ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

KAZIMIERZ STOINSKI

WYBRANE PROBLEMY WSPÓŁPRACY OBUDOWY WYROBISK Górniczych z górotworem w Wabunkach obciążeń Dynamicznych – tąpań

GÓRNICTWO

Z. 171 GLIWICE 1988

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

dal al

Nr 959

- Mgr Elshiela Stime, 494

KAZIMIERZ STOIŃSKI

-

WYBRANE PROBLEMY WSPÓŁPRACY OBUDOWY WYROBISK GÓRNICZYCH Z GÓROTWOREM W WARUNKACH OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH – TĄPAŃ

	Talala.	using porport of interesting being and the second	
		Onisitence eranstinging characterising creatinging	
		harpenyki dynamienna stalowry odromiawy shudowy 1999) racerectronicorrectorrectorrectorrectorrector	
		Model 1 selements opistice princip prochase of-	
		Medal 1 maladania spielics afters offer a tala-	
		anners a company and an entrance contracted where-	
		Belanne a Laboration angle and and a second a second a second and a second	
		ale aces supplying theiry a pictures	
		A second second second second and second sec	eninto eninto
	GLIV	VICE 1988	
	amera .		

OPINIODAWCY

Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka Prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

Nr. 959

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR	NACZELNY
REDAKTOR	DZIAŁU
SEKRETARZ	REDAKCJI

Prof. dr hab. inż. Jan Węgrzyn
Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek

DAKCJI — Mgr Elżbieta Stinzing

KAZIMBER STORSEL

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Mgr Roma Łoś

WYBRANE PROBLEMY WSPÓŁPRACY OBUDOWY WYROBISE GÓRNICZYCH Z GÓROTWOREM W WARUNKACH OBCLĄŻEN DYNAMICZNYCH – TĄPAN

> Wydano za zgodą Rektora Politechniki Śląskiej

> > PL ISSN 0372-9508

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

 Nakl. 170-185
 Ark. wyd. 7,5
 Ark. druk. 6,375
 Papter offsetowy kl. 11,76x100,70g

 Oddano do druku 28.06.88
 Podpis. do druku 19.03.88
 Druk ukończ. we wrześniu 1988

 Zam. 495188
 C-24
 Cena zł 150,-

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

SPIS TREŚCI

C extent of the property of the second state o	'Str.
wykaz głównych oznaczeń	7
1. WSTEP	11
2. WPROWADZENIE W TEMATYKĘ, CEL I TEZA PRACY 4	13
3. ZJAWISKA DYNAMICZNE W GÓROTWORZE	17
4. MODELE OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH OBUDOWY GORNICZEJ PRZYJĘTE DLA WSTRZĄSÓW	. 22
5. CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE OBUDÓW WYZNACZONE METODAMI ANALI- TYCZNYMI	29
5.1. Charakterystyki dynamiczne obudow ścianowych	31
5.1.1. Model matematyczny podpory hydraulicznej dla dy- skretnego rozłożenia masy i spreżystości	33
5.1.2. Model matematyczny zaworu	37
5.1.3. Zależność analityczna opisująca model podpory jed- noteleskopowej bez zaworu obciążonej udarem masy	39
5.1.4. Zależność analityczna opisująca model podpory jed- noteleskopowej z zaworem, obciążonej udarem masy	42
 5.1.5. Obliczone charakterystyki dynamiczne stojaka SHC-40 oraz podpory E 3-4 obudowy Voest Alpine 	48
5.1.6. Omówienie wyznaczonych charakterystyk dynamicznych stojaków i podpór	56
5.2. Charakterystyki dynamiczne stalowej odrzwiowej obudowy chodnikowej	57
5.2.1. Model i zależności opisujące zginanie prostego od- cinka kształtownika obciążonego udarem masy	59
5.2.2. Model i zależności .opisujące złącze odrzwi stalo- wych przy obciążeniu udarem masy	63
5.2.3. Omówienie wyznaczonych charakterystyk dynamicznych	70
6. WSPÓŁPRACA OBUDOWY Z GÓROTWOREM DLA WARUNKÓW OBCIĄŻEŃ WYNIKA- JĄCYCH ZE WSTRZĄSÓW GÓRNICZYCH	72
6.1. Obudowa ścianowa z indywidualnych stojakow hydraulicznych typ SHC-40	72
6.2. Stalowa odrzwiowa obudowa chednikowa	81
6.3. Omówienie ocen współpracy obudowy z górotworem	84
7. STABILNOŚĆ UKŁADU GÓROTWÓR - OBUDOWA	86
8. PODSUMOWANIE PRACY I WNIOSKI	91
LITERATURA	93
STRESZCZENTA	99

Содержание

CTP.

СПИСОК ГЛАВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	7
1. ВСТУПЛЕНИЕ	11
2. ВВЕДЕНИЕ В ТЕМАТИКУ, ЦЕЛЬ И ТЕЗИС РАБОТН	13
3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ГОРООЕРАЗОВАНИИ	17
4. МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ГОРНЫХ КРЕПЕЙ, ПРИНЯТЫЕ ДЛЯ СОСТРЯ- СЕНИЙ	22
5. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕПЛЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕС- КИМИ МЕТОДАМИ	29
5.1. Динамические характеристики жавовых креплений	31
5.1.1. Математическая модель гидравлической опоры в случае дискретного распределения массы и упрогости	33
5.1.2. Математическая модель клапана	34
5.1.3. Аналитическая зависниость описывающая модель одно- телескопной опоры без клапана, Нагруженной ударной массой	39
5.1.4. Аналитическая зависимость описывающая модель одно- телескопной опоры с клапаном, нагруженной ударной	40
5.1.5. Расчитанные динамические характеристики стояка SHC-40 и опору 5.3-4 крени Ворст Акриче	42
5.1.6. Анализ полученых динамических характеристик стоя- ков и опор	56
5 0 T	00
5,2. динамические жарактеристики стального крепления древными окладами в штреке	57
5.2.1. Модель и зависимости описывающие изгиб простого сортового проката загруженного ударной массой	59
5.2.2. Модель и зависимости описывающие соединение стальных дверей при загрузке ударной массой	63
5.2.3. Анализ полученных динамических характеристик	70
6. СОДЕЙСТВИЕ КРЕПЛЕНИЯ С ГОРООБРАЗОВАНИЕМ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАГРУЗКИ ВОЗНИКАКЩЕЙ ИЗ-ЗА горных сотрясений	72
6.1. Лавовое крепление из индивидуальных гидравлических стояков типа SHC-40	72
6.2. Штрековое стальное крепление дверными окладами	81
6.3. Акализ оценок содействия крепления с горообразованием	84
7. СТАБИЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ГОРООБРАЗОВАНИЕ - КРЕПЛЕНИЕ	86
8. ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ РАБОТН	91
литература	93
PE3KME	99

CONTENTS

	rage
MAIN SYMBOLS	7
1. INTRODUCTION	11
2. PRELIMINARIES, GOAL AND THESIS	13
3. DYNAMIC PHENOMENA IN A GROUND	17
4. MODELS OF DYNAMIC STRESSES OF MINING LINGES ASSUNGS FOR SHOCKS	22
E DYNAMTC CUADACOPEDISTING OF UTANTINGS ASSIGNED ANALITTICALLY	29
J. DINARIC CHARACTERISTICS OF HEADINGS ADDIGNED ANADITICALLY	27
5.1. Dynamic characteristics of wall linings	31
5.1.1. Mathematical model of hydraulic support for discre- te mass and elasticity distribution	33
5.1.2. Mathematical model of the valve	34
5.1.3. Analytical relation describing onetelescope support model without the valve loaded by a mass stress	39
5.1.4. Analytical relation describing onetelescope support model with the valve loaded by a mass stress	42
5.1.5. Dynamic characteristic of the prop SHC-40 the sup- port E 3-4 of the lining Voest Alpine after calcu-	
lation	, 48
5.1.6. Description of the dynamic characteristics of props and supports	56
5.2. Dynamic characteristics of steeldoor frame lining of heading	57
5.2.1. A model and relations describing behaing of the straight segment of shape loaded by a mass stress	59
5.2.2. Model and relations describing junction of steel	63
5.2.3. Description of dynamic characteristics	70
RESULTING OF MINING SHOCKS	72
6 1 Well lining words of individual hydroullis prome SUC 40	72
6.2 Steel frome door lining of heading	81
6.3 Description of estimates of conneration between lining and	
a ground	84
7. STABILITY OF THE SYSTEM GROUND-LINING	86
8. CONCLUSIONS	91
and a start of the	
CEURENCES ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	95
SUMMARIES	99

A

A1 40

At a q1 as B C C1

02

E Es Eu F F F F F F F Z

1 1g 1w G

g H

The second secon
TT
The local distance was not the second of the second s
PLA monormanic mpoliticity of an in superior with Almorth -Lots.
Anterna appresidation - and income and the or description - and a line of
- and and approximately and the same special contraction of the
12
an and the second division of the second
2
Alexandra Alexandra and a second and a secon

1.1

WYKAZ GŁÓWNYCH OZNACZEŃ

	- amplituda drgań górotworu, m
	- macierz współczynników
÷ A2	- powierzchnia odpowiednio: tłoczyska, cylindra pierwszego, cylindra drugiego, m ²
	- przekrój tłoka, m ²
	- przyspieszenie, ms ⁻²
÷ a _n	- współczynniki obliczeniowe
	- parametr określający bieg ściany
	- moduł ściśliwości cieczy, Nm ⁻²
	- pojemność elektryczna, F
$rac{1}{k_1}$	 pojemność elektryczna odpowiadająca odwrotności sprężystości tłoczyska
$rac{1}{k_2}$	 pojemność elektryczna odpowiadająca odwrotności sprężystości cieczy hydraulicznej teleskopu drugiego
	- moduł sprężystości stali, Nm ⁻²
	- energia sejsmiczna, J
	- energia udaru masowego, J
	- siła, N
	- siła nacisku na ciecz hydrauliczną, N
	- siła obciążenia wstępnego, N
	- średnia siła nacisku tłoka na ciecz hydrauliczną odpowiadają-
	cą otwarciu lub zawknięciu zaworu, N
	- częstotliwość, Hz
	- częstotliwość drgań górotworu, Hz
	- zwięzłość pokładu
	- wektor
	- przyspieszenie ziemskie, ms ⁻²
	- wektor warunków początkowych

h	- wysokość swobodnego spadku masy, m		Alternate many furgation of same inclusion in an interest and inclusion of the
hz	- zredukowana wysokość swobodnego spadku masy, m		
I	- prąd elektryczny, A		
k	- sprężystość. Nm ⁻¹		meta-metals, making a minimum, a" Fran Solaringheners - 1
k ₁	- sprężystość tłoczyska, Nm ⁻¹		WYKAZ GŁÓWNYCH OZNACZEŃ
k2	– sprężystość cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego, Nm ⁻¹		
k3	- sprężystość cieczy hydraulicznej teleskopu drugiego, Nm ⁻¹	A	- amplituda drgań górotworu, m
L	- indukcyjność elektryczna, H	A	- macierz współczynników
1	- długość, m	A. + A2	- powierzchnia odpowiednio: tłoczyska, cylindra pierwszego,
11	- długość tłoczyska, m		m_{r}
12	- wysokość słupa cieczy teleskopu pierwszego, m	At .	- przysniegzenie ms ⁻²
13	- wysokość słupa cieczy teleskopu drugiego, m	a 0. ± 9	- wonółogunniki obliczeniowe
Ť.	- masa, kg	41 Tan	
^m 1z	- masa zastępcza tłoczyska, kg	as	= parametr okrestający bieg sciany
^m 2z	- masa zastępcza cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego, kg	В	- moduk scisliwosci cieczy, w
^m 2z	- masa zastępcza cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego	C . 1	- pojemnosc elektryczna, r
	z uwzględnieniem masy tłoczyska, kg		- pojemnosć elektryczna odpowiadająca odwrotności spręzystości tłoczyska
n	- stopień, ilość	0 01	- noiemność elektryczna odnowiadająca odwrotności spreżystości
P	- ciánienie, Pa	2 - k2	cieczy hydraulicznej teleskopu drugiego
Pm	- ciśnienie maksymalne, Pa	E	- moduł sprężystości stali, Nm ⁻²
Pn	- ciśnienie minimalne, Pa	E.	- energia sejsmiczna, J
Pw	- ciśnienie wstępne, Pa	E.	- energia udaru masowego, J
Pzo	- ciśnienie otwarcia zaworu, Pa	F	- siła. N
$\mathbf{P}_{\mathbf{z}}$	- średnie ciśnienie zaworu (otwarcia i zamknięcia), Pa	7.	- siła nacisku na ciecz hydrauliczną. N
Pzz	- ciśnienie zawknięcia zaworu, Pa	P	- siża obciażenia wstepnego. N
р	- operator wg Laplacea - Carsona	-W P	- średnie siła nacisku tłoka na ciecz hydrauliczna odpowiadają-
Pz	- głębokość zabioru, m	*2	cą otwarciu lub zamknięciu zaworu, N
Qh	- wypływ objętościowy, m ³ s ⁻¹	1	- częstotliwość, Hz
Qi	- siły uogólnione występujące w układzie fizycznym	f,	- częstotliwość drgań górotworu, Hz
qi	- współrzędne uogólnione występujące w układzie fizycznym	1.	- zwięzłość pokładu
Ŕ	- rezystancja elektryczna, R	6	- wektor
Re	- granica plastyczności materiału cylindra, Pa	g	- przyspieszenie ziemskie, ms ⁻²
Rh	- opór wypływu, Nsm ⁻¹	н	- wektor warunków początkowych

	8 -	- 9 -
		r - iloraz masy bijaka i masy całkowitej
n	- wysokosc swobodnego spadku masy, m	r - promień ogniska wstrząsu, m
hz	- zredukowana wysokość swobodnego spadku masy, m	S – powierzchnie przekroju, m ²
I	- prąd elektryczny, A	5 powierzchnia przekroju tłoczyska, m ²
k	- sprężystość, Nm ⁻¹	T - okres, s
k1	- sprężystość tłoczyska, Nm ⁻¹	t = czas, s
k2	– sprężystość cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego, Nm ⁻¹	t - czas opóźnienia otwarcia zaworu. 5
K3	- sprężystość cieczy hydraulicznej teleskopu drugiego, Nm ⁻¹	t - czes opóźnienie zemkniecje zeworu. S
г	- indukcyjność elektryczna, H	
1	- długość, m	
11	- długość tłoczyska, m	v = predkost, was seen as -1
.12	- wysokość słupa cieczy teleskopu pierwszego, m	- preukosc suwu czoka, ws
13	- wysokość słupa cieczy teleskopu drugiego, m	v - prędkość bijaka (masy) w chwili zetknięcia ze stojakiem ws
-	- masa, kg	Z - Wielkosc zaciskania spowodowana "impulses urabiania", w
⁰⁰ 1z	- masa zastępcza tłoczyska, kg	x - przesunięcie, m
m2=	- masa zastępcza cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego, ka	α - kat nachylenia, rad
m'20	- masa zastępcza cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego	7 - ciężar właściwy cieczy hydraulicznej, Nm -
	z uwzględnieniem masy tłoczyska, kg	T _c – masa właściwa kształtownika, kg m ⁻²
n	- stopień, ilość	△ - względna procentowa odchyłka, %
P	- ciśnienie, Pa	δ(t) - impuls Diraca, s
Pm	- ciśnienie maksymalne, Pa	E - błąd względny procentowy, %
Pn	- ciśnienie minimalne, Pa	E _o - gestość energii sejsmicznej, Jm ⁻²
Pw	- ciśnienie wstępne, Pa	9 - kat przesunięcia, rad
Pzo	- ciśnienie otwarcia zaworu, Pa	5 - współczynnik strat miejscowych
Pz	- średnie ciśnienie zaworu (otwarcia i zawknięcia). Pa	f_{ρ} - gęstość ośrodka, kg m ⁻²
Paa	- ciśnienie zamknięcia zaworu, Pa	б - naprężenie w materiale, Pa
p	- operator wg Laplacea - Carsona	J″ - czas trwania wstrząsu, S
P.,	- głębokość zabioru, m	ϕ - parametr charakteryzujący podebranie pokładu
9	- wypływ objętościowy, m ³ s ⁻¹	Ω - prędkość kątowa drgań górotworu, s ⁻¹
Q.	- sily uogólnione wystepujace w układzie fizycznym	ω - pulsacja własna analogu, s ⁻¹ .
9.	- współrzedne uogólnione wystenujące z ubładzie fizycznym	
R	- rezystancia elektryczne. R	
Re	- granica plastyczności materieżu owlinden De	
R	- ondr workywell Nem-1	
'n.	- For uffrank nom	

1. WSTEP

Obserwowane od lat systematyczne schodzenie z eksploatacją górniczą w niższe pokłady w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym niesie z sobą narastanie zagrożeń naturalnych. Dominującym zagrożeniem są wstrząsy jako wynik działalnośti górniczej. Eksploatacja górnicza powoduje naruszenie równowagi w górotworze, co w konsekwencji może prowadzić do powstawania wstrząsu jako wyniku przyjmowania nowych warunków równowagi. Charakter i natężenie zjawiska zależą od wielu czynników (geologicznych, eksploatacyjnych, stosowanych środków ochronnych), jednak decydującym czynnikiem jest głębokość eksploatacji. Wstrząs oddziałuje na wyrobisko i może powodować uszkodzenie lub zniszczenie obudowy, zmniejszenie przekroju wyrobiska, uszkodzenie znajdujących się tam maszyn i urządzeń, a przede wszystkim zagraża znajdującym się w nim górnikom.

Przeciwdziałanie powstawaniu wstrząsów i minimalizacji ich skutków w wyrobisku górniczym jest istotnym elementem w zwalczaniu tego typu zagrożenia.

Ograniczenie ilości wstrząsów, ich zasięgu i skutków ma znaczenie nie tylko w zakresie bezpieczeństwa załóg górniczych, ale również ekonomicznym, wpływając w sposób istotny na wielkość i koszty wydobycia.

Niedostateczne poznanie mechanizmów powstawania wstrząsów, jego przewidywania, przebiegu oraz oddziaływania na obudowę powoduje, że przeciwdziałania nie są wystarczająco skuteczne w porównaniu do użytych nakładów finansowych, technicznych i organizacyjnych. Krótki czas trwania zjawiska oraz niemożliwy do przewidzenia na obecnym etapie stanu wiedzy moment wystąpienia ogranicza możliwości pomiarowe w wyrobksku, powodując w konsekwencji, że oceny zjawiska dokonuje się najczęściej na podstawie wywołanych skutków. Prowadzenie badań w warunkach kopalni jest niezwykle trudne i wymaga użycia dużych nakładów finansowych, wysoko kwalifikowanej kadry oraz budowy aparatury specjalistycznej.

Badanie obudów wyrobisk kopalnianych pod względem ich odporności na obciążenia dynamiczne, które niesie wstrząs, jest również problemem o dużej komplikacji. Wynika ona z konieczności zbliżenia obciążenia obudowy w stoisku badawczym do rzeczywiście występującego w górotworze.

Sposobem konkurencyjnym dla opisu wstrząsów i ich skutków są metody amalityczne, znacznie tańsze, nie wymagające posiadania aparatury i stoisk bedawczych. Wiarygodność uzyskanych wyników jest jednak znacznie ograniczona, co wynika w głównej mierze z przyjętych modeli oraz założeń obli-

- write errybles, her."

Ŧ.,

czeniowych. Powimo znacznych błędów, które niosą metody analityczne, z powodzeniem mogą one być wykorzystane do opisu ogólnych kierunków i tendencji związanych z dynamiką tak górotworu jak również obudowy. Podejmując próbę opisu wybranych problemów dynamicznych występujących w górotworze oraz współpracujących z nim obudów kopalnianych na podstawie metod analitycznych, pragnę zwrócić na nie uwagę, zwłaszcza że nie wydaje się możliwe aby w resorcie w najbliższych latach zdołano rozbudować bazę badawczą do wymaganego poziomu.

Wstrząs górniczy połączony ze skutkami w wyrobisku kopalnianym nazywamy tąpnięciem. W wyrobiskach kopalnianych rejestruje się każdego roku kilkadziesiąt tąpnięć. W ostatnich latach większość występuje w wyrobiskach korytarzowych oraz w skrzyżowaniach ściana - chodnik. Wyraźnemu zmniejszeniu uległa ilość tąpnięć w ścianach, co jest wynikiem wprowadzania w miejsce obudów indywidualnych obudów zmechanizowanych o znacznie większych podpornościach.

Podstawową obudową wyrobisk korytarzowych jest stalowa obudowa Łukowa. Celem minimalizacji skutków tąpnięć wprowadza się odrzwia o większych wytrzymałościach. Istotnym elementem mającym wpływ na zmniejszenie skutków tąpnięć jest właściwa współpraca obudowy z górotworem. Obudowa powinna zapewniać w czasie tąpnięcia utrzymanie podporności co najmniej na poziomie roboczym i nie dopuszczać do utraty kontaktu ze stropem oraz zaciśnięcia wyrobiska. Górotwór - obudowa powinien być układem stabilnym w czasie trwania tąpnięcia. Realizacja tej zasady wymaga spełnienia przez obudowę szeregu wymagań technicznych, szczególnie w zakresie charakterystyk dynamicznych. Posiadanie przez obudowę optymalnych charakterystyk dynamicznych pozwoli uzyskać duże efekty ruchowe w wyrobiskach zagrożonych tąpaniami bez konieczności zwiększania wytrzymałości statycznej, a co jest z tym związane wzrostu kosztów zakupu i eksploatacji.

and discription is previously in control of princips which there are a suborthogenesis opposition weighted princips of a subtrongly, the set of discriminants between a submerical standards and discriminants and a suborthogenesis and a substandard and a substandard and a substandard and a substandard and a subble previous and a substandard a

and been been been a second and a second second a second second a second second a second seco

alaite & understate bidately surjements als second allerance sparsets a state - many states and states and the second state and states and states and - 1000 Backing a states a provider a state in the state of the state of the states of the states and st

2. WPROWADZENIE W PROBLEMATYKE, CEL I TEZA PRACY

Każdego roku występuje w kopalniach węgla kamiennego w Polsce średnio dwa tysiące wstrząsów [93, s. 3] o energii od 10⁵-10⁹ J, z których tylko jeden procent powoduje skutki w wyrobiskach kopalnianych [9], Przyczyny wstrząsów ze skutkami w wyrobisku - Parysiewicz dzieli [59, s. 145] na naturalne (przede wszystkim głębokość eksploatacji) oraz górnicze (głównie nieprawidłowe kierowanie stropem). Likwidacja wymienionych przyczyn jest niemożliwa z uwagi na rzeczywiste uwarunkowania gospodarcze, geologiczne i techniczne, można jedynie czynić starania w kierunku ich minimalizacji.

