z_{nmax}}$ krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego, w kierunku większej wartości na osi y .

3.4.3.2. Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla

Rozkłady ciśnienia pionowego P_{z_n} w modelach pokładu węgla w momencie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową opracowano na podstawie wyników z badań przedstawionych w tablicach 3.5 ÷ 3.7 i schematu obciążenia pokazanego na rys.3.18.

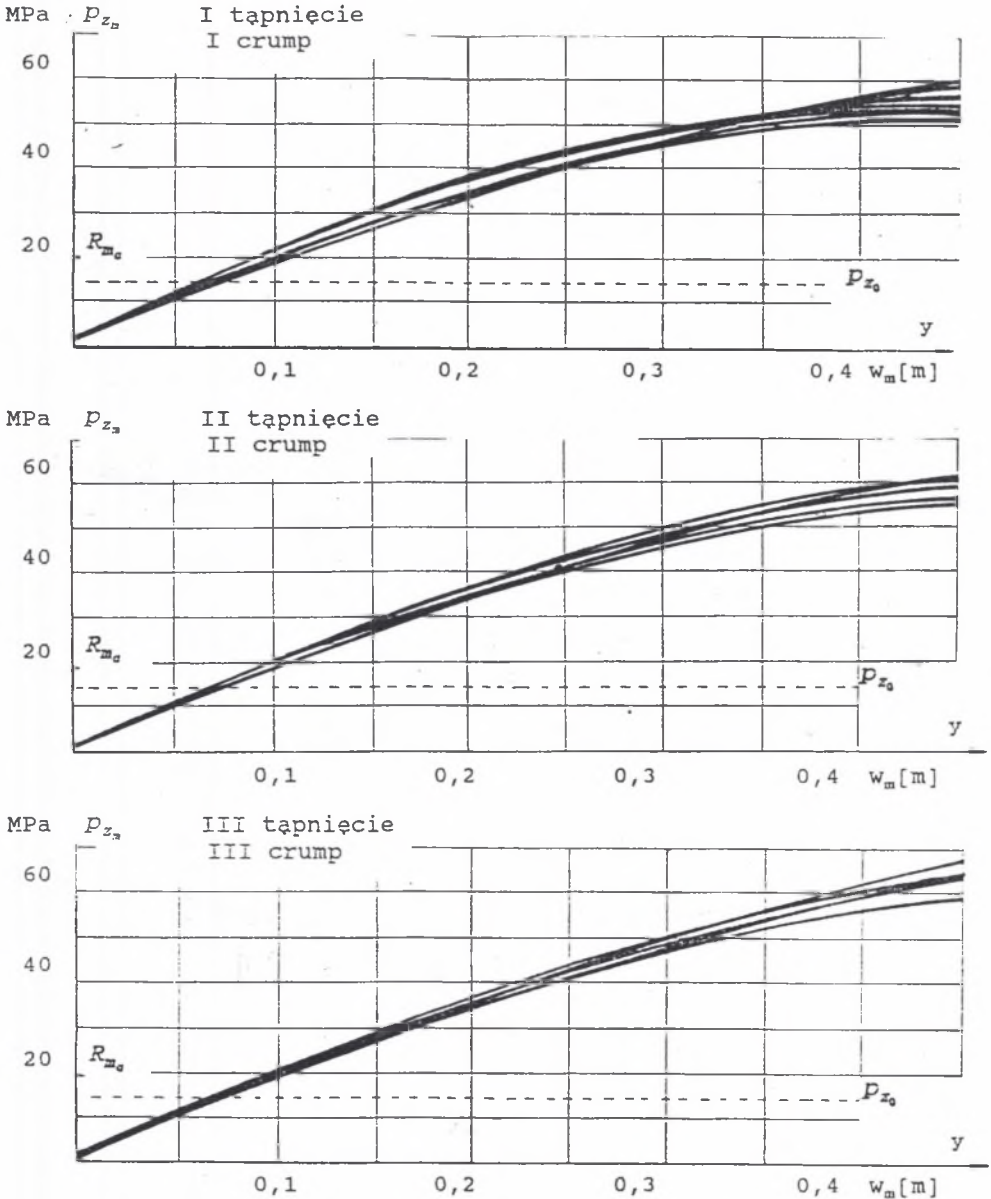
Uwzględniając siłę podpory modelu obudowy R_{pob} w czasie współpracy z górotworem (rys.3.18) oraz zależność (3.5.a) określono wartość współrzędnej y_0 wypadkowej W wg wzoru

$$y_0 = 0,1 \left[\frac{R_{pob} - P_1 + 2P_3 + 5P_5 + 8P_7}{2(P_1 + P_3 + P_5 + P_7) - R_{pob}} \right] \quad (3.21)$$

Rozkład ciśnienia pionowego P_{z_n} wyznaczono wykorzystując zależność (3.9), przy założeniu że współczynnik c przyjmuje wartość (na podstawie analizy rozkładów ciśnienia w pkt. 3.4.3.1)

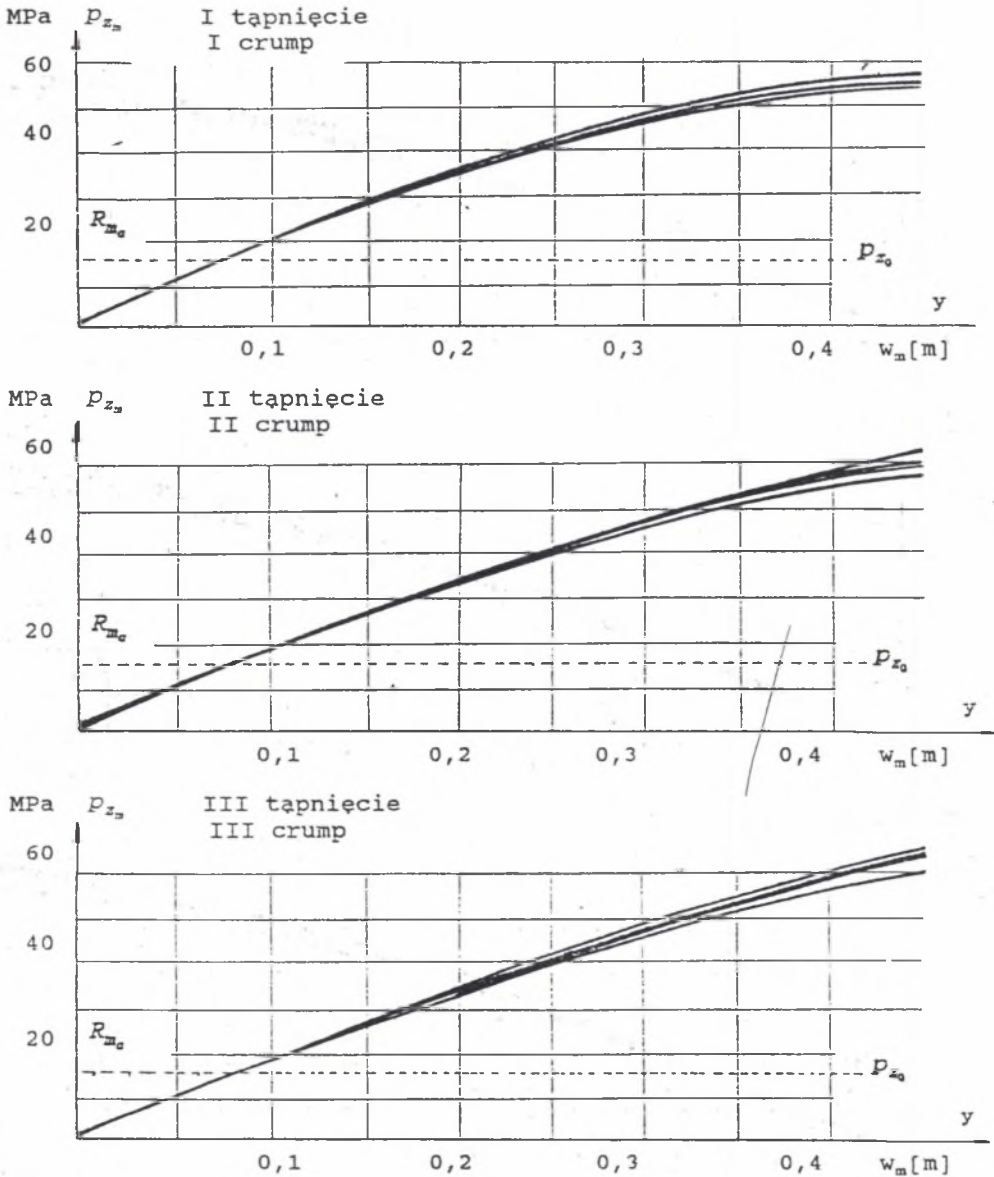
$$c = R_{m_c} \quad (3.12.a)$$

Współczynniki a i b równania (3.9) obliczono wykorzystując wzory (3.16) i (3.17) oraz parametry badanych modeli pokładu: $l_m = 0,1[m]$ i $w_m = 0,35[m]$; a także wartości współrzędnej y_0 wypadkowej W obliczone wg wzoru (3.21).



Rys.3.16. Zbiór krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia nad modelami pokładu 510 Zabrze i przodka ścianowego z modelem obudowy

Fig.3.16. Set of curves determining the vertical pressure distribution at the moment of crump above the Zabrze 510 coal bed model and a longwall one together with a lining model



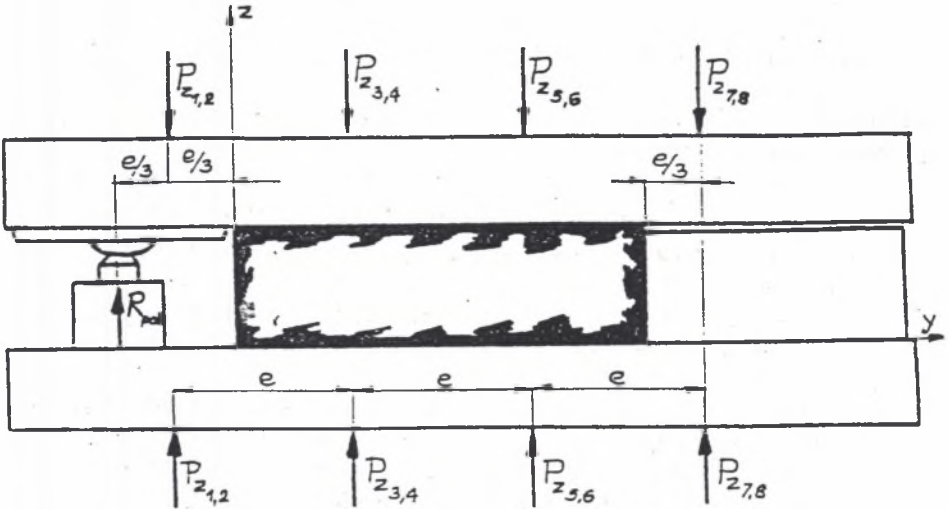
Rys.3.17. Zbiór krzywych określających rozkład ciśnienia pionowego w momencie tąpnięcia nad modelami pokładu 501 Makoszwy i przodka ścianowego z modelem obudowy

Fig.3.17. Set of curves determining the vertical pressure distribution at the moment of crump above the Makoszowy 501 coal bed model and a longwall one together with a lining model

Wartości współczynników a i b wynoszą

$$a = 5597,667W(4,286y_0 - 1) + 48,980 c \quad (3.18)$$

$$b = 1469,388W(1 - 3,809y_0) - 17,142 c \quad (3.19)$$



Rys.3.18. Schemat obciążenia modeli pokładu i przodka ścianowego z obudową

Fig.3.18. Diagram of loading onto a coal bed model and a longwall one together with a lining model

Po wprowadzeniu równań (3.12.a), (3.18) oraz (3.19) do równania (3.9) określającego rozkład ciśnienia pionowego P_{z_n} w modelu pokładu węgla w momencie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową, równanie to przyjmuje postać

$$P_{z_n} = [5597,667W(4,2857y_0 - 1) + 48,980 c]y^2 + [1469,388W(1 - 3,809y_0) - 17,143 c]y + c \quad (3.20)$$

Wartości współczynników a, b, c paraboli oraz średnie i maksymalne ciśnienia, obliczone wzorem (3.20) w badanych modelach pokładu 510 Katowice, 510 Zabrze i 501 Makoszowy przedstawiono w Załączniku w talicach Z.7 + Z.9.

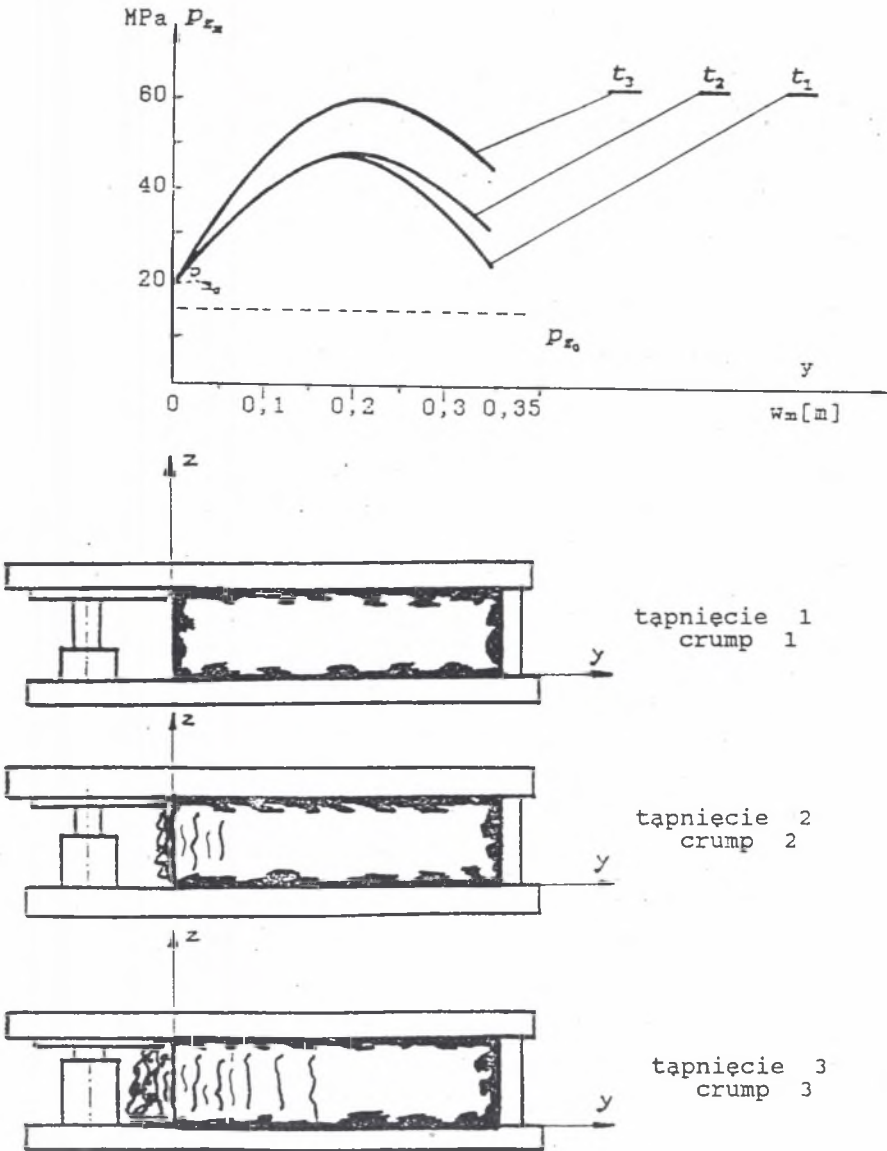
Analizując rozkłady ciśnienia pionowego w modelu pokładu w momencie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową (rys.3.19) można

stwierdzić, że kolejne tąpnięcia w modelu występują przy coraz to wyższych wartościach maksymalnych ciśnienia pionowego.

Wartość maksymalna rozkładu ciśnienia pionowego $P_{z,max}$ w modelu pokładu przemieszcza się wzdłuż wartości dodatniej osi y , przy kolejnych tąpnięciach. Jest to związane z powstawaniem kolejnych spękań słupowych w modelu pokładu i przemieszczaniem się materiału węglowego do przodka ścianowego (rys.3.19).

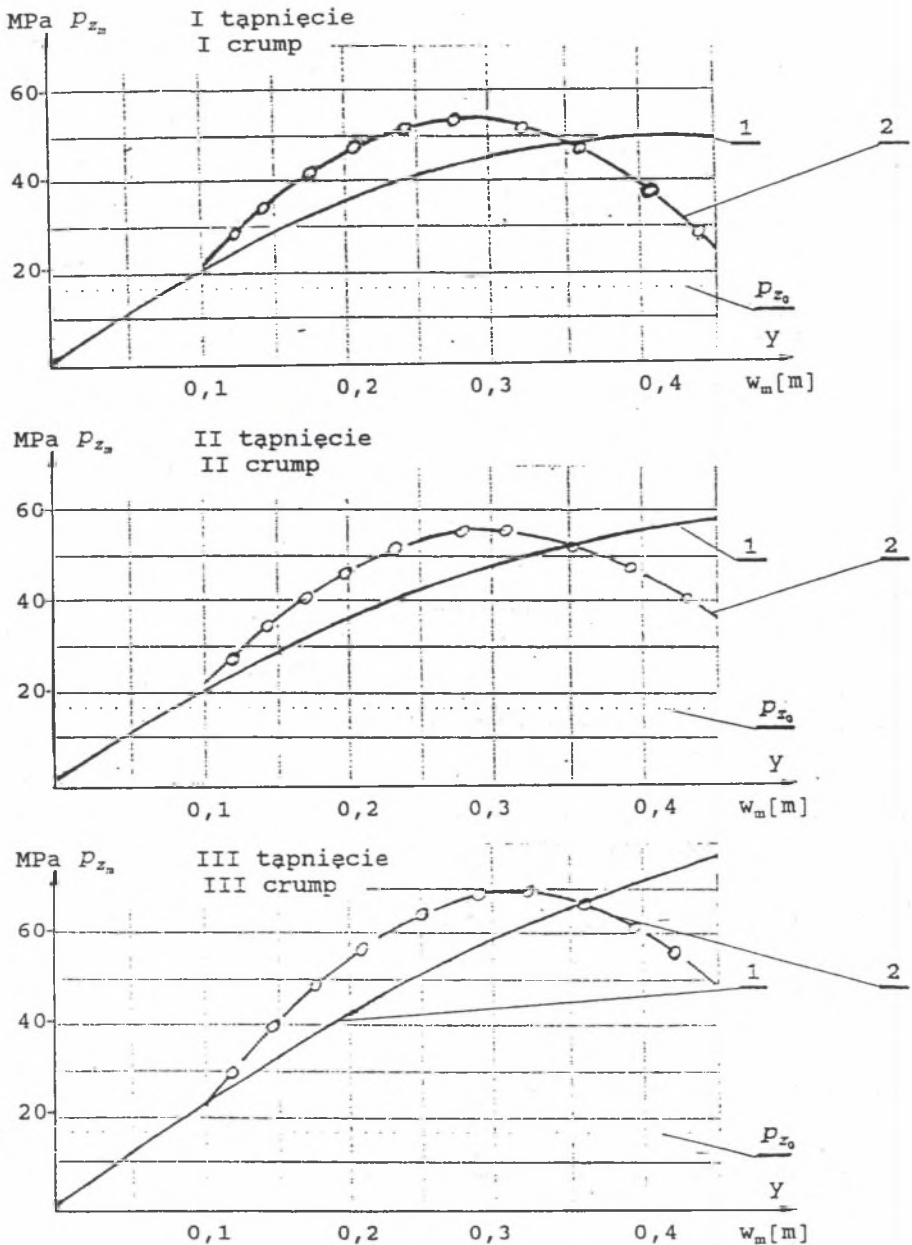
Porównanie rozkładu ciśnienia w modelu pokładu z rozkładem ciśnienia nad modelami przodka ścianowego i pokładu (rys.3.20) pozwala stwierdzić, że:

- przy pierwszym tąpnięciu wartości maksymalne rozkładów ciśnienia są podobne, przy czym wartość $P_{z,max}$ rozkładu ciśnienia nad modelami przodka ścianowego i pokładu jest bardziej przesunięta w kierunku dodatnim osi y ,
- przy drugim tąpnięciu wartości maksymalne ciśnienia pionowego są podobne, zaś ich przesunięcie jest takie samo jak przy pierwszym tąpnięciu,
- przy trzecim tąpnięciu mamy wzrost wartości maksymalnej ciśnienia pionowego nad modelami przodka ścianowego i pokładu oraz jego większe przesunięcie w kierunku dodatnim osi y w stosunku do rozkładu ciśnienia w modelu pokładu.



