TADEUSZ CHRZAN

AKUSTYKA INŻYNIERYJNA W OCHRONIE ŚRODOWISKA PRZY URABIANIU SUROWCÓW SKALNYCH MATERIAŁEM WYBUCHOWYM

„Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego

TADEUSZ CHRZAN

AKUSTYKA INŻYNIERYJNA W OCHRONIE ŚRODOWISKA PRZY URABIANIU SUROWCÓW SKALNYCH MATERIAŁEM WYBUCHOWYM

ENGINEERING ACOUSTICS IN ENVIRONMENTAL PROTECTION IN ROCK BLASTING

Wrocław, 2021

RECENZENCI

prof. dr hab.inż. Gotfrids Noviks
dr hab. Jerzy Sobotka

WYDAWCA

„Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego
51-616 Wrocław, ul. Parkowa 25
tel. (71) 3488 200, (71)3488 226
e-mail: poltegor@igo.wroc.pl
https://www.igo.wroc.pl

SKŁAD I DRUK

Premium You Marta Ćwiąkalska, https://www.premiumyou.pl

Zdjęcie na okładce przedstawia odstrzał bloku skalnego w kopalni Strzelin
fot. Sławomir Patla

ISBN 978-83-60905-10-4

Spis treści

WPROWADZENIE …….……. 8

Oznaczenia i definicje …….…. 10

1 Właściwości fizyczne skał mające zastosowanie w akustyce inżynieryjnej.. 13

1.1 Nieniszczące sposoby określania właściwości skał …… 13

1.1.1 Moduł akustyczny…….… 14

1.1.2 Określanie właściwości wytrzymałościowych i technologicznych skał na podstawie modułu akustycznego……... 16

1.2 Literatura do rozdziału 1 …….. 20

2 Bezpieczeństwo techniczne budynków na terenach górniczych …….. 21

2.1 Wpływ działalności górniczej skalnych kopalń odkrywkowych na powierzchnię terenu ……..……... 21

2.1.1 Deformacje podłoża spowodowane przez wstrząsy górnicze …….. 21

2.2 Oddziaływanie górnictwa na otaczający teren ……..... 22

2.3 Dotychczasowy stan wiedzy i sposób ochrony budynków w terenie otaczającym kamieniołom ……... 23

2.3.1 Określanie promienia strefy bezpiecznej względem drgań gruntu …..…. 23

2.3.2 Aktualny stan wiedzy związany z drganiami gruntu ……...…. 25

2.3.2.1 Parametry urabiania skał wpływające na emisję drgań ……..…. 25

2.3.2.2 Krajowa zależność stosowana do obliczania prędkości drgań …..…… 27

2.3.3 Zależność powszechnie stosowana do obliczania poziomej radialnej i stycznej prędkości drgań na świecie …….…… 29

2.3.3.1 Przewidywanie wielkości drgań gruntu wywołanych użyciem MW z wykorzystaniem analizy regresji „skalowanej odległości” ……..…. 29

2.3.4 Drgania parasejsmiczne - podstawy prawne określania strefy bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych ..…… 32

2.3.5 Krajowe skale szkodliwości drgań ……..……..…...…… 37

2.3.6 Zagraniczne skale szkodliwości drgań …….…….…….. 40

2.3.7 Porównanie szkodliwości drgań parasejsmicznych określonych wg PN-B-02170:2016-12, a rzeczywistym uszkodzeniem budynku ...… 45

2.4 Literatura do rozdziału 2 ....…….. 46

3 Określanie procentowego zużycia budynku mieszkalnego położonego przy kopalni odkrywkowej surowców skalnych urabianych materiałem wybuchowym …… 50

3.1 Cel monografii …….…….. 53

3.2 Literatura do rozdziału 3 …… 55

4 Podstawy akustyki inzynieryjnej ……..... 58

4.1 Podstawowe wiadomości o falach sprężystych ……..……. 58

4.1.1 Propagacja fal sprężystych w ciałach stałych ……...……. 59

4.2 Projekt teorii pola fali sejsmicznej …….…… 61

4.2.1 Rodzaje fal tworzących falę sejsmiczną …….…….…… 61

4.2.2.Powstawanie i rozchodzenie się fal sejsmicznych …….…. 62

4.2.3. Parametry pola fali sejsmicznej ……...…. 65

4.2.4 Analiza teoretyczna kierunkowości drgań poziomych radialnych i stycznych dla jednostkowego rozkładu kołowego drgań ……...…... 67

4.2.5 Tłumienie amplitudy przemieszczenia cząsteczek ośrodka ……..… 69

4.2.6 Dodawanie amplitud fal o tej samej częstotliwości i amplitudzie ……... 70

4.2.7 Pole bliskie i dalekie …….…... 71

4.2.8 Amplituda i prędkość drgań …….…… 73

4.2.9 Częstotliwość drgań …….…… 74

4.2.10 Energia i natężenie fali …….…….. 75

4.2.11 Współczynnik przenikania energii fali do ośrodka drugiego …...….. 77

4.2.12 Dyfrakcja, przeszkoda na drodze fali …….…… 78

4.2.13 Prędkość fali i prędkość drgań cząsteczki ośrodka …….…….. 78

4.3 Nowe zależności do określania częstotliwości drgań bloczka skalnego, bloku skalnego i masywu …….…….. 79

4.3.1 Częstotliwości drgań bloku skalnego i masywu …….…. 80

4.3.2 Odkształcenie względne, prędkość drgań bloczka i bloku skalnego …... 81

4.3.3 Określenie największej amplitudy przemieszczenia Am ……..……... 82

4.3.4 Określenie średnicy otworu strzałowego ……..…... 83

4.4 Doświadczalna weryfikacja teorii pola fali sejsmicznej ……..... 84

4.4.1 Częstotliwości drgań fali parasejsmicznej stan obecny …….…….. 85

4.4.2 Porównanie częstotliwości pomierzonej z obliczoną z zależności sinusoidalnej dla pola bliskiego …….. 87

4.4.3 Analiza warunków występowania różnych typów rozkładu kierunkowego prędkości drgań na podstawie opublikowanej literatury …..… 90

4.4.3.1 Iloczyn "ka"i wskaźnik rozkładu kierunkowego "Wrk" …….….. 90

4.4.3.2 Warunki powstawania różnego rozkładu kierunkowego prędkości drgań …… 92

4.4.3.3 Prostokątne źródło drgań wytwarzające kierunkowe elipsoidalne pole prędkości drgań …… 99

4.4.3.4 Literaturowe zależności charakterystyk kierunkowych fali podłużnej dla źródeł drgań na kierunku radialnym …….. 101

4.4.3.5 Literaturowe warunki powstawania różnych typów kierunkowych prędkości drgań sejsmicznych …….… 102

4.4.4 Analiza wyników pomiarów kierunkowych rozkładów prędkości drgań sejsmicznych podczas urabiania strzelaniem ……...…….. 103

4.4.4.1 Kierunkowy rozkład elipsoidalny prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złoża bazaltu strzelaniem ……... 103

4.4.4.2 Rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złóż dolomitu - strzelanie natychmiastowe T8 …….. 122

4.4.4.3 Rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złóż dolomitu - strzelanie milisekundowe T7 ……...…… 129

4.4.4.4 Kierunkowy rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złóż dolomitu - strzelanie natychmiastowe badanie T12 ……... 138

4.4.4.5 Kierunkowy rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania glin zwałowych strzelaniem milisekundowym …….. 145

4.5 Literatura do rozdziału 4 …….…… 154

5 Przegląd literatury światowej i krajowej pod kątem badań nad rozwiązaniem problemów istotnych dla rozwoju kierunku akustyka inżynieryjna ...……. 158

5.1 Stan obecny określania promienia strefy szkodliwości drgań, częstotliwości, prędkości i amplitudy drgań ..…….…..……. 158

5.1.1 Stan obecny określania prędkości drgań gruntu …….. 158

5.1.2 Określanie częstotliwości i kierunkowości drgań parasejsmicznych ….. 158

5.1.3 Pole bliskie i dalekie …… 159

5.2 Analiza dotychczas stosowanej metodyki badań przy określaniu prędkości drgań ośrodka …… 159

5.2.1 Problemy do jednoznacznego empirycznego wyjaśnienia ……... 161

5.3 Zakres nowych rozwiązań opracowanych w monografii …….. 162

5.4 Celowość podjęcia omawianego problemu badawczego i znaczenie otrzymanych wyników badań dla rozwoju dziedziny i dyscypliny naukowej ..…….……. 164

5.4.1 Wyniki badań wstępnych ……...…….. 164

5.4.2 Proponowany plan pierwszego badania według nowej metodyki pomiarów dla złoża skalnego……. 165

5.4.3 Szczegółowe cele badawcze monografii …….. 169

5.4.4 Stosowane i proponowane metody i narzędzia badawcze 170

5.5 Literatura do rozdziału 5 …….…… 171

6 Praktyczne przykłady zastosowania opisanych w monografii patentów i zgłoszeń patentowych …….. 172

6.1 Przykład zastosowania opatentowanego wynalazku ……..… 172

6.2 Opis przykładu do wykorzystania w praktyce opracowanych zgłoszeń patentowych …… 175

6.3 Literatura do rozdziału 6 …….… 183

7 Podsumowanie osiągniętych w monografii celów ……... 185

Streszczenie ……... 188

Sumary …….. 190

Spis rysumków …….……..…… 191

Spis tabel ……... 194

Wprowadzenie

Jednym z istotnych efektów akcesji Polski do Unii Europejskiej jest właściwa gospodarka zasobami naturalnymi . Wymuszona ona została dyrektywami Unii Europejskiej, które ujęte zostały między innymi w ustawach i rozporządzeniach o prawie górniczym i geologicznym . Treść monografii zawiera zagadnienia z akustyki inżynieryjnej i jej wpływu na ochronę środowiska i bezpieczeństwo techniczne budynków przy urabianiu materiałem wybuchowym surowców skalnych. Monografię opracowano jako pomoc dla studentów w opanowaniu przedmiotu ***„Gospodarka zasobami naturalnymi”,*** „***Urabianie skał materiałem wybuchowym”, „Akustyka inżynieryjna”.*** Treści zawarte w monografii będą stanowić obszerną pomoc dydaktyczną i projektową dla instytutów naukowych, badaczy i studentów uczelni technicznych na kierunkach: górnictwo, geoinżynieria, geofizyka, inżynieria bezpieczeństwa, geologia inżynierska, geologia inżynieryjna i inżynieria środowiska. Przekrojowy, monograficzny charakter publikacji wynika w dużej mierze z nowego ujęcia ***ochrony środowiska, bezpieczeństwa technicznego budynków, akustyki inżynieryjnej związanej z drganiami parasejsmicznymi przy urabianiu materiałem wybuchowym surowców skalnych***. Natomiast autonomia niektórych rozdziałów polega na przedstawieniu w nich odrębnych problemów, znacznie lub skrajnie między sobą się różniących. Monografia w Rozdziale 1 zawiera opis sposobu nieniszczącego określania właściwości wytrzymałościowych i technologicznych skał stosowanych w akustyce inżynieryjnej. Rozdział 2 zawiera opis dotychczasowego stosowania obliczeń zapewniających bezpieczeństwo techniczne budynków na terenach górniczych i stosowane krajowe i zagraniczne skale szkodliwości drgań. Rozdział 3, to podany obiektywny sposób określania procentowego zużycia budynku mieszkalnego położonego przy kopalni odkrywkowej surowców skalnych urabianych materiałem wybuchowym. W monografii zawarto podstawy akustyki inżynieryjnej która zawiera: Rozdział 4.1 - Podstawowe wiadomości o falach sprężystych, Rozdział 4.2 - Teorię pola fali sejsmicznej, Rozdział 4.3 - Nowe zależności do do określania częstotliwości drgań bloczka i bloku skalnego. Rozdział 4.4 doświadczalną weryfikację teorii pola fali sejsmicznej opartą na pomiarach krajowych i zagranicznych dotyczącą kierunkowości prędkości drgań parasejsmicznych kołowych i elipsoidalnych, Rozdział 5 - Przegląd literatury światowej i krajowej pod kątem badań nad rozwiązaniem istotnych problemów dla rozwoju kierunku akustyka inżynieryjna, Rozdział 6 Praktyczne przykłady zastosowania opisanych w monografii patentów i zgłoszeń patentowych.

Celem monografii jest opublikowanie nowych światowych rozwiązań w postaci patentów i zgłoszeń patentowych do stosowania przez inżynierów praktyków. Przedstawiona monografia porusza obecnie bardzo istotne zagadnienie ochrony zasobów środowiska przy urabianiu materiałem wybuchowym surowców skalnych. W monografii opisano dotychczasowy sposób ochrony środowiska

w terenie otaczającym kamieniołom oraz nowe możliwości związane z kierowaniem największych drgań na tereny niezamieszkałe podane w akustyce inżynieryjnej. W zasadniczej części dotyczącej akustyki inżynieryjnej podano zależności teoretyczne i empiryczne dotyczące ruchu harmonicznego fal akustycznych i ich związków z falą parasejsmiczną. Wiedza na temat ww. zagadnień w górnictwie jest nadal mała, a opracowane na światowym poziomie patenty i zgłoszenia patentowe związane z drganiami fali parasejsmicznej pozwalają na nowe, bardziej racjonalne gospodarowanie zasobami kopalin. Efektywniejsze urabianie skał i zmniejszanie stref ochronnych budynków to większy procent wykorzystania złoża znajdujacego się w doty-chczasowej strefie ochronnej i tańsze urabianie go materiałem wybuchowym. Edukacja ekologiczna pomaga w ochronie zasobów środowiska. Monografia zawiera najnowsze, oparte na kilku badaniach więc jeszcze nie dostatecznie udokumentowane odkrycie, że częstotliwość drgań można obliczać w źródle drgań, a zależność częstotliwości drgań z odległością w polu bliskim zmienia się po sinusoidzie, a typy /obrazy/ rozkładów prędkości drgań zależą od wielkości wartości współczynnika kierunkowości drgań W_{rk} wyrażonej jako stosunek obwodu żródła drgań do długości emitowanej przez to źródło fali. Dlatego wydanie monografii zawierającej najnowsze światowe rozwiązania w tym zakresie jest w pełni uzasadnione. Niniejsza monografia „Akustyka inżynieryjna w ochronie środowiska przy urabianiu surowców skalnych materiałem wybuchowym" jest wynikiem wieloletnich studiów autora w zakresie zagadnień związanych z geoinżynierią, wytrzymałością materiałów i falami podłużnymi w akustyce oraz falami podłużnym i poprzecznymi w bada-niach ultradźwiękowych. W sposób maksymalnie jasny, tak aby czytelnik zapoznał się z materią teorii, poczynając od prostych przykładów poprzez klasyczne metody analityczne, zostawiając zainteresowanym badaczom opracowanie podanych zależności w postaci programu komputerowego, co przyczyni się do szybkiej weryfikacji i udoskonalenia opracowanych w monografii wzorów i hipotez.