Skutki w wyrobisku kopalnianym świadczą o przekroczeniu dopuszczalnych wartości obciążeń zastosowanej obudowy kopalnianej. Szczególnie uszkodzenia nagłe są najbardziej niebezpieczne. Najczęściej tąpania występują w chodnikach, następnie w chodnikach i ścianach równocześnie, najmniej licznie w ścianach. Tąpanie występuje zwykłe w miejscu, w którym została przekroczona wytrzymałość skał otaczających wyrobisko. Uwzględniając, że wpływ na przekroczenie wytrzymałości skał posiada również obudowa, można stwierdzić, że występowanie tąpań związane jest również z miejscami najsłabiej chronionymi.

Poznanie przyczyn i warunków powstawania wstrząsów oraz sposobu oddziakywania na wyrobisko są problemami mającymi istotne znaczenie dla określenia wymagań technicznych i eksploatacyjnych obudów przeznaczonych do pracy w warunkach obciążeń dynamicznych. Wielkość i charakterystyka obciążeń dynamicznych obudów nie jest w chwili obecnej dostatecznie poznana. Złożyło się na to szereg przyczyn, z których można wymienić: niedostateczną weryfikację ruchową rozważań teoretycznych, konieczność prowadzenia badań w ruchu kopalnianym, a więc związane z tym trudności techniczne i organizacyjne, brak odpowiedniej aparatury i metod badawczych.

· Zjawiska wstrząsów kopalnianych oraz zabezpieczenia przed nimi wyrobisk wyjaśniano:

- teoretycznie, zwierzając de określenia mechanizmów powstawania wstrząsów oraz eddziaływania górotworu na wyrobisko,
- określając ilości i parametry wstrząsów oraz ich skutki w wyrobiskach,
- prowadząc badania bezpośrednio w podziewiach kopalń,
- badając obudowy w stoiskąch przy obciążeniu dynamicznym,
- opracowując amalitycznie metody wyznaczania charakterystyk obudów przy obciążeniach dynamicznych, jak również współpracy obudowy z górotworem.

Różne modele górotworu dla warunków tąpań opisał Filcek [22, s. 118]. Model przyjmujący, że tąpania są wynikiem utraty stateczności górotworu, wydaje się być najbliższy rzeczywistości. Potwierdza to duża zgodność wyników badań Bilińskiego [6, 7, 8, 9] z praktyką górniczą. Za przyjęciem takiego modelu świadczą również wyniki badań Kidybińskiego [31, s. 15], z" których wynika, że skutki uszkodzeń obudowy dla zbliżonych warunków nie można jednoznacznie powiązać z energią wstrząsu.

Występujące wstrząsy i tąpania w kopalniach są rejestrowane przez kopalnianą oraz regionalną sieć stacji sejsmicznych. Na podstawie zarejestrowanych wielkości dokonuje się oceny energii wstrząsu, jego położenia, co po uzupełnieniu informacjami o skutkach w wyrobiskach stanowi podstawę do oceny zagrożenia tąpaniami oraz skuteczności prowadzonej profilaktyki czy stosowanych obudów [9, 20, 43, 101].

Prace dotyczące współpracy obudowy z górotworem, dobór obudów do warunków wyrobisk zagrożonych tąpaniami datują się od lat 70. Dotyczyły głównie ścian, co znalazło odbicie w literaturze [3, 4, 5, 8, 10, 24, 35, 36, 51, 58, 76]. Stopniowe nasilenie się tąpań w chodnikach przy równoczesnym zmniejszeniu się ich ilości w ścianach spowodowało wzrost zainteresowania problematyką obudów chodnikowych [15, 16, 18, 31, 34].

Oddziaływanie górotworu na obudowę w warunkach kopalnianych jest istotną informacją dla konstruktorów obudów. Trudności aparaturowe i techniczno-organizacyjne spowodowały, że brak jest do chwili obecnej wyczerpujących informacji w zakresie opisu dynamicznego oddziaływania górotworu na obudowę [91, s. 48]. Badanie oddziaływania górotworu na obudowę oraz ocenę jego zachowania zrealizowano jedynie dla przypadku detonacji materiałów wybuchowych umieszczonych w górotworze. Zdeterminowany czas i miejsce wystąpienia wstrząsu pozwoliły przygotować aparaturę i wyposażenie oraz dokonać rejestracji [5, 54, 55, 72, 73, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84]. Uzyskane wyniki badań podane przez autorów różnią się znacznię, co jest wynikiem zastosowania aparatury o innych charakterystykąch częstotliwościowych. Przykładowo częstotliwości drgań górotworu zostały ocenione od kilkunastu herców do ponad 1000. Przeprowadzone strzelanie w stropie doświadczalnym wykorzystano do oceny najkorzystniejszych rozwiązań konstrukcyjnych obudowy kasztowej OK - 1 dla warunków obciążeń dynamicznych [57, 58]. Najniższe przyrosty ciśnień cieczy hydraulicznej stwierdzono przy zastosowaniu zaworu bezpieczeństwa oraz amortyzetora gumowego.

Badania ruchowe obudów pracujących w ścianach zagrożonych tapaniami [10, 21, 51] prowadzono w różnych warunkach eksploatacyjnych: obserwując ich zachowanie, wykonując pomiary statycznych cisnień cieczy hydraulicznej oraz konwergencji wyrobi ka. Pozwoliko to ocenić przydatność ruchową obudowy, rodzaje obciażenia różnych jej typew przez górotwór, jak również wyznaczyć wielkość bloku skaln go biorscego udział w tapaniach.

W badaniach stoiskowych, wyznaczano głównie charakterystyki dynamiczne stojaków i pojedynczy h etcji obudowy podczas obciążenia udarem masowym, w nielicznych przypadkach siłą o przebiegu sinusoidalnym czy trapezowym oraz przesunięciem [12, 14, 28, 30, 38, 56, 59, 61, 62, 64, 65, 68, 69, 70, 71, 75]. Aktualnie liczącymi się ośrodkami, w których prowadzone są prace z zakresu badań charakterystyk dynamicznych obudów ścianowych, są:

- CMG "KOMAG" Gliwice

- Staatliches Materialprüfungsamt, Dortmund, RFN
- Vedeckovýzkumný Uhelný Ústav, Ostrava-Radvanice wraz z Ostroj Opava, CSRS.

Dla różnych wielkości i charakteru obciążeń, różnych rozwiązań konstrukcyjnych bada się wytrzymałość elementów lub całych sekcji obudowy. Stosowana aparatura pomiarowa oparta jest głównie na technice tensometrycznej.

Badania dynamiki obudów chodnikowych są obecnie na etapie rozeznania. Pierwsze próby stoiskowe zostały przeprowadzone w VVUU-Radvanice [102] oraz w KOMAG-u [74] w zakresie złącz i odcinków kształtownika, natomiast w Głównym Instytucie Górnictwa badania modelowe w skali 1:10 odrzwi stalowych chodnikowych [32].

Analitycznymi metodami wyznaczania charakterystyk dynamicznych stojaków, obudów ścianowych oraz ich współpracy z górotworem zajmowało się wielu autorów [18, 44, 47, 48, 49, 52, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 92, 94, 95, 96, 98]. Metody analityczne opracowano posługując się matematycznymi modelami zastępczymi. Oparto się na modelu matematycznym opisanym układem równań różniczkowych cząstkowych (dla przyjętego ciągłego rozłożenia masy i sprężystości) oraz na modelu matematycznym opisanym równaniami różniczkowymi liniowymi (dla przyjętego dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości). Podjęto również próbę uwzględnienia zaworu bezpieczeństwa jako elementu nieliniowego.

Przedstawione prace stanowią wycinki ogólniejszego problemu, którym jest walka z zagrożeniami wynikającymi z tąpań. Obejmują one wiedzę z wielu dziedzin w tym również niegórniczych. Prawidłowe ukierunkowanie prac badawczych, konstrukcyjnych czy zaleceń dla eksploatacji, szczególnie przyszłościowych, ma istotne znaczenie dla skuteczności profilaktyki przeciwtąpaniowej. Z uwagi na wciąż niedostateczną wiedzę oraz ograniczone możliwości badawcze wydaje się wskazane podjąć próbę wyjaśnienia szeregu wymienionych problemów opierając się na metodzie analitycznej. Należy zatem:

- określić modele górotworu dla rozpatrywania zjawiska tąpań,
- określić modele obudów lub elementów obudów decydujących o charakterystykach dynamicznych,
- wyznaczyć najkorzystniejsze zakresy pracy obadowy z uwagi na możliwosć przejęcia obciążeń dynamicznych,
- podjąć próbę oceny zachowywania się obudewy pod obciążeniami wynikającymi z tąpań.

 określić propozycje najkorzystniejszych charakterystyk dynamicznych obudów z punktu widzenia współpracy z górotworem oraz kierunków badań, stoisk i zaleceń eksploatacyjnych.

<u>Celem pracy jest</u>: opracowanie metod analitycznych wyznaczania charakterystyk dynamicznych obudów kopalnianych i ich elementów z przeznaczeniem do: określenia wytrzymałości konstrukcji, porównania charakterystyk, doboru do warunków pracy przy zagrożeniu tapaniami oraz określenia zasad eksploatacji. Metody analityczne należy oprzeć na modelach matematycznych dla stałych skupionych oraz uwzględnić nielimiowości charakterystyk zaworów i złącz. Procedury obliczeniowe powinny być możliwie proste, a wyniki uzyskiwane z obliczeń porównywalne z uzyskiwanymi w drodze badań.

<u>Teza pracy</u>: metody analityczne wyznaczania zależności dynamicznych w obudowach i ich elementach mogą być wykorzystane w pracach związanych ze zwalczaniem zagrożeń tąpaniami wyrobisk górniczych. W szczególności do zwiększenia wytrzymałości konstrukcji obudowy na obciążenia dynamiczne, poprawy współpracy z górotworem przez dobór optymalnych parametrów eksploatacyjnych oraz pracach badawczych.

3. ZJAWISKA DYNAMICZNE W GÓROTWORZE

Do zjawisk dynamicznych w górotworze zaliczamy: wstrząsy, odprężenia i tąpania. Odprężenia i tąpania są szczególnym przypadkiem wstrząsu. Odprężenia i tąpnięcia są wynikiem zachwiania równowagi w górotworze, powstałej w wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej. Dla obserwacji wstrząsów w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym zbudowano Regionalną Sieć Mikrosejsmologiczną i od kilkunastu lat prowadzi się systematyczne oceny parametrów drgań górotworu [101]. W tablicy 3.1 zebrano wielkości zarejestrowanych energii wstrząsu i ich ilości występujące średnio w roku. Na podstawie obserwacji można przyjąć, że największe rejestrowane w GZW energie wstrząsu wynoszą 10⁸, 10⁹ J. Rozkład wstrząsów nie jest równomierny. Największą intensywność wstrząsów rejestruje się w kopalniach niecki bytomskiej, południowego skrzydła siodła głównego oraz niecki kazimierzowskiej.

S				-	
mo	ъ1	10	0	× .	ч.
18	U 1	. _	- CL	~ •	

Energia sejsmiczna E _s , J	Ilość wstrzązów średnio w ciągu roku n _w	Charakterystyka drgań w skali MSK - 64	
10 ⁵	1700-2400	dość silne	
10 ⁶	250-550	silne	
107	25-50	bardzo silne	
10 ⁸	2-6	burzące	
10 ⁹	0-1	pustoszące	
10 ¹⁰	-	niweczące	
A CONTRACTOR OF			

Ilości i	energie rejestrowanych wstrząsów górotworu	
	w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym	

a state - " the set of the set of

a construct structure, by

Ilość rejestrowanych tapnięć związana jest z głębokością eksploatacji [37] i stanowi zagrożenie dopiero po przekroczeniu głębokości 500 m. Tapnięcie występuje wtedy gdy ognisko wstrząsu leży w niewielkiej odległości od wyrobiska, a wstrząs połączony jest ze zniszczeniem lub uszkodzeniem wyrobiska. Tapnięcie ma na ogół charakter lokalny, obejmuje zwykle jedno wyrobisko-chodnik, rzadziej ścianę. Bywają również tąpnięcia o znacznie szerszym zasięgu. Skala zjawiska bywa różna, od odprysków skał do całkowitego wypełnienia wyrobiska. Na podstawie prowadzonych kartotek [9] można stwierdzić, że najczęściej wyrzuty węgla i skał występują z nieobudowanych płaszczyzn wyrobiska: w ścianach od czoła, w chodnikach od spodka. Przemieszczenie się skał do wyrobiska związane jest ze zwiększeniem się objętości górotworu w okolicy wyrobiska na skutek powstania spękań i szczelin. Wyrzucenie do wyrobiska mas skalnych, szczególnie węgla, może powodować uszkodzenie obudowy. W wyrobisku chodnikowym może to być:

- przewrócenie obudowy,
- zaciśnięcie obudowy,
- zniszczenie wykładki,
- zniszczenie lub uszkodzenie maszyn i urządzeń zainstalowanych w chodniku.

Natomiast w wyrobisku ścianowym:

- wybicie obudowy indywidualnej,
- uszkodzenie elementów obudowy zmechanizowanej.
- zaciśnięcie wyrobiska,
- przesunięcie i uszkodzenie maszyn lub urządzeń ścianowych.

Tąpnięcie powoduje wszechstronne, gwałtowne zaciskanie wyrobiska. Najbardziej intensywnie wypiętrzany jest spąg wyrobiska, nieco mniej osiada strop. W ociosach występują zwykle niewielkie przemieszczenia. Na skutek tąpnięcia obserwuje się często powstawanie zawałów jako wynik załamania się stropu zasadniczego lub jako wynik nadmiernego obciążenia statycznego obudowy spękanymi skałami. Zawały najczęściej występują w miejscach wybicia obudowy.

Nowoczesne konstrukcje zmechanizowanych obudów ścianowych znacznie ograniczyły występowanie zawałów. Obecnie spotyka się je najczęściej we wnękach, w ścianach podsadzkowych, w polach przeznaczonych do podsadzania oraz w przypadkach wybicia stojaków indywidualnychw W chodnikach zawały występują częściej niż w ścianach ze względu na mniej korzystne charakterystyki techniczne obudowy chodnikowej. Najliczniej występują w rejonie przodków, gdzie obudowa nie uzyskała jeszcze podporności, a więc nie uzyskała trwałego oparcia o ociosy, wyrobiska. W większości przypadków zawały obserwujemy, gdy zaciśnięcie wyrobiska przekracza 0,2=0,5 m i połączone jest z uszkodzeniem obudowy chodnikowej.

Z opisu zjawisk związanych z tąpaniami wynika, że na obudowę będą oddziaływały obciążenia w postaci:

- drgań górotworu,
- gwałtownego zaciskania wyrobiska,
- udaru skruszonych i wyrzuconych skał w elementy obudowy,
- zwiększonego obciążenia statycznego, wynikającego ze spękania górotworu.

DRGANIA GÓROTWORU

W tablicy 3.2 przedstawiono przybliżone parametry drgań górotworu wywołane wstrząsami górniczymi dla strefy ogniskowej. Parametry zostały ocenione w wyniku wieloletnich badań wstrząsów w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym [93]. Z tablicy 3.2 wynika, że istnieją związki pomiędzy energią wstrząsu a pozostałymi parametrami. Liniowa zależność istnieje pomiędzy energią wstrząsu a gęstością energii dla pozostałych parametrów, są to zależności nieliniowe.

Tablica 3.2

Przybliżone wartości parametrów drgań górotworu wywołanych wstrząsami górnipzymi dla strefy ogniskowej

Energia sej- smiczna	Promień ogniska	Gęstość energii sej- smicznej	Amplituda przemie- szczenia	Często- tliwość drgań	Prędkość argań	Czas trwa- nia drga- nia	Przyśpie- szenie drgań
E _s , J	r _o , m	ε_{o}, Jm^{-2}	A,10 ⁻³ m	f,Hz	V,10 ⁻³ ms ⁻¹	t,s	a,10 ⁻³ ms ⁻²
10 ⁵	12	0,79	0,03	14	2,4	0,14	200
10 ⁶	30	7,9	0,09	12	6,8	0,18	500
107	60	79	0,40	8	20,0	0,25	1000
10 ⁸	125	790	1,60	5,5	55,0	0,30	1900
10 ⁹	300	7900	5,10	4,5	145,0	0,40	4000
10 ¹⁰ ,	580	79000	21,0	3,0	400,0	0,50	7800

Wzrostowi energii wstrząsu odpowiada wzrost gęstości energii, amplitudy drgań, prędkości, przyspieszenia oraz czasu trwania zjawiska, natomiast zmniejszeniu częstotliwość drgań. Wielkość obciążenia obudowy zależy w dużej mierze od odległości od ogniska wstrząsu, co jest związane z tłumieniem fali sejsmicznej przez górotwór. Tablica 3.3

Wyliczone wartości gęstości energii wewnątrz strefy ogniskowej wstrząsu (pozostałe parametry wg tablicy 3.2)

Energia wstrzązu E _s , J	- 10 ⁵	10 ⁶	107	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
Promień ogniska r _o , m	12	27	58	125	270	580
Gęstość energii sejsmicznej č, je ⁻²	1,8.10 ¹	1,2.10 ²	1,06.10 ³	8,05.10 ³	5,5.10 ⁴	4,1.10 ⁵

$$\mathcal{E}'_{0} = 2\pi p \vee \frac{A^{2}}{m^{2}} \mathcal{F}$$

gdzie:

P - gęstość ośrodka, kgm-3

T - czas trwania wstrząsu, s

Przebieg zjawisk fizycznych w strefię ogniska wstrząsu nie jest na tyle rozeznany, aby można było określić parametry kinetyczne. Trudności wynikają z chaotycznego przebiegu samego zjawiska oraz niedostatecznych możliwości pomiarowych. Został oceniony jedynie związek pomiędzy energią wstrząsu a gęstością energii w strefie ogniska wstrząsu. Wyliczone wartości średnie przedstawiono w tablicy 3.3. Dla największych energii wstrząsów rejestrowanych w GŻW posiadają one wartości prawie 5-krotnie większe od energii określonych dla odległości promienia od hipocentrum.

GWALTOWNE ZACISKANIE WYROBISKA

Zaciskanie wyrobiska spowodowane jest osiadaniem stropu w wyniku podebrania pokładu. Wielkość osiadania i jego przebieg w czasie jest różny głównie w zależności od rodzaju pokładu, rodzaju węgla, wielkości i sposobu eksploatacji. Z badań Bilińskiego [6, s. 42] wynika, że wielkość zaciskania spowodowaną "impulsen" urabiania można określić ze wzoru:

$$z_u = a_s \frac{\varphi_E}{\phi f_w} \cdot 2,43 \frac{107 + 47t}{107 + 47t} \cdot 10^3, uu$$
 (3.1)

gdzie:

as - parametr określający bieg ściany,

zwięzłość węgla w pokżadzie,

- p_z głębokość zabioru,
- t czas w godzinach od chwili zaistnienia impulsu urabiania,
- φ parametr charakteryzujący podebranie pokładu.

Analizując skutki tąpnięć w wyrobiskach ścianowych można zauważyć, że skruszenie i wyrzucenie węgla z czoła ściany z punktu widzenia zaciskania wyrobiska jest odpowiednikiem urabiania technologicznego. Wstawiając do wzoru 3 parametry odpowiadające warunkom ścian tąpiących, a mianowicie:

- a = 1 dla ścian w pełnym biegu,
- $f_w = 1,5 tapania zachodza dla f_ > 1,5,$
- p_z = 3 m odpowiada największym głębokościom wyrzutów węgla z czoła ścian podczas tąpnięcia,
- $\phi = 1,0$ tąpania występują na ogół w pokładach nie podebranych

oraz przyjmując czas zdążający do nieskończoności, maksymalna wielkość zaciskania wyniesie z_u = 0,12 m. Dla większości przypadków z obliczonej wartości z_u jedynie 30-80% przejmuje obudowa, na co ma wpływ głównie nośność spągu i gładkość powierzchni warstw stropowych.

UDAR MASY ORAZ OBCIĄŻENIE NARASTAJĄCĄ MASĄ STATYCZNĄ

Miejscowe załamanie, oberwanie czy pęknięcie warstwy skalnej oddziałuje na obudowę udarem masy. Wielkość energii udaru określa iloczyn uwolnionej masy oraz możliwości jej swobodnego przemieszczenia (określona w pbprzednim punkcie). Przypadek można rozpatrywać do wielkości łącznej masy (masy wywołującej udar oraz obciążającej statycznie przed momentem udaru), której ciężar nie przekracza podporności nominalnej. Przekroczenie przez ciężar masy podporności nominalnej spowoduje zadziałanie zaworu dla przypadku podpory lub wywoła zsuw w złączu łukowej obudowy podatnej. Ruch takiego przypadku nie będzie zahamowany przez obudowę i może nastąpić dopiero po zniszczeniu obudowy lub zaklinowaniu się masy w górotworze.