Rys.3.19. Rozkład ciśnienia w modelu pokładu nr 9/510 Katowice w momencie tąpnięcia do przodka ścianowego z obudową

Fig.3.19. Pressure distribution in the Katowice No 9/510 coal bed model at the moment of crump into longwall model together with a lining one



Rys.3.20. Rozkład ciśnienia w modelu pokładu (2) oraz nad modelami przodka ścianowego (z obudową) i pokładu nr 9/510 Katowice (1)

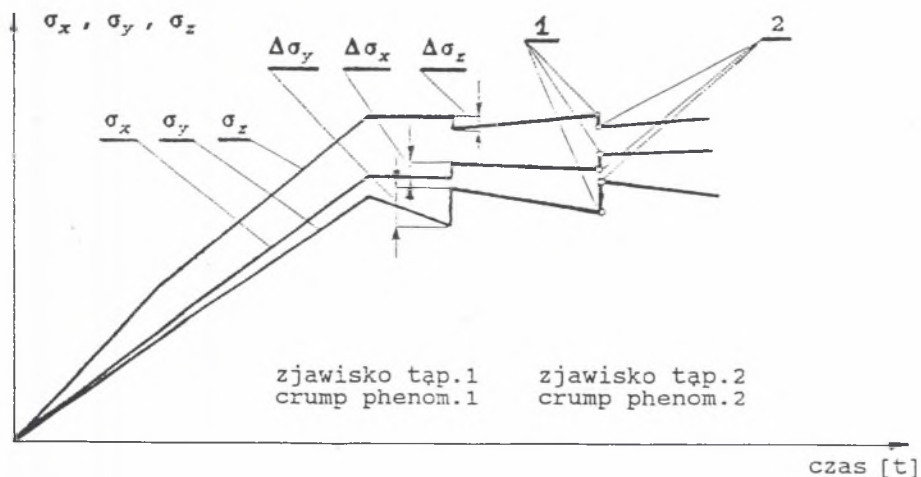
Fig.3.20. Pressure distribution in coal bed (2) model as well as above the longwall model (together with a lining one) and above the Katowice No 9/510 model (1)

4. ENERGIA KINETYCZNA TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH

Energię kinetyczną tąpań eksplozyjnych obliczono na podstawie wyników z badań zjawiska tąpnięcia materiału węglowego. Przebieg zjawiska tąpnięcia jest podobny do przebiegu tąpnięcia w modelu pokładu. Wobec tego ograniczono rozważania do zjawiska tąpnięcia materiału węglowego i porównania jego energii z energią tąpań pokładowych w warunkach in situ.

Badania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego realizowano w trójkierunkowym stanie naprężenia, podczas którego mierzono wartości składowych głównych stanu naprężenia wzdłuż osi x, y, z przed i po tąpnięciu.

Zjawisko tąpnięcia charakteryzuje się znacznym przyrostem wartości naprężenia składowej głównej poziomej $\Delta\sigma_x$ wzdłuż której występowało zmniejszanie wartości naprężenia (rys. 4.1).



Rys.4.1. Wykres składowych głównych stanu naprężenia podczas badania zjawiska tąpnięcia

Fig.4.1. Diagram of components of stress when the crump phenomenon was studied

4.1. Przybliżone określenie wielkości energii kinetycznej zjawiska tapania materiału węglowego

4.1.1. Sposoby obliczania energii kinetycznej (wzory przybliżone)

Materiał węglowy będąc w trójkierunkowym stanie naprężenia, może posiadać cechy sprężyste lub plastyczne, albo sprężysto-plastyczne. Założono, że w momencie wystąpienia zjawiska tapania materiał węglowy posiada własności sprężyste i jest jednorodny. Założenie to jest uzasadnione zmniejszającą się energią kinetyczną w czasie tapania, a w związku z tym sprężystym zachowaniem się węgla [117].

Inne energie (cieplna, akustyczna itp.) stanowią kilka procent energii tapania eksplozyjnego w pokładzie, a w przypadku zjawiska tapania materiału węglowego zakłada się podobny procent. Wielkość energii w czasie tych badań nie była bezpośrednio mierzona. Zarejestrowany czas tapania modelu i zjawiska tapania materiału węglowego wynosi około 0,01 s.

Wobec powyższego można wyznaczyć wielkości wyzwalanej energii przez zjawisko tapania, jako różnicę energii w materiale węglowym przed inicjacją Φ_1 i po inicjacji Φ_2 (rys.4.1)

$$\Phi_{zj. c.e.p.} = \Phi_1 - \Phi_2 \quad (4.1)$$

gdzie: .

Φ_1 - energia w materiale węglowym będącym w stanie naprężenia (określonym na wykresie pkt 1; rys. 4.1.) przed wyzwoleniem zjawiska tapania; mierzone są naprężenia główne $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$,

Φ_2 - energia w materiale węglowym będącym w stanie naprężenia po wyzwoleniu zjawiska tapania (określonym na wykresie pkt 2, rys.4.1); mierzone są naprężenia główne $(\sigma_x + \Delta\sigma_x), (\sigma_y + \Delta\sigma_y), (\sigma_z + \Delta\sigma_z)$ (przyrost naprężenia $\Delta\sigma_z$ jest ujemny).

Całkowita kinetyczna energia sprężysta $\Phi_{c.e.s.}$ jest sumą energii odkształcenia postaciowego Φ_f i energii odkształcenia objętościowego Φ_v , [110]

$$\Phi_{c.e.s.} = \Phi_f + \Phi_v \quad (4.2)$$

Kinetyczna energia odkształcenia postaciowego wynosi

$$\Phi_f = \frac{1 + \nu}{3E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)] \quad (4.3)$$

i dla przypadku naprężeń głównych

$$\Phi_f = \frac{1 + \nu}{3E} (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x) \quad (4.4)$$

Kinetyczna energia odkształcenia objętościowego wynosi

$$\Phi_v = \frac{1 - 2\nu}{6E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + 2(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x)] \quad (4.5)$$

Zatem zgodnie z (4.2) mamy

$$\Phi_{c.e.s.} = \frac{1}{2E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - 2\nu(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x)] \quad (4.6)$$

Wobec powyższego kinetyczną energię zjawiska tapania materiału węglowego $\Phi_{zj.t\bar{a}p.}$ zgodnie ze wzorami (4.1) i (4.2) można wyznaczyć

$$\Phi_{zj.t\bar{a}p.} = \Phi_{f_1} - \Phi_{f_2} + \Phi_{v_1} - \Phi_{v_2} \quad (4.7)$$

bądź też

$$\Phi_{zj.t\bar{a}p.} = \Phi_{zj.t\bar{a}p.f} + \Phi_{zj.t\bar{a}p.v} \quad (4.8)$$

gdzie postaciowa energia zjawiska tapania wynosi

$$\Phi_{zj.t\bar{a}p.f} = \Phi_{f_1} - \Phi_{f_2} \quad (4.9)$$

i objętościowa energia zjawiska tapania

$$\Phi_{zj.t\bar{a}p.v} = \Phi_{v_1} - \Phi_{v_2} \quad (4.10)$$

Zatem po podstawieniu wzorów (4.4) i (4.5) mamy

$$\begin{aligned} \Phi_{zj.t\bar{a}p.f} = \frac{1 + \nu}{3E} (\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{y_1}^2 + \sigma_{z_1}^2 - \sigma_{x_1} \sigma_{y_1} - \sigma_{y_1} \sigma_{z_1} - \sigma_{z_1} \sigma_{x_1} + \\ - \sigma_{x_2}^2 - \sigma_{y_2}^2 - \sigma_{z_2}^2 + \sigma_{x_2} \sigma_{y_2} + \sigma_{y_2} \sigma_{z_2} + \sigma_{z_2} \sigma_{x_2}) \end{aligned} \quad (4.11)$$

oraz

$$\Phi_{zj.t\bar{q}P_v} = \frac{1-2\nu}{6E} [\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{y_1}^2 + \sigma_{z_1}^2 + 2(\sigma_{x_1}\sigma_{y_1} + \sigma_{y_1}\sigma_{z_1} + \sigma_{z_1}\sigma_{x_1}) + \sigma_{x_2}^2 - \sigma_{y_2}^2 - \sigma_{z_2}^2 - 2(\sigma_{x_2}\sigma_{y_2} + \sigma_{y_2}\sigma_{z_2} + \sigma_{z_2}\sigma_{x_2})] \quad (4.12)$$

Natomiast po podstawieniu wzorów (4.11) i (4.12) do (4.8) otrzymano

$$\Phi_{zj.t\bar{q}P} = \frac{1}{2E} [\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{y_1}^2 + \sigma_{z_1}^2 - 2\nu(\sigma_{x_1}\sigma_{y_1} + \sigma_{y_1}\sigma_{z_1} + \sigma_{z_1}\sigma_{x_1}) + \sigma_{x_2}^2 - \sigma_{y_2}^2 - \sigma_{z_2}^2 + 2\nu(\sigma_{x_2}\sigma_{y_2} + \sigma_{y_2}\sigma_{z_2} + \sigma_{z_2}\sigma_{x_2})] \quad (4.13)$$

4.1.2. Energia kinetyczna wyzwalana w badanych zjawiskach tapania na próbkach 50x50x50 mm

W wyniku badań materiału węglowego na próbkach o wymiarach 50x50x50 mm z pokładu 507 KWK Dymitrow, 510 KWK Pstrowski i 501 KWK Zabrze uzyskano wartości składowych głównych stanu naprężenia przy, których wystąpiły zjawiska tapania. Przykładowe wartości przedstawiono w tablicach 4.1, 4.2 i 4.3.

Wielkość kinetycznej energii postaciowej zjawiska tapania $\Phi_{zj.t\bar{q}P_f}$ obliczono wg wzoru (4.11), zaś objętościową $\Phi_{zj.t\bar{q}P_v}$ wg wzoru (4.12).

Natomiast energię kinetyczną zjawiska tapania $\Phi_{zj.t\bar{q}P}$ obliczono wg wzoru (4.13), przyjmując wartość modułu Younga $E=10^3$ MPa oraz współczynnik Poissona $\nu=0,3$; $0,4$ i $0,5$ (który odnosi się do zalegania węgla na głębokości od ok. 100÷1200m) [14].

Obliczone wielkości energii zjawiska tapania przedstawiono w tablicy 4.4. Ponadto na wykresach (rys. 4.2÷4.4) pokazano zależność energii kinetycznej zjawiska tapania $\Phi_{zj.t\bar{q}P}$ z badań na próbkach 50 x 50 x 50 mm względem nasilenia zjawiska ($\Delta\sigma$) i z uwzględnieniem wartości współczynnika Poissona.

Tablica 4.1

Wyniki badań zjawiska tapania materiału węglowego z pokładu 507
KWK Dymitrow

Nasilenie zj. tąp. $\Delta\sigma$ MPa	Wartości składowych głównych stanu naprężenia					
	σ_{x_1} MPa	σ_{x_2} MPa	σ_{y_1} MPa	σ_{y_2} MPa	σ_{z_1} MPa	σ_{z_2} MPa
2,5	23,9	24,5	7,5	10,0	72,0	70,7
5,0	23,9	24,6	13,0	18,0	73,0	69,7
7,5	22,9	23,2	12,0	19,5	72,0	69,0

Tablica 4.2

Wyniki badań zjawiska tapania materiału węglowego z pokładu 510
KWK Pstrowski

Nasilenie zj. tąp. $\Delta\sigma$ MPa	Wartości składowych głównych stanu naprężenia					
	σ_{x_1} MPa	σ_{x_2} MPa	σ_{y_1} MPa	σ_{y_2} MPa	σ_{z_1} MPa	σ_{z_2} MPa
2,5	16,0	17,5	10,0	12,5	66,5	65,5
5,0	19,5	21,0	12,0	17,0	70,0	68,0
7,5	21,5	23,5	16,0	23,5	74,5	70,0

Tablica 4.3

Wyniki badań zjawiska tapania materiału węglowego z pokładu 501 KWK Zabrze

Nasilenie zj. tap. $\Delta\sigma$ MPa	Wartości składowych głównych stanu naprężenia					
	σ_{x_1} MPa	σ_{x_2} MPa	σ_{y_1} MPa	σ_{y_2} MPa	σ_{z_1} MPa	σ_{z_2} MPa
2,5	16,0	17,0	12,0	14,5	60,5	59,5
5,0	18,0	20,5	16,0	21,0	70,5	68,0
7,5	21,0	25,0	16,0	23,5	74,5	70,0

Analizując rozkład wielkości wyzwalanej energii, można stwierdzić znaczną jej zależność od nasilenia zjawiska. Uwzględniając, że wielkość nasilenia zjawiska zależy od wartości naprężenia pionowego, można zatem stwierdzić, iż wielkość energii wyzwalanej podczas inicjacji zjawiska zależy od wielkości naprężenia pionowego.

Natomiast wpływ wielkości współczynnika Poissona, przy małym nasileniu zjawiska, jest nieznacznym i dopiero wzrasta w niewielkim stopniu przy większych wartościach nasilenia zjawiska tapania.

Analizując wielkości energii kinetycznej zjawiska tapania materiału węglowego, można stwierdzić, że inicjacja zjawiska tapania powoduje wyzwolenie wielkości energii rzędu 10^5 J/m^3 , która nieznacznie wzrasta przy większym nasileniu zjawiska tapania.

Różnica energii postaciowej przed i po zaistnieniu zjawiska tapania ma wartość dodatnią, a objętościowa ujemną (tablica 4.4).

Wpływ wartości współczynnika Poissona ν na wielkość wyzwalanej energii zjawiska tapania jest mały (rys.4.2 ÷ 4.4).

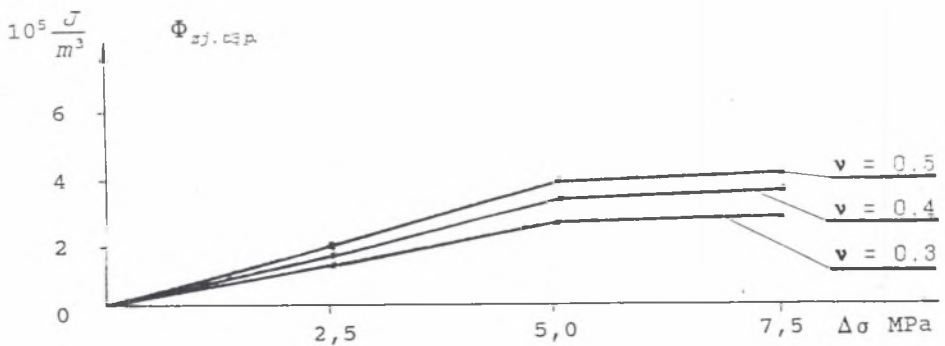
Tablica 4.4

Energia kinetyczna zjawiska tapania materiału węglowego badanego na próbkach 50 x 50 x 50mm

Pokład, kopalnia	Nasilenie zj. tap. $\Delta\sigma$ MPa	Liczba Poissona ν	Wartość energii kinetycznej zjawiska tapania 10 ⁵ J/m ³		
			postaciowej $\Phi_{zj. t\dot{a}p. r}$	objętościowej $\Phi_{zj. t\dot{a}p. v}$	$\Phi_{zj. t\dot{a}p.}$
1	2	3	4	5	6
507 Dymitrow	2,5	0,3	1,55	-0,25	1,30
		0,4	1,66	-0,13	1,53
		0,5	1,79	0	1,79
	5,0	0,3	2,99	-0,35	2,64
		0,4	3,22	-0,17	3,05
		0,5	3,45	0	3,45
	7,5	0,3	3,40	-0,70	2,70
		0,4	3,66	-0,35	3,31
		0,5	3,93	0	3,93
510 Pstrowski	2,5	0,3	1,39	-0,38	1,01
		0,4	1,49	-0,19	1,31
		0,5	1,60	0	1,60
	5,0	0,3	2,48	-0,62	1,86
		0,4	2,67	-0,31	2,36
		0,5	2,86	0	2,86
	7,5	0,3	4,20	-0,76	3,43
		0,4	4,52	-0,38	4,14
		0,5	4,84	0	4,84

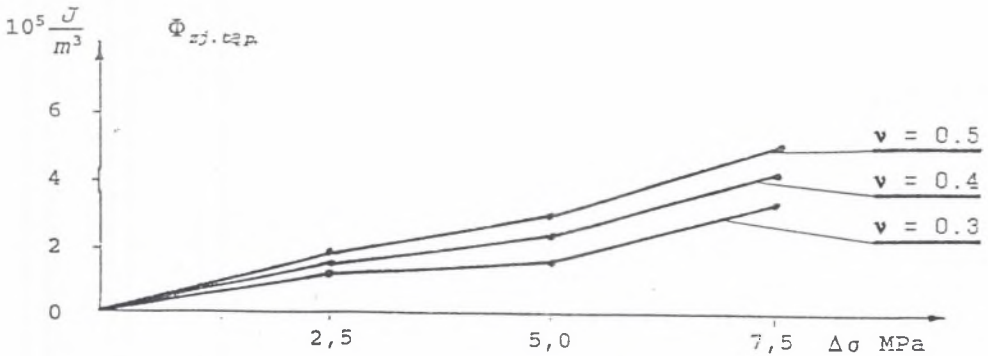
c.d. tablicy 4.4

1	2	3	4	5	6
501 Zabrze	2,5	0,3	1,11	-0,29	0,81
		0,4	1,19	-0,15	1,04
		0,5	1,28	0	1,28
	5,0	0,3	2,74	-0,71	2,03
		0,4	2,95	-0,36	2,59
		0,5	3,16	0	3,16
	7,5	0,3	4,59	-1,07	3,52
		0,4	4,95	-0,54	4,41
		0,5	5,30	0	5,30



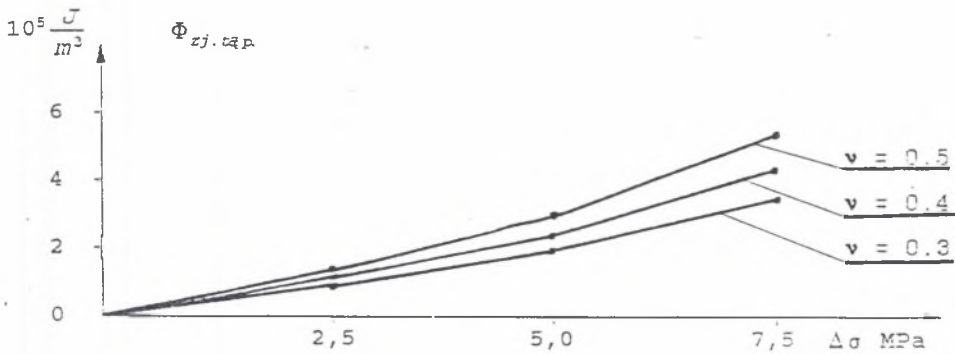
Rys.4.2. Wykres energii zjawiska tapania $\Phi_{zj.tsp}$ materialu węglowego z pokładu 507 Dymitrow

Fig.4.2. Diagram of the crump phenomenon energy $\Phi_{zj.tsp}$ of coal material from the Dymitrow 507 coal bed



Rys.4.3. Wykres energii zjawiska tapania $\Phi_{zj.tap}$ materiału węglowego z pokładu 510 Pstrowski

Fig.4.3. Diagram of the crump phenomenon energy $\Phi_{zj.tap}$ of coal material from the Pstrowski 510 coal bed



Rys.4.4. Wykres energii zjawiska tapania $\Phi_{zj.tap}$ materiału węglowego z pokładu 501 Zabrze

Fig.4.4. Diagram of the crump phenomenon energy $\Phi_{zj.tap}$ of coal material from the Zabrze 501 coal bed

4.2. Energia kinetyczna rozpadu próbki badanej przy jednokierunkowym obciążeniu

W. Parysiewicz [73] określa wielkość energii właściwej (na jednostkę objętości) w chwili rozpadania się próbki węgla przy jednokierunkowym obciążeniu na około $0,3 \times 10^5 \text{ J/m}^3$. Zatem ilość energii wyzwalanej z próbki jest znacznie mniejsza od tej wielko-

ści ze względu na rozproszenie energii, gdyż nie jest ona ciałem idealnie sprężystym, co było założeniem przy wyznaczaniu tej wartości energii.

Na podstawie badań przedstawionych w pracy [69] dla próbek kostkowych o wymiarach 50 x 50 x 50 mm z pokładu 510 KWK Katowice przy obciążeniu jednokierunkowym uzyskano wartość średnią energii odkształcenia $\phi_0 = 8,9 \cdot 10^4 \text{ J/m}^3$, energię kinetycznego rozpadu przy obciążeniu statycznym $\phi_{k_{stat}} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$, zaś przy obciążeniu dynamicznym (200 ÷ 1100 J) otrzymano kinetyczną energię dynamicznego rozpadu $\phi_{k_{dyn}} = (4,6 + 6,8) \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$.