Autor serdecznie dziękuje Recenzentom za cenne, konstruktywne zalecenia, uwagi merytoryczne i korektorskie dotyczące poprawności językowej. Uwzględnienie tych uwag przyczyniło się do podniesienia poziomu jakości opracowania. Autor składa także specjalne podziękowania Panu prof. dr hab. inż. Jackowi Szczepińskiemu, Dyrektorowi „Poltegor Instytut" i Pani dr Barbarze Rogosz zastępcy Dyrektora Instytutu za umożliwienie edycji monografii, tworząc jednocześnie wyjątkowo przyjazny klimat wokół procesu jej realizacji.

Tadeusz Chrzan

Oznaczenia i definicje

MW - materiał wybuchowy [kg],

Q_c - całkowity ładunek materiału wybuchowego użyty dla danego strzelania,

Q_z - ładunek materiału wybuchowego odpalany na jedną zwłokę. Najczęściej jedna zwłoka dotyczy jednego otworu,

t_z - zwłoka, czas [ms] odpalenia drugiego otworu w stosunku do czasu, odpalenia pierwszego otworu,

V_t - prędkość detonacji MW [m/s],

Q_e - energia spalania MW [kJ/kg],

E - moduł sprężystości masywu, Younga[N/m²],

ρ_s - gęstość pozorna skały,

ρ_{mw} - gęstość pozorna MW [kg/m³],

m - masyw złoże znajdujące się poza blokiem skalnym,

H_a - moduł akustyczny złoża [N/m²],

B - blok skalny- część złoża [m³] urabiana w czasie strzelania przy pomocy „n" ilości otworów,

b_o - bloczek skalny- część bloku urabiana w czasie strzelania przy pomocy jednego ładunku MW umieszczonego w jednym otworze,

√ - liczba Poissona masywu ,

D - średnica otworu strzałowego[mm],

ϵ - wydłużenie względne na kierunku X, $\epsilon_{x=} \Delta l_x/l_x$ a długość bloczka, skalnego[m] i odległość między otworami w szeregu,

r - odległość punktu pomiarowego od źródła drgań,

r_1 - bliższa odległość punktu pomiarowego od źródła drgań,

r_2 - dalsza odległość punktu pomiarowego od źródła drgań,

L_y - długość [m] bloku skalnego na kierunku Y, L_y=n*a [m] zgodna z kierunkiem linii otworów,

H - wysokość ściany lub piętra [m] równa wysokości bloczku skalnego i wysokości bloku skalnego, z-zabiór szerokość bloczka skalnego i bloku skalnego[m] na kierunku X,x,y, z- indeksy wskazujące na kierunek pomiaru: x- kierunek pomiaru zgodny z linią łączącą punkt pomiarowy ze źródłem drgań, y- kierunek pomiaru prostopadły do kierunku x, z-kierunek pomiaru prostopadły do kierunku x, y czyli pionowy,

Z_1 - impedancja akustyczna skały,

Z_2 - impedancja akustyczna MW,

T_p - współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego,

λ_o - długość fali podłużnej,

λ_t - długość fali poprzecznej,

λ_p - długość fali powierzchniowej [m],

C_o - prędkość fali podłużnej,

C_t - prędkość fali poprzecznej,

C_p - prędkość fali powierzchniowej [m/s],

C_{oxm} - prędkość fali podłużnej w masywie i w bloku na kierunku X,

C_{txm} - prędkość fali poprzecznej w masywie i w bloku na kierunku X,

C_{pxm} - prędkość fali powierzchniowej w masywie i w bloku skalnym na kierunku X, [m/s],

Bo - pierwotne źródło drgań-bloczek skalny,

B - wtórne źródło drgań- blok skalny,

f_x - częstotliwość drgań w pierwotnym źródle drgań na kierunku X,

f_{xb} - wtórna częstotliwość drgań na kierunku X w bloku,

f_{xm} - częstotliwość drgań na kierunku X w masywie,

f_{xmm} - największa częstotliwość drgań na kierunku X w masywie,

f_{om13} - częstotliwość drgań 13 fali podłużnej w masywie,

(a,P) - przyśpieszenie drgań,

(V,v) - prędkość drgań cząstki ośrodka ,

x - przemieszczenie cząstki ośrodka,

A - największa wartość przemieszczenia cząstki ośrodka,

A_{mm} - największa wartość przemieszczenia w masywie,

V_x - prędkość drgań w pierwotnym źródle drgań na kierunku X ,

V_x - prędkość drgań na kierunku X bloczka skalnego,

V_{xb} - prędkość drgań na kierunku X bloku skalnego,

V_{xmm} - największa prędkość drgań w masywie na kierunku X,

W_w - wskaźnik wielkości[Bo] bloczka skalnego,

W_{fn} - wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań bloku skalnego wskutek stosowania strzelania ze zwłoką uwzględniający ilość zwłok-otworów,

W_{vfn} - wskaźnik zmniejszający prędkość drgań bloku skalnego uwzględniający ilość zwłok-otworów,

W_{vb} - wskaźnik zmniejszający prędkość drgań w bloku skalnym uwzględniający wpływ warunków falowych/ośrodek ograniczony/ na prędkość drgań na końcu bloku V_{bx}/.

1 Właściwości fizyczne skał mające zastosowanie w akustyce inżynieryjnej

Dotychczas określane cechy fizyczne skał na potrzeby ich urabiania zestawione są w Tabeli 1.1, będą one miały zastosowanie także w akustyce inżynieryjnej.

Tabela 1.1 Cechy fizyczne skał na potrzeby akustyki inżynieryjnej i ich urabiania [1]

Grupa	Nazwa	Oznaczenie	Jednostka
Właściwości wytrzymało-ściowe	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	Rs	N/m^2 =Pa
	Wytrzymałość na jednoosiowe rozciąganie	Rr	N/m^2
	Wytrzymałość na ścinanie	τ	N/m^2
	Spójność	C	N/m^2
	Kąt tarcia wewnętrznego	ϕ	stopnie, radiany
Właściwości sprężyste	Moduł sprężystości podłużnej, Younga, moduł sztywnosci [Internet (2)]	E	N/m^2 =Pa
	Moduł sprężystości postaci	G	N/m^2
	Liczba Poissona Współczynnik odkształceń poprzecznych	ν	
Właściwości akustyczne	Prędkość fali podłużnej	Co	m/s
	Moduł akustyczny Ha	ρ Co Ct	Pa
	Prędkość fali poprzecznej	C_t	m/s
Właściwości technologiczne	Zwięzłość	Zu	liczba uderzeń
	Urabialność;jednostkowe zużycie materiału wybuchowego[MW] w kg na m^3 skały	q	kg /m^3
	Gęstość objętościowa -stosunek masy do objętości próbki z porami	ρ	kg/m^3

1.1 Nieniszczące sposoby określania właściwości skał

Badania masywu skalnego są skomplikowane i kosztowne. Obiektem łatwiejszym do badań jest próbka skalna. W porównaniu z masywem urabianym dynamicznie falą sejsmiczną, próbki laboratoryjnie badane statycznie wykazują

większą wytrzymałość oraz mniejszą odkształcalność. Najpierw pobierane są próbki pierwotne ze złoża, z których w laboratorium wycina się próbki laboratoryjne. Według Dyno Nobel [Internet (1)] wytrzymałość na ściskanie bazaltu to 78-412 MPa, dolomitu 10-245 MPa, statyczny moduł Younga E to dla bazaltu 20-100 GPa, dolomitu 10-80 GPa. Laboratoryjne odkształcenie względne ε próbki wynosi dla bazaltu 0,0039-0,0041, dla dolomitu 0,001-0,30, gdzie nie podano czy pierwszy pomiar to ściskanie wzdłuż czy w poprzek do kierunku uwarstwienia czyli osadzania się warstw dolomitu. Pobieranie próbek i przygotowanie do badań wykonuje się według normy branżowej BN-75/04-06. Niedogodnością badań niszczących jest jednorazowa, statycznie otrzymana wartość badanego parametru, w trakcie badania próbka jest niszczona. Badania nieniszczące /np. ultradźwiękowe/ możemy powtórzyć (nawet za rok) na tych samych próbkach, otrzymując dynamiczną wartość badanego parametru, który możemy w razie wątpliwości porównać z wynikiem otrzymanym poprzednio.

1.1.1 Moduł akustyczny [Chrzan (1994)]

Na energochłonność procesu niszczenia ciągłości ośrodka mają wpływ zarówno właściwości sprężyste ośrodka, jak i wielkość naprężeń niszczących jego spoistość. Do tej pory w celu szybkiego określania wielkości wytrzymałości na ściskanie skał, stosowano w metodzie ultradźwiękowej prędkość fali podłużnej, poprzecznej, ich iloczyn lub sprężystość akustyczną. Stosowanie zależności korelacyjnych, opartych na jednym lub dwóch parametrach, nie zapewniało jednak dla wszystkich rodzajów skał żądanej dokładności określania wytrzymałości na ściskanie. Stosowano je głównie dla skał osadowych, ale i wtedy błąd względny określania wytrzymałości na ściskanie dochodził do 45%. W procesie urabiania oraz rozdrabniania skał następuje niszczenie ciągłości skały, wyrażające się zmianą objętości i kształtu rozdrabnianej bryły skalnej. Opór ośrodka przeciwko odkształceniom objętościowym określa wielkość modułu sprężystości podłużnej E, a przeciw odkształceniom postaciowym wielkość modułu sprężystości poprzecznej G. Procesy urabiania i rozdrabniania skał są na ogół związane z dynamicznym działaniem siły. Aby scharakteryzować właściwości skał w tych procesach należy więc stosować dynamiczne moduły sprężystości, które mają funkcyjne zależności z właściwościami akustycznymi skał. Na wytrzymałość skał ma wpływ skład mineralny, struktura, tekstura, porowatość i mikroszczelinowość. Od wymienionych czynników zależy gęstość pozorna, a także prędkość fal ultradźwiękowych podłużnych i poprzecznych.

Zgodnie z teorią Grifitha, zniszczenie spójności ośrodka następuje na skutek wzrostu naprężeń wokół znajdującej się w ośrodku niejednorodności, np. pęcherzyka powietrza. Gdy porowatość skały zwiększa się, maleje wówczas jej gęstość, a wzrasta ilość por, wokół których powstają mikropęknięcia, które wskutek łączenia się w szczeliny prowadzą do zniszczenia spójności ośrodka skalnego. Wytrzymałość skały podczas jej urabiania zależy zatem od modułów

dynamicznych i gęstości pozornej. Nieuwzględnianie tych trzech parametrów łącznie wyjaśnia duże błędy określania wytrzymałości na ściskanie z zależności korelacyjnych, które są oparte tylko na jednym z tych parametrów. Aby uniknąć wymienionych niedogodności, dobrano grupowy parametr akustyczny uwzględniając trzy zasadnicze parametry, od których zależy wytrzymałość skał i nazwano go **modułem akustycznym H_a**..

Moduł ten, to względny wskaźnik urabialności skał. Można go szybko i tanio określać z pomiarów akustycznych jako iloczyn:

$$Ha = \rho * Co * Ct \qquad (1.1)$$

gdzie: H_a - moduł akustyczny, [N/m² = Pa]. ρ – gęstość pozorna, [kg/m³], C_o,C_t– prękość fali podłużnej i poprzecznej [m/s]. Gęstość objętościowa (gęstość pozorna)–stosunek masy próbki do całkowitej jej objętości, łącznie z porami. Gęstość (gęstość właściwa)–jest to stosunek masy próbki do jej objętości bez porów/np.masa próbki zmielonej/.

Moduł akustyczny można też określać parametrami sprężystości oznaczonymi drogimi i czasochłonnymi metodami przez oznaczenie E, G, ν. Wówczas wzór na Ha ma postać:

$$Ha = [E\ G]^2\ \{[(1 - v)]/:/[(1 + v)\ (1 - 2v)]\}\text{^}1/2 \qquad (1.2)$$

lub

$$Ha = E\ [(1 - b\text{^}2)]/:/\ [b * (3 - 4b\text{^}2)/] \qquad (1.2a)$$

$gdzie\ b = Ct/Co$

Zgodnie z teorią Mohra, zniszczenie ośrodka następuje na skutek jednoczesnego działania normalnych i stycznych naprężeń i jest wynikiem przekroczenia liniowych i kątowych deformacji. W czasie jednoosiowego ściskania występują kątowe deformacje (o czym świadczą charakterystyczne formy zniszczenia ściskanych kostek w kształcie litery X), co świadczy o występowaniu naprężeń stycznych. Dla jednoosiowego ściskania można więc napisać:- naprężenia niszczące σ_z próbkę są funkcją modułów f_1 oraz odkształceń stycznych i normalnych f_2 :

$$\sigma_z = f_1[\ E, G]\ f2[\varepsilon_x, \tau_{xy}] \qquad (1.3)$$

Moduły sprężystości są funkcyjnie związane z parametrami akustycznymi:

$$G = b\ \rho\ C_o\ C_t,\ \ \text{gdzie}\ \ b = C_t/C_o\ . \qquad (1.4)$$

$$E = [b*(3\text{-}4b\text{^}2)/(1\text{-}b\text{^}2)]*H_a = a*H_a, \qquad (1.5)$$

co uwzględniając otrzymamy:

$$G = b*H_a,\ \ a\ \ \ E = a*\ H_a \qquad (1.6)$$

Podstawiając do wzoru (1.3) otrzymamy:

$$\sigma_z = f3[\,H_a\,]\, f_2\,[\varepsilon_x, \tau_{xy/}] \qquad (1.7)$$

Wielkość naprężeń niszczących skałę jest funkcją modułu akustycznego i odkształceń stycznych i normalnych.