Przekroczenie podporności nominalnej może nastąpić również w wyniku przyrostu masy bezpośrednio podtrzymywanej przez obudowę, a ulegającej zwiększeniu na skutek postępującego spękania górotworu i stopniowej utraty nośności przez strop.

a submouth because , y - shakesy moders by statesy side into the ter-

4. MODELE OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH OBUDOWY GÓRNICZEJ PRZYJĘTE DLA WSTRZĄSÓW

Obciążenia dynamiczne obudów kopalnianych w wyniku wstrząsów posiadają bardzo zróżnicowany charakter. Wynika on z wpływu wielu czynników, jak: stan górotworu przed wstrząsem, położenie wyrobiska względem ogniska wstrząsu, sposób eksploatacji, rodzaj obudowy. Oddziaływanie wymienionych czynników powoduje, że obciążenie dynamiczne ma charakter stochastyczny. Przyjęte przybliżenia ujmują dominujące cechy obciążeń wynikających z obserwacji dołowych [21, 91 s. 48] oraz rozważań teoretycznych [22]. Na podstawie przyjętych przybliżeń obciążeń dynamicznych wożna dokonać oceny zachowania się obudowy.

Przyjęto przybliżenia zakładając górotwór jako ośrodek sprężysty (przybliżenie I), naruszony (przybliżenie II i III) oraz przypadek obciążenia narastającą masą statyczną. Graficznie przybliżenia przedstawiono na rys. 4.1.

PRZYBLIŻENIE I

Wyrobisko znajduje się poza strefą ogniska wstrząsu. Obciążenie wywołane jest falą sejsmiczną. Uwzględniając, że na obudowę oddziałują przede wszystkim drgania poprzeczne górotworu wywołane falą sejsmiczną oraz że prędkość fali sejsmicznej zależna jest od gęstości środowiska, drganie wymuszone stropu i spągu będzie przesunięte w fazie względem siebie. Dla przypadku krańcowego może wystąpić podwojenie amplitudy. Amplituda drgań górotworu oraz jego przebieg w czasie jest niezależny od własności obudowy ze względu na olbrzymie masy biorące udział w ruchu. Przyjmujemy dla przybliżenia I obciążenie prędkością o przebiegu sinusoidalnym. Sposób obciążenia obudowy dla przybliżenia I przedstawiono na rys. 4.2. Omawiane obciążenie dynawiczne dla przypadku ekstremalnego opisują relacje wg kolejności przemieszczenia, prędkości:

$$\Delta l(t) = 2 A \sin \Omega t , m$$

$$\forall (t) = v_1 \cos \Omega t , ms^{-1}$$

$$(4.1)$$



Rys. 4.1. Graficzne przedstawienie położenia wyrobiska w stosunku do strefy ogniskowej wstrząsu

przybliżenie I - wyrobisko znajduje się poza strefą ogniska wstrząsu - obciążenie przez drgania poprzeczne skał, przybliżenie II - wyrobisko znajduje się w strefie ogniskowej - zakres zjawiska bardze rozlegky, przemieszczenia w wyrobisku miezależne od własności obudowy, przybliżenie III wyrobiske znajduje się w strefie ogniskowej - zakres zjawiska lokalny, obudowa przejmuje obciążenie dynamiczne

Fig. 4.1. Graphical presentation of the heading placement in relation to the stress focal zone of the shock





Rys. 4.2. Sposób obciążenia obudów drganiami górotweru dla przypadku ośrodka sprężystego oraz umiejscowienia wyrobiska poza strefą ogniska wstrząsu

a - obudowy ścianowej, b - obudowy chodnikowej stalowej odrzwiewej Fig. 4.2. The way of the loading of linings by ground vibrations in the case of elastic medium and heading location out of the focal zone of the shock gdzie:

- A - amplituda drgań górotworu. m
- P - częstotliwość drgań górotworu, s-1
- $v_1 = 2 A\Omega$ amplituda prędkości drgań, ms⁻¹
- $\Omega = 2\pi f$ prędkość kątowa, rad.

Obciążenie prędkością przyjmuje się pod warunkiem, że siły oddziaływania górotworu na obudowę mogą przyjąć wartości zdążające do nieskończoności.

- 24 -

PRZYBLIŻENIE IT

Wyrobisko znajduje się w strefie ogniska wstrząsu. Zakładamy, że górotwór jest ośrodkiem niesprężystym, co wynika z naruszenia ciągłości warstw spowodowanych eksploatacją górniczą. Zaciskanie wyrobiska spowodowane jest osiądaniem warstw skalnych przekraczających wymiary wyrobiska.



Rys. 4.3. Sposób obciążenia obudów prędkością wywołaną ruchem warstw skalnych w górotworze naruszonym a - obudowy ścianowej, b - obudowy chodnikowej stalowej odrzwiowej Fig. 4.3. The way of loading of linings by velocity resulted of the rocks

movement in the disturbanded ground



Rys. 4.4. Zmiana wysokości wyrobiska oraz związane z nim prędkości w zależności od czasu dla przybliżenia II Fig. 4.4. Changes of headings height and the related velocity in the function of time for the second approximation

Wielkie masy i olbrzymie siły związane z ich ruchem powodują, że przemieszczenia stropu w wyrobisku odbywają się niezależnie od charakterystyk podpornościowych obudowy. Ruch płyt jest wynikiem przyciągania ziemskiego oraz nagromadzonych energii w sprężystościach górotworu. Obciążenie przyjmuje sie dla przypadku II predkością przemieszczenia stropu o kształcie trapezu. Sposób obciążenia obudowy przedstawiono na rys. 4.3. Zmiana wysokości wyrobiska oraz związane z nimi predkości, w zależności od cząsu, przedstawiono poglądowo na rys. 4.4. Analitycznie zmiany wysokości wyrobiska można ująć zależnościami, odpowiednio przemieszczeniem i prędkośćią:



H(t-T) - funkcja jednostkowa przesunięta
(0 dla t < T, 1 dla t > T),

$$\nabla_2 = \Delta T' \stackrel{\Delta}{\to} \Delta T$$
 - prędkość ustalona ruchu skał, ms⁻¹
 $\Delta t = T_1 + T_2 + T_3$.

Według Bilińskiego [6] można ocenić, że maksymalne zmniejszenie się odległości strop - spąg w wyniku normalnej eksploatacji, czy też tąpnięcia, wynosi średnio 5% wysokości, co jest porównywalne z "impulsem urabiania". Czas, w którym to nast@puje, uzależniony jest od nasilenia zjawiska osiadania warstw i zawiera się w granicach godzin dla normalnej eksploatacji do milisekund w przypadku tąpnięcia [93, s. 10].

- 26 -

PRZYBLIŻENIE III

Wyrobisko znajduje się w strefie ogniskowej wstrząsu podobnie jak w przybliżeniu II. Obudowa wyrobiska jest narażona bezpośrednio na udary wynikające z utraty nośności warstw skalnych, obsunięcia czy załamania. Przyjnujeny, że obciążona jest udaren masy. Obudowa przejmuje bezpośrednio wymienione obciążenia lub pośrednio przez warstwy skał zalegające nad obudową. Ciężar mas skalnych powodujących udar oraz obciążających statycznie obudowy nie może być większy od jej podporności roboczej. Wystapienie ciężaru wiekszego od podporności robeczej spowoduje zadziażanie zaworu przelewowego w obudowach hydraulicznych lub zsuw w złączu obudowy chodnikowej. Z wymienionych względów do oceny charakterystyk przyjmujemy maksymalne masy udarowe o ciężarze nie przekraczającym podperności roboczej obudowy. Maksymalną energię udarową zakładamy w wyliczeniach równą iloczynowi maksymalnego ciężaru masy oraz wysokości określonej "impulsem urabiania" (patrz przybliżenie II pkt. 4.2). Spesób obciążenia obudów dla przedstawionego przypadku przedstawiono na rys. 4.5. Obciążenie udąrem masy można przedstawić jako funkcję Diraca siły:

$$\delta(t) \begin{cases} 0 & dla & t \neq 0 \\ \hline & dla & t = 0 \\ 0 & dla & t \neq 0 \end{cases}$$

$$(4.3)$$

Predkość i wielkość zsawu obudewy dla obciążenia udarewego wynika z własności dynamicznych obudewy i zestanie podana w dalszej części pracy.





Rys. 4.5. Sposób obciążenia obudów udarem masy a - obudowa ścianowa, b - obudowa chodnikowa stalowa odrzwiowa Fig. 4.5. A way of linings loading by a mass stress

OBCIĄŻENIE NARASTAJĄCĄ MASĄ STATYCZNĄ

· Obudowa wyrobiska obciążona jest wstępnie masą spoczynkową zalegającą w stropie. Masę spoczynkową tworzą skruszone skały luźno zalegające lub część masy belki skalnej podtrzymywanej obudową. Przyrost obciążenia statycznego następuje skokowo wraz z ilością odspejonych skał. Wielkość przyrostu masy uzależniona jest przede wszystkim od budowy geologicznej górotworu oraz sposobu eksploatacji i zawiera się w dużym przedziale. Dla przypadków skrajnych może to być narastanie ciągłe o bardzo małej wartości





Rys. 4.6. Sposób obciążenia obudów narastającą masą a - obudowa ścianowa, b - obudowa chodnikowa stalowa odrzwiowa Fig. 4.6. A way of linings loading by increasing mass

w zależności od czasu, po wzrost skokowy, porównywalny z podpornością roboczą obudowy (np. dla przypadku pęknięcia belki skalnej). Przyrost obciążenia statycznego obudowy spowodowany narastaniem masy można zapisać:

$$F_{st} = m_0 g + \sum_{n=1}^{Z} \Delta m_n g$$
, N

(4.4)

gdzie:

- g przyspieszenie ziemskie, ms⁻²
- mo masa początkowa, kg

△mn - przyrost masy, kg.

Podany sposób obciążenia obudowy przedstawieno na rys. 4.6.

5. CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE OBUDOW WYZNACZONE METODAMI ANALITYCZNYMI

Rozpatrywanie zagadnień współpracy obudowy z górotworem w warunkach tapnieć należy poprzedzić dokładnym poznaniem charakterystyk dynamicznych samych obudów. Charakterystyki powinny obejmować w szczególności wpływ parametrów wynikających z warunków eksploatacyjnych. W obudowach ścianowych to: wysokość ściany, podporność wstępna, rozwiązania konstrukcyjne, wpływ zaworów, wielkości masy współpracującej bezpośrednio z obudową. W obudowach chodnikowych to: wielkość, rodzaj kształtownika, rodzaj złącza, rodzaj wykładki. Wyznaczanie charakterystyk w podanym zakresie wymaga olbrzymich nakładów finansowych związanych z posiadaniem odpowiednich stoisk badawczych, nowoczesnej aparatury pomiarowo-rejestrującej, metodyk pomiarowych oraz wysoko kwalifikowanej kadry. Alternatywa dla wyznaczenia charakterystyk za pomocą badań są metody analityczne [47, 48, 52, 85, 86, 87. 88. 89. 95. 98. Pozwalają one obliczyć charakterystyki zbliżone do charakterystyk wyznaczonych doświadczalnie przy kosztach o kilka rzędów niższych. W pracy do wyznaczania charakterystyk dynamicznych wykorzystano metody analityczne jako znacznie tańsze, a równocześnie wystarczająco wiarygodne. Metody analityczne opierają się na przyjętym modelu matematycznym, który stanowi podstawę obliczeń. Dąży się, aby model byż możliwie zbliżony do rzeczywistości i uwzględniał wszystkie istotne elementy mające wpływ na wiarygodność uzyskiwanych wyników. Równocześnie nie może być zbyt rozbudowany ze względu na możliwości obliczeniowe. Obudowy kopalniane maja skomplikowana konstrukcje z punktu widzenia możliwości opisu matematycznego dla potrzeb analiz dynamicznych. Zbudowane są z podzespołów. którym przypisujemy charakterystyki liniowe typu pechanicznego czy hydraulicznego oraz nieliniowe, np. zawory czy złącza. Przypisując rzeczywiste charakterystyki wszystkim elementom, można opisać obudowe równaniami różniczkowymi czestkowymi (przyjaując stałe fizyczne rozłożone) lub równaniami różniczkowymi liniowymi (przyjmując stałe fizyczne skupione). Rząd równania różniczkowego wynika z przyjętych stopni swobody modelu matematycznego obudowy.

Zbiór niezależnych parametrów opisujących ruch układu punktów materialnych (mechanicznych) nazywamy współrzędnymi uogólnionymi. Liczba stopni swobody jest równa liczbie współrzędnych, za pomocą których opisuje się ruch układu punktu materialnego.

Uzyskanie rozwiązania ogólnego równania różniczkowego jest możliwe jedynie w ograniczonych przypadkach wynikających z rodzaju równania różniczkowego (cząstkowe czy liniowe), rzędu oraz charakterystyki elementów składowych.

Zależności analityczne wyprowadzono dla przyjętych modeli obudowy o dyskretnym rozłożeniu masy i spreżystości. Przyjecie dyskretnego rozłożenia masy i spreżystości jest uzasednione z uwagi na różnice o wiecej niż rząd wielkości pomiędzy czasem przebiegu fali dźwiekowej w elementach obudów w stosunku do rozpatrywanego zjawiska fizycznego. Dynamike układów fizycznych opisuje równanie Lagrange'a [105. s. 358]:

- 30 -

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E}{\partial_{q1}}\right) - \frac{\partial E}{\partial_{q1}} = Q_{1}, \qquad (5.1)$$

gdzie:

Q.

91

- E = E E (energia kinetyczna energia potencjalna),
 - siły uogólnione występujące w układzie.
 - współrzędna uogólniona (przemieszczenie, predkość, przyspieszenie).

Uwzgledniając wystepowanie w obudowach kopalnianych elementów o charakterystykach liniowych, nieliniowych, mechanicznych jak również hydraulicznych najkorzystniej jest w obliczeniach dynamiki zastosować analogie elektromechaniczne 13, 104 . Analogie elektromechaniczne sa najcześciej stosowane do analiz przebiegów dynamicznych w fizyce, mechanice, hydraulice ze względu na doskonale rozpracowane procedury obliczeniowe w elektrotechnice. Na analogiach są oparte również zasady działania maszyn analogowych. w których każdy proces fizyczny przedstawiony jest za pomoca wielkości elektrycznych. W pracy przyjęto analogie:

- sile f odpowiada napięcie u.
- sprężystości k odpowiada odwrotność pojemności 🔒
- drodze 1 odpowiada pojemność Q.
- masie m odpowiada indukcyjność L.
- oporowi (wypływu, tarcia) R, odpowiada rezystancja R,
- prędkości v odpowiada prąd elektryczny i.

Równania różniczkowe zastosowane w pracy rozwiazane beda z wykorzystaniem rachunku operatorowego Laplace'a-Carsona [103]. Dla prowadzonych obliczeń przyjęto założenia ogólne:

- dyskretne rozłożenia masy i sprężystości.
- charakterystyki dynamiczne będą wyznaczone z wykorzystaniem analogii elektromechanicznych.
- rozwiązania równań różniczkowych opisujących dynamikę będą podane w postaci ogólnej.

Zastosowanie analogii elektromechanicznych do oceny dynamiki obudów ścianowych i ich elementów oraz współpracy z górotworem ująłem w pracach [85, 91, 94, 95, 96].

5.1. CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE OBUDÓW ŚCIANOWYCH

Ściany wydobywcze wyposażone są głównie w obudowy ramowe, osłonowe lub hydrauliczne stojaki indywidualne. Na rys. 5.1.1 przedstawiono schematycznie podane typy obudów w ścianie. Podstawowym elementem obudowy ścianowej decydującym o jej charakterystyce dynamicznej jest podpora hydrauliczna. Obudowy ścianowe wyposażone są w podpory jednoteleskopowe lub dwuteleskopowe w zależności od typu i producenta.





Rys. 5.1.1. Schematyczne przedstawienie przekroju ściany wyposażonej w obudowy hydrauliczne

a - stojaki indywidualne, b - obudowa ramowa, c - obudowa osłonowa Fig. 5.1.1. Schematic illustration of the cross cutting of the wall endowed with hydraulic linings

- 31 -





Rys. 5.1.2. Podpora hydrauliczna stosowana w zmechanizowanej obudowie ścianowej (przekrój)

a - jednoteleskopowa, b - dwuteleskopowa

Fig. 5.1.2. Hydraulic support used in mechanized wall lining (cutting)



Rys. 5.1.3. Zawory hydrauliczne (półprzekrój) a - bezpieczeństwa (szybkoupustowy), b - przelewowy Fig. 5.1.3. Hydraulic valves (halfcutting) Na rys. 5.1.2 przedstawiono budowę podpory jedno- i dwuteleskopowe, Dla zabezpieczenia podpory przed przeciążeniami statycznymi stosuje się zawory przelewowe, natomiast dla zabezpieczenia przed przeciążeniami dynamicznymi zawory bezpieczeństwa (szybkoupustowe). Na rys. 5.1.3 przedstawiono w sposób schematyczny zawór przelewowy i bezpieczeństwa.

Przyjmując, że o dynamice obudowy ścianowej decyduje w głównej mierze charakterystyka podpory, do niej ograniczono rozważania.

5.1.1. <u>Model matematyczny podpory hydraulicznej dla dyskretnego</u> rozłożenia masy i sprężystości

W modelu zastępczym przyjęto założenia upraszczające:

- masa i sprężystość występują jako parametry skupione,
- wszystkie elementy mają charakterystyki liniowe,
- osiowe przyłożenie siły,
- pominieto tarcie.

Tarcie pominięto na podstawie wyników badań podanych przez Romanowicza [66] oraz Sawkę [71].

Zgodność wyników teoretycznych z doświadczalnymi określa się w zbiorze amplitud i częstotliwości drgań oraz przesunięcia fazowego między przebiegami. Zgodność częstotliwości oraz fazy uzyskano przez porównanie układu drgającego o ciągłym i skupionym rozłożeniu mas dla pierwszej harmonicznej częstotliwości drgań własnych. Z podanej tożsamości wyznaczono relacje wiążące masy skupione i rozłożone dla zgodności częstotliwości i fazy układów drgających. Wyznaczona w podany sposób masa skupiona stanowi 40% masy o rozłożeniu ciągłym [52, s. 8]. Zgodność amplitud uzyskano korzystając ze współczynnika korekcyjnego, zmniejszającego wielkości wymuszające w modelu o dyskretnym rózłożeniu masy i sprężystości.

Obudowy ścianowe wyposażone są w podpory hydrauliczne jedno- lub dwuteleskopowe. Dla przedstawienia ich dynamiki zostaną wykorzystane modele:

- podpora jednoteleskopowa - model o jednym lub dwóch stopniach swobody, - podpora dwuteleskopowa - model o dwóch lub trzech stopniach swobody.

Model dobierano w zależności od wymaganej dokładności obliczeń. Większa liczba stopni swobody umożliwia uzyskanie większej dokładności. Modele zastępcze podpór hydraulicznych przedstawiono na rys. 5.1.4.

Stałe skupione modeli zastępczych oblicza się na podstawie gabarytów podpory z zależności:

$$k_{1} = \frac{ES_{1}}{I_{1}}, Nm^{-1} \qquad m_{1z} = (0, 4m_{t} + m_{k} + m_{dt}), kg$$

$$k_{2} = \frac{BA_{2}}{I_{2}}, m^{-1} \qquad m_{2z} = (0, 4m_{h1} + m_{t21} + m_{dh1}), kg$$

- 33 -

$$m'_{2z} = (0,4m_{h1}+m_{t}+m_{k}+m_{dt}+m_{t21}+m_{dh1}), kg$$

 $k_{3} = \frac{BA_{3}}{L_{3}}, Nm^{-1}$
 $m_{3z} = (0,4m_{h2}+m_{t22}+m_{ah2}), kg$
(5.1.1)

- 34 -

gdzie:

A ₂ , A ₃	- powierzchnia cylindrów teleskopu pierwszego i drugie- go, m
В.	- moduł ściśliwości cieczy hydraulicznej, Nm ⁻²
Е	- moduł sprężystości stali, Nm ⁻²
^m dh1, ^m dh2	- masa dodatkowa związena z cieczą hydrauliczną telesko- pu pierwszego i drugiego, kg
^m dt	- masa dodatkowa tłoczyska, kg
^m h1, ^m h2	- masa cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego i dru- giego, kg
^w k	- masa koronki oraz obudowy powiązanej mechanicznie z podporą, kg
^m t	- masa tłoczyska, kg
^m tł1 ^{, m} tł2	- masa tłoczyska teleskopu pierwszego i drugiego, kg
1 ₁ , 1 ₂ , 1 ₃	- długość tłoczyska oraz słupów cieczy hydraulicznej teleskopu pierwszego i drugiego, m
S.	- powierzchnia tłoczyska, m ² .

5.1.2. Model matematyczny zaworu

Podpora hydrauliczna jest zabezpieczona zaworem przed nadmiernym wzrostem ciśnienia cieczy hydraulicznej, spowodowanym obciążeniem. Otwarcie zaworu i wypływ cieczy hydraulicznej, powodujący obniżenie ciśnienia, następuje samoczynnie po przekroczeniu wartości zadanej. Przed przeciążeniami statycznymi'i quasi-statycznymi podpora zabezpieczona jest zaworem upustowym (przelewowym), natomiast przed dynamicznym zaworem bezpieczeństwa (szybkoupustowym). Różnice pomiędzy tymi zaworami polegają na różnych charakterystykach technicznych oraz rozwiązaniach konstrukcyjnych. Zawór upustowy charakteryzuje się małymi wypływami cieczy hydraulicznej w jednostce czasu oraz dużą inercją, natomiast zawór bezpieczeństwa, oprócz dużych wypływów w jednostce czasu, posiada małą inercję.