Należy nadmienić, że wyznaczona wartość energii przy badaniu zjawiska tapania materiału węglowego $\phi_{zj. \text{ t a p a n i a}}$ jest różnicą energii zgromadzonej w próbce przed tapaniem i pozostałej po tapaniu. Energia, która pozostała w próbce, jest kilka razy większa od wyzwolonej podczas inicjacji zjawiska tapania.

4.3. Porównanie energii kinetycznej zjawiska tapania z energią wstrząsu, która powoduje tapanie eksplozyjne pokładu węgla

Opierając się na badaniach laboratoryjnych zjawiska tapania na próbkach kostkowych o wymiarach 50 x 50 x 50 mm w trójkierunkowym stanie naprężenia, określono wielkość wyzwolanej energii kinetycznej zjawiska tapania $\phi_{zj. \text{ t a p a n i a}}$ [J/m^3] (tablica 4.4).

Na podstawie wyników z badań materiału węglowego z pokładów 510 Pstrowski, 507 Dymitrow i 501 Zabrze można stwierdzić, że energia zjawiska tapania materiału z tych pokładów wynosi średnio około $5 \times 10^3 \text{ J/m}^3$.

Podczas tapania eksplozywnego w pokładzie węgla mamy do czynienia z energią wstrząsu, która wywołuje skutki tapania do wyrobiska górniczego, nazywaną często energią tapania $E_{\text{t a p a n i a}}$ [J]. Nie jest to jednak całkowita energia biorąca udział w tapaniu, część energii wypromieniowuje w postaci ciepła, akustyki itp., którą ocenia się na kilka procent. Występujący w pokładzie materiał węglowy nie jest jednorodny, co także wpływa na wielkość energii powodującej przemieszczanie materiału do wyrobiska.

Oszacowano wpływ przedstawionych czynników na około 10 %.

Zależność pomiędzy energią tapania eksplozywnego $E_{\text{t a p a n i a}}$ a energią zjawiska tapania materiału węglowego, uwzględniając powyższe, jest następująca

$$E_{\text{czp}} = 0,9 \Phi_{\text{zj.t.}} V \text{ [J]} \quad (4.14)$$

gdzie:

V - objętość materiału węglowego biorącego udział w tąpnięciu eksplozyjnym, $[m^3]$.

Po przekształceniu zależności (4.14) otrzymujemy wzór na obliczanie potrzebnej objętości materiału węglowego do wystąpienia tąpnięcia o określonej energii

$$V = \frac{E_{\text{czp}}}{0,9 \Phi_{\text{zj.t.}}} \text{ [m}^3\text{]} \quad (4.15)$$

Opierając się na wzorze (4.14), obliczono energię wyzwoloną z próbek węgla $E_{\text{zj.t.}}$ podczas inicjacji zjawiska tapania o różnej intensywności (i liczbie Poissona $\nu=0,3+0,5$). Wyniki podano w tablicy 4.5. Z obliczeń wynika jednoznacznie, że ze wzrostem intensywności zjawiska tapania $\Delta\sigma$ i wartością współczynnika ν rośnie wyzwolana energia, co jest głównie zależne od wielkości naprężenia pionowego.

Dla pokładów 507 Dymitrow, 501 Zabrze i 510 Pstrowski, dokonano obliczeń (4.15) wielkości objętości węgla w pokładzie potrzebnego do zaistnienia w nim tąpnięcia eksplozyjnego o określonej energii E_{czp} (tablica 4.6). Obliczenia przeprowadzono na podstawie wyników obliczeń energii zjawiska tapania wzorem (4.13).

Wyniki otrzymane z obliczeń pozwalają stwierdzić, że do wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego w pokładzie o energii 10^5 [J] potrzeba od 0,2 do 1,4 m^3 węgla w zależności od rodzaju pokładu. Natomiast dla tąpnięcia o energii 10^8 [J] konieczna jest objętość około 200 do 1400 m^3 materiału w pokładzie w odpowiednim stanie naprężenia.

Przedstawione obliczenia energii i wielkości objętości pokładu węgla potrzebnej do wystąpienia tąpnięcia o określonej energii są wielkościami przybliżonymi.

Przedstawione wyniki obliczeń energii kinetycznej tupań eksplozyjnych opartych na badaniach zjawiska tapania materiału węglowego pozwoliły na wyznaczenie objętości pokładu węgla, która ma wartość podobną do wartości "strefy silnego tąpnięcia" wyliczonej przez W. Parysiewicza w pracy [73].

Tablica 4.5

Energia kinetyczna wyzwolona z próbek węgla $E_{zj.tap}$ podczas inicjacji zjawiska tapania

Pokład, kopalnia	Nasilenie zj.tap. $\Delta\sigma$ MPa	Energia zj.tap. $\Phi_{zj.tap}$ 10^5 J/m^3	Wielkość wyzwolonej energii [J] $E_{zj.tap}$
507 Dymitrow	2,5	1,30 ÷ 1,79	14,7 ÷ 20,1
	5,0	2,64 ÷ 3,45	29,7 ÷ 38,8
	7,5	2,70 ÷ 3,93	30,4 ÷ 44,20
510 Pstrowski	2,5	1,01 ÷ 1,60	11,36 ÷ 18,00
	5,0	1,86 ÷ 2,86	20,93 ÷ 32,18
	7,5	3,43 ÷ 4,84	38,59 ÷ 54,45
501 Zabrze	2,5	0,81 ÷ 1,28	9,11 ÷ 14,40
	5,0	2,03 ÷ 3,16	22,84 ÷ 35,55
	7,5	3,52 ÷ 5,30	39,60 ÷ 59,63

Tablica 4.6

Objętość węgla w pokładzie potrzebna do zaistnienia tapania eksplozyjnego

Pokład Kopalnia	Wielkość objętości V [m ³] węgla w pokładzie potrzebna do wystąpienia tapania o energii [J]	
	10 ⁵	10 ⁸
507 Dymitrow	0,9 ÷ 0,3	ok.900 ÷ 300
510 Pstrowski	1,1 ÷ 0,2	ok.1100 ÷ 200
501 Zabrze	1,4 ÷ 0,2	ok.1400 ÷ 200

5. PROGNOZOWANIE MOŻLIWOŚCI WYSTĘPOWANIA TĄPAŃ EKSPLOZYJNYCH DO PRZODKA ŚCIANOWEGO W WYBRANYCH POKLADACH WĘGLA (w świetle badań na modelach)

5.1. Ciśnienia w pokładzie, przy których występują tąpnięcia eksplozyjne (w świetle badań na modelach)

5.1.1. *Podobieństwo między tąpnięciami modelu a tąpnięciami eksplozyjnymi w pokładzie węgla*

Na podstawie analizy wyników badań tupań eksplozyjnych modeli pokładów węgla wyznaczono w modelu pokładu rozkład ciśnienia pionowego, przy którym istnieje możliwość wystąpienia inicjacji tąpnięcia (rys.3.11). Wyznaczono także rozkład ciśnienia nad modelem przodka ścianowego i modelem pokładu (rys.3.14).

Stwierdzono, że istnieje podobieństwo między zjawiskiem tupań eksplozyjnego, tupańiami modelu pokładu oraz tupańiami eksplozyjnymi w pokładzie węglowym w zakresie:

- wartości ciśnienia pionowego, które musi wystąpić, by zaistniała inicjacja tupańnięcia,
- wielkości energii kinetycznej wyzwalonej podczas tupańnięcia, która jest proporcjonalna do objętości materiału, biorącego udział w tupańnięciu,
- warunków koniecznych, które muszą być spełnione, by mogło wystąpić tupańnięcie, tj. odpowiedni stan naprężenia i zaistnienie zmniejszania wartości ciśnienia poziomego (w tym także możliwość odkształcenia).

W materiale węglowym na stanowisku badawczym zrealizowano tupańnięcia eksplozyjne w warunkach podobnych do dołowych w zakresie wielkości:

- ciśnienia pionowego,

- realizacji podobnych stanów naprężenia i odkształcenia,
- proporcjonalności geometrycznej.

Zakłada się, że istnieje geometryczna proporcjonalność między wymiarami modelu pokładu i wymiarami w pokładzie (materiał i jego zorientowanie w przestrzeni są takie same).

Badany model pokładu węgla ma odpowiednio zorientowane wymiary $h_m \times l_m \times w_m$ (wysokość \times szerokość \times wybieg modelu), które winny być proporcjonalne do wymiarów pokładu w pobliżu czoła przodka ścianowego $h \times l \times w$ (wysokość \times długość \times wybieg pokładu) (rys.3.1).

Zależność między wymiarami określałby współczynnik proporcjonalności geometrycznej k modelu pokładu do pokładu węgla, wg wzoru

$$\frac{h}{h_m} = k \quad i \quad k = \frac{l}{l_m} = \frac{w}{w_m} \quad (5.1)$$

Współczynnik k pozwalałby określić także, w jakim zakresie odpowiadają wymiary szerokości i wybiegu modelu pokładu odpowiednim wymiarom w obiekcie rzeczywistym.

Otoczenie modelu pokładu (urządzenie poziomego i pionowego ściskania) modeluje: dalszy wybieg pokładu, szerokość pokładu w przodku ścianowym, a także spąg i strop (rys.3.2, 3.3 i 3.6).

Uwzględniając wysokość pokładów węgla (tablica 5.1), w miejscu pobrania próby na wykonanie modeli, obliczono współczynniki proporcjonalności k dla badanych pokładów wg zależności (5.1). W badaniach wykorzystano modele pokładów węgla posiadające wysokość $h_m = 0,1[m]$, szerokość $l_m = 0,1[m] = \text{constans}$ (dwukierunkowy stan odkształcenia) i wybieg $w_m = 0,35[m]$.

Biorąc pod uwagę wielkość współczynnika k i zależności podane wzorem (5.1), określono wartości wymiarów długości i wybiegu przodka ścianowego w pokładzie (l, w), w którym występuje rozkład ciśnienia pionowego podobny do znajdującego się w badanych modelach pokładu.

Rozkład ciśnienia pionowego w modelu pokładu P_{z_m} , przy którym występuje tąpnięcie eksplozyjne modelu, jest określony wzorem (3.20), gdy model wyrobiska jest bez obudowy, lub wzorem (3.20.b), gdy jest z modelem obudowy hydraulicznej.

Jeżeli określony współczynnikiem k wybieg przodka ścianowego (w) będzie posiadał rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{zsp}}$, to istnieje

je możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego w części pokładu węgla o wymiarach $h \times l \times w$ (tablica 5.1). Jest on określony za pomocą równania

$$P_1(w) = aw^2 + bw + c \quad (5.2)$$

dla $w = 0 + w_m$ w modelu pokładu i dla odpowiedniej wartości w w pokładzie (tablica 5.1).

Tablica 5.1

Wymiary przodka ścianowego

Pokład, kopalnia	h [m]	k [m]	l [m]	w [m]
510 Katowice	2,5	25	2,5	8,75
510 Zabrze	2,5	25	2,5	8,75
501 Makoszowy	3,0	30	3,0	10,5

5.1.2. Rozkład ciśnienia pionowego, w pokładzie węglowym, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Na podstawie badań tąpań w modelach pokładów węgla wyznaczono rozkład ciśnienia, przy którym one występują. Rozkład ten określony jest wzorem (5.2).

Wykorzystując wyniki z badań tąpań modeli pokładów węgla i analizę rozkładu ciśnienia w modelu, przy którym one występują, podobieństwo między tąpnięciami w modelach i w pokładzie oraz istnienie ciśnienia naturalnego P_{z_0} w pokładzie (gdzie nie ma jego spiętrzenia), określono rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}$ w pokładzie węglowym, przy którym zachodzi możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego, w postaci

$$P_{z_{czp}} = F [P_1(w), P_2(w)] \quad (5.3)$$

Rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}$ w pokładzie węglowym jest określony dla $w = 0 + w_1$ krzywą $P_1(w)$ opisaną równaniem (5.2)

$$P_1(w) = a w^2 + b w + c$$

i dla $w \geq w_1$ krzywą $P_2(w)$ (rys.5.1).

Krzywe $p_1(w)$ i $p_2(w)$ są połączone w punkcie o współrzędnych (w_1, p_{z_1}) .

Krzywa $p_2(w)$ jest zbieżna do asymptoty $h(w) = D$.

Wobec powyższego szukamy funkcji $h(w)$, takiej aby

$$h(w_1) = p_{z_1} \quad \lim_{w \rightarrow \infty} h(w) = D \quad (5.4)$$

Aby krzywe $p_1(w)$ i $p_2(w)$ miały połączenie gładkie, musi istnieć

$$h'(w_1) = p_1'(w_1) \quad (5.5)$$

Zaś by krzywa $p_2(w)$ była malejąca, to

$$h'(w) < 0 \quad \text{dla } w > w_1 - h(w) \quad (5.6)$$

Do sterowania szybkością zbieżności funkcji do asymptoty szukamy funkcji $h(w)$ w postaci

$$h(w) = d g(w) + f(w) + D \quad (5.7)$$

gdzie:

$$g(w) \text{ maleje do zera,} \quad (5.8)$$

$$f(w) \text{ maleje do zera,} \quad (5.9)$$

$$g(w_1) = g'(w_1) = 0 \quad (5.10)$$

wówczas $g(w)$ nie wpływa na punkt łączenia krzywych,

$$f(w_1) = p_{z_1} - D \quad (5.11)$$

$$f'(w_1) = p_1'(w_1) = 2 a w_1 + b \quad (5.12)$$

Funkcją czyniącą zadość (5.8) i (5.10) jest

$$g(w) = \frac{(w - w_1)^2}{w^3} \quad (5.13)$$

Funkcję $f(w)$ szukamy w postaci

$$f(w) = \frac{A}{w^2} + \frac{B}{w^3} \quad (5.14)$$

Zależności (5.11) i (5.12) prowadzą do układu równań

$$\begin{cases} \frac{A}{w_1^2} + \frac{B}{w_1^3} = p_{z_1} - D \\ -2\frac{A}{w_1^3} - 3\frac{B}{w_1^4} = 2aw_1 + b \end{cases} \quad (5.15)$$

Gdy podstawimy za

$$p_{z_1} - D = u \quad (5.16)$$

$$2aw_1 + b = v \quad (5.17)$$

wówczas otrzymujemy

$$\begin{cases} A = w_1^2 (vw_1 + 3u) \\ B = -w_1^3 (vw_1 + 2u) \end{cases} \quad (5.18)$$

Stąd

$$f(w) = \frac{w_1^2}{w^2} (vw_1 + 3u) - \frac{w_1^3}{w^3} (vw_1 + 2u) \quad (5.19)$$

Podstawiając

$$vw_1 + 3u = p \quad (5.20)$$

i

$$vw_0 + 2u = q \quad (5.21)$$

otrzymujemy

$$f(x) = \frac{w_1^2}{w^2} p - \frac{w_1^3}{w^3} q = \frac{w_1^2}{w^2} \left(p - q \frac{w_1}{w} \right) \quad (5.22)$$

Wobec powyższego równanie krzywej $p_2(w)$

dla $w \geq w_1$

przyjmuje postać

$$p_2(w) = \lambda \left(\frac{1}{w} - 2w_1 \frac{1}{w^2} + \frac{w_1^2}{w^3} \right) + \frac{w_1^2}{w^2} \left(p - q \frac{w_1}{w} \right) + D \quad (5.23)$$

zdejmującej do asymptoty

$$h(w) = D \quad (5.24)$$

gdzie:

$w_1 = -\frac{b}{2a}$, współrzędna wierzchołka paraboli,

$h(w) = D = P_{z_0}$, wartość asymptoty,

$p = v \cdot w_1 + 3u$, opisane wzorem (5.20),

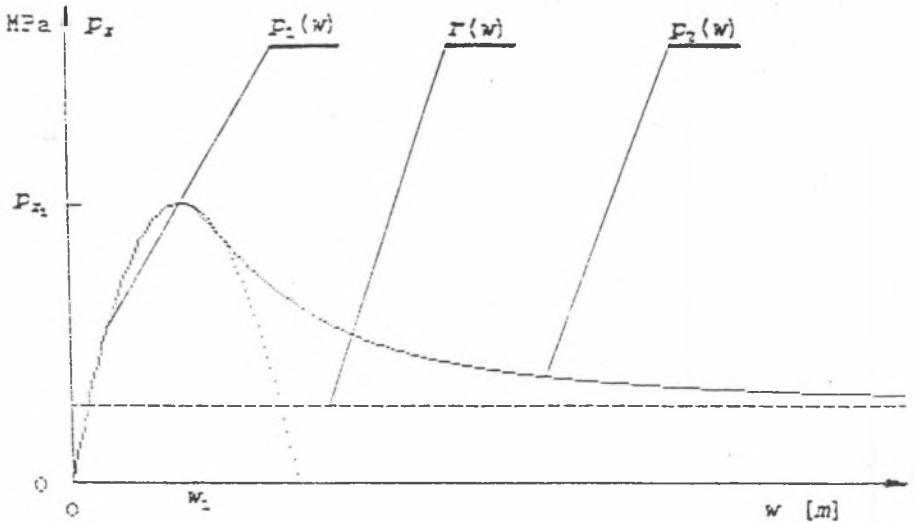
$q = v \cdot w_1 + 2u$, podane wzorem (5.21),

$u = P_{z_1} - D$, określone wzorem (5.16),

$v = 2aw_1 + b$, podane wzorem (5.17).

a, b i c - współczynniki określone wzorami (3.18), (3.19)
i (3.12a),

λ - parametr zbieżności krzywej do asymptoty $h(w)$ przyjęto
 $\lambda = 0,1$ (jeżeli w pobliżu przodka ścianowego nie ma
zaszłości górniczych powodujących dodatkowe spiętrzenie
ciśnienia pionowego).



Rys.5.1. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie węgla, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Fig.5.1. Vertical pressure distribution in a coal bed, at which a possibility of the explosive crump exists

5.1.2.1. Rozkład ciśnienia pionowego, w pokładzie 510 Katowice, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Na podstawie wyników z badań tępnię modelu pokładu węgla nr 1/510 Katowice do modelu przodka ścianowego bez obudowy i po wykorzystaniu wzorów (5.2) i (5.3) przedstawiono na rys.5.2 rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie węgla, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego.

Rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}$ zmienia się nieznacznie w miarę występowania kolejnych tępnięć w modelu. Wartość maksymalna ciśnienia przy drugim i trzecim tąpnięciu wzrasta o kilkanaście MPa i przesuwa się o kilka metrów od czoła przodka ścianowego (rys. 5.2.a,b,c).

Rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}$ posiada większą wartość maksymalną dla występujących kolejno tępnięć eksplozyjnych. Pierwszego tąpnięcia można się spodziewać przy zaistnieniu ciśnienia pionowego o wartości około 47 MPa, zaś drugiego przy około 52 MPa, natomiast trzeciego powyżej 61 MPa.