Jednostkowa praca ściskania, a moduł akustyczny. Jednostkowa praca ściskania A jest równa sumie pracy An od naprężeń normalnych i pracy As od naprężeń stycznych na m^3[1].

$$A = An + As \qquad (1.8)$$

$$A = \sigma_z^2/2E + \tau^2_{xy/}2G \quad [N/m^2] \qquad (1.9)$$

Praca ściskania wyraża się w Nm/m^3podobnie jak jednostka modułu akustycznego, której licznik i mianownik pomnożony został przez „m". Skoro naprężenia niszczące wzór (1.3) zależą od modułu akustycznego, to i praca ściskania zależy także od wielkości modułu akustycznego, co na podstawie analogii można zapisać:

$$A = cf4[\,Ha\,] + d\,f5[\,Ha\,] \qquad [J/m^3] \qquad (1.10)$$

gdzie: c,d stałe funkcyjne, f4, f5-funkcje określajace zależność σ_z i τ_{xy} od H_a.

Z teorii i praktyki wynika, że moduł akustyczny ma istotne zależności korelacyjne z parametrami wytrzymałościowymi i technologicznymi materiałów skalnych. Jeżeli moduł akustyczny jest używany do określania właściwości wytrzymałościowych, to występuje N/m^2 lub w Pa, co wynika z jego definicji. Gdy moduł akustyczny jest używany do określania właściwości technologicznych związanych z pracą lub energią urabiania, wówczas występuje w jednostkach pracy J/m^3, zgodne z układem SI.

1.1.2 Określanie właściwości wytrzymałościowych i technologicznych skał na podstawie modułu akustycznego

Dla kilkunastu złóż otrzymano[Chrzan (1994)] zależności pozwalające obliczać ich wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie i uderzenie na podstawie pomiarów modułu akustycznego. **Wytrzymałość na ściskanie Rs.** Dla poniższych złóż otrzymano zależności pozwalające obliczać ich wytrzymałość na ściskanie, na podstawie pomiarów modułu akustycznego. Wytrzymałość na ściskanie Rs, próbek pobranych ze złóż obliczamy ze wzoru:

$$Rs = M/(N - Ha)\ [\mathrm{MPa}\} \qquad (1.11)$$

M i N stałe otrzymane z zależności korelacyjnej dla danego złoża skalnego.

Tabela 1.2 Stałe regresji M i N dla wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie dla złóż

Lp.	Rodzaj i nazwa złoża	n, pomiary ilość szt.	„r”	Stałe regresji		Przedział zmiany H_a i R_s		Ha_{max} $x10^9$
				$M*10^9$ $(MPa)^2$	$N*10^9$ MPa	H_a*10^9	R_s, MPa	
Złoża skalne polskie								
1	Granit:							
A	Strzegów-Gęsiniec	334	0,917	1149,0	49,7	16-43	34-170	42,83
B	Strzelin-Zulowa	98	0,911	465,6	39,2	23-36	51-147	34,50
C	Strzegom-Borów	88	0,937	1288,0	36,4	12-32	42-183	32,03
2	Gabro-Bukowczyk	153	0,993	1880,9	82,0	31-72	37-251	72,16
3	Porfir-Grzędy	76	0,983	1815,1	65,6	26-58	50-269	57,73
4	Bazalt: Bukowa Góra	114	0,985	2933,5	82,5	51-72	94-287	72,60
5	Piaskowiec: Młynów	53	0,873	1377,0	59,3	25-52	40-105	52,18
6	Marmur: Nowy Waliszów	32	0,848	1266,7	60,9	32-51	44-134	53,59
7	Tufy: Mieroszów	65	0,817	314,2	14,6	6-12	35-120	12,85
8	Piaskowiec: Winna Góra	35	0,938	166,1	17,3	1-17	5-15	15,22
9	Wapień: Solca Wielka	19	0,973	554,0	42,0	14-38	20-130	36,96
Stałe regresji wytrzymałości na rozciąganie złóż angielskich								
1	Marmur	5	0,994	62,3	41,8	11-37	2-13	36,78
2	Gabro	5	0,993	236,8	68,1	21-60	5-29	59,93
3	Granit	5	0,895	155,8	39,0	8-34	5-31	34,32
4	Dioryt	5	0,913	349,9	56,8	24-50	15-51	49,98

Podany w Tabeli 1.2 przedział zmian wartości: H_a–[0,2-72,0] MPa,

R_s–[5-287] MPa, H_a – moduł akustyczny próbki [MPa],

R_s – wytrzymałość na ściskanie próbki [MPa],

$H_{a\ max}$ – maksymalna wielkość modułu akustycznego w próbkach danego złoża [MPa],

M,N stałe złożowe, r – współczynnik korelacji

Wytrzymałość na uderzenie Z_u.

Na podstawie– liczby uderzeń przy której próbka pęka określamy jakość skały.

$$Z_u = A + B*H_a, \qquad (1.12)$$

gdzie: A,B – stałe regresji, H_a – moduł akustyczny,
< 6 uderzeń – skała zła, 6 -12 uderzeń – skała średniej jakości,
13 - 15 uderzeń – skała dobra, >15 uderzeń – skała b. dobra.

*Tabela 1.3 Stałe regresji A i B dla określania zwięzłości Zu i wyniki obliczeń dla Ha=31,5*10^9 [Pa]*

Rodzaj złoża	A	B x 10^{-9}	H_a	Z_u	Określenie wg. skali liczby uderzeń
Granit					
Strzegów Gęsiniec	7,63	0,118	31,5	11,347 ≈ 11	Skała średniej jakości
Strzegom Borów	11,27	0,067	31,5	13,381 ≈ 13	Skała dobra
Strzelin Zulowa	9,17	0,09	31,5	12,005 ≈ 12	Skała średniej jakości
Gabro Bukowczyk	5,57	0,12	31,5	9,35 ≈ 9	Skała średniej jakości
Piaskowiec Winna Góra	0,59	1,57	31,5	50,045 ≈ 50	Skała b. dobra
Szarogłazy Młynów	6,08	0,162	31,5	11,183 ≈ 11	Skała średniej jakości

Mrozoodporność-warunek mrozoodporności całkowitej dla próbek ze złóż:

$$H_{agr} = (-4{,}37 + 0{,}754 * H_{a\,max}) * 10^{9}\ Pa \qquad (1.13)$$

Jeśli H_a próbki ze złoża skalnego $\geq$ od H_a granicznego złóża to próbka ma mrozoodporność całkowitą.

*Tabela 1.4 Wyniki mrozoodpornosci dla próbki o Ha=31,5*10-9 Pa*

Lp.	Rodzaj i nazwa złoża	H_a x10^9	$H_{a\,max}$ * 10^{-}	H_{agr} *10^9 Pa	Mrozoodporność próbki przy H_a=31,5*10^{-9} Pa
Złoża skalne					
1	Granit:				
A	Strzegów-Gęsiniec	16-43	42,83	27,92	całkowita
B	Strzelin-Zulowa	23-36	34,50	21,64	całkowita
C	Strzegom-Borów	12-32	32,03	19,78	całkowita
2	Gabro-Bukowczyk	31-72	72,16	50,04	nie całkowita
3	Porfir-Grzędy	26-58	57,73	39,16	brak mrozoodpor. całkowitej
4	Piaskowiec-Młynów	25-52	52,18	34,97	brak mrozoodpor. całkowitej
5	Wapień-Solca Wielka	14-38	36,96	23,50	całkowita
Mrozoodpornośc złóż angielskich					
1	Marmur	11-37	36,78	23,36	Całkowita
2	Gabro	21-60	59,93	40,82	brak mrozoodp. całkowitej
3	Granit	8-34	34,32	21,51	całkowita
4	Dioryt	24-50	49,98	33,31	brak mrozoodpor. całkowitej

Zależności korelacyjne do obliczenia ścieralności objętościowej w bębnie Devala:

$$Sd = a + b * H_a, \qquad (1.14)$$

gdzie, a,b – stałe regresji dla danego złoża,
H_a – moduł akustyczny, obliczenia w tabeli dla $H_a = 31{,}5 * 10^9$ [Pa]

Tabela 1.5 Stałe regresji dla obliczenia ścieralności objętościowej w bębnie Devala

Rodzaj złoża	a	$b * 10^{-9}$	S_d %
Granit			
Strzegom Borów	6,27	-0,060	4,38
Strzegów Gęsiniec	9,71	-0,116	6,06
Gabro Bukowczyk	14,06	-0,154	9,21
Melafir Grzędy	6,35	-0,073	4,05
Bazalt Bukowa Góra	7,61	-0,069	5,44
Szarogłazy Młynów	9,13	-0,122	5,29
Marmur Kłodzko	17,58	-0,169	12,26

Zależności korelacyjne do obliczenia ścieralności w Młynie Los Angeles S_L [%]**:**
1. Szarogłazy: $S_L = 4{,}0 * S_d + 17{,}8$
2. Gabro – Bukowczyk: $S_L = 1{,}01 * S_d + 17{,}99$
3. Melafiry: $S_L = 2{,}41 * S_d + 8{,}18$
4. Bazalty: $S_L = 2{,}03 * S_d + 0{,}88$

gdzie S_d-ścieralność w bębnie Devala w % .

Szerszy opis zastosowania modułu akustycznego do określania właściwości złóż skalnych i rudnych krajowych i zagranicznych znajduje się w [Chrzan (1994)].

1.2 Literatura do rozdziału 1

Chrzan T. (1994). Ultradźwiękowe badania właściwości skał i materiałów budowlanych. Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994

Internet1, Dyno Nobel 2010. Blasting and Explosives Quick Referenc Geuide 2010

Internet 1, https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Dyno+ Nobel+2010, dostęp .8.2021

Internet 2, google: staff.uz.zgora.pl/wszajna/MG-moduły sztywnosci .pdf.

2 Bezpieczeństwo techniczne budynków na terenach górniczych

2.1 Wpływ działalności górniczej skalnych kopalń odkrywkowych na powierzchnię terenu [Chodkowska (2003)]

Obszar górniczy a teren górniczy.

Obszar górniczy to przestrzeń do prowadzenia działalności eksploatacyjnej przez zakład górniczy, zgodny z wymaganiami techniki górniczej. Obszar ten pozwala na lokalizację urządzeń i bezpieczeństwo robót oraz prawidłową gospodarkę złożem. Teren górniczy, to teren powierzchni objęty szkodliwym oddziaływaniem eksploatacji górniczej sięgającej poza obszar górniczy, np.:

1) zasięgiem leja depresyjnego,
2) strefą wstrząsów sejsmicznych,
3) zasięgiem strefy osiadania,
4) strefą udarowej fali powietrznej.

Na bezpieczeństwo techniczne budynków zasadniczy wpływ mają wartości drgań parasejsmicznych spowodowane eksploatacją górniczą skalnych kopalń odkrywkowych. Przez bezpieczeństwo techniczne budynków położonych poza obszarem górniczym rozumie się takie na nie oddziaływania terenu górniczego i wstrząsów górniczych, które nie powodują powstawania spękań elementów konstrukcyjnych /ścian/ lecz tylko przyśpieszone zużycie budynków. Oddziaływanie eksploatacji górniczej kopalń na powierzchnię można podzielić na dwa rodzaje: deformacje ciągłe podłoża obiektów budowlanych wywołane odwodnieniem górotworu spowodowane bezpośrednim wpływem eksploatacji górniczej, oraz deformacje podłoża spowodowane przez wstrząsy górotworu. Odkształcenia powierzchni terenu spowodowane odwodnieniem terenu nie wymagają żadnych zabezpieczeń znajdujących się na tym terenie budynków. Właścicielowi budynku przed wstrząsami górotworu trudno się zabezpieczyć, może on tylko dbać, aby budynek był w dobrym stanie technicznym, co zwiększa jego odporność na powstanie spękań, a zmniejsza przyśpieszone zużycie wyrażone poprzez pękanie i odpadanie tynków.

2.1.1 Deformacje podłoża spowodowane przez wstrząsy górnicze [Chodkowska (2003)]

Wpływy dynamiczne zmniejszają kąt tarcia wewnętrznego gruntu przy długotrwałym działaniu nawet dwukrotnie. Edometryczny moduł ściśliwości zmniejsza się dla gruntów sypkich nawet pięciokrotnie, a dla gruntów spoistych nawet dwukrotnie. Ma to duży wpływ na wielkość osiadania gruntów. Do obliczania wielkości prędkości drgań działających na dany budynek stosuje się zależności korelacyjne otrzymane na podstawie pomiarów. W kraju wpływ wielkości prędkości drgań gruntu na bezpieczeństwo techniczne budynków

określa się na podstawie skali wpływów dynamicznych [SWD] [Chrzan (2014,Norma (2016)].