Zawór bezpieczeństwa stosowany do zabezpieczenia podpór hydraulicznych przed przeciążeniami dynamicznymi jest zaworem nieregulowanym i pracuje w układzie dwustanowym, tzn.: otwarty-zamknięty. Otwarcie zaworu następuje po przekroczeniu wartości ciśnienia cieczy hydraulicznej ponad ciśnie-



- 35 -









m21

K2

HE H

and analogues of props, hydraulic lumped parameters models

nie zadane, zamknięcie zaworu wynika z histerezy ciśnieniowej. Otwarcie zaworu, przez który wypływa ciecz hydrauliczna (tzn. zmiana przekroju od zera do maximum), uzależnione jest od inercji zaworu. Wypływ cieczy hydraulicznej zmienia się nie tylko wskutek zmian przekroju otworu, ale również w zależności od rodzaju wypływu (laminarny - turbulentny), różnicy ciśnień, gabarytów zaworu, rodzaju cieczy hydraulicznej. Uwzględnienie wszystkich rzeczywistych uwarunkowań w opisie prowadzi do zbyt skomplikowanych zależności, praktycznie nie do wykorzystania. Dla potrzeb dalszej analizy dynamiki podpory hydraulicznej wyposażonej w zawór bezpieczeństwa niezbędne jest wprowadzenie takich zależności matematycznych opisujących zawór, które można zastosować w analizie, posługując się analogami elektromechanicznymi.

- 36 -

Z dostępnych opisów literaturowych [1, 27, 53, 97] przyjęto zawór wg Guillona [27, s. 63], wprowadzając założenia dodatkowe:

- wypływ cieczy hydraulicznej przyjęto jako turbulentny (zawór pracuje w zakresie ciśnień powyżej 40 MPa),
- inercję zaworu zastąpiono opóźnieniem czasowym.

Na rys. 5.1.5a przedstawiono schematycznie budowę zaworu typu oporowego, natomiast na rys. 5.1.5b zmianę przekroju wypływu cieczy hydraulicznej w zależności od ciśnienia.



Rys. 5.1.5. Model zaworu bezpieczeństwa (szybkoupustowego)
 a - schemat zastępczy, b - charakterystyka statyczna, c - przebieg ciśnienia otwarcia i zamknięcia zaworu, d - przebieg czasowy otwarcia i zamknięcia zaworu, odpowiednio: I, II rzeczywisty, III, IV zastępczy
 Fig. 5, Model of safety valve





 $\begin{array}{l} R_{h}=A_{t} \; \frac{F_{t}}{V_{t}} \; , \; Nsm^{-1} \\ V_{t}=0 & \rightarrow R_{h}=\infty \; , zawór \; zamknięty \\ V_{t} & \rightarrow R_{h} \; , \; zawór \; otwarty \end{array}$

Rys. 5.1.6. Model zastępczy zaworu bezpieczeństwa (szybkoupustowego) a - charakterystyka rzeczywista, b - charakterystyka zastępcza, c - analog Fig. 5.1.6. Substitude model of the safety valve

Przyrost ciśnienia roboczego ponad ciśnienie zadane powoduje otwarcie według przebiegu I (rys. 5.1.5d), który wynika z inercji zaworu. Zamknięcie następuje po zmniejszeniu się wartości ciśnienia poniżej wartości określonej histerezą ciśnieniową zaworu i jego inercją (przebieg II). Zmiany przekroju otworu wylotowego zaworu w funkcji czasu zastąpiono opóźnieniem, i skokową zmianą przekroju, co przedstawiają przebiegi (III - otwarte, IV zamkniete).

Opór hydrauliczny wypływu cieczy z otworu wylotowego zaworu opisujemy przy użyciu podstawowych parametrów fizycznych, które zostaną wykorzystane w opisie modelu podpory, tzn. siły i prędkości. Dla podanych parametrów fizycznych opór hydrauliczny zaworu, zredukowany do parametrów podpory przyjęto jako tanges nachylenia prostej wiążącej siłę nacisku tłoka na ciecz hydrauliczną z prędkością zsuwu tłoka (rys. 5.1.6b), czyli:

$$R_{h} = tga_{h} = \frac{\Delta F_{2}}{\Delta V_{2}} = \frac{\Delta P_{2}A_{2}}{\Delta V_{2}}, \quad Nsm^{-1}$$
(5.1.2)

- 38 -

uwzględniając, że

$$\Delta \nabla = \frac{\Delta L_2}{\Delta t} \quad \text{oraz} \quad \Delta P = \frac{c}{2} \frac{2}{2g} \frac{Q^2}{A_z^2}$$

otrzymamy:

$$R_{\rm h} = \frac{A_2^2}{\Lambda_{\rm g}} \sqrt{\frac{\Delta P \xi \delta'}{2g}}, \quad Nsm^{-1}$$
 (5.1.3)

gdzie:

A_z - powierzchnia otworu wypływu cieczy z zaworu, m²

 F_2 - siża nacisku tłoka na ciecz hydrauliczną, N

g – przyspieszenie ziemskie, ms⁻²

P2 - ciśnienie cieczy hydraulicznej w teleskopie, Pa

- objętościowe natężenie przepływu, m³s⁻¹

V2 - prędkość zsuwu tłoka teleskopu pierwszego, ms

∝h - kat nachylenia, rad

d - ciężar właściwy cieczy hydraulicznej, Nm⁻³

§ - współczynnik strat miejscowych.

Zredukowany opór hydrauliczny zaworu odpowiada rezystancji elektrycznej. Fakt ten umożliwia zbudowanie analogu elektrycznego zaworu bezpieczeństwa:

 $= \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} \triangleq \frac{\mathbf{F}_2}{\mathbf{V}_2} = \mathbf{R}_{\mathrm{h}}$ (5.1.4)

Analog zaworu charakteryzuje się opornością wypływu R_h zależną od ciśnienia cieczy hydraulicznej oraz opóźnieniem czasowym t, t (przedstawiono na rys. 5.1.6c). Opór wypływu cieczy hydraulicznej zredukowany na parametry podpory wg relacji (5.1.3) oraz opóźnienia czasowe wyznaczyć moźna z wymiarów geometrycznych zaworu i podpory. Wypływ masowy cieczy hydraulicznej stanowiący podstawę do obliczenia oporu wypływu możemy określić na podstawie literatury [27, s. 65]. Obliczenia obarczone są jednak dużymi błędami wynikającymi z braku dostatecznych informacji o budowie Na charakterystykę dynamiczną odrzwi stalowej istotny wpływ posiada czztałtownik pracujący na zginanie oraz złącze. Modele i charakterystyki rymienionych elementów zostaną przedstawione dla przypadku obciążenia udarem masy. Modele zostaną zbudowane dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości.

Na obecnym stanie wiedzy analizę dynamiki odrzwi ograniczono do zginania prostego odcinka kształtownika oraz złącza.

5.2.1. Model i zależności opisujące zginanie prostego odcinka kształtownika obciążonego udarem masy

Wytrzymałość statyczną na zginanie wyznacza się zgodnie z normą [41]. Podobnie można określić charakterystykę przy obciążeniu udarem masy. Sposób obciążenia udarem masy przedstawiono na rys. 5.2.1.



Rys. 5.2.1. Sposób wyznaczenia charakterystyk dynamicznych prostego odcinka kształtownika obciążonego udarem masy

a - schemat obciążenia, b - modef zastępczy, e - analog elektryczny
 Fig. 5.2.1. A way of assignment of dynamic characteristics for straight segment of a shape loaded by the mass stress

Postępując podobnie jak w punkcie 5,1.1 wyprowadzone zależności analityczne opisujące dynamikę badania prostego odcinka kształtownika przedstawiają zależności:

$$P_{21}(t) = \frac{m}{m'_{21}} \frac{V_0 k_{21}}{\omega_{21}} \sin \omega_{21} t, N$$

$$l_{21}(t) = \frac{m}{m'_{21}} \frac{V_0}{\omega_{21}} \sin \omega_{21} t + m$$

$$v_{21}(t) = \frac{m}{m'_{21}} V_0 \cos \omega_{21} t, ms^{-1}$$
(5.2.1)

- 59 -

gdzie:

k21 - statyczny współczynnik sprężystości prostego odcinka kształtownika, Nm⁻¹

$$m_{21} = 0,4 m_p + m_d$$
, kg

m_n - masa odcinka kształtownika, kg

$$w_{21} = (\frac{k_{21}}{m+m_{21}})^{1/2}$$
, s⁻¹

Wykorzystując wyprowadzone zależności obliczono:

- siłę zginającą oraz ugięcie w zależności od czasu, prostego odcinka kształtownika V 29 obciążonego udarem masy (rys. 5.2.2),
- maksymalną siłę zginającą oraz maksymalne ugięcie w zależności od enepgii udaru kształtownika V 29 (rys. 5.2.3),
- wpływ wielkości masy udarowej na maksymalną siłę zginającą oraz maksymalne ugięcie przy stałej energii udaru (kształtownik V 29) (rys.5.2.4).

Dopuszczalne energie udaru wyznaczone analitycznie dla różnych kształtowników zebrano w tablicy 5.2.1. Przekroczenie obliczonych wielkości spowoduje trwałe odkształcenia.

Tablica 5.2.1

Dopuszczalne energie obciążenia udarem prostych odcinków różnych wielkości kształtownika typ V wyznaczone sposobem analitycznym

Rodzaj	V 21		₹ 25		V 29		V 36	
KSZ CAŁ COWNIKA	5	~	~	~	~	~	~	v
F _{dop} , kN	125	130	172	173	203	183	310	193
E _u , kj	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6

Uwaga: materiał stal St-5

m. m+m

2z

- a przyspieszenie ziemskie, ms⁻²
- h wysokość swobodnego spadku bijaka, m

 $h_z = h \frac{m_{1z} + m_{2z}}{m_1 + m_2}$, m $V_o = (2 h_z g)^{1/2}$, ms⁻¹

$$w_{11} = \left\lfloor \frac{a_4}{2} - \left(\frac{a_4}{4} - a_2\right)^{1/2} \right\rfloor^{1/2}, s^{-1}$$

$$\omega_{12} = \left[\frac{a_4}{2} + (\frac{a_4}{4} - a_2)^{1/2}\right]^{1/2}, s^{-1/2}$$

$$\mathcal{G}_{11} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{w^2 2^2}{\omega_{11}^{V_0 a_3}}, \operatorname{rad}$$

$$\varphi_{12} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\varphi_{12}^2}{\omega_{12}^{V_0} a_3}$$
, rad

zsuw rdzennika podpory jest całką prędkości, co można zapisać operatoro-

$$L_{1}(p) = \frac{1}{p} V_{1}(p)$$
(5.1.9)

Postępując podobnie jak dla przypadku obliczenia ciśnienia cieczy hydraulicznej otrzymano:

$$l_{1}(t) = V_{0} \frac{m}{m+m_{12}} \left\{ \left[\frac{k_{1}+k_{2}}{m_{22}\omega_{11}(\omega_{12}^{2}-\omega_{11}^{2})} - \frac{\omega_{11}}{\omega_{12}^{2}-\omega_{11}^{2}} \right] \sin\omega_{11}t - \left[\frac{k_{1}+k_{2}}{m_{22}\omega_{11}(\omega_{12}^{2}-\omega_{11}^{2})} - \frac{\omega_{12}}{\omega_{12}^{2}-\omega_{11}^{2}} \right] \sin\omega_{12}t \right\}, m \qquad (5.1.10)$$

5.1.4. Zależność analityczna opisująca model podpory jednoteleskopowej z zaworem, obciążonej udarem masy

Sposób analitycznego wyznaczania ciśnienia cieczy hydraulicznej w podporze z zaworem obciążonej udarem masowym podaje literatura ^{[91, s. 26]^V. Sposób obciążony jest jednak znacznym błędem wynikającym z przyjęcia liniowej charakterystyki zaworu oraz stałych parametrów podpory dla przypadku pracy z otwartym zaworem.}

Masa i sprężystość podpory w zależności od stanu zaworu są wielkościami stałymi (dla zaworu zamkniętego) lub zmieniającymi się w zależności od ilości cieczy hydraulicznej (dla zaworu otwartego). W pierwszym przypadku (zawór zamknięty) przebiegi dynamiczne podpory opisujemy równaniami różniczkowymi liniowymi, w drugim (zawór otwarty) równaniami liniowymi o zmiennych parametrach. Wypływ cieczy hydraulicznej, powiązany jest z wielkością ciśnienia zależnościami nieliniowymi, co powoduje, że równanie różniczkowe staje się również nieliniowe. Rozwiązanie tego typu równań jest możliwe jedynie dla niektórych przypadków. Przyjmując dla dostatecznie małego odcinka czasu At stałość parametrów podpory oraz wprowadzając w podanym odcinku linearyzację, można zastąpić równania różniczkowe nieliniowe o zmiennych parametrach równaniami różniczkowymi liniowymi o stałych parametrach. Wymaga to jednak przy rozwiązywaniu dokonywania wielokrotnych obliczeń parametrów podpory, warunków początkowych oraz wartości funkcji, co w konsekwencji prowadzi do konieczności zastosowania maszyn cyfrowych.

Wielkościami obliczanymi w modelu jest siła oraz prędkość, stanowiąc podstawę wyznączania ciśnienia i zsuwu.

Dla występujących w praktyce przypadków oraz przyjętych założeń upraszczających podporę przedstawiono jako układ drgający nietłumiony lub aperiodyczny. Wymienione dwa stany podpory związane są z otwarciem lub zamknięciem zaworu bezpieczeństwa, a więc:

I - zawór bezpieczeństwa zamknięty, przebiegi periodyczne nietłumione,
 II - zawór bezpieczeństwa etwarty, przebiegi aperiodyczne.

Przejście stanu podpory z układu drgającego nietłumionego do aperiodycznego wymuszone jest własnościami zaworu. Dle przypadku zaworu zamkniętego model opisują relacje:

 $H_1 = A_1 \times G_1$, (5.1.11)

gdzie:

- A1 macierz współczynników podpory (stałe dla przedziału obliczeniowego),
- "G1 wektor (prędkość wielkość obliczana),
- H₁ wektor warunków początkowych (siła wielkość początkowa dla przedziału obliczeniowego),

natomiast dla zaworu otwartego:

$$H_0 = A_0 \times G_0$$
 (5.1.12)

gdzie:

- A2 wacierz współczynników podpory (stałe dla kroku obliczeniowego, współczynniki macierzy są funkcjami wysuwu tłoczyska i ciśnienia cieczy hydraulicznej),
- G. wektor (predkość wielkość obliczana),
- H₂ wektor warunków początkowych (siła wielkość początkowa dla kroku obliczeniowego).

Rząd równania różniczkowego opisujący podporę wynika z przyjętej liczby stopni swobody modelu. Przyjęto dla rozpatrywanej podpory jednoteleskopowej model o jednym stopniu swobody. Przyjęcie takiego założenia przybliża w sposób wystarczający obliczone wielkości analityczne z uzyskanymi doświadczalnie, a równocześnie radykalnie upraszcza procedury obliczeniowe [91. s. 53].

Elementy modelu są wielkościami stałymi dla zaworu zamkniętego lub zmieniającymi się z każdym krokiem obliczeniowym dla zaworu otwartego, co można zapisać:

$$F_{n} = F_{n-1}(\Delta t) \triangleq U_{n} = U_{n-1}(\Delta t)$$

$$V_{n} = V_{n-1}(\Delta t) \triangleq I_{n} = I_{n-1}(\Delta t)$$

$$m_{n} = m_{n-1}(\Delta t) \triangleq L_{n} = L_{n-1} - c_{1} \int_{0}^{\Delta t} i_{2,n-1}(t) dt$$
(5.1.13)

$$k_{n} = k_{n-1}(\Delta t) = [c_{n}]^{-1} = [c_{n-1} - c_{2} \int_{0}^{\Delta t} i_{2,n-1}(t)dt]^{-1}$$

Elementy modelu m_n i k_n powiązane są z ilością cieczy hydraulicznej (zmiana l₂ i m_{h1}), wypływ której powoduje powiększenie wartości k_n i zmniejszanie m_n . Wypływ cieczy hydraulicznej dla stałych gabarytów zaworu, sposób działania oraz rodzaj wypływu zależą od wartości ciśnienia cieczy hydraulicznej. Prędkość zsuwu tłoczyska jest powiązana ze zmianą ilości cieczy, siła z ciśnieniem, a więc opór wypływu określono jako nachylenie stycznej w punkcie P_n , Q_n do krzywej P = f(Q)

$$R_{n} = \frac{dP_{n}}{dQ_{n}} = \frac{dP_{n}}{dV_{n}} \stackrel{\wedge}{=} \frac{dU_{Rn}}{dI_{Rn}} , \qquad (5.1.14)$$

a graficznie przedstawiono na rys. 5.1.8.



Rys. 5.1.8. Sposób linearyzacji zaworu bezpieczeństwa (szybkoupustowego) Fig. 5.1.8. A way of safety valve linearization

Współczynniki prostej stycznej w punkcie P_n , Q_n do krzywej $P = c_3 Q^2$ (przyjęto wypływ turbulentny) mają postać:

$$R_{n} = 2c_{3}Q_{n} = 2c_{3}V_{2n}A_{2}$$

$$P_{on} = \frac{F_{on}}{A_{2}} = -c_{3}Q_{n}^{2} = -c_{3}V_{2n}A_{2}^{2}$$
(5.1.15)

gdzie:

A₁ - powierzchnia otworu wypływowego zaworu, m² c₃ = $\frac{5}{2gA^2}$, Ns²m⁻⁸

F₂ - siła nacisku tłoka na ciecz hydrauliczną, W

Q - objętościowe natężenie wypływu cieczy hydraulicznej, m³s⁻¹

V2 - prędkość zsuwu tłoka, ms⁻¹

8 - ciężar właściwy, Nm⁻³

5 - współczynnik strat wiejscowych.



Rys. 5.1.9. Analog elektryczny podpory hydraulicznej jednoteleskopowej (przyjęto jeden stopień swobody) wyposażonej w zawór bezpieczeństwa oraz analog elektryczny obciążenia



Według podanych zasad zbudowano analog podpory hydraulicznej wyposażonej w zawór bezpieczeństwa, który został przedstawiony na rys. 5.1.9.

Obliczeń dokonano posługując się analogiem i objęły one ciśnienie cieczy hydraulicznej i zsuw tłoczyska dla zaworu zamkniętego, dla otwartego oraz dodatkowo prędkość wypływu cieczy hydraulicznej przez zawór.

Prędkość wypływu cieczy hydraulicznej jest wielkością wykorzystywaną do obliczania wartości elementów modelu m_n, k_n dla przypadku otwarcia zaworu.

Wyniki obliczeń podano w postaci relacji niezbędnych do praktycznego wykorzystania, nie załączając pełnych wyprowadzeń z uwagi na ich zbyt dużą objętość.

Indeksem n oznaczono kolejne przedziały czasu przy obliczeniach w przypadku żeworu otwartego, indeksem m kolejne cykle obliczeniowe dla zaworu zamkniętego. Zmiana modelu odpowiadającego podporze z otwartym lub zamkniętym zaworem następuje w momentach przekraczania wartości ciśnienia odpowiadającego otwarciu lub zamknięciu zaworu, przy czym czasy otwarcia i zamknięcia zaworu są opóźnione o wielkość stałych czasowych zaworu.

W chwilach zmiany modelu następuje wyznaczenie warunków początkowych. Przewidywany obliczeniowy przebieg czasowy ciśnienia cieczy hydraulicznej w podporze wyposażonej w zawór bezpieczeństwa, obciążonej udarem masy, przedstawiono na rys. 5.1.10.