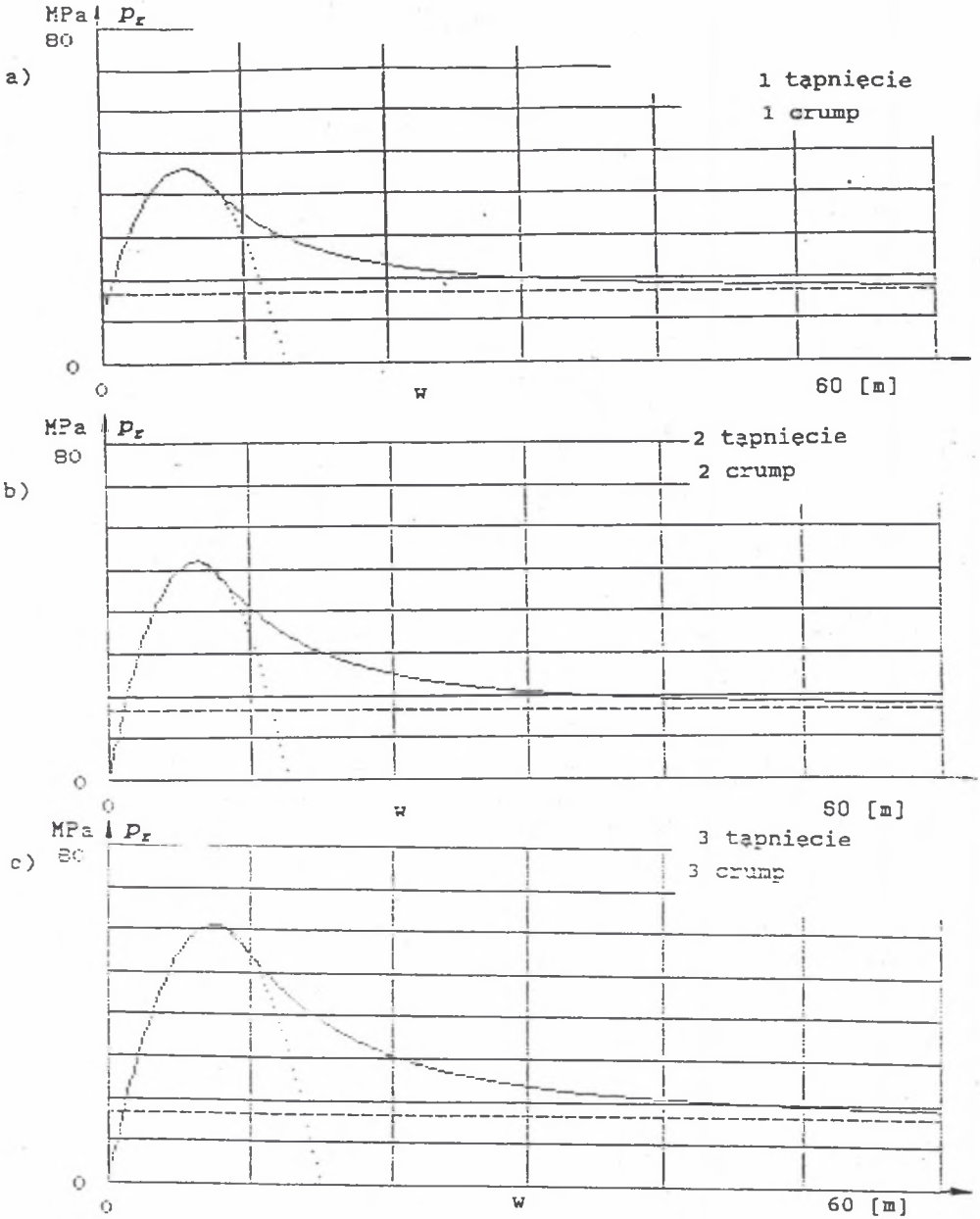
Wartość maksymalna ciśnienia pionowego przy pierwszym tąpnięciu będzie się znajdować w pokładzie w odległości około 6 m od czoła ściany, zaś przy drugim w odległości 6,5 m, natomiast przy trzecim odległość ta wyniesie ponad 7,5 m.

Ciśnienie pionowe zbliży się do wartości ciśnienia naturalnego ($1,1 P_{z_0}$), na wybiegu przodka ścianowego w odległości od czoła ściany wynoszącej około 41 m przy pierwszym tąpnięciu, przy drugim tąpnięciu w odległości około 51 m, zaś przy trzecim na 62 m (rys.5.2).

Na rys.5.3 przedstawiono rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}$ w pokładzie węgla na podstawie badań tępnię modelu nr 9/510 Katowice do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy zmechanizowanej.

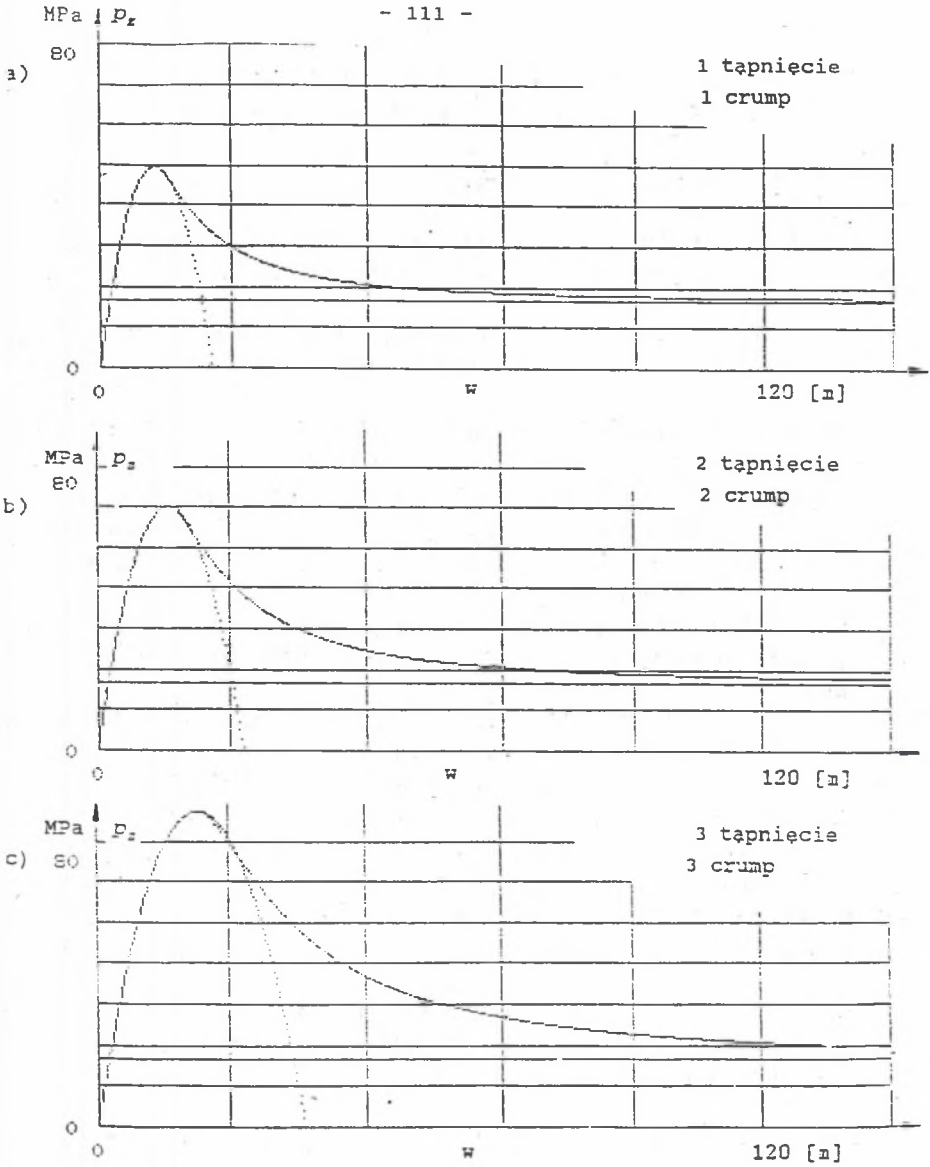
Rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}$ posiada większą wartość maksymalną dla występujących kolejno tępnięć eksplozyjnych. Pierwszego tąpnięcia można się spodziewać przy zaistnieniu ciśnienia pionowego o wartości około 50 MPa, zaś drugiego przy około 60 MPa, natomiast trzeciego powyżej 77 MPa.

Wartość maksymalna ciśnienia pionowego przy pierwszym tąpnięciu będzie się znajdować w odległości około 10 m od czoła ściany, zaś przy drugim w odległości 13 m, natomiast przy trzecim odległość ta wyniesie ponad 17 m.



Rys.5.2. Rozkład ciśnienia w pokładzie 510 Katowice na podstawie badań tupań modelu nr 1/510 Katowice

Fig.5.2. Pressure distribution in the Katowice 510 coal bed on the ground of studies of crumps of the Katowice No 1/510 model



Rys.5.3.Rozkład ciśnienia w pokładzie 510 Katowice na podstawie badań łąpań modelu nr 9/510 Katowice

Fig.5.3.Pressure distribution in the Katowice 510 coal bed on the ground of studies of crumps of the Katowice No 9/510 model

Ciśnienie pionowe zbliży się do wartości ciśnienia naturalnego ($1,1P_z$), na wybiegu przodka ścianowego w odległości od czoła ściany wynoszącej około 84 m przy pierwszym tąpnięciu, przy drugim tąpnięciu w odległości około 100m, zaś przy trzecim powyżej 120 m (rys.5.3).

Rozkłady ciśnienia pionowego innych badanych modeli są podobne, a charakterystyczne ich wielkości podano w tablicy 5.2.

5.1.2.2. Rozkład ciśnienia pionowego, w pokładzie 510 Zabrze, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Na podstawie wyników z badań tępnięć modelu pokładu nr 7/510 z kopalni Zabrze obliczono i pokazano na rys.5.4 rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{zap}}$ w pokładzie węgla, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego. Badania prowadzono z modelem pokładu, obok którego znajdował się model przodka ścianowego z modelem obudowy hydraulicznej.

Maksymalna wartość ciśnienia pionowego przy pierwszym tąpnięciu wynosi 60 MPa, przy drugim około 67 MPa, zaś przy trzecim 80 MPa.

Oddalenie się od czoła ściany wartości maksymalnej ciśnienia pionowego na wybiegu w wynosi przy pierwszym tąpnięciu 12,5 m, przy drugim około 15 m, zaś przy trzecim około 20 m.

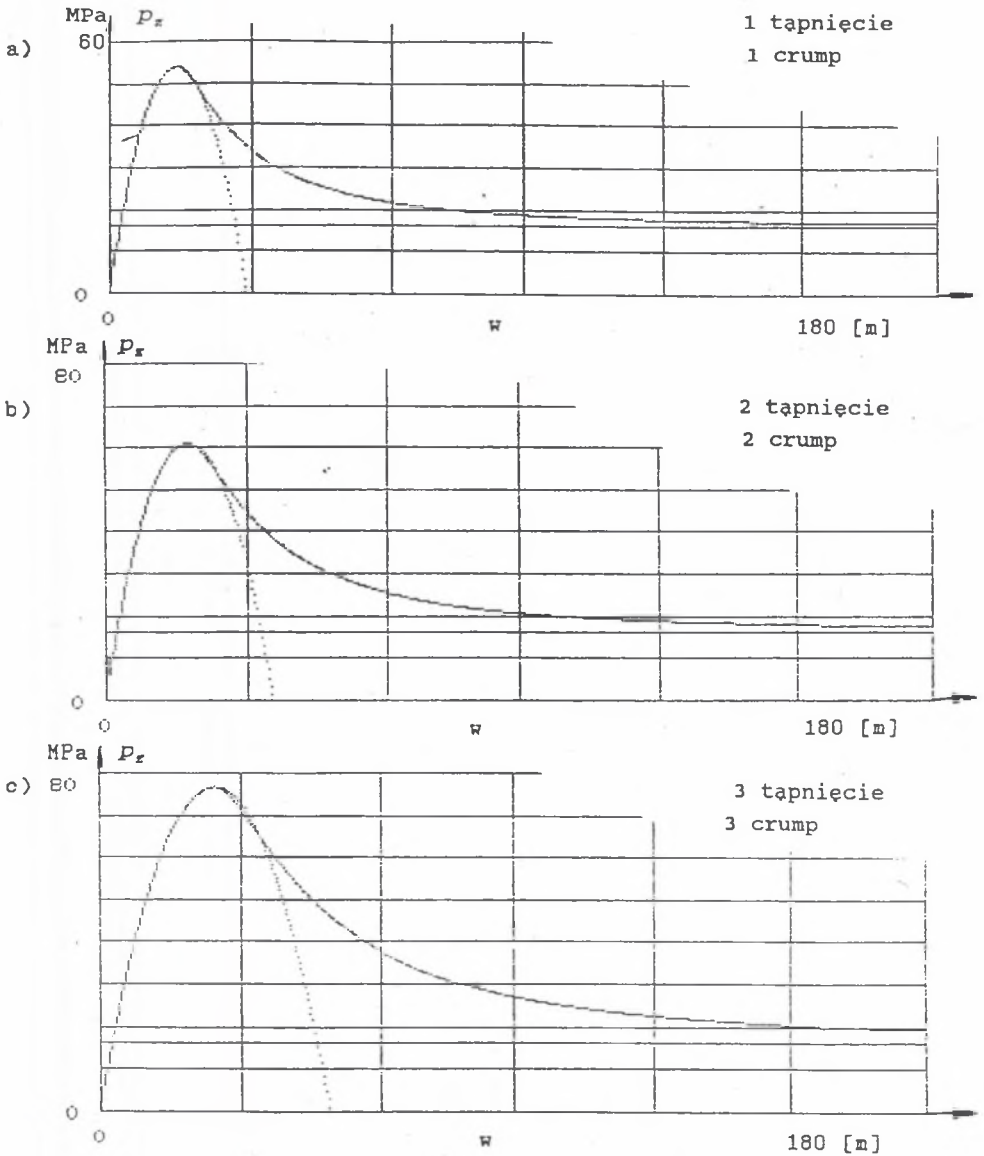
Wartości ciśnienia pionowego zbliżą się do siebie ($1,1P_z$) na 110 m wybiegu przy pierwszym tąpnięciu, na 120 m przy drugim i po 120 m przy trzecim tąpnięciu (rys.5.4).

Rozkłady ciśnienia pionowego pozostałych badanych modeli są podobne, ich charakterystyczne wielkości podano w tablicy 5.3.

5.1.2.3. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie 501 Makoszowy, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

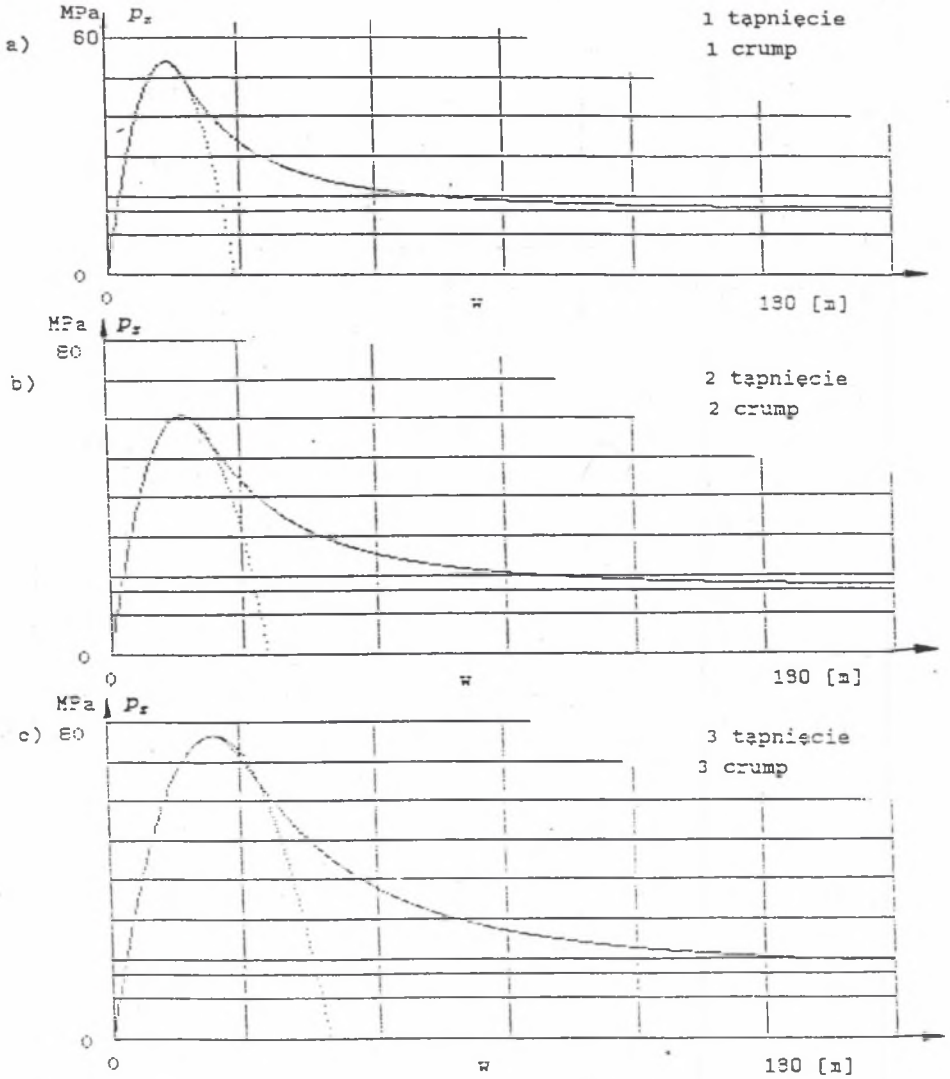
Opierając się na wynikach z badań tępnięć modelu pokładu nr 7/501 z kopalni Makoszowy obliczono rozkład ciśnienia pionowego $P_{z_{zap}}$ w pokładzie węgla, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego, i dla kolejnych trzech tępnięć pokazano na rys.5.5. Badania prowadzono z modelem pokładu, obok którego znajdował się model przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy zmechanizowanej.

Maksymalna wartość ciśnienia pionowego przy pierwszym tąpnięciu wynosi około 55 MPa, zaś przy drugim około 60 MPa, natomiast przy trzecim wynosi ponad 75 MPa.



Rys.5.5. Rozkład ciśnienia w pokładzie 501 Makoszowy na podstawie badań tupań modelu nr 7/501 Makoszowy

Fig.5.5. Pressure distribution in the Makoszowy 501 coal bed on the ground of studies of crumps of the Makoszowy No 7/501 model



Rys.5.5. Rozkład ciśnienia w pokładzie 501 Makoszowy na podstawie badań tupań modelu nr 7/501 Makoszowy

Fig.5.5. Pressure distribution in the Makoszowy 501 coal bed on the ground of studies of crumps of the Makoszowy No. 7/501 model

Oddalenie się od czoła ściany wartości maksymalnej ciśnienia pionowego na wybiegu przodka ścianowego przy pierwszym tąpnięciu wynosi około 16 m, zaś przy drugim około 20 m, natomiast przy trzecim około 26 m.

Ciśnienie pionowe zbliży się do wartości ciśnienia naturalnego ($1,1P_z$), na wybiegu przodka ścianowego w odległości od czoła ściany wynoszącej około 150 m przy pierwszym tąpnięciu, przy drugim tąpnięciu w odległości około 170 m, zaś przy trzecim powyżej 180 m.

Rozkłady ciśnienia pionowego innych badanych modeli są także podobne, a ich charakterystyczne wielkości podano w tablicy 5.4.

5.2. Prognozowanie tąpnięć eksplozywnych w pokładzie na podstawie krytycznych ciśnień, przy których występują tąpnięcia modeli

Analizując rozkłady ciśnienia pionowego w pokładzie węgla $P_{z_{czp}}$, przy których istnieje możliwość inicjacji tąpnięcia eksplozywnego (obliczone na podstawie badań tąpnięć modeli), wyznaczono wartości maksymalne ciśnienia $P_{z_{czp}}(\max)$ tych rozkładów.

Wartości maksymalne ciśnienia pionowego $P_{z_{czp}}(\max)$ podano w tablicach 5.2÷5.4.

Uwzględniając stan bezpieczeństwa w przodku ścianowym, rozważania nad prognozowaniem tąpnięć eksplozywnych ograniczono do pierwszych tąpnięć.

Biorąc pod uwagę maksymalne wartości rozkładu ciśnienia pionowego w pokładzie, wyznaczamy z nich wielkość najmniejszą dla danego badanego pokładu (z dostatecznym bezpieczeństwem) i nazywamy ją krytycznym ciśnieniem pionowym w pokładzie węgla $P_{z_{czp}}(kr)$, przy której powstaje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozywnego (rys. 5.6 ÷ 5.8).

Wartość ciśnienia krytycznego $P_{z_{czp}}(kr)$, w świetle badań tąpnięć na modelach, jest wielkością służącą do prognozowania tąpnięć eksplozywnych w pokładach węglowych.

Wartości ciśnienia krytycznego $P_{z_{czp}}(kr)$ dla prognozowania tąpnięć eksplozywnych w przodkach ścianowych bez modelu obudowy wynoszą dla pokładu:

- 510 Katowice 43,0 MPa,
- 510 Zabrze 46,9 MPa,
- 501 Makoszowy 42,8 MPa,

i z hydrauliczną obudową zmechanizowaną dla pokładu:

- 510 Katowice 49,8 MPa,
- 510 Zabrze 52,9 MPa,
- 501 Makoszowy 53,9 MPa.

Wybieg przodka ścianowego w_1 dla maksymalnej wartości ciśnienia pionowego $P_{z_{zap}}(\max)$, według badanych modeli z pokładu 510 Katowice, 510 Zabrze i 501 Makoszowy bez modelu obudowy, wynosi $6,2 \div 9,9\text{m}$ (11,4m), natomiast z modelem obudowy $8,2 \div 12,5\text{m}$ (17,1 m).

Wartość wybiegu w_1 jest wskazaniem miejsca pomiaru ciśnienia pionowego w pokładzie, na przykład czujnikami otworowymi. Pomiary takie można prowadzić czujnikami hydraulicznymi [103] bądź mechanicznymi [102,106] lub innymi metodami.