2.2. Oddziaływanie górnictwa na otaczajacy teren [Chodkowska (2003)]

W Polsce eksploatuje się ponad 50 surowców mineralnych. Dla pokrycia nieustannie wzrastającego zapotrzebowania na surowce obejmuje się eksploatacją coraz większe powierzchnie złóż. Z ekologicznego punktu widzenia, nie to jest najważniejsze, czy i jak długo wystarczy surowców mineralnych, ale czy środowisko bez szkody dla utrzymania życia biologicznego, potrafi wytrzymać przekształcenia związane z wydobywaniem, przeróbką i wykorzystaniem surowców mineralnych. Poznanie przekształceń środowiska związanych z wydobywaniem i przetwórstwem surowców mineralnych, minimalizowanie ich wpływów oraz usuwanie, a także zmiana na mniej uciążliwe przekształcenia, jest nie mniej ważne, niż poszukiwanie nowych źródeł surowców. Kopalń podziemnych jest w Polsce około 120, odkrywek określonych jako średnie i duże – około 1500. Natomiast wszystkich odkrywek o powierzchni ponad 0,2 ha jest około 30 000. Większość kopalń znajduje się w południowej i centralnej części Polski. Trudno byłoby jednak znaleźć część kraju, w której nie wydobywa się surowców mineralnych, a jeszcze mniej jest takich obszarów, w których złoża nie występują lub ich eksploatacja nie może być podjęta. Nie udało się dotąd opracować takich sposobów eksploatacji, które nie powodowałyby jednocześnie ujemnych wpływów na środowisko, a w szczególności na powierzchnię terenu oraz obiekty i znajdujące się na niej urządzenia. Dlatego górnictwo skalne jest uciążliwym współgospodarzem terenu. W praktyce życia codziennego oznacza to znaczne uciążliwości i ograniczenia dla innych użytkowników terenu i jest przyczyną wielu konfliktów. Jednocześnie surowce dostarczane przez ten przemysł są niezbędne dla gospodarki, muszą one odpowiadać wielu kryteriom technicznym i ekonomicznym. Powoduje to, że górnictwo uzyskuje w stosunku do innych użytkowników terenu górniczego preferencje, które formalnie ujęte są w granicach terenu górniczego.

Oddziaływanie górnictwa [Chodkowska (2003), Chrzan,Modrzejewski (2014)] na środowisko, tak jak każdej innej działalności gospodarczej, można podzielić na dwa zasadnicze rodzaje: oddziaływanie bezpośrednie oraz oddziaływanie pośrednie. **Oddziaływania bezpośrednie** polegają na świadomym, planowanym zajęciu określonej powierzchni terenu o istniejącym już zagospodarowaniu lub określonej funkcji ekologicznej. W górnictwie skalnym oddziaływania bezpośrednie sprowadzają się do: zajęcia terenu pod budowę kopalni, zakładu przeróbczego i górniczego wraz z całą jego infrastrukturą techniczną (budynki, place, składowiska, drogi, rurociągi, zbiorniki wodne, linie przesyłowe); tworzenie hałd (składowisk) skały płonej, odpadów w formie bądź zwałowisk lokalnych (przykopalnianych), bądź zwałowisk centralnych. **Oddziaływanie pośrednie** są ubocznym, niezamierzonym, często nieprzewidywalnym,

negatywnym dla środowiska skutkiem działalności produkcyjnej. Są one pochodną oddziaływań bezpośrednich. Do oddziaływań pośrednich można zaliczyć działalność górnictwa skalnego, która w małym stopniu przyczynia się do zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego oraz wód powierzchniowych i podziemnych.

2.3 Dotychczasowy stan wiedzy i sposób ochrony budynków w terenie otaczającym kamieniołom

Do tej pory przyjmuje się, że kołowy rozkład drgań wokół miejsca urabiania materiałami wybuchowymi nie zmienia się z długością fali parasejsmicznej powstającej podczas strzelania [Chrzan(2014)], Chrzan,Modrzejewski (2014), Onderka,Sieradzki,Winzer (2003), Pyra, Winzer,Sołtys(2016), D'Andrea(1983), Rozporządzenie(2016), Sołtys (2011)] jak i z odległością od źródła drgań wyrażoną długością fali. Badania i obserwacje prowadzone przez zespół badawczy „Poltegor Instytut", Instytut Górnictwa Odkrywkowego wykazały, że w czasie urabiania skały strzelaniem trójszeregowym w odległości większej niż 5 długości fali,wielkości prędkości drgań zmierzone na różnych kierunkach, w tej samej odległości od źródła drgań i przy tej samej masie odpalanych ładunków materiału wybuchowego [MW] znacznie się różnią.. Różnice te sięgają nawet do 200%, co ma duże znaczenie dla wyznaczania dopuszczalnych wielkości ładunków czy zasięgu promienia bezpiecznej strefy drgań parasejsmicznych na różnych kierunkach eksploatacji.

2.3.1 Określanie promienia strefy bezpiecznej względem drgań gruntu

W monografii analizuje się urabianie skał zwięzłych w kopalniach odkrywkowych, z których produkuje się kruszywo drogowe. Skały zwięzłe urabia się strzelaniem za pomocą materiałów wybuchowych [MW], które powodują drgania urabianego ośrodka, a następnie gruntu. Przyczyną powstania drgań nie są procesy naturalne takie jak wybuchy wulkanów czy trzęsienia ziemi dlatego drgania te nazywane są w Polsce parasejsmicznymi, przenoszą się one poprzez propagacje fal parasejsmicznych w gruncie we wszystkich kierunkach i działają szkodliwie na infrastrukturę drogową i mieszkalną. Do tej pory w Polsce [Chrzan(2014)], Chrzan, Modrzejewski(2014), Onderka, Sieradzki, Winzer (2003), Pyra, Winzer, Sołtys (2016), D'Andrea (1983), Rozporządzenie (2016), Sołtys (2011)]oraz na świecie [Demirci i in (2013), Kopp (1980), Duvall i Fogelson (1962), Duvall, Johnson, Nicholls (1971) Gorgului in. (2013)] uważa się, że drgania parasejsmiczne powstające podczas urabiania skał materiałami wybuchowymi rozchodzą się kołowo z jednakową energią w każdym kierunku, podobnie jak fale na wodzie od wrzuconego do wody kamienia, a ich energia drgań z odległością maleje. Urabianie skał MW jest to odspojenie od calizny skalnej wzdłuż linii pionowej i poziomej bloku skalnego o różnych wymiarach i o różnych wartościach tych wymiarów w stosunku do długości fali powodującej drgania ośrodka. Dotychczas przyjmuje się, że wielkość szkodliwego

oddziaływania urabiania skał strzelaniem, czyli prędkości lub przyspieszenia drgań, zależy w danym terenie od wielkości odstrzeliwanego ładunku MW oraz odległości między kopalnią a danym obiektem. Parametry te zostały też zastosowane w [Rozporządzenie (2016] do obliczania promienia strefy szkodliwości drgań. Do tej pory nie bierze się pod uwagę kąta kierunkowego pomiarów „α" zawartego między linią otworów strzałowych, a linią łączącą punkt pomiarowy, np. dom, ze źródłem drgań. Przeanalizowano rozporządzenie [Rozporządzenie (2016)] zawarte w Dzienniku Ustaw i stosowane w praktyce korelacyjne zależności do obliczania dopuszczalnej wartości prędkości drgań i bezpiecznego promienia szkodliwości drgań parasejsmicznych. Z tej analizy wynika, że niektóre stosowane zależności dają błąd dochodzący do +- 30%. W artykule [Chrzan (2014), Chrzan, Modrzejewski (2014)] zaproponowano prowadzenie pomiarów z uwzględnieniem kąta kierunkowego pomiarów „α" i stwierdzono, że uwzględnienie kąta kierunkowego zwiększa dokładność otrzymywanych z zależności korelacyjnych obliczonych wyników.

Wykorzystanie energii materiałów wybuchowych (MW) do urabiania i rozdrabniania skał stanowi od lat najbardziej efektywną metodę pozyskiwania kruszyw. Technika strzałowa daje szerokie możliwości odspajania, rozdrabniania oraz przemieszczania skał, jednak wiążą się z nią także zagrożenia i ograniczenia. Przepisy dotyczące stosowania MW w odkrywkowych zakładach górniczych precyzują metody strzelania, sposób i zakres ich używania, oraz wyznaczanie dopuszczalnych wielkości ładunków MW przypadających na jedno opóźnienie milisekundowe oraz w serii strzałowej. W przypadku nowo otwieranych zakładów górniczych posługiwanie się wzorami i zapisami zawartymi w rozporządzeniu [Rozporządzenie (2016)], pozwala na wstępne przyjęcie dopuszczalnych ładunków MW przy określonym zasięgu stref oddziaływań. Zwykle wielkości wyznaczane w ten sposób są zbyt małe (nieefektywne) dla ładunków przypadających na jedno opóźnienie milisekundowe lub wyznaczają zbyt duże promienie zasięgu stref szkodliwych oddziaływań. Dają one jednak duży zapas bezpieczeństwa i minimalne wielkości niekorzystnych oddziaływań przy prowadzeniu wydobycia z użyciem MW. Zapisy te zmuszają jednak przedsiębiorców do rozpoczynania lub prowadzenia eksploatacji z istotnymi ograniczeniami albo do poszukiwania innych rozwiązań poprawiających efektywność wydobycia. Sposobem na pełne wykorzystanie zasobów kopalin skalnych zalegających (uwięzionych) w strefach chroniących obiekty jest zastosowanie droższego urabiania mechanicznego. Rozwiązanie takie wiąże się z dodatkowymi, czasem bardzo znaczącymi, kosztami, które obniżają rentowność wydobycia. Drugą możliwością jest wykonanie badań rzeczywistych zasięgów stref oddziaływań i określenie dopuszczalnych, bezpiecznych wielkości ładunków MW przez uprawnionego rzeczoznawcę np. instytut badawczy. Wiele zakładów górniczych, które rozszerzają zakres działalności w nowym obszarze górniczym, zmuszona jest funkcjonować w słabo

rozpoznanym geofizycznie terenie górniczym. W takich przypadkach przyjęcie promienia stref szkodliwych oddziaływań na podstawie Rozporządzenia [Rozporządzenie (2016)] powoduje często zablokowanie znacznych zasobów złoża, którego nie można urabiać przy pomocy MW. Maksymalną granicą zasięgu oddziaływań jest zwykle granica terenu górniczego, jednak bardzo często w granicach tych znajdują się obiekty, które muszą być chronione przed oddziaływaniem od robót strzałowych: rozrzutem odłamków skalnych, niebezpiecznymi drganiami parasejsmicznymi czy nadciśnieniem powietrznej fali uderzeniowej [PFU].

2.3.2 Aktualny stan wiedzy związany z drganiami gruntu

2.3.2.1 Parametry urabiania skał wpływające na emisję drgań

Na wielkość emisji drgań powstających w ośrodku skalnym, a w konsekwencji powodujących szkodliwe drgania gruntu pod obiektami inżynierskimi ma wpływ wiele czynników [Chrzan (2014)], Chrzan, Modrzejewski (2014), Onderka, Sieradzki, Winzer (2003), Pyra, Winzer, Sołtys (2016), D'Andrea (1983), Sołtys (2011) Bhargawa, Kumar, Choudhury (2016)], jak:

a) rodzaj stosowanego MW /dynamit, trotyl,AN-FO saletrol-wykonywany z saletry amonowej,

b) ładunek maksymalny przypadający na jeden stopień opóźnienia milisekundowego-Q_z /zwłokę,

c) Q_c-ładunek całkowity serii otworów,

d) D -średnica otworów,

e) z-zabiór i a-odległość między otworami,

f) przewiert i przybitka/ lp-długość przybitki, p-długość przewiertu,

g) t_z-czas opóźnień-zwłoka milisekundowa /ilość milisekund pomiędzy odpaleniem kolejnego otworu,

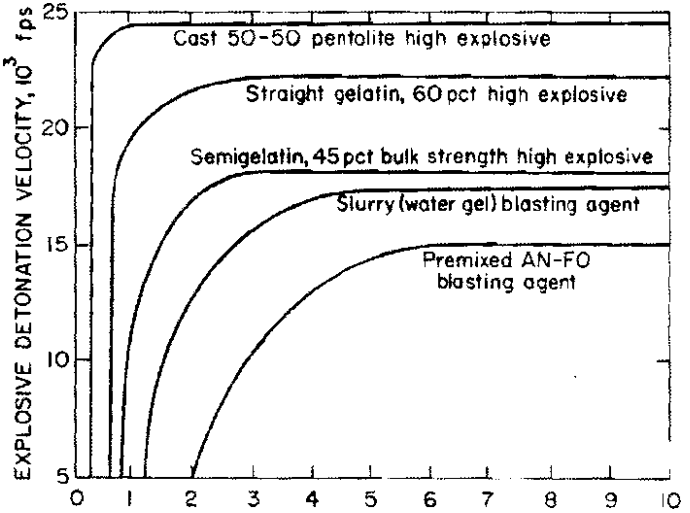
h) schemat odpalania otworów i ich kolejność,

i) rodzaj i miejsce umieszczenia włomu-miejsce odpalenia pierwszego otworu,

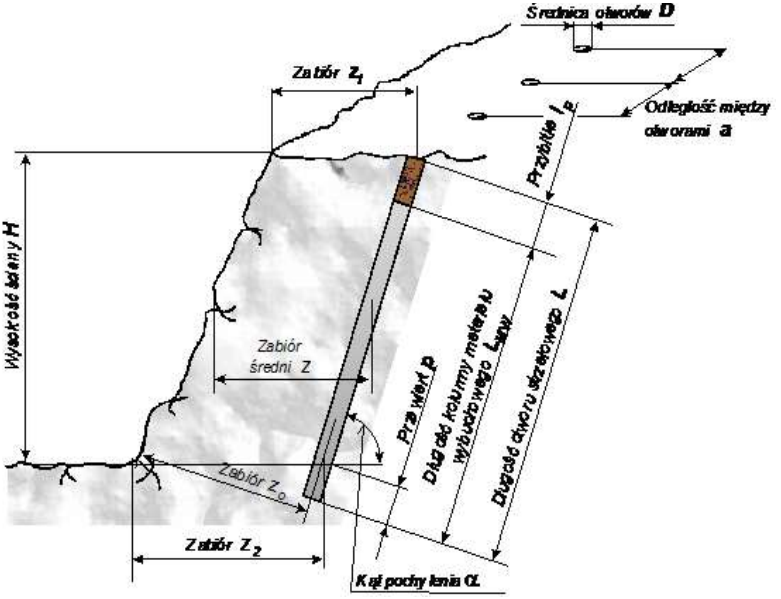
j) rozmieszczenie łaunków udarowych, (początek inicjacji wybuchu w otworze na dole lub na górze otworu).