- 45 -



- 46 -

Rys. 5.1.10. Przewidywany przebieg ciśnienia cieczy hydraulicznej w podporze wyposażonej w zawór bezpieczeństwa obciążonej udarem masy

I - zawór bezpieczeństwa zawknięty, II - zawór bezpieczeństwa otwarty, M - punkt otwarcia zaworu (zmiana modelu), N - punkt zamknięcia zaworu, wyliczenie wartości początkowych, P_m, P_n, P_w, P_{zz} - ciśnienia odpowiednio maksymalne, minimalne, wstępne, otwarcia zaworu, zamknięcia zaworu, t₁, t_{zo}, t_{zz}, Δ t - czasy odpowiednio otwarcia zaworu, opóźnienia zamknięcia, krok obliczeniowy

Fig. 5.1.10. Predicted run of the pressure of the hydraulic fluid in the support equipped with the safety valve loaded by the mass stress

Ciśnienie cieczy hydraulicznej oraz zsuw tłoka obliczone według podanych założeń mają postać:

I - zawór zamknięty (wyłącznik w analogu w pozycji wyłączonej)

 $p_{2,m}(t) = P_{w} + \frac{\omega_{1,m}}{A_{2}}(mV_{0}+m'_{2z,m}V_{2,m})sin\omega_{1,m}t, Pa$ $1_{1,w}(t) = \int_{0}^{t} V_{1,m}(x)dx, m$ (5.1.16)

a mentional armen thinks, on " affertat seen as

- - ----

- septimentia rusa algoranyeh.

gdzie:

$$\mathbf{w}_{2} = (\mathbf{w}_{h1} + \mathbf{w}_{t} + \mathbf{w}_{k} + \mathbf{w}_{dt} + \mathbf{w}_{t21} + \mathbf{w}_{dh1}), \text{ kg}$$

$$\mathbf{w}_{2z,m}' - \text{masa zredukowana podpory dla cyklu m, kg}$$

$$\mathbf{h}_{z} = \mathbf{h} \frac{\mathbf{w}_{2z}}{\mathbf{w}_{2}'}, \text{ m}$$

V_{2,m} - prędkość, warunek początkowy cyklu po każdowazowym zamknięciu zaworu, ms⁻¹

$$\mathbf{v}_{1,\mathbf{m}}(\mathbf{x}) = \left[\left(\frac{\mathbf{m}_{0} \nabla_{0} + \mathbf{m}'_{2\pi,\mathbf{m}} \nabla_{2,\mathbf{m}}}{\mathbf{m} + \mathbf{m}'_{2\pi,\mathbf{m}}} \right)^{2} + \left(\frac{A_{2} P_{\mathbf{w}} \omega_{1,\mathbf{m}}}{\mathbf{x}_{2,\mathbf{m}}} \right)^{2} \right]^{1/2} \sin(\omega_{1,\mathbf{m}} \mathbf{t} - \mathcal{P}_{1,\mathbf{m}}), \ \mathbf{ms}^{-1}$$

$$\omega_{1,\mathbf{m}} = \left(\frac{\mathbf{k}_{2,\mathbf{m}}}{\mathbf{m} + \mathbf{m}'_{2\pi,\mathbf{m}}} \right)^{1/2}, \ \mathbf{s}^{-1}$$

$$A_{2} P_{\mathbf{w}}$$

$$\varphi_{1,m} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\alpha_2 \cdot \pi}{\omega_{1,m} (\pi \nabla_0 + m'_{2z,m} \nabla_{2,m})}, \operatorname{rad}$$

II - zawór otwarty (wyłącznik w analogu w pozycji załączonej)

$$p_{2,n}(t) = \left[\frac{\frac{m'_{n} \nabla_{1,n}}{A_{2}} + \frac{m'_{n}}{R_{n}}(P_{2,n} - P_{2,n}) \frac{1}{T_{2,n} - T_{1,n}}\right] \left(e^{-\frac{t}{T_{2,n}}} - e^{-\frac{t}{T_{1,n}}}\right) - \frac{1}{T_{2,n} - T_{1,n}} - \frac{t}{T_{2,n}} - \frac{t}{T_{2,$$

$$1,n^{(t)} = \int V_{1,n}(x)dx, m$$

1

$$\mathbf{v}_{2,n}(\mathbf{t}) = -\frac{\mathbf{P}_{2,n}\mathbf{A}_{2}}{\mathbf{N}_{n}} + \left[\frac{\mathbf{m}_{n}'}{\mathbf{R}_{n}} \mathbf{V}_{1,n} + (\mathbf{P}_{2,n}-\mathbf{P}_{2,n}) \frac{\mathbf{m}_{n}'\mathbf{A}_{2}}{\mathbf{R}_{n}^{2}}\right] \frac{1}{\mathbf{T}_{2,n}-\mathbf{T}_{1,n}} \cdot \\ \cdot \left(\mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}_{2,n}}} - \mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}_{1,n}}}\right) - \frac{\mathbf{P}_{2,n}\mathbf{A}_{2}}{\mathbf{R}_{n}} \frac{1}{\mathbf{T}_{2,n}-\mathbf{T}_{1,n}} (\mathbf{T}_{1,n}) \mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}_{1,n}}} \\ - \frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}_{2,n}} - \mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}_{2,n}}}, \quad \mathbf{ms}^{-1}$$

- 47 -

gdzie:



- 48 --

5.1.5. <u>Obliczone charakterystyki dynamiczne stojaka</u> <u>SHC-40</u> <u>oraz podpory E 3-4 obudowy Voest Alpine</u>

Na podstawie wyprowadzonych zależności (5.1.3), (5.1.4) obliczono charakterystyki dynamiczne stojaka i podpory hydraulicznej celem określenia: wiarygodności przyjętego modelu, wpływu, jaki na te charakterystyki mają warunki badań oraz stosowane rozwiązania konstrukcyjne stojaka i podpory. Przyjęto model o dwóch stopniach swobody dla stojaka hydraulicznego bez zaworu (SHC-40) oraz o jednym stopniu swobody dla podpory hydraulicznej wyposażonej w zawór bezpieczeństwa (podpora E 3-4). Charakterystyki dynamiczne obliczono dla przypadku odpowiadającego badaniom w stoisku kafarowym, w którym istnieje możliwość zmiany masy udarowej, podporności wstępnej oraz wysuwu roboczego rdzennika stojaka lub podpory. Poglądowo stoisko kafarowe przedstawiono na rys. 5.1.11. Poszczególne przypadki obliczeń zostaną przedstawione oddzielnie.

<u>Przebieg ciśnienia w zależności od czasu</u> przedstawiono na rys. 5.1.12 wyznaczony doświadczalnie oraz analitycznie. Błąd względny procentowy pomiędzy ciśnieniami maksymalnymi obliczonymi oraz wyznaczonymi doświadczalnie przy różnych energiach udaru i ciśnieniu wstępnym przedstawiono na rys. 5.1.13. Błąd względny obliczono z zależności:

 $\mathcal{E} = \frac{\mathbf{P}_{\mathbf{m}\mathbf{w}} - \mathbf{P}_{\mathbf{m}\mathbf{b}}}{\mathbf{P}_{\mathbf{m}\mathbf{w}}}, \quad \%$

(5.1.18)



gdzie:

- 49 -

P_{mw} - maksymalne ciśnienie cieczy obliczone, Pa

Pmb - maksymalne ciśnienie cieczy wyznaczone doświadczalnie, Pa.

Wpływ masy udarowej i dodatkowej na wyniki ciśnienia cieczy hydraulicznej, zsuwu i czasu narastania przedstawiono na rys. 5.1.14-5.1.18 Czas narastania ciśnienia obliczono z zależności:

$$t_{11} = \frac{\pi}{2\omega_{11}}$$
, s (5.1.19)

Wpływ masy bijaka na obliczane ciśnienie cieczy hydraulicznej przedstawiono jako odchyłkę względną procentową \triangle w stosunku do maksymalnego ciśnienia (dla m-> ∞), natomiast współczynnik r opisano jako iloraz masy bijaka i mas będących w spoczynku wg realizacji:

Rys. 5.1.11. Poglądowe przedstawienie stojaka, podpory w stoisku kafarowym

Fig. 5.1.11. Conceptual illustration of the prop, support in the pile driver stand <u>Maksymalne ciśnienie oraz zsuw w zależności</u> <u>od energii udaru</u> przedstawiono na rys. 5.1.19. Dodatkowo na rysunku przedstawiono <u>wpływ obję</u>-<u>tości cieczy w rezenniku za ciśnienie maksymal</u>ne.

(5.1.20)

Wpływ wysuwu rdzennika na maksymalne ciśnie-

nie oraz czas narastania ciśnienia przedstawiono na rys. 5.1.20. Charakterystyki ujęto jako zależności względne.

T = m

Podporność wstępna ma niewielki wpływ na maksymalne ciśnienie cieczy hydraulicznej przy obciężeniu stojska udarem masy. Zależność te przedstawia rys. 5.1.21.

Zawór bezpieczeństwa ogranicza wartość maksymalną ciśnienia cieczy hydraulicznej przy obciążeniu udarem masy. Obliczoną charakterystykę przedstawiono na rys. 5.1.22, na którą została dla porównania naniesiona charakterystyka wyznaczona doświadczalnie. Błąd względny procentowy pomiędzy ciśnieniami maksymalnymi przebiegów wyznaczonych doświadczalnie oraz analitycznie przedstawiono na rys. 5.1.23.

Uwaga: Wyznaczając charakterystyki analityczne oraz dokonując porównań z wyznaczonymi doświadczalnie korzystano z pozycji literatury [28, 29, 42, 62, 68, 69, 70, 75].





Fig. 5.1.12. Pressure of hydraulic fluid of the prop SHC-40 loaded by the mass stress



Rys. 5.1.13. Błąd względny procentowy pomiędzy wynikami obliczeń i badań stojaka jednoteleskopowego typ SHC-40 (wysuw 0,65 m)

.







the hydraulic fluid as a loaded by a mass stres of run 010 **Oslculated** 5.1.14.





Fig. 5.1.15. Calculated maximal pressure of the hydraulic fluid for the prop SHC-40 for different mass stresses and additional rest mass



Rys. 5.1.16. Obliczony maksymalny zsuw tłoka stojaka SHC-40 dla różnych mas udarowych (E_u = 15 kJ, P_w = 21,3 MPa, wysuw 1 m) oraz dodatkowej

masy spoczynkowej

a, b, c, d, e - odpowiednio 0,50, 5 . 10², 5 . 10³, 4 x 10⁴ kg Fig. 5.1.16. Calculated maximal landslip of the prop piston SHC-40 for different mass stresses





Rys. 5.1.17. Obliczony czas narastania ciśnienia cieczy stojaka SHC-40 dla różnych mas udarowych ($E_u = 15 \text{ kJ}$, $P_w = 21,3 \text{ MPa}$, wysuw 1 m) oraz

dodatkowej masy spoczynkowej a, b, c, d, e - odpowiednio 0,50, 5 . 10², 5 . 10³, 4 . 10⁴ kg Fig. 5.1.17. Calculated time of the increasing pressure of the fluid in the prop SHC-40 for different mass stresses, and additional rest mass



Rys. 5.1.18. Błąd względny procentowy pomiędzy wyliczonymi ciśnieniami maksymalnymi stojaka SHC-40 obciążonego udarem masy dla różnych ilorazów masy udarowej (m) do zastępczej rdzennika (m_{1z}) opisanego współczynnikiem r

$$(E_{11} = 15 \text{ kJ}, P_{22} = 21,23 \text{ MPa}, \text{wysuw 1 m}$$

Fig. 5.1.18. Percentage: relative error between calculated maximal pressures of the prop SHC-40 loaded by the mass stress for different ratios of the mass stress to the substitude mas of the upper prop described by the coefficient r





a - wykonanie normalne, b - ciecz w rdzenniku





Rys. 5.1.20. Obliczone maksymalne ciśnienie oraz czas narastania ciśnienia cieczy hydraulicznej stojaka SHC-40 obciążonego udarem masy określone jako wielkości względne (E₁ = 15 kJ, P = 21,3 MPa, wysuw 1 m) l, 1 max - wysuw oraz wysuw całkowity; P_{10X}, P_{10X1} - ciśnienie maksymalne dla wysuwu l oraz 1 t_n, t_n, t_{n1} - czas narastania ciśnienia dla wysuwu l, 1 mm

Fig. 5.1.20. Calculated maximal pressure and the increasing time of the hydraulic fluid pressure of the prop SHC-40 loaded by the mass stress defined as relative variables



Rys. 5.1.21. Obliczone maksymalne ciśnienie cieczy hydraulicznej stojaka SHC obciążonego udarem masy dla różnych podporności wstępnych (E₁ = 15 kJ, wysuw 1 m)

Fig. 5.1.21. Calculated maximal pressure of hydraulic fluid of the prop SHC loaded by the mass stress for different introductiory supportability



Rys. 5.1.22. Obliczony oraz wyznaczony doświadczalnie przebieg ciśnienia cieczy hydraulicznej podpory typ E 3-4 Voest Alpine wyposażonej w zawór bezpieczeństwa obciążonej udarem masy (E_u= 0,088 MJ, wysuw 0,823 m)

Fig. 5.1.22. Calculated and empirically assigned the run of the pressure of the hydraulic fluid of the support E 3-4 Voest Alpine equipped with the safety valve loaded by the mass stress

- 55 -





Rys. 5.1.23. Błąd względny procentowy pomiędzy wynikami obliczeń i badań ciśnień maksymalnych podpory typ E 3-4 Voest Alpine z zaworem bezpieczeństwa przy obciążeniu udarem masy o różnych energiach

a - P = 0, wysuw 0,35 m, b - P = 20 MPa, wysuw 0,823 m

Fig. 5.1.23. Percentage relative error between results of computations and investigations of maximal pressures for the support E 3-4 Voest Alpine with safety valve loaded by mass stress with different energies.

5.1.6. <u>Omówienie wyznaczonych charakterystyk dynamicznych stojaków</u> <u>i podpór</u>

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk dynamicznych stojaków SHC-40 oraz podpory E 2-3 można określić wnioski ogólne:

 Przyjęte modele matematyczne o dyskretnym rozłożeniu masy i sprężystości wystarczająco wiarygodnie odzwierciedlają stojaki i podpory hydrauliczne i mogą być wykorzystane dla określenia ich charakterystyk dynamicznych.

- Posługując się modelami matematycznymi można wyznaczyć charakterystyki dynamiczne stojaków i podpór, które mogą zastąpić charakterystyki uzyskane z badań w stoiskach kafabowych. Niezgodność charakterystyk wyznaczonych metodami analitycznymi i uzyskanych z badań dla najniekorzystniejszego przypadku nie przekracza 20%.
- Wykorzystując podane metody analityczne można ocenić zachowanie się stojaków i podpór w różnych warunkach eksploatacyjnych.

Wnioski szczegółowe:

- Charakterystyki dynamiczne uzyskiwane metodami kafarowymi są zależne od wielkości masy bijaka oraz mas spoczynkowych. Dla uzyskania wiarygodnych wyników należy dążyć, aby masa bijaka była znacznie większa od mas będących w spoczynku (kilkadziesiąt razy). Optymalna masa bijaka powinna w przybliżeniu wywoływać obciążenie statyczne zbliżone do podporności roboczej.
- Objętość cieczy pod tłokiem decyduje o odporności podpory na obciążenia udarowe (wysuw tłoczyska, jak również ciecz w rdzenniku).
- Ciśnienie początkowe ma niewielki wpływ na ciśnienie maksymalne cieczy hydraulicznej przy obciążeniu udarem masy.
- Zawór bezpieczeństwa ogranicza ciśnienie maksymalne cieczy hydraulicznej, powodując jednak, że w wyniku obciążenime dynamicznego następuje znaczny zsuw rdzennika podpory,
- Przy obliczaniu stałych skupionych modeli zastępczych, bez wpływu na wyniki, można pominąć współczynnik redukcyjny masy układu drgającego, wynoszący 0,4 - dotyczy zależności (5.1.1).

5.2. CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE STALOWEJ ODRZWIOWEJ OBUDOWY CHODNIKOWEJ

Problemy dynamiki obudowy chodnikowej, opartej o stalowe odrzwia łukowe, stają się w chwili obecnej przedmiotem szczęgólnego zainteresowania. Wynika ono z faktu, że większość tąpnięć w kopalniach ma miejsca w chodnikach. Brak wystarczającej bazy stoiskowej, metodyk, aparatury oraz doświadczeń poweduje, że dopiero za kilka lat po dokonaniu niezbędnych uzupełnień można liczyć na lepsze rozeznanie problematyki. Podobną sytuację obserwuje się w Czechosłowacji i Republice Federalnej Niemiec.

Dotychczasowe prace Konopy [32] w zakresie modelowania dynamiki odrzwi stąlowych, Budirskiego [102] dotyczące badania złącz oraz KOMAG-u kształtowników [74] stanowią jedynie przyczynek do problematyki. Brak bazy badawczej i kilkuletnia perspektywa jej uzupełniania powoduje, że metody analityczne w chwili obecnej mogą stanowić alternatywę dla oceny odporności odrzwiowych stalowych obudów chodnikowych na obciążenia wynikające z tąpań. Podstawą dla dokonania oceny są charakterystyki opisujące wytrzymałość mechaniczną odrzwi w zależności od wielkości i rodzaju obciążenia oraz warunków eksploatacyjnych. Prowadząc w stoisku badania czy określając analitycznie charakterystyki dynamiczne dąży się, aby sposób obciążenia i badania był zbliżony do warunków kopalni. Dla obciążeń statycznych sposób badania odrzwi zbliżonych do rzeczywiście występujących w kopalni podał Małoszewski [39] oraz Konopa [33]. Podany sposób można wykorzystać dla potrzeb oceny charakterystyk dynamicznych.

Obudowa żukowa stalowa jest układem mechanicznym trudnym do matematycznego opisania ze względu na występowanie w konstrukcji elementów, którym przypisuje się charakterystyki liniowe oraz nieliniowe. Rozkład sił wynika również z oddziaływania na odrzwia takich czymników, jak sposób przyłożenia obciążenia, rodzaj obciążemia, oddziaływanie górotworu i wykładki. Wyznaczając charakterystyki dynamiczne należy uwzględnić:

- przyłożenie siły obciążającej w postaci punktowej jak również rozłożonej [39, s. 32],
- rodzaj obciążenia wynikający z tąpań (wg punktu 4).
- odpor sztywny i sprężysty oraz przypadek braku odporu [39. s. 34].

Schematycznie warunki, w których będą wyznaczone charakterystyki dynamiczne odrzwi stalowych, przedstawiono na rys. 5.2.0.



Rys. 5.2.0. Proponowane warunki badań odrzwi stalowych przy obciążeniu udarem masy

Fig. 5.2.0. Proposed conditions of tests for steel frame doors loaded by the mass stress

Na charakterystykę dynamiczną odrzwi stalowej istotny wpływ posiada czztałtownik pracujący na zginanie oraz złącze. Modele i charakterystyki rymienionych elementów zostaną przedstawione dla przypadku obciążenia udarem masy. Modele zostaną zbudowane dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości.

Na obecnym stanie wiedzy analizę dynamiki odrzwi ograniczono do zginania prostego odcinka kształtownika oraz złącza.

5.2.1. <u>Model i zależności opisujące zginanie prostego odcinka kształ</u>townika obciążonego udarem masy

Wytrzymałość statyczną na zginanie wyznacza się zgodnie z normą [41]. Podobnie można określić charakterystykę przy obciążeniu udarem masy. Sposób obciążenia udarem masy przedstawiono na rys. 5.2.1.



Rys. 5.2.1. Sposób wyznaczenia charakterystyk dynamicznych prostego odcinka kształtownika obciążonego udarem masy
a - schemat obciążenia, b - mode P zastępczy, e - analog elektryczny
Fig. 5.2.1. A way of assignment of dynamic characteristics for straight segment of a shape loaded by the mass stress

Postępując podobnie jak w punkcie 5,1.1 wyprowadzone zależności analityczne opisujące dynamikę badania prostego odcinka kształtownika przedstawiaja zależności:



- 59 -

gdzie:

k₂₁ - statyczny współczynnik sprężystości prostego odcinka kształtownika, Nm⁻¹

$$m_{21} = 0,4 m_p + m_d, kg$$

m_p - masa odcinka kształtownika, kg

$$w_{21} = (\frac{k_{21}}{m+m_{21}})^{1/2}$$
, s⁻¹

Wykorzystując wyprowadzone zależności obliczono:

- siłę zginającą oraz ugięcie w zależności od czasu, prostego odcinka kształtownika V 29 obciążonego udarem masy (rys. 5.2.2),
- maksymalną siżę zginającą oraz maksymalne ugięcie w zależności od eneggii udaru kształtownika V 29 (rys. 5.2.3),
- wpływ wielkości masy udarowej na maksymalną siżę zginającą oraz maksymalne ugięcie przy stałej energii udaru (kształtownik V 29) (rys.5.2.4).

Dopuszczalne energie udaru wyznaczone analitycznie dla różnych ksztażtowników zebrano w tablicy 5.2.1. Przekroczenie obliczonych wielkości spowoduje trwałe odkształcenia.

Tablica 5.2.1

Dopuszczalne energie obciążenia udarem prostych odcinków różnych wielkości kształtownika typ V wyznaczone sposobem analitycznym

Rodzaj kaztałtownika	v	21	V 25		₹ 29		V 36	
	5	5	5	25	<u></u>	2	~	~
F _{dop} , kN	125	130	172	173	203	183	310	193
E _u , kJ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6

Uwaga: materiał stal St-5



Rys. 5.2.2. Obliczone przebiegi siły, ugięcia i prędkości prostego odcinka kształtownika obciążonego udarem masy (E = 1 kJ, m = 2000 kg, kształttownika V 29)

a - dnem na dół, b - dnem do góry, F - siła, l - ugięcie, v - prędkość
 Fig. 5.2.2. Calculated runs of the bend force and velocity of the straight segment of the shape loaded by the mass stress





a - dnem do góry, b - dnem w dół, F - siła, 1 - ugięcie

Fig. 5.2.3. Calculated forces and deflections for the straight connection loaded by the mass stress as a function of the stress energy



- 63 -

Rys. 5.2.4. Obliczone maksymalne siły i maksymalne ugięcia prostego odcinka kształtownika obciążonego udarem masy dla różnych wielkości mas (E. = 1 kJ, kształtka V 29)

F - siža, 1 - ugięcie

Fig. 5.2.4. Calculated maximal forces and maximal deflections for the straight segment of the shape loaded by the mass stress for different masses

5.2.2. <u>Model i zależności opisujące złącze odrzwi stalowych przy</u> obciażeniu udarem masy

Złącze odrzwi stalowych pracuje na zasadzie tarcia. Wartość siły hamującej ruch łukowych elementów odrzwi w złączu uzależnione jest od wielu czynników, takich jak wartość siły docisku, rodzaj materiału, stan powierzchni, konstrukcja strzemion, Inne wartości sił obserwujemy, gdy występują przemieszczenia, a inne w stanie spoczynku. Na podstawie badań prowadzonych w Vedeckovyskumným Uhelným Ústawie Ostrava - Radvanice w CSRR [102] wynika, że podczas zsuwu w złączu siła powiązana jest z prędkością zależnościami nieliniowymi. Na rys. 5.2.5 przedstawiono przykładową charakterystykę wyznaczoną doświadczalnie w stoisku kafarowym, natomiast na rys. 5.2.6 przewidywaną charakterystykę dynamiczną złącza jako funkcję F = f(V). Charakterystyce przyporządkowano funkcję analityczną najbardziej zbliżoną do przebiegu doświadczalnego:

23 = V23 + b ,

(5.2.2)











Fig. 5.2.6. Predicted dynamic characteristic of the junction loaded by the mass stress as the function f = f(v)

gdzie:

a, b - współczynniki,

 F_{23} - siła hamująca w złączu, N V₂₃ - prędkość w złączu, ms⁻¹.

Funkcję przyjęto na podstawie badania statystycznego charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie według programu STATGRAPHICS komputera IBM. W tablicy 5.2.2 zebrano współczynniki korelacji oraz standardowego błędu oszacowania dobieranych funkcji. Przyjęto kryterium minimaľnego standardowego błędu oszacowania przy znamiennej korelacji (przyjęto p > 0,05). Wydruk komputerowy obliczeń przyjętej funkcji przedstawiono na rys. 5.2.7.