Stosunek wartości maksymalnego ciśnienia pionowego $P_{z_{zap}}(\max)$ do wartości ciśnienia naturalnego P_{z_0} określa współczynnik spiętrzenia ciśnienia pionowego n według wzoru

$$n = \frac{P_{z_{zap}}(\max)}{P_{z_0}} \quad (5.25)$$

Wartość współczynnika spiętrzenia ciśnienia n w świetle badań tępaań na modelach pokładów węgla jest także wielkością służącą do prognozowania tępaań eksplozyjnych.

Wartości współczynnika spiętrzenia ciśnienia pionowego n dla badanych modeli pokładów bez modelu obudowy wynosi dla:

- 510 Katowice 2,6 \div 3,2
- 510 Zabrze 3,3 \div 3,6
- 501 Makoszowy 2,3 \div 2,9

i z modelem hydraulicznej obudowy mają wielkość dla:

- 510 Katowice 3,0 \div 3,4
- 510 Zabrze 3,6 \div 5,2
- 501 Makoszowy 3,3 \div 3,6

Współczynnik spiętrzenia ciśnienia n , przy którym istnieje możliwość wystąpienia tępnięcia eksplozyjnego, wyznaczono dla rzeczywistych warunków istniejących na stanowisku badawczym w momencie tępnięcia modelu pokładu. W warunkach tych wystąpiły siły oporu biernego, przeciwdziałające tępnięciu, takie jak tarcie o spąg i strop, tarcie wewnętrzne itp., z którymi mamy do czynienia na dole w pokładzie węgla. Jeżeli w pokładzie wystąpią większe siły przeciwdziałające tępnięciu, to wartość współczynnika spiętrzenia ciśnienia n można traktować jako zwiększenie bezpieczeństwa w przodku ścianowym ze względu na tępnięcia.

Tablica 5.2

Modele pokładu 510 Katowice

Nr modelu pokładu	$p_{z_{zap}}$ (max) MPa	w_1 m	$n = \frac{p_{z_{zap}}(\max)}{p_{z_0}}$	Uwagi
1	46,1	7,5	2,7	bez modelu obudowy
2	51,5	9,2	3,1	
3	52,2	9,0	3,1	
4	46,2	6,2	2,8	
5	43,0	6,3	2,6	
6	45,9	6,2	2,7	
7	54,1	9,6	3,2	
8	48,6	6,5	2,6	
9	49,8	8,2	3,0	z modelem obudowy
10	57,2	11,1	3,4	
11	55,4	9,0	3,3	
12	56,8	11,3	3,4	
13	50,5	8,6	3,0	
14	51,8	8,6	3,1	
15	54,6	10,2	3,3	
16	54,8	9,1	3,3	

Tablica 5.3

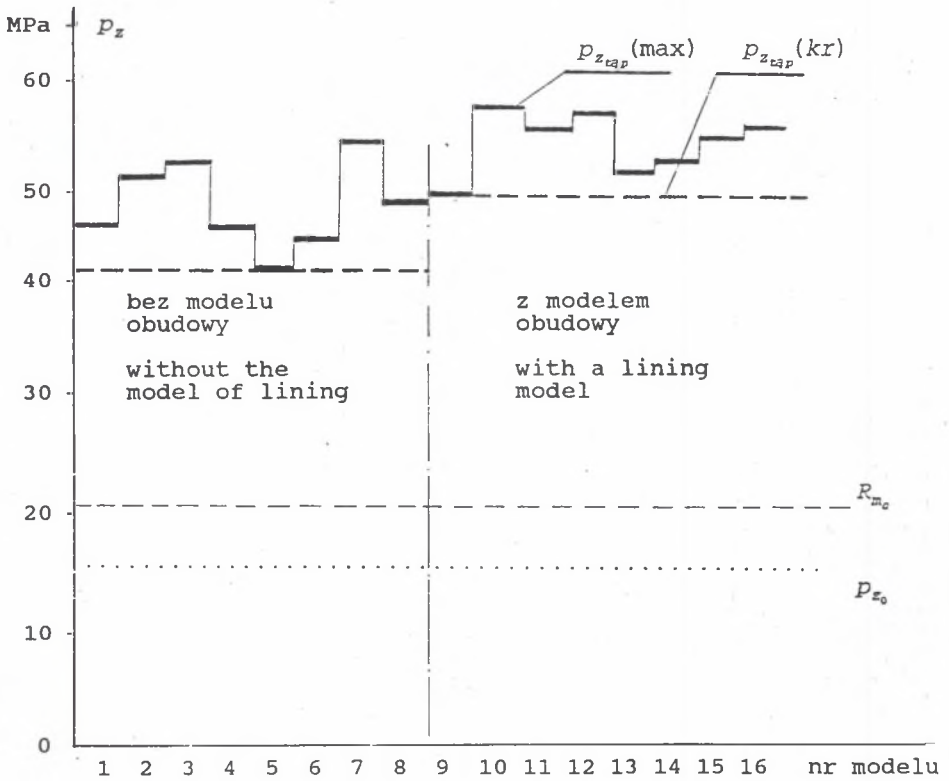
Modele'pokładu 510 Zabrze

Nr modelu pokładu	$P_{z=2p}$ (max) MPa	w_1 m	$n = \frac{P_{z=2p}(\max)}{P_{z_0}}$	Uwagi
1	47,9	9,9	3,3	bez modelu obudowy
2	51,8	11,4	3,6	
3	46,9	7,5	3,3	
4	43,6	6,3	3,4	
5	43,0	7,3	3,5	
6	43,4	6,3	3,4	
7	59,6	10,4	4,2	z modelem obudowy
8	52,9	9,2	3,7	
9	56,2	9,4	3,9	
10	53,2	8,6	3,7	
11	73,8	17,1	5,2	
12	51,9	9,4	3,6	
13	54,2	8,6	3,3	

Tablica 5.4

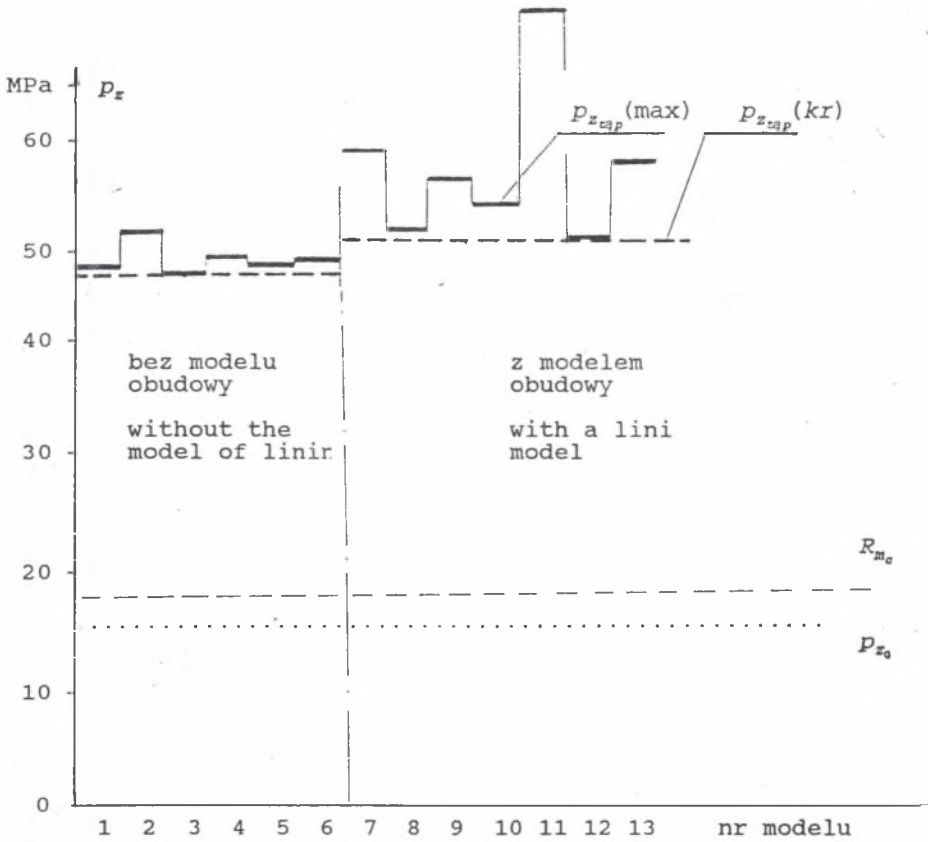
Modele pokładu 501 Makoszowy

Nr modelu pokładu	$P_{z_{z_{z_p}}}$ (max) MPa	w_1 m	$n = \frac{P_{z_{z_{z_p}}}$ (max) P_{z_0}	Uwagi
1	43,7	7,0	2,3	bez modelu obudowy
2	44,9	6,8	2,8	
3	45,2	8,1	3,3	
4	42,8	8,8	2,6	
5	46,5	6,8	2,9	
6	45,7	6,4	2,8	
7	53,9	11,2	3,3	z modelem obudowy
8	55,1	10,7	3,4	
9	55,8	10,7	3,4	
10	56,2	12,4	3,5	
11	58,9	12,5	3,6	
12	57,6	11,9	3,6	



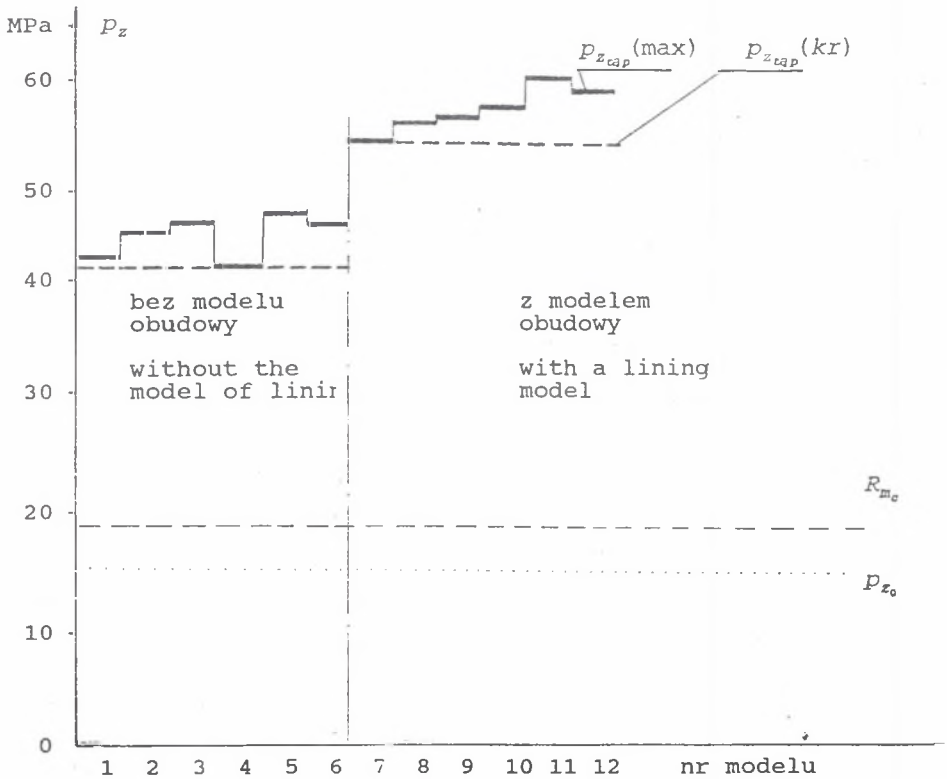
Rys.5.6. Wykres wartości ciśnienia krytycznego dla pokładu 510 Katowice, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Fig.5.6. Diagram of critical pressure values for the Katowice 510 coal bed, at which a possibility of the explosive crump exists



Rys.5.7. Wykres wartości ciśnienia krytycznego dla pokładu 510 Zabrze, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Fig.5.7. Diagram of critical pressure values for the Zabrze 510 coal bed, at which a possibility of the explosive crump exists



Rys.5.8. Wykres wartości ciśnienia krytycznego dla pokładu 501 Makoszowy, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego

Fig.5.8. Diagram of critical pressure values for the Makoszowy 501 coal bed, at which a possibility of the explosive crump exists

Analizując wartości ciśnienia krytycznego, przy którym powstaje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego w pokładzie węgla (rys.5.6 ÷ 5.8), oraz wartości współczynnika spiętrzenia maksymalnego ciśnienia pionowego (tablice 5.2 ÷ 5.4) określone dla prognozowania tąpnięć, można stwierdzić, że ciśnienie pionowe jest podstawowym parametrem wskazującym wielkość zagrożenia.

Wartości ciśnienia krytycznego i współczynnika spiętrzenia maksymalnego ciśnienia pionowego wzrastają o około 20 % w przypadku zainstalowania obudowy w przodku ścianowym. Wzrost podporności hydraulicznej obudowy prowadzi do wzrostu tych wartości o około 10 % (Załącznik tablice Z.4 ÷ Z.6).

5.3. Wykorzystanie badań zjawiska tępań materiału węglowego dla prognozowania tępań eksplozyjnych w pokładzie

Na podstawie badań zjawiska tępania materiału węglowego w trójkierunkowym stanie naprężenia i opierając się na hipotezie występowania tego zjawiska (pkt 2.4.2 niniejszej pracy), wyznaczono współczynnik C równy wartości naprężenia $\sigma_{z_{min}}$, przy którym zjawisko tępania jeszcze występuje [115, 116].

Długoletnie badania pozwoliły wyznaczyć w przestrzeni naprężeń obszary występowania zjawiska tępania ze współczynnikiem C, (tablica 5.5) uwzględniającym nasilenie tego zjawiska ($\Delta\sigma$) [99, 115, 117].

Tablica 5.5

Wartości współczynników C

Pokład, kopalnia	Wartości współczynników C [MPa]		
	$\Delta\sigma \geq 2,5$ [MPa]	$\Delta\sigma \geq 5,0$ [MPa]	$\Delta\sigma \geq 7,5$ [MPa]
419 Dymitrow	49,1	59,9	70,3
501 Zabrze	54,5	63,9	72,9
501 Makoszowy	48,0	54,0	63,9
501 Gottwald	48,7	57,4	66,0
504 Dymitrow	52,9	65,5	67,8
507 Pstrowski	51,4	65,2	68,4
507 Dymitrow	56,0	66,0	72,4
510 Dymitrow	57,8	62,0	71,1
510 Pstrowski	58,0	66,7	70,7
510 Gottwald	47,9	54,0	68,1
510 Katowice	40,7	50,7	61,4
510 Zabrze	55,9	65,9	72,0
510 Miechowice	57,8	62,0	71,0
620 Pstrowski	55,4	61,9	71,4

Porównywanie wartości naprężenia $\sigma_{z_{min}} = C$ (które w pokładzie odpowiada wartości pionowego ciśnienia) z wartością ciśnienia naturalnego P_{z_0} pozwala wyznaczyć wielkość współczynnika n_c , określającego możliwości wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego, w świetle badań zjawiska tąpnięcia materiału węglowego.

Wartość współczynnika n_c podaje zależność

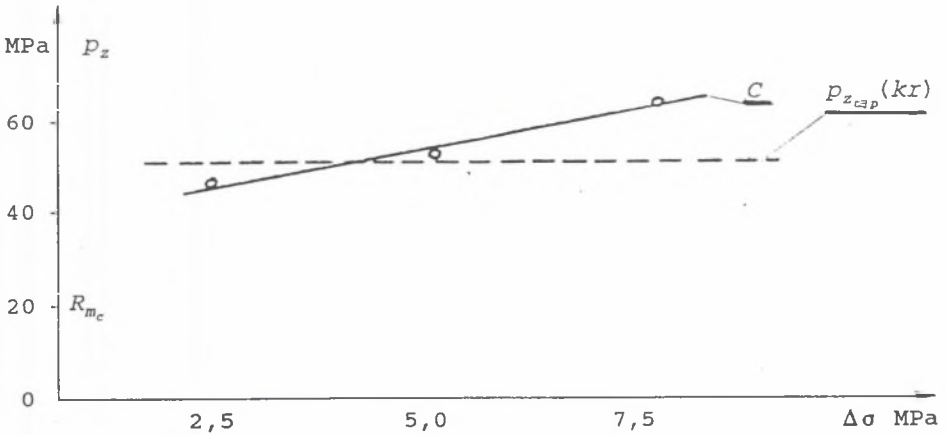
$$n_c = \frac{C}{P_{z_0}} \quad (5.26)$$

Dla badanych pokładów 501 Makoszowy, 510 Katowice i 510 Zabrze dokonano obliczeń współczynników n według wzoru (5.25) oraz współczynników n_c ze wzoru (5.26) i porównano ich wartości w tabelicy 5.6. Zaś na rysunkach 5.9 + 5.11 przedstawiono wartości $\sigma_{z_{min}} = C$ względem nasilenia zjawiska tąpnięcia $\Delta\sigma$ i porównano z wartością ciśnienia krytycznego $P_{z_c}(kr)$, uzyskaną z badań tępnię modeli pokładów w kierunku przodków ścianowych z obudową zmechanizowaną.

Tablica 5.6

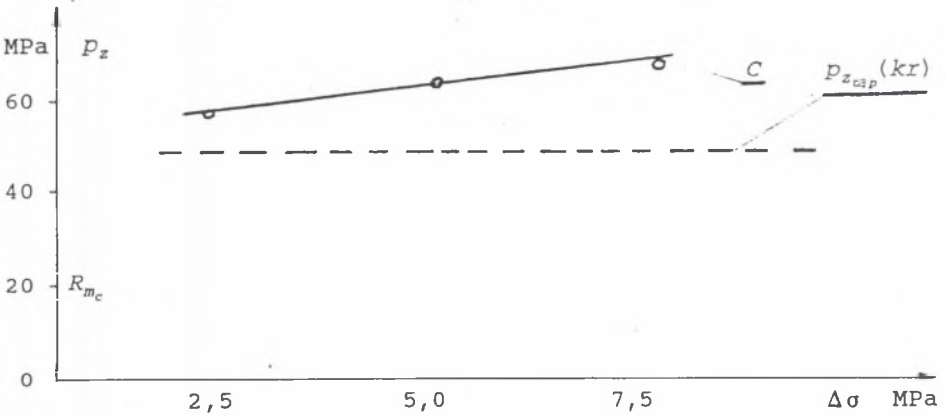
Wartości współczynników n_c i n

Pokład, kopalnia	Wartości współczynników n_c			Wartości współczynników n	
	$\Delta\sigma \geq 2,5$ MPa	$\Delta\sigma \geq 5,0$ MPa	$\Delta\sigma \geq 7,5$ MPa	bez modelu obudowy	z modelem obudowy
501 Makoszowy	3,0	3,3	3,9	2,3 ÷ 3,3	3,3 ÷ 3,6
510 Katowice	2,4	3,0	3,7	2,6 ÷ 3,2	3,0 ÷ 3,4
510 Zabrze	3,9	4,6	5,0	3,3 ÷ 3,6	3,6 ÷ 5,2



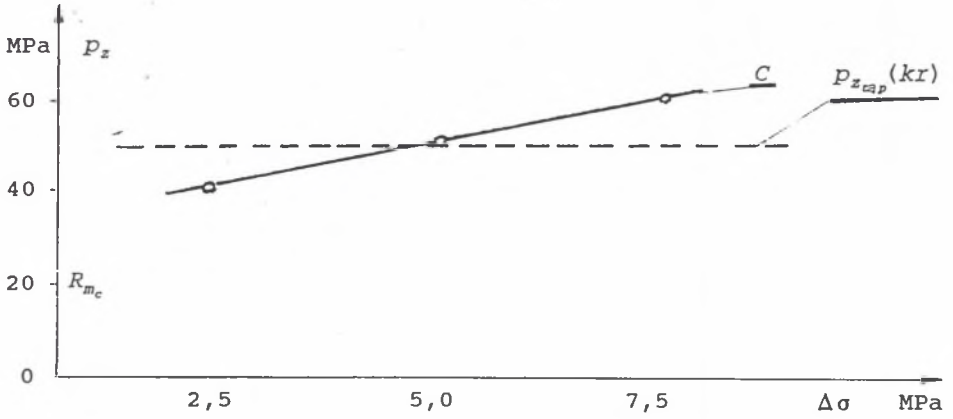
Rys.5.9. Wykres wartości współczynników C, przy których występuje zjawisko tężenia materiału węglowego z pokładu 501 Makoszowy

Fig.5.9. Diagram of the C factor values, at which the crump phenomenon of coal material from the Makoszowy 501 coal bed occurs



Rys.5.10. Wykres wartości współczynników C, przy których występuje zjawisko tężenia materiału węglowego z pokładu 510 Zabrze

Fig.5.10. Diagram of the C factor values, at which the crump phenomenon of coal material from the Zabrze 510 coal bed occurs



Rys.5.11. Wykres wartości współczynników C, przy których występuje zjawisko tąpnięcia materiału węglowego z pokładu 510 Katowice

Fig.5.11. Diagram of the C factor values, at which the crump phenomenon of coal material from the Katowice 510 coal bed occurs

6. PODSUMOWANIE

Analiza poglądów na temat występujących tąpań w kopalniach węgla kamiennego oraz wyniki własnych badań nad zjawiskiem tąpnięcia materiału węglowego stały się podstawą do rozpoczęcia badań nad wyznaczeniem wartości ciśnienia pionowego, przy którym występują tąpnięcia eksplozyjne do przodka ścianowego. W tym celu zbudowano cd podstaw specjalne stanowisko do prowadzenia badań tąpań na modelach pokładu węgla do przodka ścianowego z hydrauliczną obudową zmechanizowaną.