Parametry te są z zasady stałe przy każdym odstrzale bloku skalnego na całej ścianie i poziomie. Do wywierconych jednorzędowo lub wielorzędowo na ścianie o wysokości H otworów o średnicy D, (Rys.2.1) i długości L ładuje się MW, o długości (L-lp + p),który następnie jest inicjowany ładunkiem udarowym poprzez zapalnik milisekundowy. Otwory odpalane są z pewnym milisekundowym opóźnieniem w stosunku do poprzedniego i takie strzelanie nazywa się milisekundowym. Przybitka o długości lp służy do zamknięcia

otworu. Z reguły jest nią glina lub zwierciny uzyskiwane podczas wiercenia otworu. Przewiert p to długość otworu poniżej poziomu piętra transportowego.



*Rys. 2.0 Wpływ średnicy otworu na prędkość detonacji MW./oś Y- prędkość stopa/s,Y*0.305[m/s] , oś X – średnica otworu cale, X*25,4 [mm] / AN-FO-MW typu saletrole, Slurry-MW emulsyjne, pół żelatynowane, wysoko żelatynowane [D'Andrea (1983)]*



Rys. 2.1 Parametry geometryczne urabianego strzelaniem bloku skalnego mające wpływ na wielkość drgań parasejsmicznych masywu skalnego i gruntu za złożem. [Chrzan, Modrzejewski (2014)]

Geometryczną anizotropię właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego Awg charakteryzuje stosunek a/z. Nie uwzględnia się natomiast wpływu kierunku szczelinowatości masywu na prędkość drgań. Ogólnie znane jest, że zwiększenie średnicy otworu strzałowego zwiększa prędkość drgań urabianego ośrodka, lecz nie jest to wiązane ze zwiększeniem prędkości detonacji MW. Średnica otworu strzałowego wpływa pośrednio na efekt strzelania, gdyż poprzez jej zwiększenie zwiększona zostaje prędkość detonacji MW (Rys. 2.0), a tym samym częstotliwość i prędkość drgań urabianego ośrodka.

2.3.2.2 Krajowa zależność stosowana do obliczania prędkości drgań

Obecnie w Polsce [Chrzan (2014), Chrzan, Modrzejewski (2014), Onderka, Sieradzki, Winzer (2003), Pyra, Winzer, Sołtys (2016), D'Andrea (1983),Sołtys (2011), Grzeskowiak i Patla (2016)] stosuje się powszechnie poniższą zależność do prognozowania prędkości drgań:

$$V = k\, Q_z^{\,a}\, r^{-b} \qquad (2.1)$$

gdzie:

V –prędkość drgań w punkcie pomiaru styczna lub radialna, cm/s (zmienna zależna), k, a,

b –współczynniki określające warunki emisji i propagacji drgań wyznaczone na podstawie pomiarów, ujmujące wpływ zmienności technologicznych parametrów strzelania i błąd pomiarów.

Q_z –wielkość odpalanego ładunku MW, na jedną zwłokę /jeden numer zapalnika/, kg (zmienna niezależna),

r –odległość między miejscem odpalenia ładunku Q_z a obiektem, w którym występują drgania, m (zmienna niezależna).

Przyjmując; a=1/2 dla strzelań długimi otworami, a b=1 otrzymuje się, że $\rho=[Q_z]^{\wedge(1/2)}/r$. Podstawiając ρ do zależności 2.1 otrzymano, że V=c*ρ + d, c i d –współczynniki stałe wyznaczone na podstawie cechowania statystycznego pomiarów uwzględniające błąd pomiarów i przedział zmienności ρ.

W wyniku kilkunastu pomiarów prędkości drgań na złożach skał zwięzłych dla różnego zakresu ρ otrzymano korelacyjne, jak podano powyżej, zależności liniowe zestawione w Tabeli 2.1. Podano w niej także wartość współczynników korelacji. Z analizy współczynników korelacji wynika, że po podniesieniu ich do kwadratu otrzymana procentowo wartość określa jaki procent wartości zależy od parametrów pomierzonych, a jaki od innych niepomierzonych. Z analizy kwadratów współczynników korelacji wynika, że dla granitu na otrzymany wynik mają wpływ w wysokości 39% wartości zmierzone, a 61% to wpływ innych nie ujętych do obliczeń czynników. Podobnie dla melafiru na otrzymany wynik wartości zmierzone mają wpływ w wysokości 36%, a 64% to wpływ innych nie ujętych do obliczeń czynników.

Tabela 2.1 Zależności korelacyjne predkości drgań dla złóż skalnych

Rodzaj złoża skalnego	Zależność korelacyjna	Zakres stosowanego ρ	Wartość współ. korelacji	ρ max/ρ min
Bazalt	V = 32,5 ρ - 0,08	ρ od 0,004-0,070	r=0,86	17,5
Dolomit	V= 53,9 ρ - 0,15	ρ od 0,001-0,060	r=0.73	60
Gabro	V = 82,1 ρ - 0,83	ρ od 0,001-0,040	r=0,92	40
Granit	V = 64,7 ρ - 0,41	ρ od 0,002-0,070	r=0,63	35
Melafir	V = 22,6 ρ - 0,07	ρ od 0,003-0,070	r=0,60	23
Piaskowiec	V = 37,4 ρ - 0,43	ρ od 0,010-0,060	r=0,7	6
Wapień	V = 22,6 ρ - 0,06	ρ od 0,001-0,090	r=0,67	90

Dla gabra na otrzymany wynik wartości zmierzone mają wpływ w wysokości 85%, a tylko 15% to wpływ innych nie ujętych do obliczeń czynników. Przy stosunkowo małej zmianie odległości dla wszystkich pomiarów od 1000 m do 3000 m, dla złoża gabra pomiary odbywały się przy największym zakresie zmiany wielkości ρ - ładunku zredukowanego od 0,001 do 0,040. Przedział zmienności wielkości ładunku zredukowanego wynosi zatem dla gabra 40. Pomimo większego przedziału zmienności wielkości ładunku zredukowanego wynoszącego dla gabra 40, dla granitu 35, a dla melafiru 23, otrzymano najwyższy współczynnik korelacji zależny być może, od małej różnicy kątów kierunkowych α zawartych pomiędzy linią otworów strzałowych- oś Y i liniami łączącymi punkty pomiarowe P ze źrodłem drgań. Na małą dokładność otrzymanych zależności korelacyjnych ma także wpływ nieuwzględnianie w tych wzorach parametrów wytrzymałościowo-sprężystych ośrodka skalnego takich jak modułu akustycznego , głównego kierunku szczelinowatości, gęstość ośrodka, prędkość rozchodzenia się fal sejsmicznych oraz właściwości MW jak prędkość detonacji MW i ilość energii zawartej w 1 kilogramie MW. Nie rozróżnia się też rodzaju prędkości drgań poziomych związanych z kierunkiem pomiarów jako drgania radialne lub styczne. Do prognozowania szkodliwości drgań sejsmicznych na podstawie Skali Wpływów Dynamicznych [SWD] (Rys 2.5 i 2.6) zawsze brana jest większa wartość składow drgań poziomych. Brakiem uwzględnienia w czasie pomiarów kątów kierunkowych „α", czyli kierunkowości prędkości drgań, należy tłumaczyć niskie współczynniki korelacji otrzymane dla złóż zestawionych w Tabeli 2.1 oraz w pracach [Duvall i Fogelson (1962), Duvall, Johnson, Nicholls (1971)].

Porównanie obliczonych wartości stref szkodliwych drgań parasejsmicznych na podstawie obliczonych według Rozporządzenia [Rozporządzenie(2016)] i podanych w Tabeli 2.1 zależności korelacyjnych. Po przyjęciu dopuszczalnej wartości prędkości drgań można obliczyć bezpieczny promień drgań, po przekroczeniu którego występują uszkodzenia w budynkach i budowlach w

postaci spękań ścian lub położonego na jezdni betonu cementowego lub asfaltowego.

Tabela 2.2 Zestawienie stref szkodliwych drgań parasejsmicznych dla złóż

Skały magmowe	Współczynnik razy Qz do potęgi 1/3	Wynik obliczony z zależnosci korelacyjnej, [m]	Wynik obliczony według [Rozporządzenie Ministra (2016)], [m]
1	2	3	4
Bazalt	90,3	558,5	od 527,0 do 601,1
Gabro	76,0	470,0	od 527,0 do 601,1
Granit	98,0	606,1	od 527,0 do 601,1
Melafir	62,1	384,1	od 527,0 do 601,1

Wartość strefy szkodliwych drgań sejsmicznych obliczona z zależności korelacyjnej dla granitu jest o 1% większa, a dla melafiru prawie o 36% mniejsza niż wynik obliczony według Rozporządzenia Ministra. Tak dużą różnicę w określaniu wartości strefy szkodliwych drgań można wyjaśnić uwzględnieniem tylko dwóch parametrów w rozporządzeniu [Rozporządzenie (2016)].

2.3.3 Zależność powszechnie stosowana do obliczania poziomej radialnej i stycznej prędkości drgań na świecie

2.3.3.1 Przewidywanie wielkości drgań gruntu wywołanych użyciem MW z wykorzystaniem analizy regresji „skalowanej odległości”

Koncepcja przewidywania wielkości drgań, polega na zastosowaniu skalowanej odległości, opracowanej przez United States Bureau of Mines (USBM) [Duvall i Fogelson (1962)]. Skalowana odległość [Siskind i in.,(1980, 1994)] to połączenie odległości pomiędzy źródłem drgań i punktami pomiarowymi oraz maksymalnego ładunku na opóźnienie. Tak skalowana odległość jest zdefiniowana w następujący sposób:

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}} \qquad (2.2)$$

gdzie SD jest skalowaną odległością (m/kg½), D jest bezwzględną odległością pomiędzy źródłem drgań a stacją pomiarową (m), a W jest maksymalnym ładunkiem MW na jedno opóźnienie (kg) pod pierwiastkiem kwadratowym.

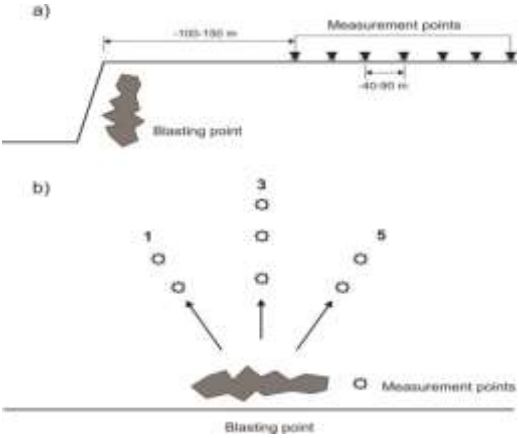
Wartość PPV (radialnej lub stycznej prędkości szczytowej cząstek drgającego ośrodka) określa się za pomocą następującego równania:

$$PPV = k(SD)^{m} \qquad (2.3)$$

gdzie *k i m* są stałymi, zależą od miejsca i warunków geologicznych oraz kierunku pomiarów [Siskind i in. (1980, 1994)].

Koncepcja kryjąca się za analizą regresji odległościowej polega na zmienności PPV. ze skalowaną odległością, a stałe *k i m* są stosowane w zależności od warunków geologicznych w danym miejscu oraz od kierunku pomiarów prędkości drgań. Z badań wykonanych przez [Duvall, Johnson, Nicholls (1971)] najczęściej w polu bliskim wynika, że dla 6 złoż średnia prędkość szczytowa drgań ośrodka skalnego maleje z odległością r dla różnych kierunków według zależności: Vx=k*r^(-1,63); Vy=k*r^(-1,23); Vz=k*r^(-1,74). Przy czym potęga przy odległości r zmieniała się dla ww. kierunków w przedziale: Vx=1,09-2,15; Vy=1,08-2,05; Vz=1,49-2,35.

Obliczone z powyższych równań 2.1 i 2.3 wartości poziomych prędkości drgań PPV stosowane są do obliczania bezpiecznej odległości budynku od źródła drgań, tak aby drgania sejsmiczne go nie uszkodziły. Obecnie powszechnie stosowane równania do obliczania przewidywanych poziomych wartości PPV nie uwzględniają rodzaju rozkładu kierunkowego i zmiany ich wartości przy zmianie kąta kierunkowego pomiarów. Nieuwzględnienie wpływu kąta kierunkowego na wartości poziomych prędkości drgań PPV dla kołowego rozkładu drgań w podanych równaniach oraz nieuwzględnienie kierunkowego eliptycznego rozkładu drgań źródła drgań i podłoża powoduje duże błędy w wyznaczeniu bezpiecznej odległości budynku od źródła drgań. Równania nr 2.2 i nr 2.3 dotyczą kołowego rozkładu prędkości drgań lecz w nich też nie uwzględnia się wpływu kątów kierunkowych pomiarów „α" na wartość poziomych prędkości drgań PPVx i PPVy. Wpływ kątów kierunkowych pomiarów „α" na wartość poziomych prędkości drgań PPVx i PPVy dla kołowego rozkładu prędkości drgań pokazano na Rys. 4.9 i 4.10. Występowanie eliptycznego rozkładu kierunkowego prędkości drgań w równaniach 2.1, 2.2 i 2.3 też nie jest brane pod uwagę. W publikacji Kazuma Gorgulu i in. (2013) (Rys. 2.2) stwierdzono, że na badanym złożu wapienia, w pięciu kierunkach dla badanych wartości skalowanej odległości, uzyskano istotnie różne wartości stałej złoża k= 11,25-3.671,13 i m=1,04-1,90. Tak znaczące różnice występujące w jednym złożu autor tłumaczył różnymi kierunkami pomiarów, różnym tłumieniem drgań oraz inną budową geologiczną w każdym z kierunków pomiarowych. Zauważalna kierunkowość poziomej prędkości drgań sejsmicznych dla różnych kątów kierunkowych jest też wyjaśniana jako anizotropia złoża [Duvall , Johnson , Nicholls (1971)] lub przez główny kierunek szczelin w złożu [Stan i in. (2012)], a nie przez warunki falowe źródła fal czyli wielkość „ka" [czyli $ka=2\pi a/\lambda$, gdzie „a" promień źródła drgań, λ długość wytwarzanej fali] jak to podają [(Kaniak, Schwenzer (2020), Krautkramer i Krautkramer (1990), Russell (2020), Matauschek (1961), Bottle (2020)]. Inni badacze [Demirci i in.(2013), Bhargawa, Kumar, Choudhury (2016)] stwierdzili, że na drgania gruntu spowodowane wybuchem mają wpływ takie parametry, jak właściwości fizyczne i mechaniczne górotworu, właściwości materiału wybuchowego oraz konstrukcja ładunku MW.