Tablica 5.2.2

Statystyczne przybliżenie charakterystyki dynamicznej złącz do wybranych funkcji

Przybliżenie do funkcji	Współczynnik korelacji	Standardowy błąd osza- cowania	Prawdopodobieństwo [106, s. 257]
y = ax + b	- 0,885	2,920	p > 0,001 ·
y = ax**b	- 0,707	0,413	p > 0,01
y = exp(a + bx)	- 0,920	0,228	·p > 0,001
1/y = a + bx	0,882	0,033	p > 0,001

Złącze posiada dwa stany pracy: pierwszy, gdy kształtowniki pozostają względem siebie nieruchome oraz drugi, gdy zmieniają położenie. Wymienionym stanom pracy złącza możemy przyporządkować odpowiednie modele zastępcze oraz wyznaczyć zależności analityczne. Dla przypadku obciążenia złącza udarem masy sposób obciążenia złącza oraz modele zastępcze przedstawiono na rys. 5.2.8. Relacje opisujące dynamikę złącza wyprowadzono na podstawie przyjętych modeli. Modele powiązane są ze sobą warunkami brzegowymi. Dla chwili gdy prędkość w złączu jest równa zero, (model wg C rysunek 5.2.8) otrzymano:

$$\mathbf{P}_{22}(t) = \frac{m}{m_2'} \frac{\nabla_0 k_{22}}{\omega_{22}} \sin \omega_{22} t, \mathbf{N}$$

$$\mathbf{l}_{22}(t) = \frac{m}{m_2'} \frac{\nabla_0}{\omega_{22}} \sin \omega_{22} t, \mathbf{m}$$

$$\nabla_{22}(t) = \frac{m}{m_2'} \nabla_0 \cos \omega_{22} t, \mathbf{m}^{-1}$$
(5.2.3)

- 65 -



		Standard	Т	Prob.
Parameter	Estimate	Error	Value	Level
ntercept	0.0380893	0.0161016	2.36556	0.034218
Slope	0.0275666	4.093691-3	6.73392	1.396211-5

iource	Sum of	Squares	Df	Mean Square	F-Ratio
lodel		.050604	1	.050604	45.345724
rror		.014507	13	.001116	

Correlation Coefficient = 0.881584 Stnd. Irror of Est. = 0.0334059

Do you want to plot the fitted line? (Y/N): Y



Rys. 5.2.7. Wydruk komputerowy przybliżenia charakterystyki złącza do funkcji $\frac{1}{2} = ax + b$

. .

Fig. 5.2.7. Computer listing of the approximation of the junction characteristic by a function $\frac{1}{2} = ax + b$





Rys. 5.2.8. Sposób obciążenia złącza udarem masy - schemat obciążenia, b - model zastępczy, c - analog złącza nie będące go w ruchu, d - analog złącza podczas zsuwu Fig. 5.2.8. A way of loading of the junction by a mass stress

gdzie:

$$k_{22} = \frac{EA_{22p}}{1,5} , Nm^{-1}$$

$$m'_{2} = m + m'_{22}, kg$$

$$m'_{22} = 0,8 m_{p} + m_{d}, kg$$

$$\omega_{22} = \left(\frac{k_{22}}{m + m'_{22}}\right)^{1/2}, m^{-1}$$

dla ruchu kształtowników w złączu (model wg d rys. 5.2.8) otrzymano:

$$F_{22}(t) = a \left[(v_{tn} + b)^2 - \frac{2a}{m_2'} t \right]^{-1/2}, N$$

$$I_{22}(t) = \frac{m_2'(v_{tn} + b)^3}{3a} - \frac{m_2'}{3a} \left[(v_{tn} + b)^2 - \frac{2a}{m_2'} t \right]^{3/2} - bt, m$$

$$v_{22}(t) = \left[(v_{tn} + b)^2 - \frac{2a}{m_2'} t \right]^{1/2} - b, ms^{-1}$$
(5.2.4)



Rys. 5,2.10. Obliczony przebieg siły, prędkości i drogi w złączu obciążonym udarem masy (E $_{\rm u}$ = 2.10⁴J, kształtownik V 29)







Fig. 5.2.11. Calculated maximal landslip in the junction loaded by the mass stress with different energies (shape V 29)

gdzie:

A_{22n} - przekrój badanego odcinka kształtownika, m²

1_{22p} - długość badanego odcinka kształtownika, m

$$m'_{2} = m + m'_{22}$$
, kg

 V_{tn} - prędkość masy m dla momentu przekroczenia siły odpowiadającej maksymalnej nośności złącza $F_{22}(tn) \ge F_{nom}$.

- 68 -

Przewidywane charakterystyki dynamiczne złącza przy obciążeniu udarem masy przedstawiono na rys. 5.2.9. Obliczoną siłę w złączu, zsuw oraz prędkość w zależności od czasu dla obciążenia udarem masy ujęto na rys. 5.2.10. Maksymalny zsuw w złączu jako zależność wielkości energii oraz wielkości masy przy stałej energii udaru pokazano odpowiednio na rys. 5.2.11 i 5.2.12.

Współczynniki występujące w zależności łączącej siłę w złączu z prędkością zsuwu przyjęto na podstawie wyników badań złącz przeprowadzonych przez VVUUU Ostrava - Radvanice [102]. Współczynniki określono dla wybranego złącza celem sprawdzenia zaproponowanej metody obliczeń.



Rys. 5.2.9. Przewidywane charakterystyki dynamiczne złącza obciążonego udarem masy

a - przebiegi siły, prędkości i drogi w zależności od czasu; b - siła w złączu dla czasu t<t_n; c - siła w złączu dla czasu t>t_n; t_n, V_ - czas i prędkość odpowiadająca rozpoczęciu zsuwu

Fig. 5.2.9. Predicted dynamic characteristics of the junction by the mass stress



ys. 5.2.12. Obliczony zsuw maksymalny w złączu obciążonym udarem masy la różnych wielkości mas udarowych ($E_u = 2.10^4 J$, kształtownik V 29) ig. 5.2.12. Calculated maximal landslip in the junction loaded by the mass stress for different stressing masses (shape V 29)

5.2.3. Omówienie wyznaczonych charakterystyk dynamicznych

Charakterystyki dynamiczne wyznaczono jedynie dla prostego odcinka ształtownika oraz złącza. Wyliczone charakterystyki prostego odcinka ształtownika pozwalają sformułować wnioski:

Energia udaru, przy której w materiale naprężenia osiągają granicę plastyczności w zależności od kształtownika, wynosi 0,4-0,8 kJ. Czasy narastania naprężeń T/4 przy badaniu udarem masy wynoszą około 10 ms (masa udarowa 2 tony).

Wiarygodne wymiki uzyskano dla masy udarowej przekraczającej 1 tonę.

dobnie dla złącz sformułowano wnioski:

Zależność pomiędzy siłą w złączu a jego prędkością ma charakter nieliniowy.

Występują duże różnice w wielkościach sił - największe obserwuje się, gdy złącze nie jest w ruchu (statyczne), stopmiowo wielkość sił ulega zmniejszeniu wraz ze wzrostem prodkości. Dla warunków ekstremalnych iloraz siły statycznej i kinetycznej wynosi 3-4.

- Przy obciążeniu złącza udarem masy (2 tony) czas zsuwu wynosi kilkadziesiat milisekund.

- Wielkość zsuwu przy stałej energii udaru zależy od wielkości masy wywołującej udar. Dla rozpatrywanego przypadku masa udarowa powinna posiadać wielkość ponad 5 ton, aby wyniki obliczeń były wiarygodne.

these are strongeriged and such and the set of the set

stationer and the state of the section of the secti

mention of a state of the second state of the

stanter oprisi a loger statent interioristication parter or state and the statent

The state of the s

these said 3, 40, 12 and 12 and 14 and 14

- tradition everyterine sufficiency a

- 70 -

Po wykorzystaniu zależności (6.1.1) warunek na ciśnienie maksymalne cieczy hydraulicznej ma postać:

$$P_{mx} < \frac{2d_2 Re}{D_2}$$
, Pa (6.1.2)

(6.1.3)

gdzie:

Re - granica plastyczności materiału cylindra, Pa.

Przybliżenie I

Dynamikę stojaka dla przybliżenia I opisują relacje:

- zmiana wysokości wyrobiska:

$$\Delta l(t) = l_0 + 2 A sin \Omega t$$
, m

- predkość zsuwu:

$$v(t) = \Delta l(t) = v_1 \cos \Omega t$$
, ms⁻¹

- ciśnienie cieczy hydraulicznej:

 $p_2(t) = P_w + \frac{2A}{A_2} ksin\Omega t$, Pa

gdzie:

A	- amplituda drgań górotworu, m
fg	- częstotliwość drgań górotworu, s ⁻¹
$l_0 = \frac{P_{WA_2}}{k}$	 początkowe ugięcie stojaka wynikające z obciążenia sta- tycznego, m
Pw	- ciśnienie cieczy hydraulicznej przed wystąpieniem wstrząsu, Pa.
$v_1 = 2A \Omega$	- amplituda prędkości drgań, ms ⁻¹
$\Omega = 2\pi$	- prędkość kątowa, rad.

Podstawiając przybliżone parametry drgań górotworu ujęte w tablicy 3.2 do zależności (6.1.3), obliczamy wybrane charakterystyki, które graficznie przedstawiono na rys. 6.1.1 i 6.1.2. Na wykresach p₂(t) zaznaczono ciśnienie cieczy 80 MPa, które odpowiada osiągnięciu naprężeń w materiale dylindra równych naprężeniu plastycznemu.

6. WSPÓŁPRACA OBUDOWY Z GÓROTWOREM DLA WARUNKÓW OBCIĄŻEN WYNIKAJĄCYCH ZE WSTRZĄSÓW GÓRNICZYCH

Oceny zachowania się obudowy podczas tąpnięcia możemy dokonać analitycznie wykorzystując w tym celu model obudowy oraz sposób jej obciążenia. Ocena taka obarczona jest znacznym błędem, umozliwia jednak wytyczenie kierunków oraz ustalenie odpowiednich proporcji. Duża różnorodność sposobow obciążenia obudowy w wyniku tąpnięcia powoduje, że celowe jest odniesienie ich do obserwacji ruchowych.

Przyjęte w rozdziale 4 sposoby obciążenia obudowy przez górotwór dla warunków wynikających ze wstrząsów są podstawą dla oceny ich zachowań. Przyjmując wybrany typ obudowy zostaną wyznaczone charakterystyki i dokonana zostanie ocena przypuszczalnego jej zachowania.

6.1. OBUDOWA ŚCIANOWA Z INDYWIDUALNYCH STOJAKÓW HYDRAULICZNYCH TYP SHC-40

Współpraca obudowy z indywidualnych stojaków hydraulicznych typ SHC-40 zostanie oceniona metodą analityczną. Przyjęto model o jednym stopniu swobody i dyskretnym rozłożeniu masy i sprężystości. Zależności wyliczono dla parametrów:

- warunki pracy stojaka: $P_{w} = P_{n} = 35 \cdot 4 MPa$, $l_{2} = 0.5 l_{m} = 0.5 m$

- dane cylindra stojaka: $D_2 = 0,12 \text{ m}, d_2 = 0,00065 \text{ m}$

- materiał cylindra: stal 40 H ulepszona cieplnie, Re = 830 MPa.

Obliczone charakterystyki dla wielkości obciążeń wynikających z tąpań były podstawą oceny współpracy obudowy z górotworem. Wyznaczono dla przykładowych warunków dopuszczalne naprężenia w materiale cylindra oraz zakresy utraty kontaktu stojaka ze stropem. Dopuszczalne naprężenie w materiale cylindra obliczono z zależności [19, s. 405]:

$$\vec{o}_{dp} = \frac{P_{mx} D_2}{2d_2}$$
, Pa (6.1.1)

gdzie:

- d₂ grubość ścianki cylindra, m
- D₂ średnica wewnętrzna cylindra, m
- Pmr ciśnienie maksymalne cieczy hydraulicznej, Pa.



Bys. 6.1.1. Obliczony przebieg ciśnienia cieczy hydraulicznej stojaka SHC-40 obciążonego drganiami poprzecznymi górotworu (przybliżenie I, $\mathbf{E}_{g} = 10^{10}$ J, $P_{w} = 35,4$ MPa, wysuw 0,5 m)

Fig. 6.1.1. Calculated run of hydraulic fluid pressure for the prop SHC-40 loaded by the crosswise vibrations of the rock. (approximation I)



Rys. 6.1.2. Obliczony przebieg ciśnienia cieczy hydraulicznej stojaka SWC-40 obciążonego drganiami poprzecznymi górotworu (przybliżenie I, $P_w = 35,4$ MPa, wysuw 0,5 m)

$$a - E_s = 10^{10}$$
 J, $b - E_s = 10^9$ J. $c - E_s = 10^8$ J

Fig. 6.1.2. Calculated runs of hydraulic fluid pressure for the prop SHC-40 loaded by the crosswise vibrations of the rock (approximation I)

Przybliżenie II

Odpowiednio dla przybliżenia II otrzymamy:

- zmiana wysokości wyrobiska:

$$\Delta l(t) = l_{0} - v_{2} \left[\frac{t^{2}}{T_{1}} - \frac{(t - T_{1})^{2}}{T_{1}} H(t - T_{1}) \right] + v_{2} \left[\frac{(t - T_{1} - T_{2})^{2}}{T_{3}} H(t - T_{1} - T_{2})^{2} + \frac{(t - T_{1} - T_{2} - T_{3})}{T_{3}} H(t - T_{1} - T_{2} - T_{3}) \right],$$

- prędkość zsuwu:

$$\mathbf{v}(t) = -\frac{\mathbf{v}_2}{\mathbf{T}_1} \left[\frac{t^2}{\mathbf{T}_1} - \frac{(t-\mathbf{T}_1)^2}{\mathbf{T}_1} \mathbf{H}(t-\mathbf{T}_1) \right] + \frac{\mathbf{v}_2}{\mathbf{T}_1} \left[\frac{(t-\mathbf{T}_1-\mathbf{T}_2)^2}{\mathbf{T}_3} \mathbf{H}(t-\mathbf{T}_1-\mathbf{T}_2) - \frac{(t-\mathbf{T}_1-\mathbf{T}_2-\mathbf{T}_3)^2}{\mathbf{T}_3} \mathbf{H}(t-\mathbf{T}_1-\mathbf{T}_2-\mathbf{T}_3) \right], \quad \mathbf{ms}^{-1}$$
(6.1.4)

- ciśnienie cieczy hydraulicznej:

$$p(t) = P_{w} + v_{2} \frac{k}{A_{2}T_{1}} \left[t^{2} (t-T_{1})^{2} H(t-T_{1}) \right] - v_{2} \frac{k}{A_{2}T_{3}} \left[(t-T_{1}-T_{3})^{2} \cdots \right]$$

$$H(t-T_{a}-T_{2}) - (t-T_{1}-T_{2}-T_{3})^{2} H(t-T_{1}-T_{2}-T_{3}) \right], Pa$$

gdzie:

H(t-T) - funkcja jednostkowa przesunięta (dla t < T, 1 dla t > T)

 v_2 - predkość astalona ruchu skał, ms⁻¹ $\Delta t = T_1 + T_2 + T_3$.

Według badań Bilińskiego [93, s. 9] można przyjąć, że maksymalna zmiana odległości strop - spąg w wyniku eksploatacji na zawał czy też tąpnięcia została oceniena na 0,12 m. Czas, w którym ona następuje, uzależniony jest od nasilenia zjawiska osiadania warstw i zawiera się w granicach od godzin dla normalnej eksploatacji do milisekund w przypadku tąpnięcia.

Wielkość zmiany odległości strop - spąg i czas, w którym ona następuje, decyduje o obciążeniu dynamicznym obudowy. Duża różnorodność zachowania się górotworu podczas tąpnięcia dla rozpatrywanego przypadku powuje, że wsyskanie jednosnacznych powiązań pomiędzy energią wstrząsu a czasem i wielkościa przemieszczenia stropu w wyrobisku just niemożliwe.



Rys. 6.1.3. Obliczone ciśnienie maksymalne stojaka SHC-40 obciążonego wskutek zmniejszenia wysokości wyrobiska (przybliżenie II, P_w = 35,4 MPa, wysuw 0,5 m)

P_{mx} - maksymalne ciśnienie, Q₁ - zmniejszenie objętości cylindra
 Fig. 6.1.3. Calculated maximal vibrations for the prop SHC-40 loaded by the decrease of the height of the heading (approximation II)



Rys. 6.1.4. Obliczone ciśnienie maksymalne oraz maksymalny zsuw stojaka SHC-40 obciążonego udarem masy o wartości wynikającej z gęstości energii w ognisku wstrząsu (przybliżenie II, P_w = 35,4 MPa, wysuw 0,5)

Fig. 6.1.4. Calculated maximal pressure and maximal landslip for the prop SHC-40 loaded by the mass stress whose value results from the energy density in the foccus of the shock Obliczymy jedynie:

 ciśnienie maksymalne cieczy hydraulicznej stojaka dla różnych przemieszczeń stropu (rys. 6.1.3) z zaznaczeniem zmian objętości cylindra (Q1),

- ciśnienie maksymalne oraz przemieszczenie rdzennika przy przyjęciu średniej gęstości energii w strefie ogniakowej (tablica 3.3), średniej ilości stojaków na powierzchnię stropu i obciążenia udarem masy - rys. 6.1.4

Przybliżenie III

Dla przybliżenia III otrzymano:

- zmianę wysokości stropu:

$$\Delta l(t) = l_{0} + \frac{mV_{0}}{(m+m'_{2z})^{\omega}} \operatorname{sin} \omega t, m$$

- predkość zsuwu:

$$v(t) = \frac{mV_0}{(m+m_{2\pi})} \cos \omega t , ms^{-1}$$

. . .

(6.1.5)

- ciśnienie cieczy hydraulicznej:

$$p(t) = P_{W} + \frac{mV_{o}\omega}{A_{2}} \text{ sinwt}, Pa$$

gdzie:

m - masa udarowa, kg

g - przyspieszenie ziemskie, ms⁻²

h - wysokość swobodnego spadku masy udarowej, m

$$\omega = \left(\frac{1}{m+m_{2z}}\right)^{1/2} -1$$

Na podstawie wyprowadzonych zależności wyliczono przebieg ciśnienia i zsuwu w zależności od czasu dla energii 0,6 . 10⁴ J oraz maksymalne ciśnienie i zsuw w zależności od energii (rys. 6.1.5). Charakterystyki wyznaczono dla przypadku, gdy masa spoczynkowa równa się zero. Zakresy przekraczania naprężeń dopuszczalnych cylindra stojaka SHC-40 oraz Voest Alpine dla różnych rodzajów obciążenia wynikających ze wstrząsów górniczych zebrano na rys. 6.1.6.



Rys. 6.1.5. Obliczone ciśnienia i zsumy stojaka SHC-40 obciążonego udarem masy (przybliżenie III, $P_w = 35,4$ MPa, wysuw 0,5 m, masa udaru 4.104kg) a - w funkcji czasu, b - w funkcji energii udaru, P - ciśnienie, l - zsuw Fig. 6.1.5. Calculated pressure and strokes of the prop SHC-40 loaded by the mass stress (Approximation III)



Rys. 6.1.6. Obliczone zakresy przekraczania naprężeń dopuszczalnych cylindra w zależności od rodzaju i energii wstrząsu

a - stojak SHC-40 (wysuw 0,5 m, $P_w = 35,4$ MPa), b - podpora E 3-4 f. Voest Alpine (wysuw 0,823 m, $P_w = 20$ MPa)

Fig. 6.1.6. Calculated ranges of exceeding of admissible stresses for cylinder in the function of the kind and energy of the shock

Obciążenie narastającą masą statyczną - przybliżenie IV

Model stojaka SHC-40 dla obciążenia narastającą masą przedstawiono na rys. 6.1.7. Ruch rdzennika nastąpi, gdy ciężar masy przekroczy siłę powodującą otwarcie zaworu. Posiadanie przez każdy zawór histerezy jest przyczyną, że rozpoczęty zsuw rdzennika może zostać zatrzymany dopiero pod działaniem sił zewnętrznych. Na podstawie analogu (rys. 6.1.7c) można zapisać:

- 79 -

$$mg - F_0 = m \dot{\nabla}_0(t)$$

(6.1.6)



Rys. 6.1.7. Model obciążenia stojaka narastającą masą s - stojak obciążony masą, b - model stojaka obciążonego masą, e - analog elektryczny

Ponieważ $F_2 = P_2 A_2 = c_3 V_2 A_2^2$ (wg 5.1.15), wyrażenie wiążące czas z predkością zsuwu ma postać:

$$t = \int \frac{m}{m - c_3 V^2 A_2^2} \, dv , s \qquad (6.1.7)$$

po scałkowaniu i przekształceniach prędkość zsuwu rdzennika stojaka obciążonego narastającą masą ujmuje relacja:

$$v(t) = \frac{(exp2dgt)-1}{d[(exp2dgt)+1]}, ms^{-1}$$
(6.1.8)

gdzie:

$$c_3 - wg (5.1.15)$$

 $d = (\frac{c_3 A_2^3}{mg})^{1/2}, sm^{-1}$





Predkość zgodnie z zależnością (6.1.8) przyjmuje wartości:

dla t = 0, v = 0dla $t \rightarrow \infty$, $v = \frac{1}{4}$ Prędkość zsuwu ustala się na stałym poziomie zależnym przede wszystkim od wielkości masy oraz własności zastosowanego zaworu. Przykładowe wyznaczone charakterystyki przedstawiono na rys. 6.1.8.

- 81 -

Podobnie jak dla obudowy ścianowej opartej o stojak SHC-40 można przeanalizować zachowanie się obudowy podporowej. W obudowach osłonowych oraz osłonowo-podporowych obciążenie jest przekazywane na podporę poprzez przekładnię mechaniczną wynikającą z rozwiązania konstrukcyjnego. Uwzględnienie wymienionej właściwości obudowy w analizie dynamiki jest możliwe posługując się procedurą podaną przez Romanowicza [67, s. 53].

6.2. STALOWA ODRZWIOWA OBUDOWA CHODNIKOWA

Podobnie jak w punkcie 6.1 przyjęto model o jednym stopniu swobody. Na rys. 6.1.2 przedstawiono modele odrzwia oraz obciążeń wynikających z oddziaływań górotworu według przybliżeń I-IV:

Kontakt odrzwia ze stropem dla warunków statycznych wymuszony jest występującymi pomiędzy nimi siłami. Dla warunków dynamicznych określić go możemy przyspieszeniem. Uwzględniając kinetykę odrzwia podatnego oraz sposób współpracy z górotworem, możemy przyjąć:

- kontakt jest zachowany przyśpieszenie górotworu jest większe od przyspieszeń w złączach odrzwia, wynikających z własnych charakterystyk dynamicznych,
- brak kontaktu przyspieszenie górotworu jest mniejsze od przyspieszeń w złączach odrzwia, wynikających z własnych charakterystyk dynamicznych.