Opracowano metodę badań tąpań modeli pokładów węgla będących w trójkierunkowym stanie naprężenia i dwukierunkowym stanie odkształcenia.

Tąpnięcia eksplozyjne w modelach pokładu węgla realizowane na stanowisku badawczym występują przy podobnym stanie naprężenia, z jakim mamy do czynienia na dole kopalni w pokładzie węgla.

Badania tąpań eksplozyjnych realizowano na modelach pokładu węgla. Zatem nie przeprowadzano badań modelowych ze ściśle określonymi warunkami podobieństwa, gdyż dotychczas nie znaleziono dla węgla takiego materiału ekwiwalentnego, który by posiadał tę właściwość, jaką jest zjawisko tąpnięcia eksplozyjnego. Stąd też doświadczenia prowadzone na stanowisku badawczym nazwano, w celu odróżnienia od badań modelowych, "badaniami na modelach".

Badania prowadzone na modelach cechowały się:

- identycznym materiałem w modelu i w obiekcie rzeczywistym,
- podobną wielkością obciążenia modelu i obiektu rzeczywistego,
- podobnym sposobem obciążenia modelu i obiektu rzeczywistego,
- zachowaniem proporcji wymiarów geometrycznych modelu i obiektu rzeczywistego,
- realizacją dwukierunkowego stanu odkształcenia w modelu i w obiekcie rzeczywistym.

Na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym zrealizowano badania tąpań eksplozyjnych modelu pokładu węgla do modelu przodka ścianowego w dwu odmianach:

- 1) bez modelu obudowy,
- 2) z modelem hydraulicznej obudowy zmechanizowanej.

Opracowana metoda badań pozwoliła na zrealizowanie tąpnięcia eksplozyjnego modelu, którego stan obciążenia jest podobny do występującego na dole na pokład węglowy w pobliżu czoła przodka ścianowego, zarówno pod względem wielkości, jak i zmian obciążenia wynikających z wybierania pokładu.

Tąpnięcie eksplozyjne występowało po spełnieniu dwóch warunków:

- realizacji odpowiedniej wartości składowych stanu naprężenia (w szczególności naprężeń pionowych),
- zmniejszanie wartości poziomej stanu naprężenia (realizowane przez odczekanie odpowiedniego czasu, aby do niego doszło).

Przebieg inicjacji tąpnięcia w modelu był także podobny do zjawiska tąpnięcia materiału węglowego i charakteryzował się po tąpnięciu zmniejszeniem wartości naprężenia pionowego, wzrostem wartości naprężeń poziomych i wyrzuceniem części tąpniącego materiału do wolnej przestrzeni wyrobiska. W trakcie tąpnięcia występowały drgania i huki.

Do osiągnięć pracy należy zaliczyć przeprowadzenie badań tępnięć eksplozyjnych modeli pokładów 510 z kopalń Katowice i Zabrze oraz 501 Makoszowy, które pozwoliły na wyznaczenie wielkości wypadkowej obciążenia modelu pokładu oraz jej momentu podczas tąpnięcia modelu do przodka ścianowego, a także wartość podporności pracy modelu hydraulicznej obudowy zmechanizowanej. Następnie zaś dokonano obliczeń pozwalających na określenie rozkładu ciśnienia pionowego w modelu pokładu węgla, przy którym zachodzi możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego.

Ponadto analiza badanych tępnięć eksplozyjnych modeli pokładów węgla pozwoliła potwierdzić założoną tezę, że:

- 1) tąpnięcia eksplozyjne występujące do przodków ścianowych są ściśle związane z określoną wartością krytycznego ciśnienia pionowego, przy czym kolejne tąpnięcie występuje przy większej wartości ciśnienia i z większą intensywnością skutków,
- 2) wartość maksymalna rozkładu ciśnienia pionowego, przy którym istnieje możliwość inicjacji tąpnięcia eksplozyjnego, występuje w określonej odległości od czoła przodka ścianowego i przemieszcza się w głąb pokładu po tąpnięciu,

- 3) wzrost podporności hydraulicznej obudowy zmechanizowanej wpływa na zwiększenie wartości maksymalnego ciśnienia pionowego, jakie musi zaistnieć, by wystąpiło tąpnięcie eksplozyjne, przy czym intensywność skutków tego tąpnięcia jest także większa,
- 4) większa wartość intensywności zjawiska tąpnięcia materiału węglowego jest związana ze wzrostem wyzwalanej energii kinetycznej i z większą wartością naprężenia pionowego w tym materiale.

Wykorzystując proporcjonalność geometryczną modeli pokładów węgla, do wyżej wymienionych trzech pokładów, określono w świetle badań tępnięć na stanowisku, rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie węgla, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego do przodka ścianowego

$$P_{z_{\text{exp}}} = F [p_1(w), p_2(w)]$$

przy czym

$$p_1(w) = a w^2 + b w + c$$

i

$$p_2(w) = \lambda \left(\frac{1}{w} - 2w_1 \frac{1}{w^2} + \frac{w_1^2}{w^3} \right) + \frac{w_1^2}{w^2} (p - q \frac{w_1}{w}) + D$$

Opierając się na analizie wyników badań tępnięć modeli pokładów węgla sformułowano następujące szczegółowe wnioski:

1. O możliwości wystąpienia tąpnięcia w przodku ścianowym decyduje najmniejsza wartość maksymalna rozkładu ciśnienia pionowego w pokładzie $P_{z_{\text{exp}}}(\text{max})$, wyznaczana na podstawie badań tępnięć modeli pokładów węgla do przodka ścianowego, którą nazwano wartością ciśnienia krytycznego $P_{z_{\text{exp}}}(k^-)$.
2. Rozkład ciśnienia pionowego w pokładzie węgla, przy którym istnieje możliwość wystąpienia tąpnięcia eksplozyjnego, wskazuje na to, jak rozmieścić czujniki pomiaru ciśnienia absolutnego, dla prognozowania tąpnięcia eksplozyjnego i prowadzenia skutecznej profilaktyki przeciwtąpniowej.
3. Wartość ciśnienia krytycznego w świetle badań tępnięć na modelach może służyć przy doborze podporności obudowy.
4. Pierwszego tąpnięcia eksplozyjnego (w świetle badań stanowiskowych na modelach) w pokładzie węgla 510 Katowice do przodka ścianowego z obudową zmechanizowaną można się spodziewać przy

krytycznym ciśnieniu pionowym $P_{z_{\text{czp}}} (kr) \approx 50$ MPa, natomiast w pokładzie 510 Zabrze przy około 53 MPa, zaś w pokładzie 501 Makoszowy przy około 54 MPa. Drugiego i następnych tąpnięć można oczekiwać przy ciśnieniach wyższych o około 20%.

5. Wartość maksymalna rozkładu ciśnienia pionowego w pokładzie węgla $P_{z_{\text{czp}}} (\text{max})$ dla pierwszych tąpnięć do przodka ścianowego z obudową jest oddalona od czoła ściany na wybiegu o około 10m w pokładzie 510 Katowice, około 12,5 m w pokładzie 510 Zabrze i około 15 m w pokładzie 501 Makoszowy. Drugiego i następnych tąpnięć można się spodziewać przy wystąpieniu maksymalnego ciśnienia pionowego w odległościach bardziej oddalonych od czoła przodka ścianowego (o około 20%).

LITERATURA

- [1] Bieniawski A.Z.: In situ strength and deformation characteristic of coal. Eng. Geol. Vol 2. nr 5/1968 r.
- [2] Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z. 31, Gliwice 1968 r.
- [3] Biliński A.: Tąpania w świetle mechaniki górotworu odprężonego. Prace GIG, Katowice 1984 r.
- [4] Biliński A.: Ocena zagrożenia tąpaniem wyrobiska eksploatacyjnego. Prace GIG, seria dodatkowa, Katowice 1992 r.
- [5] Bobkowski G.: Wpływ dezintegracji wywołanej cieczami na zjawisko tąpania próbek węgla w trójkierunkowym stanie naprężenia. Zeszyty Naukowe AGH Górnictwo nr 129, Kraków 1987 r.
- [6] Borecki M.: Zachowanie się skał w układach jednoosiowych obciążeń wysokociśnieniowych ze skrzepowanym odkształceniem poprzecznym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. nr 321 Górnictwo z. 50, Gliwice 1971 r.
- [7] Borecki M.: Prognozowanie naturalnej skłonności węgla do tąpań na podstawie badania jego własności reologicznych. Międz. Sympozjum nt.: "Tąpania w kopalniach węgla i rud", Katowice 1979 r.
- [8] Borecki M., Chudek M., Olszowski W., Pach A.: Kryteria i warunki współpracy obudowy z górotworem w pokładach skłonnych do tąpań. Przegląd Górniczy nr 4/1972 r.
- [9] Bräuner G.: Gebirgsdruck und Gebirgsschläge. Verlag Glückauf GmbH. Essen 1981 r.
- [10] Budryk H.: Zjawisko tąpań i zapobieganie ich skutkom. Przegląd Górniczo-Hutniczy nr 12/1938 r.
- [11] Budryk W.: Stan naprężeń w górotworze pod wpływem wyeksploatowania pokładu. Archiwum Górniczo-Hutnicze z.1, Kraków 1955 r.

- [12] Chudek M.: Teoretyczno-graficzne obliczanie odkształcenia się warstw skalnych i naprężeń nad wyrobiskiem ścianowym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z. 30, Gliwice 1968 r.
- [13] Chudek M.: Nomogramy do wyznaczania naprężeń w resztkach pokładu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z. 30, Gliwice 1968 r.
- [14] Chudek M.: Mechanika górotworu. Gliwice 1976 r.
- [15] Chudek M.: Wpływ głębokości na stan deformacyjno-naprężeniowy w otoczeniu wyrobisk górniczych. Przegląd Górniczy nr 5/1983 r.
- [16] Chudek M., Moroz R.: Badania skał karbońskich w trójosiowym stanie naprężeń. Przegląd Górniczy nr 9/1970 r.
- [17] Chudek M., Pach A.: Obudowa czynnikiem regulacji ciśnień eksploatacyjnych. Przegląd Górniczy nr 1/1974.
- [18] Cyrul T.: Pomiar deformacji i określania naprężeń w górotworze in situ. Materiały IV Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu. Wisła 1977 r.
- [19] Czubaszek J.: Zniszczenie skał. Wytrzymałość gruntów i skał. Ossolineum 1975 r.
- [20] Drzewiecki K.: Tąpania spągu wyrobisk chodnikowych w kopalniach węgla (badanie laboratoryjne). Zeszyty problemowe Górnictwo t. 2 z. 1/1964 r.
- [21] Drzewiecki K.: Wyladowanie energii sprężystej przy rozpadzie materiału kruchego. PAN Oddział Kraków, Prace Komisji Nauk Technicznych Górnictwa z.4/1967 r.
- [22] Drzęźła B., Gorus A., Kaczmarczyk A., Major M., Gerlach Z.: Próba ujęcia ilościowego zależności pomiędzy stanem naprężeń a aktywnością sejsmiczną górotworu. Zeszyty Naukowe AGH Gór. 129. Kraków 1987 r.
- [23] Drzęźła B., Białek J., Jaworski A.: Metoda prognozowania rozkładów naprężeń w strefach oddziaływania zaszłości eksploatacyjnych. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. M10 /213/ 1988 r.
- [24] Drzęźła B., Białek J., Jaworski A.: Prognozowanie stanów deformacyjno-energetycznych górotworu dla oceny jego sejsmiczności metodą porównawczą. Materiały konferencji pt.: Nowoczesne metody oceny stanu zagrożenia i zwalczania tąpnięć. GIG, Katowice 1989 r.
- [25] Dubiński J.: Sejsmiczna metoda oceny stanu naprężeń w górotworze zagrożonym tąpnięciami. Przegląd Górniczy nr 4/1980 r.

- [26] Dubiński J., Konopko W.: Stan rozwoju metod oceny zagrożenia i zwalczania tępań. Materiały konferencji pt.: Nowoczesne metody oceny stanu zagrożenia i zwalczania tępań. GIG, Katowice 1989 r.
- [27] Dunikowski A., Korman St., Köhsling J.: Laboratoryjne badania wskaźników fizyko-mechanicznych własności skał w trójosiowym stanie naprężenia. Przegląd Górniczy nr 11 1969 r.
- [28] Filcek H.: Laboratoryjna próba ściskania a reologiczne własności skał. Przegląd Naukowo-Techniczny AGH. Seria G. z. 1/1959 r.
- [29] Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Poglądy i rozwiązania dotyczące tępań w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH nr 123/84, Kraków 1984 r.
- [30] Filcek H., Skudrzyk A., Zorychta A.: Matematyczne i mechaniczne metody prognozowania tępań. Prace GIG, Katowice 1977 r.
- [31] Filcek H., Skudrzyk A., Zorychta A.: Propozycja metod prognozowania krytycznych stanów naprężeń górotworu. Materiały Sympozjum pt.: Tępania w kopalniach węgla i rud, Katowice 1977 r.
- [32] Filcek H., Zorychta A.: Rozwiązania teoretyczne dotyczące mechanizmu tępań i kryteriów zniszczenia ośrodka skalnego. Materiały IV Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu, Wisła 1977 r.
- [33] Filcek H.: Geomechaniczne kryteria zagrożeń tępami. Materiały sympozjum pt.: Zagrożenia tępami, sposoby i metody rozpoznawania ich genezy oraz profilaktyka, Lublin 1979 r.
- [34] Gil H.: Matematyczne ujęcie mechanizmu tępań pokładowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej z.70. Gliwice 1976 r.
- [35] Gil H.: Analityczna metoda prognozowania i zwalczania tępań w kopalniach. Przegląd Górniczy nr 9/1977 r.
- [36] Gil H., Czypionka S.: Wpływ krawędzi zatrzymanej eksploatacji na pokłady wyżej i niżej leżące. Przegląd Górniczy nr 5/1973 r.
- [37] Gil H., Drzęźła B.: Metody oceny skłonności węgla do tępań. Przegląd Górniczy nr 12/1983 r.
- [38] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego. Archiwum Górnictwa t.XVII z.3, Kraków 1972 r.

- [39] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w górotworze w przypadku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji, *Archiwum Górnictwa*, t.XIX z.1, Kraków 1974 r.
- [40] Halat W.: Stan naprężenia i przemieszczenia górotworu sprężysto-plastycznego w sąsiedztwie wyrobiska korytarzowego. *Zeszyty Naukowe, AGH Górnictwo* 129. Kraków 1987 r.
- [41] Hładysz Z.: Reologiczne kryterium skłonności węgla do tępań w świetle badań laboratoryjnych. *Praca doktorska. GIG, Katowice* 1978 r.
- [42] Homel J., Jurkiewicz R.: Obciążenie dynamiczne obudowy. *Wiadomości Górnicze* nr 4/1990 r.
- [43] Irresberger H.: Gebirgsdruckprobleme in Grosser Teufe Gluckauf nr 4/1985 r.
- [44] Irresberger H., Stephan P.: Neuer Modellprüfstand zur Klärung gebirgsmechanischer und ausbantechnischer Probleme. *Glückauf* nr 16/1986 r.
- [45] Izbicki R.J., Mróz Z.: *Metody nośności granicznej w mechanice gruntów i skał*. PWN, Warszawa 1976 r.
- [46] Kidybiński A.: *Prace Międzynarodowego Biura Mechaniki Górotworu /IBG/ w zakresie ustalania metodyki badań wytrzymałości skał*. *Przegląd Górniczy* nr 4/1966 r.
- [47] Kidybiński A.: *Badania naprężeń w skałach metodami nawiercania i kompensacji*. *Komunikat GIG nr 424, Katowice* 1967 r.
- [48] Kidybiński A.: *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Śląsk, Katowice 1982 r.
- [49] Kidybiński A.: *Oznaczanie podstawowych własności mechanicznych skał zwięzłych*. *Prace GIG. Komunikat 608 Katowice* 1974 r.
- [50] Kidybiński A.: *Wpływ podporności obudowy ścianowej na rozkład naprężeń i stref wyężenia w skałach stropowych*. *Prace GIG. Komunikat 655, Katowice* 1975 r.
- [51] Kidybiński A.: *System analizy komputerowej stanu zagrożenia tąpniętami w chodnikach węglowych oraz projektowania optymalnych środków zabezpieczenia*. *GIG, Katowice* 1990 r.
- [52] Kidybiński A., Biliński A.: *Współczesne kierunki zwalczania zagrożenia tąpniętami*. *Wiadomości Górnicze* nr 5/1978 r.
- [53] Kidybiński A., Hładysz Z.: *Szybka metoda przybliżonej oceny skłonności pokładów węglowych do tępań*. *Przegląd Górniczy* nr 3/1978 r.

- [54] Kidybiński A., Michalski A.: Stateczność a określenie grubości węglowej ławy ochronnej pod słabym stropem. Przegląd Górniczy nr 12/1977 r.
- [55] Kidybiński A., Smolka J., Bazaty J.: Oznaczenie podstawowych własności mechanicznych skał zwięzłych. Komunikat GIG nr 608, Katowice 1974 r.
- [56] Kłeczek Z.: Geomechanika górnicza. Skrypt uczelniany nr 1000 AGH, Kraków 1985 r.
- [57] Kłeczek Z.: Geomechaniczne formy utraty stateczności wyrobisk górniczych. Materiały CPPGSMiE PAN, Kraków 1992 r.
- [58] Kłeczek Z., Małoszewski J., Parysiewicz St., Zorychta A.: Geomechaniczne kryteria zagrożeń tąpnięciami przy eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Prace GIG Seria dodatkowa, Katowice 1987 r.
- [59] Konopko W., Kostyk T., Żywirski K.: Sposób wykonywania i utrzymywania chodników przyścianowych w warunkach wzmożonych ciśnień górotworu lub zagrożenia tąpnięciami. Przegląd Górniczy nr 2/1985 r.
- [60] Krawiec A., Domżał J., Grabis Z.: Wyznaczanie naturalnej skłonności węgla do tępnięć. Przegląd Górniczy nr 3 1980 r.
- [61] Litwiniszyn J.: Miarodajność wyników badań własności górotworu. Archives of Mining Sciences 32/1989 r.
- [62] Matuszewski K.: Ocena oddziaływania krawędzi na zagrożenie tąpnięciami w pokładzie niżej zalegającym w kopalni Miechowice. Przegląd Górniczy nr 4/1977 r.
- [63] Merkblatt Für wirtschaftliches Trennschleifen. Tyrolit Schleifmittelwerke Swarowski K.G. Austria.
- [64] Michalski A.: Ocena zagrożenia tąpnięciami przy zbliżaniu się ściany zawalowej do uskoku. Przegląd Górniczy nr 9/1977 r.
- [65] Mielnicki T.: Wiadomości o badaniu i właściwościach węgla. Wyd. Śląsk, Katowice 1972 r.
- [66] Motyczka A.: Badania laboratoryjne nad określaniem wskaźnika naturalnej skłonności do tępnięć wybranych pokładów grupy 500. Praca doktorska, Gliwice 1972 r.
- [67] Motyczka A.: Wpływ własności petrograficznych na naturalną skłonność węgla do tępnięć. Przegląd Górniczy nr 2 1974 r.
- [68] Motyczka A., Kaczmarczyk A., Musioł St., Drzęzła B.: Wpływ własności petrograficznych węgla na straty energetyczne ściskanych próbek. Przegląd Górniczy nr 7-8/1975 r.