Rys. 2.2 Orientacyjny schemat kierunków pomiaru prędkości drgań: a) pojedyncza linia pomiarowa (przekrój poprzeczny), b) od lewej kierunki linii pomiarowych o numerach 1,3,5 (widok z góry) [Gorgulu i in. (2013)]

Właściwości skał mogą się znacznie różnić w zależności od miejsca strzelania lub stanowiska pomiarowego i mogą mieć charakter kierunkowy. Często stosowane metody i procedury prognozowania drgań mają charakter empiryczny i opierają się na uproszczonych korelacjach. Analiza regresji skalowanej odległości, jest stosowana przez inżynierów od wielu dziesięcioleci. Skalowana odległość uzyskiwana jest na podstawie odległości pomiędzy źródłem a punktami pomiarowymi oraz maksymalnego ładunku MW na jedno opóźnienie. Naukowcy podjęli wiele prób wyprowadzenia równania do dokładnego obliczenia prędkości składowych poziomych PPVx, PPVy, ilości ładunku na jedno opóźnienie, częstotliwości drgań i bezpiecznej odległości dla budynków podczas odstrzałów produkcyjnych. Takie próby to między innymi zastosowanie: metod numerycznych oraz sztucznej sieci neuronowej (ANN) [Khandewal, Sadat, Monjezi(2013); Khandewal i in.(2013),Amnieh i Bahadori(2014); Gupta i in.(2014)], algorytmu genetycznego [GA], [Rao, 2012], maszyny wektorów wspierających [Dong i in., 2011]. Dla lepszej predykcji szczytowej prędkości cząstek (PPV) i częstotliwości dominującej [Patterson, Yang, Scovira (2014), Lownds i Yang, 2011] zaprojektowano symulację z wykorzystaniem analizy rodzaju fali powstającej w otworze a poprzez technikę symulacji modelowane było liniowe zachowanie fali. Podjęto próby wygenerowania modeli PPV z uwzględnieniem wpływu nieciągłości skalnych, typów skał, formacji skalnych, szczelin skalnych i ich orientacji, obecności zwierciadła wody, interfejsu grunt - skała [(Bhargawa, Kumar, Choudhury (2016), Agrawal i Mishra, (2018)]. Wszystkie te próby nie zakończyły się opracowaniem ogólnych zależności, lecz opracowaniami dla potrzeb lokalnych, ponieważ nie uwzględniano kierunkowości powstających podczas strzelania drgań.

Pomimo wymienionych prac parametry projektowania strzelań są w dalszym ciągu optymalizowane poprzez badania terenowe. Monitorowanie drgań podczas strzelania w trakcie rzeczywistej eksploatacji pomaga w zapewnieniu

bezpieczeństwa istniejących konstrukcji i instalacji, jak również w dostarczeniu niezbędnych danych w celu poprawy schematów urabiania strzelaniem [Kudale Tripathy, Shirke(2016)]. Wymienieni powyżej naukowcy nie zajmowali się typami rozkładów kierunkowych ani wymiarami źródła drgań, ani też wpływem kąta kierunkowego na wartość prędkości radialnej i stycznej jak to uczyniono w niniejszej monografii. W obecnej pracy przedstawiono wpływ kątów kierunkowych na wartość poziomej prędkości drgań PPVx, PPVy nie-uwzględnionych jeszcze w obecnie stosowanych równaniach empirycznych. Podano zależności (4.8) do obliczania największej wartości składowych poziomych prędkości drgań PPVx, PPVy, które stosuje do Skali Wpływów Dynamicznych w celu określenia możliwych uszkodzeń domów oraz do dokładniejszego prognozowania wielkości bezpiecznej strefy drgań sejsmicznych dla budynków.

2.3.4 Drgania parasejsmiczne- podstawy prawne określania strefy bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych

Zasięg szkodliwych drgań parasejsmicznych można określić na podstawie wzoru podanego w Rozporządzeniu [Rozporządzenie(2016)] lub na podstawie badań terenowych przez uprawnioną jednostkę badawczo-naukową. Wyznaczona strefa zasięgu drgań parasejsmicznych jest jedynie umowną, graficznie odwzorowaną granicą ochrony obiektów. Prawdziwym i istotnym elementem zapewniającym ochronę są prawidłowo wyznaczone wielkości ładunków MW w poszczególnych częściach (strefach I,II) wyrobiska (Rys.2.3) oraz parametry strzelania. Promień niebezpiecznej strefy drgań parasejsmicznych na podstawie Rozporządzenia określa wzór:

$$r_s = \frac{\sqrt{Q_z}}{\varphi} \qquad (2.4)$$

gdzie:

-Q_z -ładunek MW odpalany natychmiastowo lub maksymalna wielkość ładunku MW przypadającą na jedno opóźnienie /zwłokę/ milisekundowe odpalane w serii; [kg];

r_s -odległość miejsca wykonywania robót strzałowych do chronionego obiektu, [m];

współczynnik φ wynosi:

przy Com < 2,000 m/s, φ = 0,030 - 0,026

przy Com = 2.001 - 3.000 m/s, φ = 0,025 - 0,020

przy Com > 3.000 m/s , φ = 0,019 - 0,015

gdzie; Com -prędkość podłużnej fali sejsmicznej, charakterystyczna dla podłoża na którym stoi obiekt, -

1) piasek, żwir, glina Com= 1000-1500 m/s,
2) utwory morenowe miękkie,łupki wapienie Com= 2000-3000 m/s,
3) granit, gnejs, piaskowce, twarde wapienie Com= 4500-6000 m/s.

W przypadku, gdy ładunek materiału wybuchowego odpalany jest w serii, w której zastosowano od 2 do 15 stopni opóźnień, promień strefy zwiększa się 1,5 razy. Obecnie w celu pozyskania kruszywa stosuje się wyłącznie strzelanie milisekundowe systemami nieelektrycznymi lub elektronicznymi minimalizujące w rzeczywistości drgania parasejsmiczne. Wyznaczenie dopuszczalnego bezpiecznego ładunku przypadającego na jedno opóźnienie milisekundowe wymaga prawidłowego przyjęcia wartości φ. Określenie prędkości podłużnej fali sejsmicznej wymaga wykonania odpowiedniego pomiaru w warunkach rzeczywistych, lub przyjęcia tej wielkości na podstawie danych literaturowych. Prędkość podłużnej fali sejsmicznej można przyjąć na podstawie Tabeli 2.3 [Onderka, Sieradzki, Winzer (2003)].

Przyjęcie skrajnych wartości daje istotne różnice w zakresie otrzymywanych zasięgów strefy drgań. Po przekształceniu wzoru (2.4) można określić, dla danych warunków, dopuszczalny ładunek $Q_{z.}$ .Otrzymywane wielkości dopuszczalnego ładunku Q_z przy założeniu strzelania z dwoma powierzchniami odsłonięcia i odpalaniem milisekundowym wynoszą dla strefy R_S=200 m od 4 do 16 kg.

Tabela 2.3 Prędkości fali podłużnej Com w złożach i skałach

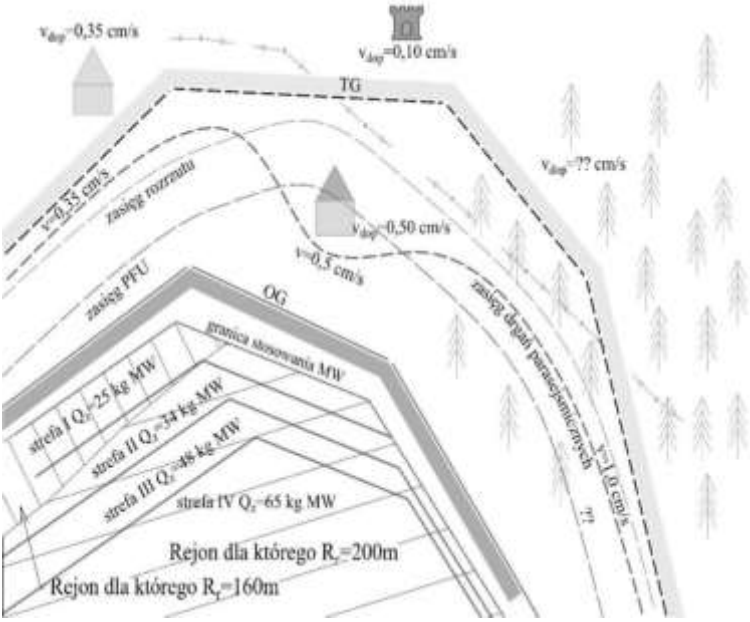
Rodzaj skały	Prędkość fali C_{om} [m/s] [Onderka i inn. (2003)]	Prędkość fali C_{om} wg. Caterpillar [Onderka i inn. (2003)]
Ziemia (gleba)	240-450	-
Ziemia ubita	450-600	-
Woda	1500	-
Piasek luźny pod wodą	450-1200	-
Piasek luźny nad wodą	240-600	-
Węgiel	900-1500	-
Gliny	900-1800	do 2000
Łupek miękki, zmarznięta ziemia	1200-2100	-
Łupek twardy	1800-3000	do 3600
Piaskowiec	1800-3000	do 3600
Wapień zwięzły, bazalt	2400-3900	do 4700
Granity, gnejsy	3000-6000	do 4700
Lód	3000-3600	
Margle rejonu Opola	2350-3050	-
Większość skał okruchowych	poniżej 1000	-
Większość skał zwięzłych	powyżej 2400	do 4700

Dla kopalń nowo otwieranych, ładunki te są najczęściej zbyt małe do efektywnego odspajania i kruszenia skały, są na granicy prawidłowej techniki strzelania. Sytuację ratuje częściowo możliwość zastosowania kilku ładunków (od 2-3) w jednym otworze strzałowym, co jednak niesie za sobą szereg utrudnień i istotnie podraża koszty takiego strzelania. W przypadku bliskiej lokalizacji i konieczności zapewnienia ochrony sejsmicznej obiektom kubaturowym oraz liniowym, jedynym rozwiązaniem jest wykonanie pomiarów drgań parasejsmicznych w trakcie robót strzałowych przez uprawnionego rzeczoznawcę czyli instytut badawczy oraz ustalenie rodzaju kierunkowości drgań gruntu. Najczęściej chronionymi obiektami kubaturowymi są zabudowania mieszkalno-gospodarcze, obiekty przemysłowe, budynki użyteczności publicznej i infrastrukturalne oraz obiekty zabytkowe. Do obiektów liniowych zalicza się m.in. podziemne instalacje przesyłowe, drogi, linie kolejowe i tunele. Odporność sejsmiczna czyli zdolność przenoszenia prędkości drgań przez obiekt bez pękania jego konstrukcji zmienia się w zależności od konstrukcji, posadowienia i sposobu użytkowania w szerokim zakresie od 80 do 0,8 mm/s. Możliwości używania większych ładunków na opóźnienie milisekundowe wiążą się niejednokrotnie z koniecznością zachowania lub stosowania odpowiednich kierunków linii otworów strzałowych, tak aby otrzymana kierunkowość drgań była najmniejsza na kierunkach, na których znajdują się chronione obiekty. Prawidłowe wyznaczenie zasięgów oddziaływania szkodliwych drgań wiąże się także z ustaleniem zmian prędkości drgań wraz z odległością od miejsca prowadzenia robót strzałowych do chronionego obiektu. Rodzaj kierunkowości drgań, a tym samym propagacja prędkości drgań, jest różna na różnych kierunkach i na różnych odległościach, co wynika z warunków falowych fali podłużnej podanych w literaturze [Dobrucki (1987), Talarczyk(1990)] jako stosunek długości obwodu źródła drgań /czyli obwodu odstrzelonego bloku skalnego/ do długości wytworzonej przez to żródło fali. Istotne jest również według jakich kryteriów szkodliwości oznacza się na mapie zasięg wpływu drgań parasejsmicznych. Dla obiektów mieszkalnych (spełniających określone warunki) ustalenie odporności na drgania parasejsmiczne można określić na podstawie skal wpływów dynamicznych (SWD) – zawartych w poprawionej normie z 1985 roku, PN-B-02170:2016-12 [Norma 2016]. Norma ściśle określa zakres i właściwości obiektów, do których może być stosowana. Ustalenie i uwzględnienie wszystkich czynników ograniczających poziom oddziaływania parasejsmicznego pozwala na określenie, w granicach prowadzonych robót strzałowych, stref ograniczeń ustalających bezpieczne wielkości ładunków MW (Rys.2.3).