Znając wartość przyspieszeń stropu oraz w złączu odrzwia, można określić warunki, w których nie następuje utrata kontaktu obudowy ze stropem. Relacje opisujące dynamikę własną odrzwia na podstawie modelu ujętego rysunkiem 6.2.1c mają postać:

- prędkość kształtowników w złączu:

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(\Delta x), \text{ ms}^{-1}$$

- zsuw w złączu:

$$l(t) = \sum_{n=1}^{Z} V_{n}(\Delta x) dx, \quad \blacksquare$$

- siła w złączu:

$$f(t) = \frac{F_{no}}{m_c} \frac{R_n}{a_n - b_n} (e^{\cdot b_n t} - e^{-a_n t}), N$$

(6.2.1)

- 82 -E 5a 6.2.1. Schematyczne przedstawienie obciażenia odrzwi stalowych 9 ₽ v(t) 50 E b - przyjęty model zastępozy, c - anaros. b - przyjęty model zastępozy, c - anaros. V(t), Eu,F 2

111

1,11

...

Eag

Contraction of

Przyblizenie

dzie:

door odr

the steel

OTBZ ITBU

- analogi obciążeń

Tig. 6.2.1. Schemating presentation of

tenia odrzwi,

spondb obeig

Rys.

odrzwi

obciqzeń

Modele

$$u_{n} = -\frac{R_{n}}{2m_{c}} - \left[\left(\frac{R_{n}}{2m_{c}}\right)^{2} - \frac{k_{c}}{m_{c}}\right]^{1/2}, \quad s^{-1}$$

$$u_{n} = -\frac{R_{n}}{2m_{c}} - \left[\left(\frac{R_{n}}{2m_{c}}\right)^{2} - \frac{k_{c}}{m_{c}}\right]^{1/2}, \quad s^{-1}$$

- Fno siła w złączu na początku kroku obliczeniowego, N
- k. 3,3 . 10⁶ sprężystość odrzwia (wyznaczona doświadczalnie), Nm⁻¹

- 83 -

- zredukowana długość kształtownika odrzwia, m
- = 1 . 3 + m_d (podobnie jak w punkcie 5.1.1), kg ^م
- masa dodatkowa (strzemion, rozpór), kg
- R opór w złączu (ustalony jako funkcja prędkości wg charakterystyki rys. 5.2.5), Nsm⁻¹
- $v_n(x) = \frac{F_{no}}{m_o} \frac{1}{a_n b_n} (e^{-b_n t} e^{-a_n t}), ms^{-1}$
- $t_{\rm c}$ masa właściwa kształtownika, kg m $^{-3}$

At - krok obliczeniowy, s

Przykładowe obliczone wartości siły, prędkości i drogi w zależności od czasu przedstawiono na rys. 6.2.2. Obliczenia dokonano dla odrzwia podatnego 81P - V29 wyposażonego w złącze, którego charakterystykę kinetyczna ujmuje rys. 5.2.5. Dla wyznaczenia charakterystyki wykorzystano metodykę wyliczeń z rozdziału 5.1.4.

Wyznaczone charakterystyki wskazują na bardzo gwałtowny przebieg zjawiska zsuwu, zachodzący w czasie zaledwie milisekund i występowanie przyspieszeń ponad 200 g. Przyspieszenia' o takiej wartości praktycznie nie występują w górotworze w wyniku tąpań. Można zatem przyjąć, że każdy zsuw powoduje utratę kontaktu ze stropem niezależnie od rodzaju i wielkości obciążenia, a dla warunków dynamicznych odrzwia nie posiadają zdolności podporowych.

0

V(), Eu, F

3



ys. 6.2.2. Obliczone przebiegi w złączu stalowej odrzwi obudowy łukowej 8ŁP - V29 złącze wg charakterystyki VVUU Ostrava-Radvanice) w funkcji czasu, po przekroczeniu nośneści odrzwi: F - siła, v - prędkość, 1 - droga

ig. 6.2.2. Calculated runs in the junction of the frame door for the steel arching

6.3. OMÓWIENIE OCEN WSPÓŁPRACY OBUDOWY Z GÓROTWOREM

Wyznaczone charakterystyki dynamiczne obudowy ścianowej (bez zaworów) la różnych rodzajów obciążeń wynikających z tąpań pozwalają sformułować nioski:

Obciążeniem zagrażającym w największym stopniu obudowie jest obciążenie udarem mas bezpośrednio zalegających nad obudową. Energie tąpnięcia już o wartościach $10^4 - 10^5$ J mogą powodować przekroczenie wytrzymałości mechanicznej cylindrów podpór czy stojaków. Obciążenie wynikające z gwałtownego zaciskania wyrobiska zagraża obudowie dopiero o energiach 10⁷ - 10⁸ J, natomiast drgania stropu (gdy wyrobisko znajduje się poza strefę ogniskową) o energiach powyżej 10⁸ J.
Wprowadzenie zaworu do układu hydraulicznego zmniejsza możliwość uszkodzenia podpory czy stojaka, powodując równocześnie zagrożenie obwałem na skutek znacznego zmniejszenia podporności w warunkach dynamicznych.

Dla obudów chodnikowych odrzwiowych:

- Aktualnie stosowane odrzwia stalowe wyposażone w złącza cierne nie są wystarczająco przystosowane do przejmowania obciążeń dynamicznych wynikających z tąpań. Zachowanie się odrzwia wynika głównie z własnej charakterystyki dynamicznej, na którą rodzaj i wielkość obciążenia przez górotwór praktycznie nie ma wpływu. Duże energie gromadzone w sprężystościach odrzwi stalowych w połączeniu z niekorzystnymi charakterystykami dynamicznymi złącz powodują gwałtowny przebieg zsuwu z utratą kontaktu ze stropem.
- Celowe jest pilne poszukiwanie rozwiązań konstrukcyjnych pozwalających na poprawę charakterystyk dynamicznych odrzwi stalowych, przeznaczonych do warunków wyrobisk zagrożonych tąpaniami.

- 85 -

7. STABILNOŚĆ UKŁADU GÓROTWÓR - OBUDOWA

Przez stabilność układu górotwór - obudowa będziemy rozumieli układ, który po ustąpieniu wymuszenia wraca do położenia wyjściowego. Jest to przypadek idealny i w rzeczywistości może wystąpić jedynie dla zakresu pracy obudowy przed zadziałaniem zaworu lub zsuwem złącza. Zadziałanie zaworu lub zsuw w złączu powoduje, że po ustąpieniu wymuszenia układ górotwór - obudowa przyjmuje inne położenie równowagi. Łaczy się to zwykle z obniżeniem stropu. Dla zapewnienia najlepszej współpracy obudowy z górotworem w warunkach dynamicznych powinny być spełnione podstawowe trzy warunki:

- utrzymanie nieprzerwanego kontaktu obudowy ze stropem w czasie stanów dynamicznych.
- posiadanie odpowiedniej do warunków górniczo-geologicznych podporności.
- posiadanie przez obudowę charakterystyki, w której siła będzie narastała wraz z przyrostem drogi.

Spełnienie równocześne wymienionych warunków jest niezwykle trudne. Obecnie stosowane w kopalniach obudowy w większości spełniają jedynie warunek posiadania odpowiedniej podporności. Obudowy posiadają w swej konstrukcji elementy niekorzystnie wpływające na ich dynamike, sa to zawory w obudowach ścianowych oraz złącza w obudowach chodnikowych. Wymienione elementy powodują, że charakterystyki mechaniczne mają w niektórych przedziałach zakresy, w których przyrostowi drogi odpowiada spadek siły. Przedział taki jest nie do przyjęcia z punktu widzenia stabilności układu górotwór - obudowa i może przyczyniać się do powstawania zawałów. Przykładową charakterystykę mechaniczną przedstawiono na rys. 7.1. Wartość ilorazu siły maksymalnej ${\rm F}_{\rm mx}$ i siły minimalnej ${\rm F}_{\rm min}$ określa wielkość historezy dynamicznej. Wartość ilorazu zbliżona do 1 świadczy o stabilnej charakterystyce dynamicznej, wzrost wartości ilorazu o występujących dużych wahaniach wartości sił podczas dynamicznego zsuwu.

Na podstawie wartości ilorazu w granicach 1-1.2 przyjmujemy histereze dynamiczną jako dobrą, w granicach 1,2-1,5 zadowalającą, natomiast powyżej 1,5 jako złą. Wartości ilorazu w przedziale 1-1,2 uzyskują stojaki i podpory hydrauliczne z zaworami przelewowymi, powyżej 1.5 złącza odrzwi stalowych. Nachylenie części proporcjonalnej charakterystyki wynika ze sprężystości konstrukcji obudowy, natomiast minimalnej z zastosowanego zaworu czy złącza oraz układu współpracującego, tzn. stoiska badawczego lub górotworu. Podobne charakterystyki posiadaja stojaki i podpory wypo-





Rys. 7.1. Przykładowa charakterystyka mechaniczna stojaka z zaworem lub złącza obudowy stalowej łukowej

a - wyznaczona w układzie sztywnym, z wymuszonym przesunięciem, b - wyznaczona w układzie sprężystym, z wymuszonym przesunięciem Fig. 7.1. Exemplary mechanical characteristic of the prop with a valve or the junction of the steel arching

sażone w zawór, jak również złącza w stalowych odrzwiach. Różnice występują jedynie co do wielkości siły maksymalnej i minimalnej. Charakterystyki dynamiczne rozumiane jako zależność siły i prędkości zsuwu posiadają różne przebiegi, wynikające z rodzaju zaworu zastosowanego w stojakach czy podporach oraz rodzaju złącza w odrzwiach stalowych. Duże, trwałe zsuwy spowodowane obciążeniami dynamicznymi chronią obudowę przed uszkodzeniem, stanowią jednak równocześnie czynnik nasilający zawały. Charakterystyki wybranych podpór [61, s. 23] przy obciążeniu udarem masy wyposażone w zawory bezpieczeństwa zebrano w tablicy 7.1. Sposób opisania parametrów przedstawiono na rysunku 7.2.

- 89 -.

- 88 -

Tablica 7.1

Ciśnienie maksymalne oraz czasy narastania ciśnienia cieczy w podporach wyposażonych w zawory bezpieczeństwa

Producent	Podporność nominalna	Energia udaru	Pmx	t ₁	t ₂	Lmx
	kN	kNm	MPa	ms	ms	mm
		150	84	15	48	37
Hemscheidt	200	250	100	17	61	74
		- 400	120	13	72	120
Dowty bez cieczy w rdzenniku	50	140	117	19	11	
z cieczą w rdzenniku		140	84	22	15,	-
		150	64	8,3	16,8	114
Ostroj Opava	200	250	72	7,5	15,9	150
		400	81,5	7,9	24,5	205

1_{mx} - maksymalny zsuw,

t₁ - czas narastania ciśnienia cieczy,

t₂ - czas, w którym występuje przekroczenie ciśnienia ponad ciśnienie otwarcią zaworu bezpieczeństwa.



Rys. 7.2. Sposób opisania parametrów na podstawie charakterystyk z badań l_{mx} - zsuw maksymalny, P_{mx} - maksymalne ciśnienie, P_{oz} - ciśnienie otwarcia zaworu bezpieczeństwa, P_w - ciśnienie wstępne, t_1 - czas narastania ciśnienia, t_2 - czas, w którym ciśnienie przekracza wielkość otwarcia zaworu

Fig. 7.2. A way of describing parameters on the base of characteristics obtained of investigations



Rys. 7.5. Pogladowe przedstawienie przypadku równoczesnego obciążenia obudowy chodnikowej masą spoczynkową oraz siłą dynamiczną

a - schematyczne przedstawienie sposobu obciążenia, b - przebiegu sił Fig. 7.3. Conceptual presentation of the case for simultaneous loading of the heading lining by the static mass and dynamic force



Rys. 7.4. Proponowana charakterystyka obudowy kopalnianej

I - punkt określający bardzo dobry stan stropu, II - punkt określający średni stan stropu, III - punkt określający stan stropu w warunkach żawału

Fig. 7.4. Proposed characteristic of a mining lining

I - a point describing very well state of the roof, II - a point describing medium state of the roof, III - a point describing a state of the roof in the breaking down conditions

Skutki w wyrobisku są wynikiem nie tylko wielkości energii wstrząsu, ale również poprzedzającym stanem obciążeń statycznych. Można sobie wyobrazić sytuację, w której obciążenie statyczne np. blokami skał zalegającymi nad obudową zbliżone jest do nominalnej nośności obudowy. Na obciążenie statyczne obudowy nakłada się niewielkie obciążenie dynamiczne powstałe, np. wskutek wstrząsu. Po przekroczeniu przez obciążenie łączne nośności nominalnej nastąpi zsuw, którego zatrzymanie jest możliwe dopiero po zmniejszeniu się obciążenia poniżej wielkości wynikającej z histerezy dynamicznej lub po zniszczeniu obudowy. Poglądowo omówiony przypadek przedstawiono na rys. 7.3. Podobnie będzie przebiegać przypadek obciążenia narastającą masą, której ciężar przekroczy podporność nominalną.

Charakterystyka obudowy, która będzie spełniać wymagania dobrej współpracy z górotworem dla warunków tak stycznych jak również dynamicznych, . została przedstawiona na rys. 7.4. Charakterystykę sporządzono wykorzystując obowiązujące wymagania wytrzymałości obudów ścianowych [100] oraz przewidywaną konwergencję spowodowaną tapaniami [93].

Zastosowanie w wyrobiskach zagrożonych tąpaniami obudów posiadających charakterystyki zbliżone do przedstawionej na rys. 7.4 zmniejszy potencjalne możliwości powstawania zawałów wskutek optymalnej współpracy górotwór – obudowa. Obecnie stosowane obudowy nie posiadają charakterystyk dynamicznych zbliżonych do przedstawionej i można jedynie przedłożyć problem pod rozwagę konstruktorom.

8. PODSUMOWANIE PRACY I WNIOSKI

Przedstawione opracowanie nie wyczerpuje problematyki związanej z dynamiką obudów górniczych. Stanowi jedynie próbę powiązania dynamiki obudów kopalnianych z górotworem dla warunków tąpań.

Przyjęte w pracy podstawowe założenia dotyczące modeli górotworu określiły sposób obciążenia obudowy. Na podstawie analizy tąpnięć z roku 1987 można stwierdzić, że ponad 90% skutków obserwujemy w obszarze zawartym w strefie ogniska wstrząsu. Można zatem przyjąć, że istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia obciążenia ujętego w pracy jako przybliżenie II, III i IV. Przybliżenia dotyczą: obciążenia obudowy spowodowanego gwałtownym zaciskaniem wyrobiska, udarem masy lub narastającą masą, której ciężar przekroczy nominalną nośność obudowy. Wymienione trzy sposoby obciążenia można modelować w jednym stoisku kafarowym, w którym masa bijaka może być regulowana do wielkości podporności nominalnej. Przyjęte modele matematyczne obudów dla stałych skupionych oraz przedstawiona w pracy metoda wyznaczania charakterystyk dynamicznych w większości przypadków daje możliwość uzyskiwania wyników zbieżnych z doświadczalnymi. Szczególnie przydatne jest do prac o charakterze porównawczym lub koncepcyjnym. Rozszerzenia wywaga jedynie zakres dotyczący opisu matematycznego dynamiki sekcji obudowy oraz całych odrzwi.

Wyznaczone zakresy odporności obudów na obciążenia dynamiczne oraz uwagi dotyczące współpracy z górotworem są zbieżne z obserwacjami tąpań. Na podstawie porównań zachowania się obudów różnych typów podczas tąpań można stwierdzić, że oprócz wytrzymałości mechanicznej równie istotny jes wymóg stabilnej współpracy z górotworem. Najbardziej stabilne są obudowy zmechanizowane, następnie stojaki indywidualne, obudowy odrzwiowe, najmniej stabilne stojaki cierne. Do nielicznych należą przypadki uszkodzeń mechanicznych obudowy w wyniku jej przeciążenia, większość - to utrata stateczności. Podniesiony w pracy problem stabilności w pełni jest zgodny z praktyką górniczą.

¹ Zawór bezpieczeństwa oraz złącze cierne w obudowie odrzwiowej posiadają charakterystyki odbiegające od wymagań prawidłowej współpracy z górotwo rem. Posiadają zakresy charakterystyk, w których przyrostowi drogi odpowiada znaczny spadek podporności, co może mieć wpływ na powstanie obwałów stropu. Szczególnie stosowanie zaworów bezpieczeństwa powinno być poprzedzone wnikliwą analizą ich wpływu na charakterystyki dynamiczne.

the state of the second of the second s

Wyniki pracy zostały wykorzystane do opracowania założeń technicznych stoiska kafarowego dla badań odporności na obciążenia dynamiczne odrzwi obudowy chodnikowej. Założenia objęły koncepcję stoiska oraz aparatury pomiarowo-rejestrującej. Aparatura pomiarowa dla stoiska będzie realizowana na bazie komputera kompatybilnego z IBM XT-Turbo oraz cyfrowego rejestratora sygnałów analogowych [93].

Analityczne metody są wykorzystywane do oceny charakterystyk dynamicznych stojaków i podpór hydraulicznych. Wyznacza śię ciśnienia maksymalne i zsuwy w zależności od energii udaru, wysuwu, podporności wstępnej dla potrzeb oceny konstrukcji, odbiorców czy ustalenia warunków eksploatacji [42, 92].

Z uwagi na ważność przedstawionej problematyki dla bezpiecznej i oszczędnej eksploatacji wydaje się niezbędne dalsze rozwijanie prac związanych z obciążeniami dynamicznymi obudów kopalnianych. W tym celu należy podjąć prace w zakresie:

- Określenia statystycznego najczęściej występujących uszkodzeń obudów kopalnianych w powiązaniu z energią wstrząsu oraz warunkami eksploatacyjnymi i geologicznymi.
- Uzupełnienia możliwości badawczych w zakresie stoisk przeznaczonych do określenia charakterystyk dynamicznych obudów różnych typów.
- Zorganizowania i systematycznego prowadzenia długookresowych badań cbciążeń obudów w wybranych wyrobiskach, w których występują często silne wstrząsy górotworu. Dla wymienionych potrzeb należy przygotować odpowiednią aparaturę oraz metodyki badawcze.
- Na podstawie wyników badań ruchowych oraz stoiskowych przeprowadzić weryfikację wytycznych konstruowania i stosowania obudów w wyrobiskach zagrożonych tąpaniami.

Reasumując - przyjęty cel pracy i jej tezę należy uznać za osiągnięte. Pełne wykorzystanie przedstawionych metod analitycznych i propozycji będzie wymagać jednak dalszych prac związanych z zastosowaniem ich w praktyce. Dotyczy to głównie problemów związanych ze stabilnością układu górotwór-obudowa dla warunków dynamicznych wynikających z tąpań.

The state of the s

LI'TERATURA

- 1. Antoniak J., Romanowicz S.: Zawory przelewowe w stojakach hydraulicznych. Przeglad Mechaniczny, 1973, nr 17.
- Bednarz S., Kasprzyk S.: Proces przejściowy w hydraulicznym układzie nieliniowym. Rozprawy inżynierskie, 1964 nr 12.
- 3. Borecki M.: Problemy współpracy obudowy z górotworem w warunkach dynamicznych deformacji skał. Referat na II Sesję Międzynarodową Biura Mechaniki Górotworu. Katowice 1974.
- 4. Borecki M., Chudek M., Olaszowski W., Pach A.: Kryteria i warunki współpracy obudowy z górotworem w pokładach skłonnych do tąpań. Przegląd Górniczy, 1972, 1972 nr 4.
- 5. Borecki B., Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka II.: Współpraca obudowy z górotworem w wyrobiskach ścianowych w warunkach drgań stropu. Prace naukowo-badawcze ZKMPW, Gliwice 1976 nr 95.
- 6. Biliński A.,: Zależność wielkości zaciskania wyrobiska w ścianach zawałowych od warunków techniczno-górniczych. Praca doktorska, 1963.
- Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. Zeszyty Naukowę Politechniki Sląskiej nr 221, Gliwice 1968.
- Biliński A.: Metoda doboru obudowý ścianowej dla pokładów tapiących. Wydawnictwa GIG, Katowice 1980.
- Biliński A.: Wyniki obserwacji i analiza tapań w 1981 r. w formie kart katalogowych. Dokumentacja GIG nr 01.4.01.15/N01/81/B2/1, Katowice 1982.
- Budirský S.: Dynamische Belastung des mechanisirten Ausbaus bei Gebirgsschlägen in Karbongestein, Berg und Hüttenmännische Monatshefte. Springer-Verlag, 1978 nr 4.
- 11. Budirský S.: Interaction of powered supports and the strata in coal seams under a heavy roof. Mining Engineering, 1985, nr 3.
- 12. Budirský S.: Hodnoceni učinnosti protiotřesove ochrany mechanizovaných výztuži, Uhli nr 9, 1985.
- 13. Cannon R.H. jr: Dynamika układów fizycznych, WNT, Warszawa 1973.
- Chorin W., Momotow S.W., Geichman I.L.: Woprosy rascajota i nadieżnosti szachtnych gidravliczeskich krepiej. Izd. Nauka, Moskwa 1970.
- 15. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych, część 1, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1975.
- 16. Chudek M., Chwała S.: Zagadnienia prognozowania obciążeń statycznych na obudowe wyrobisk korytarzowych i komorówych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Górnictwo", Zeszyt nr 494, Gliwice 1977.
- 17. Chudek M., Olaszowski W.: Modelowanie pracy obudów zmechanizowanych obciążonych dynamicznie. Archiwum Górnictwa, Zeszyt 3, 1982.
- 18. Chudek M., Stefański L.: Loads and stress occuring in the oregon in the vicinity of wall headings remains of coal seams and barrier pillars in underground mines, Ossolineum, 1985.
- 19. Dubbel's Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer Verlag, Heidelberg 1963.