- [69] Musioł St.: Wpływ obciążenia dynamicznego na naturalną skłonność węgla do tępań. Praca doktorska, Gliwice 1978 r.
- [70] Müller L.: Teoria prawdopodobieństwa mechanicznego. WNT, Warszawa 1961 r.
- [71] Mróz Z., Majewski E.: Dynamic model of damage of coal and of some rocks for specification of rock burst mechanisms. Archives of mining sciences. Vol.34 Issue 1. 1989 r.
- [72] Neyman B.: Wstrząsy, tąpnięcia i zawały. Wydawnictwo SITG, Katowice 1975 r.
- [73] Parysiewicz W.: Tąpnięcia w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1966 r.
- [74] Pforr M.: Wytyczne Międzynarodowego Biura Mechaniki Górniczej do określenia parametrów geomechanicznych skał i górotworu, Gliwice 1975 r.
- [75] Pietuchow M.: Rozwój metod walki z zagrożeniami tępań w kopalniach ZSRR. Przegląd Górniczy nr 11/1977 r.
- [76] Podgórski K.: Badanie modeli górotworu w trójosiowym stanie napięcia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górniczo-Hutniczej z. 28, Gliwice 1968 r.
- [77] Rymon-Lipiński W.: Metoda badania stanu naprężenia górotworu w głębokich kopalniach. Zeszyty Naukowe AGH. Górniczo-Hutnicze z.1, Kraków 1985 r.
- [78] Ryncarz T.: Podstawy teoretyczne badania naprężenia pokładu węgla metodą wierceń średnicowych. Problemy Geomechaniki i Tępań. PAN t.I, Kraków 1972 r.
- [79] Ryncarz T.: Fizyka górotworu. Skrypt uczelniany nr 573. AGH, Kraków 1976 r.
- [80] Sikora W., Kidybiński A.: Ocena statyczności górotworu dla doboru obudowy wyrobisk korytarzowych. Przegląd Górniczy nr 5/1978 r.
- [81] Siska L., Zamarski B.: Zasady zapobiegania tąpniętom w Ostrawsko-Karwińskim Zagłębiu Węglowym. Prace Naukowo-Badawczego Instytutu Węglowego, Ostrawa-Radwanice 1979 r.
- [82] Soja J., Bloch A.: Zwalczanie tępań wyprzedzającym nawadnianiem pokładów węgla w aspekcie malejącej skuteczności nawadniania z upływem czasu. Wiadomości Górnicze nr 1/1981 r.
- [83] Sprawozdanie z dołowych obserwacji obudów zmechanizowanych pracujących w pokładach tąpniących. CKTMG Komag, Gliwice 1982 r.

- [84] Stawrogin A.N.: Niektórye osobienności dynamiki rozruszenia gornych porad. Sbornik trudow po problemie gornych udarów nr 49, Leningrad 1962 r.
- [85] Styburski W.: Przetworniki tensometryczne. WNT, Warszawa 1971 r.
- [86] Szczurowski A.: Stan badań w zakresie prognozowania i zwalczania tąpań. Przegląd Górniczy nr 5/1977 r.
- [87] Szecówka Z.: Zmiana niektórych własności mechanicznych węgla wskutek nawodnienia w aspekcie zwalczania tąpań pokładowych. Prace GIG, Katowice 1972 r.
- [88] Szecówka Z., Domżał J., Ożana P.: Wskaźnik energetyczny skłonności naturalnej węgla do tąpań. Prace GIG, Komunikat nr 594/1973 r.
- [89] Szuścik W.: Określenie możliwości wystąpienia tąpań z punktu widzenia hipotez wytężeniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z. 52, Gliwice 1972 r.
- [90] Szuścik W.: Grums in the light of the Effort Hypotesis. Studia Gectchnika, Wroclaw 1973 r.
- [91] Szuścik W.: Tąpania w świetle hipotezy wytężeniowej. Materiały Sympozjum pt. Ochrona przeciw zawałowi skał, Katowice 1975 r.
- [92] Szuścik W.: Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Gebirgsschlagneigung von Kohlen... Forschungshefte A. 637. Freiberg 1980 r.
- [93] Szuścik W., Zastawny E.: Dostosowanie konstrukcji obudów zmechanizowanych do warunków występowania tąpań. Materiały IV Zimowej Szkoły Mechaniki Górnotworu. Wisła 1977r.
- [94] Szuścik W., Zastawny E.: Laboratoryjne badanie węgla kamiennego dla określenia obszaru przestrzeni naprężeń, w którym występują tąpania. Materiały VIII Sympozjum Doświadczalnych Badań w Mechanice Ciała Stałego. Warszawa 1973 r.
- [95] Szuścik W., Zastawny E.: Zjawisko tąpania materiału węglowego. Przegląd Górniczy nr 11/1980 r.
- [96] Szuścik W., Zastawny E.: Praca obudowy zmechanizowanej w ścianach węglowych na dużych głębokościach. Materiały Konferencji pt. Wybrane zagadnienia geomechaniki oraz eksploatacji złóż na dużych głębokościach. Komisja PAN Oddział Katowice 1981 r.
- [97] Szuścik W., Zastawny E.: Konstrukcyjne dostosowanie obudów zmechanizowanych do przodków ścianowych zagrożonych tąpaniami. Przegląd Górniczy nr 3/1983 r.

- [98] Szuścik W., Zastawny E.: Określanie "możliwości wystąpienia tąpnięcia" w oparciu o stan naprężenia w pokładzie. *Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie* nr 4/1983 r.
- [99] Szuścik W., Zastawny E., Bobkowski G.: Powtarzalność występowania zjawiska tąpnięcia materiału węglowego. *Przegląd Górniczy* nr 1/1984 r.
- [100] Szuścik W., Bąk J., Zastawny E.: Współpraca obudowy zmechanizowanej z górotworem zagrożonym tąpnięciami w ścianach prowadzonych na zawał. *Przegląd Górniczy* nr 4 1984 r.
- [101] Szuścik W., Bąk J., Zastawny E.: Zasady dostosowania podporności obudów zmechanizowanych do warunków występowania tępnięć. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo* z. 137/1985 r.
- [102] Szuścik W., Zastawny E.: Czujniki otworowe do wyznaczania składowych stanu naprężenia w pokładzie węglowym. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej* nr 13/1985 r.
- [103] Szuścik W., Zastawny E., Marcela E.: Doświadczenia wstępne w zakresie pomiaru ciśnienia w pokładzie węgla za pomocą czujników otworowych z rozparciem wstępnym. *Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie* nr 1/1986 r.
- [104] Szuścik W., Bąk J., Zastawny E.: Modelowanie obciążenia dynamicznego obudów zmechanizowanych na stanowisku badawczym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej* nr 16/1986 r.
- [105] Szuścik W., Bąk J., Zastawny E.: Praca obudowy zmechanizowanej dostosowanej do warunków występowania tępnięć w przodkach ścianowych o zmiennej wielkości obciążenia dynamicznego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. z. 145* 1987 r.
- [106] Schyma A.: Możliwość zastosowania czujników prognozowania tępnięć eksplozyjnych w chodnikach węglowych w oparciu o wstępne badania laboratoryjne modeli pokładów z modelem chodnika. *Problemy Projektowe Przemysłu i Budownictwa* nr 4, Gliwice 1991 r.
- [107] Schyma A.: Badania wpływu ciśnienia pionowego na tępnięcia chodnikowe na modelach pokładów węgla kamiennego. *Praca doktorska*, Gliwice 1992 r.
- [108] Schyma A., Brodny J.: Badania wstępne tępnięć modeli pokładu węgla z modelem chodnika o przekroju prostokątnym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej* z. 63, Wrocław 1992 r.
- [109] Yamaguchi U.: The number of test-pieces required to determine the strength of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci* vol.7. Pergamon Piess 1970 r. Printed in Great Britain.

- [110] Walczak J.: Wytrzymałość materiałów oraz podstawy teorii sprężystości i plastyczności. t.II, PWN, Warszawa 1973 r.
- [111] Wierzchowska Z., Znański J.: Pochodzenie wstrząsów górotworu w Polskim Zagłębiu Węglowym. Problemy Geomechaniki i Tępań PAN, t.I, Kraków 1972 r.
- [112] Zarządzenie Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 29.01.1970 r. w sprawie ustalania kryteriów zagrożeń tępań złóż węgla kamiennego.
- [113] Zarządzenie nr 4 Ministra Górnictwa z dnia 12.03.1981 r. w sprawie wprowadzenia do stosowania "Wytycznych bezpiecznego prowadzenia eksploatacji w pokładach zagrożonych tępańiami".
- [114] Zastawny E.: Badania laboratoryjne zjawiska tępań węgla w trójkierunkowym stanie naprężenia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z.99, Gliwice 1979 r.
- [115] Zastawny E.: Wyznaczanie obszaru występowania tępań w przestrzeni naprężeń w oparciu o badania laboratoryjne na próbkach węgla. Praca doktorska, Gliwice 1979 r.
- [116] Zastawny E.: Hipoteza obszaru występowania zjawiska tępania. Prace Naukowe Inst. Geotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 31, Wrocław 1980 r.
- [117] Zastawny E.: Określenie energii wystąpienia zjawiska tępania materiału węglowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z. 128, Gliwice 1982 r.
- [118] Zastawny E.: Przyczynek do badań nad mechanizmem powstawania tępań eksplozyjnych w pokładach kopalń węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo z.141/1983 r. Kraków.
- [119] Zastawny E.: Metoda wyznaczania wielkości ciśnienia krytycznego dla prognozowania tępań pokładowych dla wybranych pokładów węgla. Zeszyty Naukowe AGH Górnictwo, Kraków 1991 r.
- [120] Zastawny E.: Przyczynek do badań nad wpływem podporności obudowy hydraulicznej na występowanie tępań pokładowych w kopalniach węgla kamiennego. XIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Materiały konferencyjne, Szklarska Poręba 1991 r.
- [121] Znański J.: Analogia zjawiska tępań do zgniatania próbek w prasie. Przegląd Górniczy nr 5/1953 r.
- [122] Znański J.: Tępania w świetle badań laboratoryjnych. Komunikat GIG nr 143/1953 r.
- [123] Znański J.: Skłonność skał do tępań. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. t.II zeszyt PWN, Warszawa 1954 r.

- [124] Znański J.: Tępliwość jako fizyko-mechaniczne własności ściskania skał. Biuletyn GIG nr 1, Katowice 1954 r.
- [125] Znański J.: Próba ściskania jednoosiowa jako model badania tępań. Wyd. SITG, Katowice 1968 r.
- [126] Znański J.: Tępania w świetle mechaniki górotworu. Wyd. SITG, Katowice 1968 r.
- [127] Zorychta A.: Kryterium powstawania tępań eksploatacji pokładu węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH Górnictwo z. 125, Kraków 1984 r.
- [128] Zorychta A.: Wpływ warunków naturalnych i technologicznych na zagrożenia tępaniami pokładowymi. Kwartalnik AGH Górnictwo z.2, Kraków 1988 r.
- [129] Zorychta A.: Tępania jako zjawisko utraty stateczności. Materiały Konferencji pt. Nowoczesne metody oceny stanu zagrożenia i zwalczania tępań. GIG, Katowice 1989 r.
- [130] Zuberek W.: Badania nad tępaniami w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. Przegląd Górniczy nr 3/1977 r.

**Tablice określające wartości ciśnień w
modelach pokładów w momencie tąpnięcia
eksplozyjnego do modelu przodka
ścianowego**

Tablica 2.1

Ciśnienia w modelach pokładu 510 Katowice, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego bez obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $P_{z_n} = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $P_{z_{max}}$ m
	a	b	c	średnie $P_{z_{n,śr}}$ MPa	maksymalne $P_{z_{n,max}}$ MPa	dla $y=0,35$ MPa	
1	-408,118	240,590	10,5	35,9	46,0	44,0	0,295
1	-525,740	331,314	0	36,5	52,2	51,2	0,315
1	-426,536	325,179	0	39,4	62,0	61,6	0,381
2	318,533	226,886	10,5	37,1	51,0	51,0	0,356
2	-320,201	287,944	0	37,3	64,7	61,6	0,450
2	-300,990	291,312	0	38,6	70,5	65,1	0,484
3	-330,520	233,607	10,5	37,8	51,8	51,8	0,353
3	-509,724	337,063	0	38,1	55,7	55,4	0,331
3	-357,756	310,769	0	39,7	67,5	64,9	0,434
4	-584,840	289,012	10,5	37,1	46,2	40,1	0,247
4	-644,081	366,444	0	37,8	52,1	48,9	0,284
4	-589,683	361,276	0	39,1	55,3	53,7	0,306
5	-504,100	256,113	10,5	34,7	43,0	38,2	0,254
5	-531,343	330,332	0	36,1	51,3	50,1	0,311
5	-549,686	356,525	0	39,9	57,8	57,2	0,324
6	-580,844	286,772	10,5	36,9	45,9	39,8	0,247
6	-402,575	305,853	0	37,0	57,5	58,1	0,380
6	-276,182	292,720	0	39,9	77,6	68,6	0,530
7	-304,125	229,412	10,5	38,2	53,8	53,5	0,377
7	-542,509	346,020	0	38,3	55,2	54,3	0,319
7	-336,971	024,649	0	39,1	68,0	64,7	0,449
8	-584,019	297,978	10,5	38,7	48,5	42,8	0,255
8	-628,058	375,135	0	39,9	56,0	53,7	0,299
8	-516,080	356,534	0	41,3	61,6	61,6	0,345

Tablica Z.2

Ciśnienia w modelach pokładu 510 Zabrze, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego bez obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $P_{z_n} = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $P_{z_{max}}$ m
	a	b	c	średnie $P_{z_{sr}}$ MPa	maksymalne $P_{z_{max}}$ MPa	dla $y=0,35$ MPa	
1	-246,506	195,763	9,0	33,1	47,9	47,3	0,397
1	-413,802	295,062	0	34,7	52,6	52,6	0,357
1	-216,255	256,172	0	35,9	75,9	63,2	0,592
2	-206,517	188,069	9,0	33,4	51,8	49,5	0,455
2	-452,184	305,978	0	35,0	51,8	51,6	0,338
2	-309,795	289,768	0	38,0	67,8	63,5	0,468
3	-422,407	253,151	9,0	36,0	46,9	45,1	0,300
3	-634,482	365,186	0	37,9	52,5	49,4	0,288
3	-368,956	313,746	0	39,4	65,8	63,9	0,422
4	-631,901	316,414	9,0	38,5	48,6	41,9	0,250
4	-880,784	427,878	0	38,9	52,0	43,6	0,243
4	-672,837	387,871	0	40,3	55,9	52,5	0,288
5	-764,778	269,250	9,0	37,1	48,0	45,3	0,290
5	-474,543	325,585	0	37,5	55,8	55,8	0,343
5	-433,746	320,974	0	38,4	59,4	59,2	0,370
6	-613,511	310,815	9,0	38,3	48,4	42,0	0,253
6	-671,250	382,267	0	39,4	54,4	50,8	0,285
6	-652,846	382,553	0	40,2	56,0	53,1	0,293

Tablica Z.3

Ciśnienia w modelach pokładu 501 Makoszowy, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego bez obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $p_{z_m} = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $p_{z_{max}}$ m
	a	b	c	średnie $p_{z_{śr}}$ MPa	maksymalne $p_{z_{max}}$ MPa	dla $y=0,35$ MPa	
1	-626,649	292,707	9,5	35,1	43,7	36,6	0,234
1	-490,559	319,837	0	35,9	52,1	51,7	0,326
1	-302,611	282,205	0	37,0	65,8	61,7	0,466
2	-685,817	311,743	9,5	36,0	44,9	36,8	0,227
2	-584,914	347,408	0	36,9	51,6	49,4	0,297
2	-268,204	282,355	0	37,0	65,8	61,7	0,526
3	-488,290	264,027	9,5	35,7	45,2	41,4	0,270
3	-618,493	359,167	0	36,9	51,9	49,4	0,290
3	-309,795	289,768	0	37,0	65,8	61,7	0,468
4	-384,357	226,371	9,5	35,7	42,8	41,1	0,294
4	-410,580	304,449	0	36,9	51,6	49,4	0,371
4	-388,153	314,262	0	37,0	63,6	62,4	0,405
5	-720,190	326,303	9,5	37,1	46,5	37,9	0,227
5	-722,453	385,054	0	36,9	51,6	49,4	0,266
5	-456,126	331,755	0	37,0	63,6	62,4	0,364
6	-796,174	339,450	9,5	36,3	45,7	35,7	0,213
6	-740,864	381,827	0	36,9	51,6	49,4	0,258
6	-435,341	323,635	0	37,0	63,6	62,4	0,372

Tablica Z.4

Ciśnienia nad modelami pokładu 510 Katowice, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $P_{zn} = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla P_{znmax} m
	a	b	c	średnie $P_{znśr}$ MPa	maksymalne P_{znmax} MPa	dla $y=0,45$ MPa	
9	-266,057	229,882	0,42	44,0	50,1	49,9	0,432
9	-197,115	217,629	0,49	46,5	60,6	58,5	0,552
9	-121,188	196,309	0,57	47,1	80,1	64,4	0,810
10	-185,463	206,496	0,45	44,3	57,9	55,8	0,557
10	-115,481	194,320	0,49	46,9	82,2	64,6	0,841
10	-82,841	185,666	0,62	47,4	104,7	67,4	1,121
11	-277,056	242,931	0,50	46,9	53,8	53,7	0,438
11	-245,783	233,163	0,56	46,9	55,9	55,7	0,474
11	-196,352	218,416	0,67	47,1	61,4	59,2	0,556
12	-183,594	204,050	0,59	43,9	57,3	55,2	0,556
12	-117,432	185,333	0,69	44,4	73,8	60,3	0,789
12	-81,830	176,176	0,76	44,9	95,6	63,5	1,076
13	-251,025	225,263	0,56	44,1	51,1	51,1	0,449
13	-199,398	209,976	0,59	44,2	55,9	54,7	0,527
13	-99,600	179,909	0,64	44,2	55,9	54,7	0,903
14	-265,299	233,039	0,60	45,2	51,8	51,7	0,439
14	-248,843	229,029	0,64	45,5	53,3	53,3	0,460
14	-158,816	203,937	0,71	46,2	66,2	60,3	0,642
15	-213,336	214,641	0,73	44,6	54,7	54,1	0,503
15	-166,152	200,030	0,77	44,5	61,0	57,1	0,602
15	-132,914	193,481	0,79	45,5	71,2	60,9	0,728
16	-252,969	234,298	0,75	45,5	71,2	60,9	0,463
16	-190,869	217,975	0,79	47,6	63,0	60,2	0,571
16	-124,539	198,216	0,86	47,7	49,7	64,8	0,796

Tablica Z.5

Ciśnienia nad modelami pokładu 510 Zabrze, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $P_z = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $P_{z,max}$ m
	a	b	c	średnie $P_{z,śr}$ MPa	maksymalne $P_{z,max}$ MPa	dla $y=0,45$ MPa	
7	-221,979	229,347	0,38	47,6	59,6	58,6	0,517
7	-180,394	217,215	0,48	47,8	65,9	61,7	0,602
7	-130,577	201,380	0,68	47,8	78,3	64,9	0,771
8	-240,387	224,805	0,38	44,7	52,9	52,9	0,468
8	-197,487	213,384	0,40	45,1	58,0	56,4	0,540
8	-163,033	203,066	0,52	45,3	63,8	58,9	0,623
9	-247,761	234,684	0,60	47,2	56,2	56,0	0,474
9	-216,657	226,551	0,69	47,7	59,9	58,8	0,523
9	-161,422	214,611	0,80	49,2	72,2	64,8	0,665
10	-268,437	237,547	0,69	46,4	53,2	53,2	0,442
10	-194,768	220,511	0,70	47,8	63,1	60,5	0,566
10	-99,200	193,446	0,68	48,5	95,2	67,8	0,975
11	-119,025	186,359	0,82	44,7	73,8	60,6	0,783
11	-104,488	182,337	0,89	44,9	80,4	61,8	0,873
11	-101,377	187,468	0,96	46,7	87,6	64,8	0,925
12	-227,868	215,857	0,82	43,8	51,9	51,8	0,474
12	-186,672	205,564	0,99	44,6	57,6	55,7	0,551
12	-98,140	185,978	1,01	46,6	89,1	64,8	0,948
13	-273,327	241,595	0,78	47,2	54,2	54,1	0,442
13	-192,892	215,695	0,84	46,8	61,1	58,4	0,559
13	-139,069	198,841	0,95	46,7	72,0	62,3	0,715

Tablica Z.6

Ciśnienia nad modelami pokładu 501 Makoszowy, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy