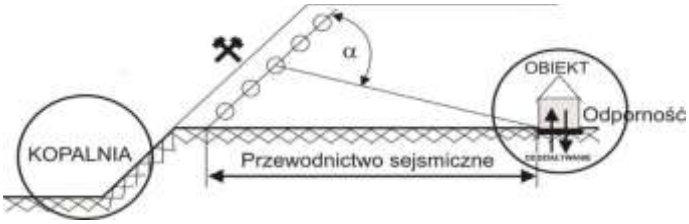
Prawna możliwość dotycząca zmiany zasięgu oddziaływania drgań na danym kierunku zależy od kilku parametrów. Podstawowymi jednak są zwykle wielkość ładunku MW /Q_z/ odpalana na opóźnienie /na 1zwłokę/, rodzaj strzelania oraz rodzaj gruntu na którym stoi chroniony obiekt. Należy zwrócić uwagę, że równie

istotnymi parametrami, które powinny być brane pod uwagę, są typ rozkładu kierunkowego, kołowy czy elipsoidalny prędkości drgań gruntu w czasie strzelania. Zasięg strefy szkodliwych prędkości drgań parasejsmicznych stanowi obwiednię stref wyznaczanych dla różnych kierunków, różnych odporności i różnych wielkości odpalanych ładunków MW (Rys. 2.3). Promień tej strefy może i najczęściej zmienia się na różnych kierunkach. Wymóg wyznaczenia na mapie zasięgu szkodliwych prędkości drgań parasejsmicznych niesie za sobą szereg wątpliwości co do interpretacji linii na mapie. Strefa ta nie oznacza, że poza nią drgań nie ma, czy maleją do zera. Oznacza, że na danym kierunku i przy stosowaniu określonych ładunków MW, drgania parasejsmiczne nie zagrażają konstrukcji istniejących obiektów. Istotnym problemem jest konieczność zapewnienia ochrony obiektom, które dopiero mogą powstać. Przebieg stref ograniczających wielkości ładunków MW nie jest stały i przy zidentyfikowaniu nowych obiektów chronionych można zmienić ich przebieg oraz wielkości ładunków MW. Należy nadmienić, że oznaczenie granicy oddziaływania nie dotyczy odczuwalności drgań. Drgania w każdym miejscu mogą być odczuwalne przez ludzi czy obiekty, jednak nie wiąże się to z ich zagrożeniem. Ustalenie poziomu dopuszczalnych prędkości drgań dotyczy wielkości niepowodujących uszkodzeń [Norma 2016, Chrzan (2014), Chrzan, Modrzejewski (2014)] w budynku. Ten problem jest najczęściej elementem sporu między zakładem górniczym a okoliczną społecznością.

Na rysunku 2.4 schematycznie pokazano miejsce powstawania drgań (kopalnię), odległość miedzy kopalnią a obiektem, obiekt na który działają drgania. Obiekt posiada odporność zależną od kilku czynników technicznych i geologicznych [Norma 2016, Chrzan(2014), Chrzan, Modrzejewski (2014). Onderka, Sieradzki, Winzer(2003)]. Wstrząsy gruntu powodują nie tylko deformacje podłoża obiektu poprzez nierównomierne jego osiadanie lecz także mogą powodować spękania ścian nośnych, a tym samym stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa technicznego budynków i budowli inżynierskich. Nierównomierne osiadania podłoża przenoszą się poprzez fundamenty na obiekt, który ulega popękaniu. Uszkodzeniom budowli i budynków można zapobiegać poprzez zmniejszanie i wyrównywanie osiadania gruntów za pomocą stalowych siatek lub geotekstyliów. Wykonywane pomiary skupiają się na ustaleniu i wyjaśnieniu czy drgania emitowane przez kopalnię są szkodliwe dla obiektu (ew. dla ludzi czy urządzeń w obiekcie) oraz jak będą się zmieniać te oddziaływania przy przemieszczaniu się frontów eksploatacyjnych. Prognoza taka pozwala na określenie wielkości dopuszczalnych ładunków MW i miejsc ich stosowania w sposób niezagrażający obiektom chronionym.



Rys. 2.3 Przykładowy schemat graficznego przedstawiania stref ograniczeń, wielkości ładunków MW-linia ciągła, zasięgu szkodliwych oddziaływań prędkości drgań -linia przerywana [Grześkowiak, Patla (2016)]



Rys. 2.4 Schemat oddziaływania drgań na obiekt. Zaznaczono kąt kierunkowy pomiaru „α" między linią otworów strzałowych a linią łącząca punkt pomiarowy (dom) ze środkowym otworem strzałowym, zaznaczono odległość między źródłem drgań a obiektem [opracowanie własne]

Przykładowy schemat graficznego przedstawiania stref ograniczeń, wielkości ładunków MW podano na Rys. 2.3. Dla różnych budynków podano tam również dopuszczalną prędkość drgań. Bezpieczeństwo sejsmiczne zapewniają zatem strefy ograniczające ich kształt oraz przebieg wewnątrz wyrobiska. Są one wyznacznikiem ograniczeń i zasięgu drgań parasejsmicznych. Wrysowanie linii na mapie, określającej zasięg szkodliwych drgań wg zdefiniowanych kryteriów szkodliwości, jest bardzo dużym uproszczeniem. W dotychczasowych rozważaniach przyjmuje się, że dla każdego złoża na wielkość drgań gruntu ma wpływ wielkość odpalanego ładunku materiału wybuchowego [MW] i odległość od miejsca wybuchu. Po wykonaniu pomiaru prędkości lub przyspieszenia drgań

w dowolnym punkcie (przyjmując , że drgania rozchodzą się kołowo) oblicza się promień strefy szkodliwości drgań parasejsmicznych, poza którym drgania nie wyrządzają szkód lub wielkość ładunku dla danej odległości (promienia szkodliwości), aby drgania nie wyrządzały szkód w budynkach lub budowlach inżynierskich.

2.3.5 Krajowe skale szkodliwości drgań

Wielkość dopuszczalnego przyspieszenia, prędkości lub amplitudy działającej na budynek bez widocznych jego uszkodzeń lub powodujący jego ściśle określone uszkodzenia stanowi kryterium szkodliwości drgań parasejsmicznych [Norma (2016), Chrzan (2014), Chrzan, Modrzejewski (2014)]. W Polsce skala wpływów dynamicznych SWD na budynki została opracowana jako Polska Norma i obowiązuje od 1985 roku. Skalę stanowi rysunek z naniesionymi liniami, które określają poszczególne strefy szkodliwości prędkości drgań. Na rysunek 2.5 nanosimy wielkość największej poziomej prędkości drgań pomierzonej dla budynku na wysokości terenu i odpowiadającą jej częstotliwość. Punkt przecięcia się tych danych w zależności od największej pomierzonej wartości poziomej prędkości drgań budynku i jej częstotliwości określa nam numer strefy oraz powstające w tej strefie wskutek drgań uszkodzenia budynku. Ważnym parametrem jest częstotliwość drgań. Dla zilustrowania tego problemu, wartości graniczne prędkości drgań odczytano ze skali SWD I, Rys. 2.5, przyjmując wartości graniczne wzdłuż linii B jako dopuszczalny poziom prędkości drgań niepowodujący uszkodzenia konstrukcji budynku. Przykładowo, wybrane częstotliwości to 25 Hz, 10 Hz i 5 Hz (Rys. 2.5), a dopuszczalne wartości prędkości drgań wynoszą odpowiednio 0,62 mm/s, 1,6 mm/s i 3,5 mm/s. Jak można zauważyć, różnica w prędkości drgań jest bardzo duża; dla skrajnych wartości częstotliwości jest to różnica prawie 6-krotna. Skala SWD I, ma pięć stref I, II, III, IV, V, oddzielonych czterema liniami granicznymi A, B, C, D (Rys. 2.5). Skala SWD-I dotyczy budynków do dwóch kondygnacji, zwartych, o wymiarach rzutu poziomego do 15 i wysokości do 15 m. Skala SWD II dotyczy budynków podpiwniczonych do wysokości 4 piętra . Na rysunkach podano strefy uszkodzeń jako funkcje prędkości i częstotliwości drgań. Przyjęto następujące kryteria podziału na strefy szkodliwe:

- strefa I – drgania nieodczuwalne przez budynki – granica A – dolna granica odczuwalności drgań przez budynek,
- strefa II – drgania odczuwalne przez budynek i nieszkodliwe dla konstrukcji budynku. Następuje przyśpieszone zużycie budynku wyrażające się poprzez rysy w wyprawach, tynkach itd. – granica B – dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych,
- strefa III – drgania szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania i spękania, może nastąpić odpadanie wypraw i tynków – granica C – dolna granica ciężkich szkód budowlanych, - granica wytrzymałości pojedynczych elementów budynku,
- strefa IV – drgania stanowiące zagrożenie dla ludzi, powstają liczne spękania, lokalne zniszczenie murów i pojedynczych elementów, spadanie

przedmiotów zawieszonych i części wypraw z sufitu–granica D– dolna granica awarii całego budynku,objawy jak ww.,

- strefa V – drgania powodują walenie się murów, spadanie stropów.

Tabela 2.4 Warunki stosowania granic stref dla SWD [[Norma (2016)]

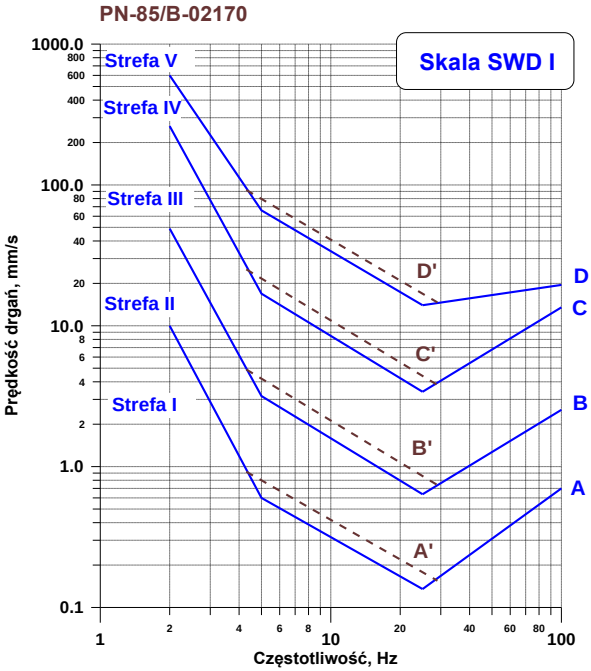
Ocena według:	Cechy umożliwiające zastosowanie granicy	
	Niższej – linia ciągła A,B,C,D	Wyższej – linia przerywana A′, B′,C′,D′
Stanu budynku	Budynki stare, uszkodzone, przerabiane lub wzmacniane	Budynki nieuszkodzone, bez przeróbek konstrukcyjnych
Materiałów i konstrukcji budynku	Budynki z elementów murowych żużlobetonowych, kamiennych, brak fundamentów, wieńców stropy sklepione, duże otwory lub nieregularne w ścianach, niestarannie wykonane	Ściany z cegły pełnej, fundamenty żelbetonowe, stropy masywne wiążące ściany z wieńcem stropowym, starannie wykonane
Typu podłoża i sposobu posadowienia	O małej sztywności (piaski pylaste lub luźne), posadowienie nieciągłe różne wysokości	Podłoże sztywne - iły i gliny twardoplastyczne, posadowienie płaskie

Granice szkodliwości poszczególnych stref podano w dwóch wariantach A, B, C, D linia ciągła i A′, B′, C′, D′ linia przerywana. Warunki stosowania granic tych stref podano w Tabeli 2.4.

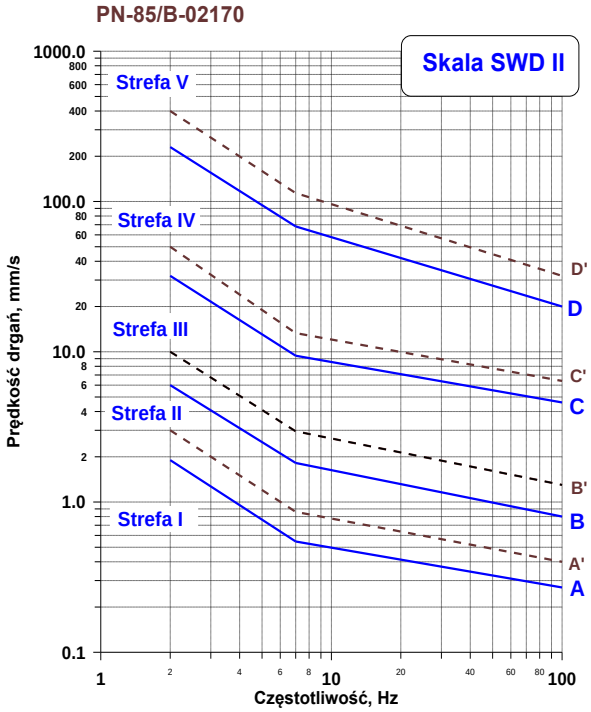
Na Rys.2.5 przedstawiono SWD I, zależną od maksymalnych prędkości poziomej radialnej i stycznej -wersja prędkościowa. [Norma 2016]. W zależności od największej wartości wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań oraz ich częstotliwości określa się stopień uszkodzeń powstałych w budynku.

Skalę SWD I można stosować także przy zastosowaniu analizy częstotliwościowej w pasmach 1/3 oktawowych według normy PN-EN 61260:2000, co potocznie określane jest jako „tercjowanie”. Tercjowanie w przedziałach 1/3 oktawowych na ogół zmniejsza stopień szkodliwego oddziaływania drgań na budynki ponieważ rozdziela maksymalną wartość prędkości drgań z jednej na kilka częstotliwości.

Skala SWD II (Rys. 2.6) dotyczy budynków podpiwniczonych do 4 piętra czyli pięciokondygnacyjnych o konstrukcji murowanej lub mieszanej spełniającej warunek, że: $h/b < 2$, gdzie: h – wysokość budynku, b – najmniejsza jego szerokość, a także budynków niskich do dwóch kondygnacji, lecz niespełniających warunków podanych dla SWD-I.