- Dubiński J., Wierzchowska Z.: Metody obliczeń energii wstrząsów górotworu na Górnym Sląsku. Prace GIG, Komunikat nr 591, Katowice 1973.
- Fels M., Knapik J., Stoiński K., Tomecki P.: Wyniki badań obciążeń statycznych obudów ścianowych dla pokładów tapiących. Prace GIG nr 01.09.23, 1977. Maszynopis.
- 22. Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Poglądy i rozwiązania dotyczące tapań w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH, Kraków 1984, Zeszyt nr 123.
- Franasik K.: Zabezpieczenie wyrobisk eksploatacyjnych przed zawałami w pokładach tepiących. Praca doktorska. Politechnika Sląska, Gliwice 1973.
- 24. Franasik K.: Zabezpieczenie wyrobisk eksploatacyjnych przed skutkami tapań polską obudową stalową hydrauliczną SHC-40 W. Wydawnictwo ZBiPM "Cuprum" Wrocław, 1973, nr IX-XII.
- Gliński J.: Interpretacja drgań sejsmicznych pomiarowych podczas strzelania w wybranych złożach. Górnictwo Odkrywkowe 1973 nr 6.
- 26. Giergiel J., Kasprzyk S.: Wpływ nieliniowości tłumienia na amplitudę rezonansową o dwóch stopniach swobody. Zagadnienia drgań liniowych i nieliniowych. II Konferencja Poznań 63, Poznań 1965.
- 27. Guillon M.: Etude et détermination des systèmes hydrauliques. Dunod. Paris 1961.
- 28. Gutachten nr 12 0723 7 79, Staatliches Metarialprfüngsamt Nordrhein -Westfalen, Dortmund 1979.
- 29. Katalog części zamiennych zmechanizowanych obudów ścianowych typ FAZOS, "FAZOS", Tarnowskie Góry 1976.
- 30. Kleefeld R.: Badania górniczych stojaków hydraulicznych o różnej podporności poddanych obciążeniom dynamicznym. Zeszyty Naukowe Politechniki Sląskiej, Górnictwo, Gliwice 1987 z. 159.
- 31. Kidybiński A.: Metoda wraz z instrukcją doboru obudowy chodnikowej dla wyrobisk zagrożonych tąpaniami, materiały nie publikowane, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1985.
- 32. Konopa W., Sawka B., Sanetra A., Skrzyński K., Nowak H.: Rozwój metodyki badań stoiskowych oraz badania stoiskowe na określenie wpływu wybranych parametrów podatnej obudowy chodnikowej na jej nośność i wytrzymałość - wyniki dynamicznych badań modelowych w skali 1:10 odrzwi obudowy ŁP. Praca GIG (nie publikowana) o symbolu 01.4.18/N13/ /84/B2, 1984.
- 33. Konopa W., Sawka B.: Nośność i wytrzymałość odrzwi łukowej obudowy chodnikowej ŁP-V jako funkcja ich wielkości, Prace GIG, Komunikat nr 742, Katowice 1987.
- 34. Konopko W., Nadarkiewicz Z.: Warunki współpracy obudowy z górotworem w wyrobiskach korytarzowych kopalni Konin, Prace GIG, Komunikat nr 450 Katowice 1968.
- 35. Konopko W., Kostyk T., Skórka: Projektowanie sposobów obudowy w ścianach z podsadzką hydrauliczną. Prace GIG, seria dodatkowa, 1976.
- 36. Konopko W.: O dopuszczalnym zawisaniu stropu w ścianach z podsadzką hydrauliczną. Przegląd Górniczy, nr 1, 1977.
- 37. Konopko W.: Głębokość eksploatacji a zagrożenie tapaniami. Przegląd Górniczy, 1987, nr 11-12.
- 38. Krumnacker I., Kleefeld R.: Bemessungsgrundlagen für hydraulische Grubenstempel unter Belastung von Gebirgsschlägen, Glückauf-Forschungshefte, 1985 nr 5.
- 39. Małoszewski J., Mateja J., Rułka K.: Nośność stalowych odrzwi obudowy łukowej otwartej na podstawie przeprowadzonych badań, Wydawnictwo GIG. seria dodatkowa, Katowice 1985.

- 40. Norma: PN-85, G-15000/03, Odrzwia z kształtowników typ V, Łuki.
- 41. Norma: PN-86, G-15000/09, Kształtowniki korytkowe proste, Próba statyczna zginania.
- 42. Norma: UNE-22-710-84, Hiszpania.
- 43. Neyman B.: Tapania, Monografia górnictwa polskiego systemy eksploatacji węgla. Wydawnictwo "Sląsk", Katowice 1964.
- 44. Olaszowski W., Wachelka L.: Analiza dynamicznego oddziaływania na obudowę drgań stropu podczas tąpań i wstrząsów, Referat na II Sesję Międzynarodową Biura Mechaniki Górotworu, Katowice 1974.
- 45. Olaszowski W., Stałęga,S,, Wachelka L.: Ocena parametrów drgań skał w wyrobiskach ścianowych w świetle dotychczasowych badań. Przegląd Górniczy, 1974 nr 10.
- 46. Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L., Pluta K., Skiba M.: Rejestrator drgań skał w wyrobiskach górniczych. Patent nr 171653, 1974.
- 47. Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L.: Analogowe modelowanie współpracy obudowy z górotworem w czasie drgań skał i wstrząsów. Przegląd Górniczy, 1975 nr 6.
- 48. Olaszowski W., Stałęga., Wachelka L.: Matematyczny model współpracy obudowy z górotworem w warunkach drgań stropu. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 1975 nr 7.
- 49. Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L.: Zastosowanie maszyn analogowych do modelowania współpracy obudowy z górotworem. Przegląd Górniczy, 1975 nr 10.
- 50. Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L.: Analiza dynamicznego oddziaływania na obudowę drgań stropu podczas tąpań i wstrząsów. Archiwum Górnictwa, 1976 nr 1.
- 51. Olaszowski W., Kornecki A., Podgórski B., Hanaś A.: Wstępne rozpoznanie parametrów tapań stropowych i warunków współpracy obudowy z górotworem. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1976 nr 12.
- 52. Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L.: Zasady modelowania współpracy obudowy z górotworem w czasie drgań stropu w wyrobiskach eksploatacyjnych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 1977 nr 3.
- 53. Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L.: Charakterystyka pracy zaworów upustowych obudów górniczych w warunkach dynamicznego oddziaływania górotworu. Zeszyty problemowe górnictwa, 1978 nr 2.
- 54. Olson J.J., Dick R.A., Condon J.L., Hendrickson A.D., Fogelson D.E.: Mine roof vibrations from underground blasts. Bureau of mines. Report of investigations 7330, 1979.
- 55. Olson J.I., Dick R.A.: Blast vibration studies at Shullsburg mine Wiskonsion. Ganadian Mining Journal, 1971 nr 7.
- 56. Orlacz J.: Badania zmechanizowanych obudów ścianowych w CMG "KOMAG", praca nie publikowana, Gliwice 1987.
- 57. Osuch A.: Longwale support assembley for seams prone to rock bursts. International Bureau of Rock Mechanics, Report of the second session, GIG, Katowice 1974.
- 58. Osuch A.: Kompleks ścianowy do pokładów tapiących. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 1974 nr 6.
- 59. Parysiewicz W.: Tąpania w kopalniach. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1967.
- 60. Polanschütz W., Zitz A.: Einsatz von Dehnungsmesstreifen bei Belastungsmessungen an hydraulischen Grubenstempeln für Gebirgsschlagbedingungen. Messtechnische Briefe, Darmstadt 1976 nr 3.
- 61. Protiotresove zarizeni mechanizovanych vyztuži, OKR Ostroj Opava 1982.

- 62. Protokol o zakoušce Zavislost nosnosti na rychosti zatéžovani. Vědeckovýzkumný Uhelný Ustaw, Ostrava - Radvanice 1975.
- 63. Protokóż nr 56/78 z badania stojaka obudowy "Rheinstahl" typ RHS 20/ /40L/ Thyssen, KOMAG 1978.
- 64. Raczyński A., Sawka B.: Badania stojaka GIG SHC-40 pod dynamicznym działaniem drgań stropowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Słąskiej, Górnictwo, 1975 nr 62.
- 65. Rätz B.W.: Messtechnische Austrüstung einer 600-Mp-Presse bei der Bergbau-Forschung GmbH, Messtechnische Briefe, Dasmatadt 1976 nr 2.
- 66. Romanowicz S.: Wpływ niektórych parametrów konstrukcyjnych stojaka hydraulicznego na pracę obudowy górniczej w wyrobiskach pokładów tąpiących. Praca doktorska, Politechnika Śląska 1976.
- 67. Romanowicz S.: Obudowy zmechanizowane do pokładów tapiących, Praca KOMAG - Gliwice 1985, Maszynopis.
- 68. Sawka B. i inni: Badania laboratoryjne elementów i zespołów stojaków hydraulicznych przy obciążeniach dynamicznych. Praca GIG nr 01.2.1.03.00.02, 1972. Maszynopis.
- 69. Sawka B. i inni: Badania laboratoryjne stojaków hydraulicznych typ GIG-SHC przy obciążeniach dynamicznych w celu przystosowania tych stojaków do pracy w warunkach pokładów tąpiących. Praca GIG nr 01.2.1.03.00.02. d, 1973. Maszynopis.
- 70. Sawka B. i inni: Badania laboratoryjne dla określenia granicznej wytrzymałości stojaków GIG-SHC w różnych warunkach działania obciążeń dynamicznych oraz opracowanie założeń dla elementów i zespołów umożliwiających przenoszenie obciążeń dynamicznych. Prace GIG nr 01.2.1.03.00.02 d, 1974. Maszynopis.
- 71. Sawka B.: Wpływ parametrów technicznych stojaka hydraulicznego GIG-SHC,40 na zdolność do przejmowania obciążeń dynamicznych. Prace GIG, Komunikat nr 743, Katowice 1987.
- 72. Sikora W., Stoiński K.: Metody i aparatura pomiarowa dla badań górotworu. Materiały na sympozjum. Aparatura i metody pomiarowe dla badań górotworu. PAN, Katowice 1978.
- 73. Siskind D.E., Snodgrass I.I., Dick R.A., Quiring I.N.: Mine roof vibrations from underground blasts. Pilot Knob. Mo. U.S.B.M. Rep. of Inv. 7761, Washington 1973.
- 74. Sprawozdanie z badań laboratoryjnych odporności elementów obudowy chodnikowej na dynamiczne obciążenia, KOMAG, Praca nie publikowana, Gliwice 1985.
- 75. Sprawozdanie z prób stojaków zwłaszcza do pokładów tapiących, Praca nie publikowana, KWK Staszic, 1986.
- 76. Stan techniki eksploatacji pokładów wegla kamiennego. Prace GIG, 1976. Maszynopis.
- 77. Stoiński K., i inni: Dokumentacja techniczna urządzenia do pomiarów ciśnień dynawicznych w obudowie zmechanizowanej typ UPS-2. Prace GIG nr 101.09.03.13, 1977. Maszynopis.
- Stoiński K.: Apparatur for measurement of dynamic loading on mechanised supports and hydraulic props. Annual. Report Central Mining Institute, Katowice 1978.
- 79. Stoiński K. i zespół: Wyniki badania aparatury do pomiaru ciśnień dynamicznych w obudowie zwechanizowanej w warunkach dełowych. Prace GIG nr 101.09.03.20, 1978. Maszynopis.
- 80. Stoiński K. i zespół: Aparatura CDO-1 do pomiarów obciążeń dynamicznych w obudowach zwechanizowanych w wersji przenośnej. Prace GIG nr 101.09.02.26, 1979. Maszynopis.
- Stoiński K. i zespół: Wykonanie serii pomiarów ciśnień dynamicznych aparaturą SDO-1, Prace GIG nr 01.4.01.09.72, 1979. Massynopis.

- 82. Stoiński K., Dyla K.: Aparatura do pomiarów ciśnień dynawicznych w hydraulicznych obudowach ścianowych. Przegląd Górniczy, 1979 nr 12.
- 83. Stoiński K. i zespół: Metoda oceny obciążeń dynamicznych obudów zmechanizowanych w oparciu o pomiar ciśnień. Prace GIG nr 01.4.01.09.95, 1980. Maszynopis.
- 84. Stoiński K., Dyla K.: Soubor pristroju pro meřeni rychlých tlakových zmen v hydraulickem okruhu porubni výztuže, UHLI, 1980 nr 8.
- 85. Stolński K.: Analogie elektromechaniczne w zastosowaniu do oceny obciążeń udarowych podpory hydraulicznej. Referat na zebranie naukowe Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Gliwice 1980.
- 86. Stoiński K. i inni: Metody analityczne oceny obciążeń dynawicznych stojaków hydraulicznych i siłowników. Frace GIG nr 101.18.02/N10/81/82, 1981. Maszynopis.
- 87. Stoiński K. i inni: Program oceny dynamiki podpory jedno- i dwuteleskopowej. Prace GIG nr 101.1S.11/N01/B2. 1981, Maszynopis.
- 88. Stoiński K.: Analityczna ocena obciążeń udarowych stojaka hydraulicznego. Przegląd Górniczy 1981 nr 2.
- 89. Stoiński K., i inni: Metoda analityczna oceny obciążeń dynamicznych podpór hydraulicznych - wyniki weryfikacji i próbnego zastosowania metod oraz programów. Prace GIG nr 01.4.01.21/N02/82/B2, 1982. Maszynopis.
- 90. Stoiński K., Budirsky S.: Rázove zatizeni primocarnych hydromotoru. Strojirenstvi, Praha 1983 nr 8.
- 91. Stoiński K.: Metody wyznaczania obciążeń dynamicznych stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych, Wydawnictwa GIG, seria dodatkowa, Katowice 1985.
- 92. Stoiński K., Tomala A., Kajewski B., Miczko H., Buba K.: Opracowanie analityczne charakterystyk dynamicznych stojaków SHC-40-NZ, SHC-40-Z oraz podpory PH-340/1000 przy założeniu udaru masowego. Praca GIG (nie publikowana), 1986.
- 93. Stoiński K., Konopko W., Piekoszewski J., Sawka B., Wierzchowska Z.: Założenia techniczno-ekonomiczne stoisk do badań dynamicznych obudowy ścianowej. Praca GIG nr 110501294, 1987.
- 94. Stoiński K.: Zależności analityczne opisujące charakterystyki dynamiczne podpory hydraulicznej jednoteleskopowej bez zaworu przy różnych rodzajach obciążeń. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 159, Gliwice 1987.
- 95. Stoiński K.: Metody analityczne oceny odporności podpory na różne obciążenia dynamiczne. Dokumentacja GIG nr 110501294, 1987.
- 96. Stoiński K.: Dynamika stojaka hydraulicznego poddanego obciążeniom wynikającym z tąpań, Referat na seminarium PAN: Ocena stanu zagrożenia tąpaniami w kopalniach Bytomsko-Rudzkiego Gwarectwa Węglowego i środki dla ich minimalizacji, Kocierz 1987.
- 97. Tomasik E.: Wpływ niektórych parametrów konstrukcyjnych na charakterystyki dynamiczne typowych zaworów przelewowych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1973.
- 98. Tomski L.: Dynamika stojaków hydraulicznych obudów górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, 1979 nr 17.
- 99. Trembecki A.S.: Efekt sejsmiczny pojedynczej detonacji materiału wybuchowego w górotworze. Górnictwo Odkrywkowe. 1973 nr 5.
- 100. Tywczasowe wywagania, wytyczne konstruowania oraz prowadzenia badań laboratoryjnych i prób eksploatacyjnych obudów zmechanizowanych dla dopuszczania typu do produkcji i stosowania. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Katowice. 1984.

- 101. Wierzchowska Z .: Przyczyny wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku. Prace GIG, Komunikat nr 268, 1961.
- 102. Wyniki badań złącz przy obciążeniu udarem masy. Materiały nie publikowane, VVUU - Ostrava - Radvanice 1987.
- 103. Wegrzyn S.: Rachunek operatorowy. PWN, Warszawa 1960.
- 104. Węgrzyn S.: Podstawy automatyki. PWN, Warszawa 1974.
- 105. Ziemba S.: Analiza drgań. PWN, Warszawa 1957.
- 106. Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.

a stand for the and shall be an a located in the latest a property should be

The second second in the second in the second second is a second with the

and the state of the second seco

WYBRANE PROBLEMY WSPÓŁPRACY OBUDOWY WYROBISK GÓRNICZYCH Z GÓROTWOREM W WARUNKACH OBCIĄŻEN DYNAMICZNYCH - TĄPAN

Streszczenie

Obserwowane od lat w polskim górnictwie schodzenie z eksploatacją górniczą w niższe pokłady jest przyczyną nasilania się zagrożeń naturalnych, z których tapania sa szczególnie niebezpieczne. Istotne znaczenie dla minimalizacji skutków tąpań ma obudowa wyrobisk kopalnianych.

Poznanie wielkości i charakteru obciążeń dynamicznych obudowy kopalnianej wynikającej z tąpań ma podstawowe znaczenie dla konstrukcji, doboru i eksploatacji obudowy kopalnianej. Wykorzystując metody analityczne, podjeto próbe oceny charakterystyk dynamicznych obudów kopalnianych oraz ich współpracy z górotworem. W metodach analitycznych wykorzystano modele matematyczne obudów, dla których przyjęto dyskretne rozłożenie masy i sprężystości. W modelach uwzględniono nieliniowe charakterystyki zaworów bezpieczeństwa oraz złącz odrzwi stalowych.

Na podstawie literatury przyjęto obciążenie obudowy przez górotwór w postaci drgań poprzecznych skał wyrobiska, nagłego zaciskania, udaru masy oraz ciężarem narastającej masy. Podjęto również problematykę stabilności układu górotwór - obudowa i wynikających z niej wymagań dla obudowy.

Wiarygodność przyjętych modeli i analiz została zweryfikowana na podstawie badań stoiskowych oraz obserwacji skutków tąpań. Wyniki pracy zostały wykorzystane do opracowania założeń technicznych sto-

iska dla badań odporności obudów odrzwiowych obciążonych udarem masy.

Metody analityczne wykorzystano również dla oceny charakterystyk dynamicznych stojaków i podpór dla potrzeb konstrukcji, odbiorów oraz ustalania warunków eksploatacji.

Podano również kierunki i zakres niezbędny dla dalszego rozwoju problematyki obudów kopalnianych przeznaczonych do wyrobisk zagrożonych tapaniami

ИЗБРАННЫЕ ВОПРСИ СОДЕЙСТВИЯ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ГОРООБРАЗОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ВИДЕ ТОЛЧКОВ

Резюме

Ведение горной эксплуатации на более глубоких пластах – что можно заменить особенно в течении нескольких последных лет польской горнодобывающей промышленности каменного угла – является причиной растущей естественной угрозы, в которой тольчки являются особенное опасным явлением. Существенное значение для минимализации последствий горных ударов имеют шахтные крепления выработок.

Исследования величины и карактера динамических нагрузок горной крепи во время горного удара имеет основное значение для её конструкции, выбора и эксплуатации. В работе, используя аналитические методы, предпринята попытка оценки динамических характеристик горных креплений а также их содействия с горообразованием. В аналитических методах использованы математические модели креплений, для которых принято дискретное распределение масс и кпругостей. В моделях учтены нелинейные характеристики предохранительных клапанов а также соединений стальных дверей.

По литературным источникам загрузка крепления горообразованием принята в виде поперечных колебаний скал выработки, мгновенного сжатия, удара массы а также возрастающей массы тяжести. Рассмотрена также проблематика стабильности системы горообразование - крепление и вытекающих из этого требований для крепления.

Достоверность принятых моделей и анализов верифицирована на основе стендовых испытаний и наблюдений за последствиями удара. Результаты работы были использованы для разработки технического обоснования стенда для исследований устойчивости дверных креплений загруженных ударной массой.

Аналитические методы были использованы также для оценки динамических характеристик стояков и опор для потребностей конструкции, проёмок а также определения условий эксплуатации.

Даны направления и пределы работ необходимые для дальнейшего развития проблемы горных крепей, предназначенных для дав находящихся под угрозой горных ударов. CHOSEN PROBLEMS OF COOPERATION BETWEEN A LINING OF MINING HEADINGS AND A GROUND IN THE CONDITIONS OF DYNAMIC STRESSES-CRUMPS

Summary

Descending of the mining exploitation into lower parts observed in Polish mining loads to increase of the natural dangers especially represented by shoaks. Lining of the mining headings plays important role in shocks effects minimization. Recognition of the character and amount of dynamic stresses of the mining linings resulting from the shocks has got essential meaning for design, choide and exploitation of linings. Analytic techniques are used to estimate dynamical characteristics of the linings and their cooperation with a ground. In the analytical investigations mathematical models of the linings are applied in w hich discrete distribution of mass elasticity is assumed. In the models nonlinear characteristics of valves and junctions of steel frame doors are taken into account. Basing on the literature the loading of the lining by the ground is assumed in the from of transverse vibration of the rocks, sud: clamp, mass stresses and weight of increasing mass. The stability of the system ground - lining is also discussed. Requirements resulting from the stability are considered.

Likelihood of the models and analysis has been verified by experimen and observation of shocks results. The results of the investigation are used in working out assumptions for a stand applied in robustness tests of frame door linings loaded by a mass stress. Analytic methods have be also used to estimate dynamic characteristics of props and supports fo needs of design, acceptance and definition of exploitation conditions.

Directions and necessary range for further development of the proble of linings also suggested in the aspect of walls stres hazard.

. Cena zł 150,-

WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ MOŻNA NABYĆ W NASTEPUJĄCYCH PLACÓWKACH:

44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b
44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33
40-098 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12
41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22
41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBOWiD-u 2
47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1
44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1
41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN — Pałac Kultury i Nauki

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.