Nr mod. pokł.	Współczynniki paraboli $P_{z_{\max}} = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $P_{z_{\max}}$ m
	a	b	c	średnie $P_{z_{\max}} \leq r$ MPa	maksymal- ne $P_{z_{\max}}$ MPa	dla $y=0,45$ MPa	
7	-237,538	225,154	0,50	45,2	53,9	53,8	0,474
7	-171,645	204,619	0,65	45,2	61,6	58,0	0,596
7	-113,653	186,454	0,80	45,2	77,3	61,7	0,820
8	-262,026	239,339	0,48	47,2	55,1	55,1	0,457
8	-166,672	210,108	0,70	47,3	66,9	61,5	0,630
8	-92,821	186,262	0,84	47,0	94,3	65,9	1,003
9	-262,359	240,396	0,70	47,7	55,8	55,8	0,458
9	-156,141	207,698	0,86	47,7	69,9	62,7	0,665
9	-103,802	192,201	0,92	47,8	89,9	66,4	0,926
10	-209,776	215,807	0,72	45,2	56,2	55,3	0,514
10	-143,516	201,729	0,80	47,0	71,7	62,5	0,703
10	-100,079	194,104	0,88	48,6	95,0	68,0	0,970
11	-218,903	225,660	0,78	47,3	58,9	58,0	0,515
11	-120,480	197,008	0,92	47,8	81,5	65,2	0,818
11	-77,247	183,227	1,20	47,9	109,9	68,0	1,186
12	-228,338	227,524	0,90	47,2	57,6	57,1	0,498
12	-162,067	209,298	0,98	47,8	68,6	62,4	0,646
12	-97,766	189,630	1,10	47,8	93,1	66,6	0,970

Tablica Z.7

Ciśnienia w modelach pokładu 510 Katowice, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $P_z = ay^2 - by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $P_{z_{max}}$ m
	a	b	c	średnie $P_{z_{sr}}$ MPa	maksymalne $P_{z_{max}}$ MPa	dla $y=0,45$ MPa	
9	-962,148	356,200	21,0	44,0	54,0	35,9	0,185
9	-850,154	344,563	21,0	46,5	55,9	40,1	0,203
9	-663,813	304,101	21,0	47,1	55,8	45,1	0,229
10	-751,818	308,671	21,0	44,3	52,7	39,4	0,205
10	-636,625	296,712	21,0	46,9	55,6	45,5	0,233
10	-571,841	284,444	21,0	47,4	56,4	48,4	0,249
11	-1080,00	400,549	21,0	46,9	58,1	39,4	0,185
11	-998,898	381,323	21,0	46,9	57,4	39,9	0,191
11	-877,338	353,913	21,0	47,1	56,7	71,3	0,202
12	-747,825	305,646	21,0	43,9	52,2	39,0	0,204
12	-587,875	270,948	21,0	44,4	52,2	42,7	0,230
12	-511,095	256,078	21,0	44,9	53,1	46,0	0,251
13	-936,555	351,080	21,0	44,1	53,9	37,4	0,187
13	-800,602	319,920	21,0	44,2	53,0	38,8	0,200
13	-532,695	257,585	21,0	44,3	52,1	44,1	0,242
14	-1009,00	373,951	21,0	45,2	55,7	38,0	0,185
14	-975,724	368,133	21,0	45,5	55,7	38,6	0,189
14	-753,393	319,962	21,0	46,2	55,0	42,0	0,212
15	-858,977	335,370	21,0	44,6	53,7	38,5	0,195
15	-731,023	305,062	21,0	44,5	52,8	40,0	0,209
15	-670,231	296,702	21,0	45,5	53,8	42,5	0,221
16	-1032,00	388,864	21,0	46,8	57,6	39,6	0,188
16	-886,128	358,842	21,0	47,6	57,3	41,9	0,202
16	-714,187	319,483	21,0	47,7	56,7	44,9	0,224

Tablica 2.8

Ciśnienia w modelach pokładu 510 Zabrze, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy

Nr modelu pokładu	Współczynniki paraboli $p_z = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $p_z = \max$ m
	a	b	c	Średnie $p_z = \bar{p}$ MPa	maksymalne $p_z = \max$ MPa	dla $y=0,45$ MPa	
7	-1087,00	423,127	0,38	47,6	59,2	40,6	0,195
7	-987,481	401,301	0,48	47,8	58,8	41,9	0,203
7	-867,523	373,317	0,68	47,8	58,2	43,7	0,215
8	-1055,00	399,180	0,38	44,7	55,7	37,6	0,189
8	-952,328	377,663	0,40	45,1	55,4	39,0	0,198
8	-872,354	359,922	0,52	45,3	55,1	40,2	0,206
9	-1163,00	438,684	0,60	47,2	59,4	39,5	0,189
9	-1099,00	426,220	0,69	47,7	59,3	40,5	0,194
9	-1005,00	413,316	0,80	49,2	60,5	43,5	0,206
10	-1203,00	443,141	0,69	46,4	58,8	38,4	0,184
10	-1044,00	414,482	0,70	47,8	59,1	41,3	0,198
10	-817,131	365,486	0,68	48,5	58,9	45,7	0,224
11	-758,802	329,834	0,82	44,7	53,8	41,2	0,217
11	-730,010	324,197	0,89	44,9	54,0	42,0	0,222
11	-778,768	346,136	0,96	46,7	56,5	43,8	0,222
12	-1031,00	388,036	0,82	43,8	54,5	36,8	0,188
12	-954,735	374,987	0,99	44,6	54,8	38,3	0,196
12	-771,572	343,966	1,01	44,6	56,3	43,8	0,223
13	-1248,00	458,525	0,78	47,2	60,1	39,0	0,184
13	-1021,00	403,057	0,84	46,8	57,8	40,2	0,197
13	-881,133	370,049	0,95	46,8	56,9	41,9	0,210

Tablica Z.9

Ciśnienia w modelach pokładu 501 Makoszowy, w momencie tąpnięcia eksplozyjnego do modelu przodka ścianowego z modelem hydraulicznej obudowy

Nr mod. pokł.	Współczynniki paraboli $p_{z,z} = ay^2 + by + c$			Ciśnienie pionowe			y dla $p_{z,z_{max}}$ m
	a	b	c	średnie $p_{z,z_{\text{śr}}}$ MPa	maksymalne $p_{z,z_{max}}$ MPa	dla $y=0,45$ MPa	
7	-1023,00	388,646	0,50	45,2	55,9	38,7	0,190
7	-853,765	349,118	0,65	45,2	54,7	40,3	0,204
7	-706,617	314,627	0,80	45,1	54,0	42,7	0,223
8	-1142,00	427,810	0,48	47,2	59,1	39,9	0,187
8	-902,521	372,430	0,70	47,3	57,4	42,3	0,206
8	-703,395	324,210	0,84	47,0	56,4	45,5	0,230
9	-1177,00	439,036	0,70	47,7	60,0	40,3	0,187
9	-898,517	373,916	0,86	47,7	57,9	42,9	0,208
9	-764,162	343,358	0,92	47,8	57,6	45,5	0,225
10	-964,126	374,962	0,72	45,2	55,5	39,2	0,194
10	-839,347	356,057	0,80	47,0	56,8	42,9	0,212
10	-773,748	350,304	0,88	48,6	58,7	46,5	0,226
11	-1054,00	408,082	0,73	47,3	58,5	40,8	0,194
11	-808,147	353,292	0,92	47,3	57,6	44,5	0,219
11	-716,178	332,556	1,20	47,9	57,6	46,2	0,232
12	-1086,00	414,826	0,90	47,2	58,6	40,4	0,191
12	-927,395	381,220	0,98	47,8	58,2	42,7	0,206
12	-762,562	343,050	1,10	47,8	57,6	45,5	0,225

TĄPANIA EKSPLOZYJNE DO PRZODKA ŚCIANOWEGO W MODELACH POKŁADU WĘGLA W ŚWIETLE BADAŃ LABORATORYJNYCH

STRESZCZENIE

Tąpania występujące w kopalniach węgla kamiennego są przez wielu badaczy poddawane opisowi analitycznemu oraz analizie przyczyn ich powstawania, na podstawie badań laboratoryjnych własności materiału pokładu i skał go otaczających.

W pracy dokonano oceny badań wskaźników skłonności węgla i skał do tąpań oraz przedstawiono opracowaną przez autora hipotezę występowania zjawiska tąpania materiału węglowego, według której przestrzeń naprężeń jest podzielona za pomocą torusa parabolicznego (2.30) na obszar występowania i niewystępowania zjawiska tąpania (2.12).

Wnioski wypływające z badań zjawiska tąpania materiału węglowego oraz obserwacje zachowań przodków ścianowych w tąpnięciach pokładach węgla pozwoliły stwierdzić, że:

- tąpania eksplozyjne występują zarówno do przodków ścianowych, jak i chodnikowych,
- możliwość wystąpienia tąpnięcia jest związana ze spiętrzeniem naprężeń pionowych w pokładzie węgla,
- na możliwość wystąpienia tąpnięcia ma wpływ rodzaj obudowy wyrobiska, sposób jej zabudowy i wielkości jej podporności.

Na podstawie powyższych stwierdzeń postawiono tezę pracy: "tąpania eksplozyjne do wyrobisk ścianowych są związane ze stanem naprężenia w pokładzie węglowym i zachowaniem się górotworu wpływającym na stan ciśnienia w pokładzie oraz wielkością podporności obudowy".

W celu udowodnienia tej tezy opracowano metodę badań tąpań modelu pokładu węgla w warunkach podobnych do znajdujących się w pobliżu czoła przodka ścianowego (rys.3.1). Metoda pozwala udowodnić, że mechanizm inicjacji zjawiska tąpania materiału węglowego i związana

z nim hipotezą są adekwatne do tępań eksplozyjnych modelu pokładu oraz w pokładzie w pobliżu wyrobisk górniczych, zarówno co do mechanizmu inicjacji, jak też warunków koniecznych do wystąpienia tępnięcia, tj.:

- wielkości ciśnienia pionowego,
- konieczności zmniejszania jednej ze składowych poziomych ciśnień (i tym samym odkształcenia).

W tym celu zbudowano stanowisko badawcze (rys.3.3) i przygotowano modele (rys.3.2) z pokładów 510 KWK Katowice, 510 KWK Zabrze i 501 KWK Makoszowy. Następnie poddano je obciążeniu według zależności (3.1), (3.2) i (3.3), aż do wystąpienia tępnięcia modelu. Badania tępań modelu pokładu prowadzono bez modelu obudowy (rys.3.2) i z modelem hydraulicznej obudowy zmechanizowanej (rys.3.6).

Podczas prowadzenia badań wyznaczono wartość wypadkowej obciążenia, wypadkowej i jej współrzędnej, przy których wystąpiły pierwsze, drugie i trzecie tępnięcia badanych modeli i przedstawiono je w tablicach 3.2 ÷ 3.7.

Przyjęto, że w wyniku obciążenia pionowego modelu pokładu węgla występuje w nim rozkład ciśnienia pionowego wg wzoru (3.9). Parametry a , b , c równania określonego wzorem (3.9) wyznaczono rozwiązując równania (3.10), (3.11) i (3.12). Wyznaczone rozkłady ciśnienia pionowego w momencie tępnięcia (rys.3.10 ÷ 3.20) mają przy pierwszym tępnięciu maksymalną wartość ciśnienia pionowego w zakresie wybiegu modelu pokładu, zaś przy następnych tępnięciach ta wartość oddala się od czoła modelu pokładu węgla.

Wartości maksymalnego ciśnienia pionowego, przy którym wystąpiły tępnięcia modelu pokładu, są w stosunku do ciśnienia naturalnego 2,3 ÷ 3,6 raza większe, gdy model pokładu występuje bez modelu obudowy i 3,0 ÷ 5,2 raza większe, gdy zainstalowany jest model obudowy hydraulicznej.

Przeprowadzone obliczenia energii zjawiska tępnięcia materiału węglowego na próbkach 50x50x50 mm i porównanie ich z energią tępnięcia eksplozyjnego pokładu węgla pozwoliły wyznaczyć wielkość objętości węgla w pokładzie potrzebnego do wystąpienia tępnięcia o określonej energii.

Korzystając z podobieństwa między tępnięciami modelu a tępnięciami eksplozyjnymi w pokładzie węgla w zakresie mechanizmu inicjacji zjawiska tępnięcia oraz warunków koniecznych do występowania tępnięcia, wyznaczono rozkład ciśnienia w pokładzie, przy którym można się go spodziewać. Wyznaczona wartość krytyczna tego ciśnienia (w świetle badań laboratoryjnych) może być wykorzystana do prognozowania tępań eksplozyjnych w pokładzie.

Porównanie wartości ciśnienia pionowego, przy którym występuje zjawisko tapania, z wielkością pionowego ciśnienia maksymalnego związanego z tapaniami eksplozywnymi pozwala stwierdzić, że są podobne.

EXPLOSIVE CRUMPS INTO LONGWALL ON COAL BED MODELS
TESTED IN LABORATORY EXPERIMENTS

SUMMARY

The crumps occurring in hard coal mines have been described analytically and some reasons of their origination have been analyzed on the base of laboratory tests of material properties of the coal bed and rocks surrounding it, by many research workers.

The testings of the coal and rocks crumpability indices are estimated and the hypothesis for the crump phenomenon occurrence in the coal material, worked by the author are presented, in this research. According to the hypothesis, the space of crumps is divided into a zone, where the crump phenomenon occurs and an other zone where it does not (see Fig.2.12), by means of a parabolic torus (see Fig.2.30).

The conclusions resulting from the studies of the crump phenomenon of coal material as well as observation of longwall reactions in coal beds allow to state that:

- explosive crumps occur into longwalls as well as endgates,
- crump occurrence possibility is connected with the vertical stress concentrations in coal bed,
- crump occurrence possibility is influenced by the kind of lining in heading, way of building in of the lining and supportability of the lining.

On the base of the above statements, the following thesis of this work is submitted:

"the explosive crumps into the longwalls are connected with the state of stress in a coal bed and reactions of rock mass affecting the state of pressure in a coal bed as well as the value of supportability of the lining".

In order to prove this thesis, a research method for crumps of

a coal bed model under conditions similar to those near the head of a longwall (see Fig.3.1), was worked out. The method allows to prove that the initiation mechanism of the crump phenomenon of a coal material and the hypothesis connected with it, are adequate to the crumps of the coal bed model as well as adequate to the explosive crumps in a coal bed near the headings in the range of the initiation mechanism as well as the conditions necessary for that the occurrence of crumps that is:

- vertical pressure value,
- necessity to decrease one of the horizontal components of pressure (and thus to increase the state of strain).

To carry out the appropriate experiments, a test stand (see Fig. 3.3) was built and models of the following real coal beds (see Fig.3.2) were prepared: 510 Katowice, 510 Zabrze, 501 Makoszowy.

Then they were loaded in accordance with the dependence shown in (3.1), (3.2) and (3.3) till the moment when a crump of the model occurred. The crump tests of a model were carried out without a lining (see Fig.3.2) and together with a model of hydraulic mechanized lining (see Fig.3.6).

During those tests, the values of the vertical load resultant (3.5) and its coordinate (3.8) were determined. Values of the vertical load force, resultant and its coordinate, at which the first, second and third crumps occurred, are shown in Tables 3.2 to 3.7.

It was assumed that the vertical pressure distribution according to formula (3.9) occurs in the coal bed model as a result of the vertical load on it. Parameters a, b, c , of the equation expressed by formula (3.9) are evaluated solving equations (3.10), (3.11) and (3.12).

The predetermined vertical pressure distribution at the crump moment (see Fig.3.10 to 3.20) has its maximum values of vertical pressure at the first crump in the range of coal bed model corresponding to the longwall portion under the winning, while during the next crumps the location of this value moves away from the head of the coal bed model.

The maximum vertical pressure values, at which the crumps of coal bed model occurred, are 2.3 to 3.6 times bigger as compared to the natural pressure in a coal bed when the coal bed model is without a lining and 3.0 to 5.2 times bigger when the hydraulic lining model is built-in.

Evaluations of the crump phenomenon energy for coal material were done for specimens sized 50x50x50 mm, and a comparison them with

the explosive crump energy of the coal bed, made it of possible to determine the value of the coal volume in a coal bed, which is necessary for the occurrence of a crump of predetermined energy (4.21).

Using the similarity between the crumps of a model and the explosive crumps in a coal bed, in the scope of the initiation mechanism of the crump phenomenon as well as the conditions necessary for crump occurrence, the pressure distribution in a coal bed, at which the crump can be expected, was determined. The critical pressure value determined in this procedure can be used to forecast the explosive crumps in a coal bed.

Considering the results obtained on the test models, the first crump in real coal beds can be expected at the following vertical pressure: 510 Katowice - approximately 50 MPa, 510 Zabrze - app. 60 MPa and 501 Makoszowy 510 - app. 55 MPa. The second and further crumps can be anticipated at pressure values about 20% higher than those given above.

A comparison of the vertical pressure value at which the crump phenomenon occurs and the maximum pressure value connected with the explosive crumps, allows to state that they have similar values (Table 5.6).

Взрывные горные удары в сторону забоя в образцах угольного пласта на основании лабораторных исследований

Резюме

Горные удары, выступающие в шахтах каменного угля, исследуются многими учёными и подвергаются аналитическим описаниям и анализу причин их возникновения на основании лабораторных исследований свойства вещества угольного пласта и окружающих его пород. В диссертации приводятся результаты исследований предрасположений угля и породы к горным ударам и представлено разработанную автором гипотезу относительно выступления явления горных ударов угольного вещества, суть которой заключается в том, что пространство напряжений разделяется с помощью параболического торуса (2.30) на зону действия горных ударов и зону без выступления горных ударов.

Выводы вытекающие из исследования явлений горных ударов угольного вещества и наблюдение за поведением забоя в ударных пластах угля позволяют утверждать, что:

- взрывные горные удары выступают и в сторону забоя и в сторону призабойного штрека,
- возможность появления горного удара связана с накоплением напряжений по вертикали в угольном пласте,
- на возможность возникновения горных ударов влияет тип крепи в выработке, способ её установки в пласте и величина её выдержки на нагрузку.

На основании выше сказанного сформулировано тезис работы: "Взрывные горные удары в сторону выработки связаны с напряжённым состоянием угольного пласта (и поведением массива в зоне влияния на состояние давления в пласте и величиной опорности крепи)".

Для доказательства этого тезиса разработано метод исследования горных ударов в образце угольного пласта в условиях сходных с существующими в торце забоя (рис.3.1.). Этот метод доказывает, что

механизм инициатора горного удара угольного вещества и связанной с ним гипотезы сходный со взрывными горными ударами в образце угольного пласта и в самом пласте вблизи горных выработок в отношении и до механизма инициатора и до условий вызывающих горные удары т.е:

- величины вертикального давления
- необходимость уменьшения одной из составных горизонталей давления (в том и деформации).

Для этой цели устроено лабораторный пункт (рис.3.3) и приготовлено модели (рис.3.2) из пластов 510 шахты "Катовице", 510 шахты "Забже" и 501 шахты "Макошовы". Постом они были подвергнуты нагрузке по зависимости (3.1), (3.2) и (3.3) вплоть до выступления горных ударов в образце.

Исследования ударов образца пласта велись без модели крепи (рис.3.2) и с моделью гидравлической механизированной крепи.

Во время опытов определено значение результирующей вертикальной нагрузки и её координаты. Схема 3.2-3.7 представляет величину результирующей нагрузки и её координаты, при которых возникл первый, второй и третий горный удар в исследуемых образцах.

Принято, что в результате вертикальной нагрузки на образец угольного пласта, выступает в нём распределение вертикального давления по формуле (3.9). Параметры a, b, c , уравнения изображенного формулой (3.9) определено решая уравнение (3.10, 3.11 и 3.12). Обозначенное распределение вертикального давления во время горного удара (рис.3.10-3.20) имеет при первом ударе максимальную величину давления на целой длине угольного пласта, а в последующих горных ударах эта величина давления уменьшается по мере удаления от торца модели угольного пласта.

Величина максимального вертикального давления, при которой выступили горные удары в пласте в отношении к естественному давлению на 2,3-3,6 раза больше в образце угольного пласта без модели крепи и на 3.0-5,2 раза больше с моделью гидравлической крепи.

Проведенные вычисления энергий горных ударов угольного вещества на образцах 50x50x50 мм и сравнение их с энергией взрывных горных ударов угольного вещества даёт возможность определить в пласте объём угля необходимого для выступления ударов с соответствующей энергией.

Пользуясь сходством между горными ударами в образцах и взрывными горными ударами в угольном пласте в сфере механизма инициатора явления горных ударов и условий необходимых для их возникновения

обозначено распределение давления в угольном пласте, при котором могут они появиться. Обозначенный предел этого давления (на основании лабораторных исследований) можно использовать для прогнозирования взрывных горных ударов в угольном пласте.

Сравнение величины вертикального давления, при котором выступают горные удары, с величиной предельного вертикального давления, связанного со взрывными горными ударами - свидетельствует об их сходстве.