Rys. 2.5 Skala SWD I, dla budynków do dwóch kondygnacji [Norma 2016]



Rys. 2.6 Skala SWD II, budynki do 4 piętra [Norma 2016]

2.3.6 Zagraniczne skale szkodliwości drgań

Wielkość dopuszczalnego przyspieszenia, prędkości lub amplitudy działającej na budynek bez widocznych jego uszkodzeń lub powodujący jego ściśle określone uszkodzenia stanowi kryterium szkodliwości drgań parasejsmicznych [Norma (2016), Chrzan(2014), Chrzan, Modrzejewski (2014), Sołtys (2011)]. Wielkość dopuszczalnej prędkości drgań stanowi skalę szkodliwości w Szwecji i USA. W Szwecji uwzględnia się dodatkowo rodzaj podłoża, na którym zbudowany jest budynek poprzez określenie prędkości fali podłużnej C_{om} w podłożu, a w USA poprzez określenie częstotliwości drgań f. Norma brytyjska bierze pod uwagę wartość szczytową składowej prędkości (PPV) w zakresie częstotliwości dominującej i częstotliwość drgań. Wartości dopuszczalne PPV dla drgań wzbudzanych robotami strzałowymi według The British Standard BS 7385-2:1993, [Norma (1993)].

Tabela 2.5 Skala szkodliwości według The British Standard BS 7385-2:1993

Dopuszczalne wartości prędkości drgań transjentowych dla bardzo drobnych uszkodzeń PPV			
Lp	Typ budynku	Wartość szczytowa składowej prędkości PPV w zakresie częstotliwości dominującej	
		4- 15 Hz	15 Hz i więcej
1	Wzmacniane lub ramowe konstrukcje. Przemysłowe i ciężkie budynki handlowe.	50 mm/s przy 4 Hz i więcej	
2	Niewzmocnione lub lekkie (małe) ramowe konstrukcje. Budynki mieszkalne lub małe handlowe	15 mm/s przy 4 Hz rosnąco do 20 mm/s przy 15 Hz	20 mm/s przy 15 Hz rosnąco do 50 mm/s przy 40 Hz i więcej

Wartości odniesione są do fundamentu budynku. Dla punktu 2, przy częstotliwościach poniżej 4 Hz maksymalne przemieszczenie nie powinno przekraczać 0,6 mm

Poniżej 15 mm/s, w granicach niższych częstotliwości, uszkodzenia nie powinny mieć miejsca. Wytyczne te dotyczą względnie nowych budynków i powinny być zredukowane o 50% i więcej w odniesieniu do budynków w gorszym stanie technicznym, np. starych i zabytkowych obiektów architektonicznych.

W Portugalii dla drgań wzbudzanych przy wykonywaniu robót strzałowych opracowano normę NP 2074:1983 [Norma (1983)].

Tabela 2.6 Skala szkodliwości Langeforsa i Kihlstroma [Chrzan(2014), Chrzan, Modrzejewski (2014)]

Rodzaj uszkodzeń	Dopuszczalna prędkość drgań w [mm/s] PPV dla budynków posadowionych na podłożu :		
	Piasek, żwir, glina Com = 1000-1500 m/s	Utwory morenowe miękkie,łupki wapienie Com = 2000-3000 m/s	Granit,gnejs, piaskowce, twarde wapienie Com = 4500-6000 m/s
Nie zauważa się spękań	0-18	35	70
Drobne pęknięcia i odpadanie tynków	18-30	55	100
Zauważalne pęknięcia	30-40	80	150
Ciężkie uszkodzenia	40-60	115	225

Tabela 2.7 Skala szkodliwości wg Bureau of Mines, USA [Chrzan(2014), Chrzan, Modrzejewski (2014), Sołtys (2011)]

Rodzaj budynku	Maksymalna dopuszczalna prędkość [mm/s] PPV.	
	f < 40 Hz	f > 40 Hz
1.Wzmacniane lub ramowe konstrukcje. 2. Przemysłowe i ciężkie budynki handlowe.	50 mm/s przy 4 Hz i więcej	
3. Nowoczesne budynki, ściany wewnętrzne z suchymi tynkami	19,1	50,8
4. Stare domy, tynki na drewnianych listwach	12,7	50,8

Portugalska skala szkodliwości, w której określone zostały kryteria dla drobnych uszkodzeń budynków przedstawiona jest w Tabeli 2.8. Za parametr charakteryzujący intensywność drgań przyjmuje się w niej maksymalny pseudowektor prędkości dla rodzaju gruntu, w jakim rozchodzi się fala oraz rodzaj konstrukcji obiektu, na który oddziałują drgania.

Tabela 2.8 Portugalska skala szkodliwości NP 2074:1983

	Maksymalny pseudowektor prędkości, PPVx,y,z [mm/s] maksymalne wartości prędkości na kierunku x,y,z		
Rodzaj konstrukcji	Skały sypkie, słabo spoiste grunty, rumosz skalny Com < 1000 m/s	Grunty spoiste, łupki, słabe piaskowce Com=1000h-2000 m/s	Skały zwięzłe Com> 2000 m/s
Obiekty specjalnie chronione, monumenty historyczne, szpitale i bardzo wysokie budynki	1,75-2,5	3,5-5,0	7,0- 10,0
Powszechnie stosowane konstrukcje budowlane	3,5 - 5,0	7,0- 10,0	14,0-20,0
Konstrukcje wzmocnione np. antysejsmicznie	10,5 - 15,0	21,0-30,0	42,0 - 60,0
Uwaga: wartości mniejsze dotyczą robót strzałowych prowadzonych częściej niż trzy razy w ciągu dnia.			

W Szwajcarii obowiązuje norma Swiss Standard SN 6403 12a [Norma (1992)] wydana przez Swiss Association of Road and Trafftc Experts (VSS), która dotyczy drgań oddziałujących na bardzo wrażliwe struktury, takie jak budynki historyczne.

Tabela 2.9 Dopuszczalne wartości prędkości drgań, w zależności od ilości wstrząsów, według normy szwajcarskiej SN 640312a [Norma (1992)]

Rodzaje budynku	Maksymalna prędkość szczytowa PPV_{xy} [mm/s]		
	Wstrząsy sporadyczne	Wstrząsy częste	Wstrząsy permanentne
Budynki o przeznaczeniu przemysłowym lub inżynieryjnym..	30-45	12 –18	9
Budynki mieszkalne.	15	6	3
Budynki czułe (budynki zabytkowe)	7,5	3	1,5

Norma odnosi się do drgań wzbudzanych przez: wybuchy,wszystkie typy maszyn, sprzęt budowlany, pojazdy drogowe oraz tramwaje. Regulacje nie dotyczą natomiast drgań powodowanych przez ludzi, maszyny i instalacje pracujące w budynkach. Norma ta nie ma zastosowania do drgań o częstotliwości

poniżej 8 Hz, czyli takich, które wzbudzane są w wyniku trzęsień ziemi. Ważnym parametrem drgań, który wskazuje norma SN 640 312a, jest częstość ich występowania.

Norma dzieli drgania na trzy klasy według tego jak często budynek jest poddawany działaniu drgań: wstrząsy sporadyczne - mniej niż 1000 wstrząsów, częste - od 1000 do 100 000 oraz wstrząsy permanentne - więcej niż 100 000. Według normy szwajcarskiej, drgania wzbudzane robotami strzałowymi są to wstrząsy, których czas trwania jest bardzo krótki, oraz w rezultacie których nie dochodzi do zjawiska zmęczenia materiału. Norma ta podaje wartości wypadkowej prędkości drgań PPVxy poziomych dla budynków o konstrukcji, która cechuje się normalną wrażliwością na wpływy wstrząsów - budynki mieszkalne (Tabela. 2.9).

Tabela przedstawia wartości normy szwajcarskiej dla obiektów budowlanych o standardowej konstrukcji, w odróżnieniu od obiektów mało wrażliwych, jak np. o konstrukcji żelbetonowej i stalowej, gdzie wartości podane dla obiektów o normalnej wrażliwości należy zwiększyć 2-3 krotnie. Dla wrażliwych obiektów, jak np. budowle zabytkowe, podane wartości dla obiektów o normalnej wrażliwości należy zredukować o 50%.

Austriacka norma określa wartości dopuszczalnych prędkości drgań wzbudzanych regularnie. Przykładowo, dotyczy oddziaływania robót strzałowych prowadzo-nych w kamieniołomach raz w tygodniu [Norma (1986)].

Tabela 2.10 Dopuszczalne wartości prędkości drgań wg normy austriackiej ÖNORM S 9020

Klasa budynku	Rodzaj budynku	Prędkości drgań fundamentu, PPV [mm/s].
Budynki klasy I	Budowle lub budynki używane przemysłowo lub jako zakłady rzemieślnicze	30
Budynki klasy 11	Budynki mieszkalne	20
Budynki klasy I I I	Budynki o mniejszej sztywności niż w klasie I i II	10
Budynki klasy IV	Budynki zabytkowe lub zabytki architektoniczne	5

Podane w tabeli 2.10 wartości należy traktować jako dolną granicę dopuszczalnych prędkości drgań. Jak już wcześniej wspomniano, są one charakterystyczne dla regularnego w czasie zjawiska wstrząsów, jak np. jeden wstrząs na tydzień. W przypadku wstrząsów nieregularnych i występujących częściej, jak np. kilka wstrząsów na dzień, podane w Tabeli (2.10) wartości prędkości drgań należy zredukować o 20%. Norma ta dopuszcza także

sporadyczne przekroczenie podanych w Tabeli (2.10) wartości, np. raz w roku do 20% odpowiedniej wartości. Według normy austriackiej, szkody w budynkach są możliwe dopiero przy znacznym przekroczeniu podanych w tabeli 2.10 wartości dopuszczalnych prędkości drgań. Uszkodzenia tynku są możliwe dopiero przy przekroczeniu podanych przez normę wartości o 70%, zaś uszkodzenia ścian murowanych przy przekroczeniu o 120% [Norma (1986)].

Niemiecka norma DIN 4150-3 [(Norma (1999)] rozróżnia drgania o charakterze krótkotrwałym i o charakterze ciągłym. Przyjmuje się, że wstrząsy górnicze mają charakter wstrząsów krótkotrwałych, czyli nie powodują oznak zmęczenia materiału oraz nie powodują zjawiska rezonansu. Kryterium oceny jest szczytowa wartość prędkości drgań PPV.

Tabela 2.11 Niemiecka skala szkodliwości DIN 4150-3

Przeznaczenie budynku	Maksymalna prędkość szczytowa PPV, [mm/s]		
	< 10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz
Budynki użytkowane w celach przemysłowych, obiekty przemysłowe albo o podobnej strukturze.	20	20 – 40	40 - 50
Budynki mieszkalne oraz budynki podobne pod względem konstrukcji lub użytkowania.	5	5 - 15	1 5 - 2 0
Budynki wrażliwe na wpływ wstrząsów górniczych, specjalne budynki architektoniczne i budowle zabytkowe.	3	3 - 8	8 - 1 0

Skalę MSK (Miedwiediewa, Sponheuera, Karnika) [Chrzan (2014), Chrzan, Modrzejewski (2014)] przyjęto do stosowania w 1964 r. na Międzynarodowej Konferencji UNESCO w Paryżu, poświęconej problemom ochrony antysejsmicznej. Skala ta przyjmuje, że miarą wartości szkodliwego oddziaływania wstrząsu jest jego intensywność określana w stopniach, jest to wypadkowa wielkość przyspieszenia drgań pomierzonychna kierunkach prostopadłych do siebie osi x, y, z.

Omówione powyżej normy stosowane w poszczególnych krajach europejskich i USA, wskazują na kilka charakterystycznych punktów wspólnych: parametrem oceny szkodliwości drgań jest wartość szczytowa prędkości drgań *PPV* składowych poziomych, lub jako wektor przestrzenny lub płaski; parametrem uzupełniającym prędkość drgań jest częstotliwość, a tylko w przypadku Normy szwajcarskiej jest czas trwania drgań. Pomiary służące ocenie oddziaływania wykonuje się na fundamentach budynku, lub w jego podłożu, wyróżniane są rodzaje obiektu chronionego i podłoża pod obiektem. Drgania wzbudzane użyciem MW są traktowane jako drgania krótkotrwałe, impulsowe, sporadyczne.

Tabela 2.12 Skala MSK [Chrzan (2014)]

Stopień	Przyspieszenie drgań podłoża [mm/s²]	Opis drgań
1	5-12	niezauważalne
2	12-25	bardzo lekkie
3	25-50	lekkie
4	50-120	umiarkowanie silne
5	120-250	dość silne
6	250-500	silne
7	500-1000	bardzo silne
8	1000-2000	niszczące

2.3.7 Porównanie szkodliwości drgań parasejsmicznych określonych wg PN-B-02170:2016-12, a rzeczywistym uszkodzeniem budynku

Określenia szkód wynikłych wskutek drgań parasejsmicznych wg PN-B-02170:2016-12 a rzeczywistym uszkodzeniem budynku dokonano na podstawie [Opinia (1998)] badań i pomiarów. Porównania dokonano dla parterowego podpiwniczonego domu jednorodzinnego z poddaszem użytkowym o wymiarach 10.41x10,41x3,5m położonym w Polkowicach. Analizowany budynek to budynek nowy, z ławami fundamentowymi na jednym poziomie jeden metr poniżej poziomu terenu, zazbrojonymi, żelbetowymi. Dom posadowiony na piaskach i iłach o zmiennej litologii. Mury piwnicy wykonane z cegły pełnej. Ściany zewnętrzne konstrukcyjne z cegły o grubości 1,5 cegły. Stropy nad piwnicą i parterem wylewane żelbetowe. Nadproża z belek prefabrykowanych L19. W wyniku przeglądu wizualnego stwierdzono, że budynek znajduje się w zadowalającym stanie technicznym, lecz widoczne są liczne spękania. Ściana konstrukcyjna wewnętrzna połączona jest ze ścianami obwodowymi wieńcem żelbetowym. W piwnicy w kierunku od wschodu na zachód na długości ok. 7 m widoczne pęknięcie stropu. W pomieszczeniu gospodarczym przy kotłowni pęknięcie równoległe do pęknięcia głównego na stropie korytarza. Ganek budowany razem z domem odpadł od ścian głównych i filaru. Widoczna szczelina o szerokości ok. 2 mm. W pokoju stołowym widoczne zatynkowane pęknięcia na stropie o długości ok. 3,0 m. Na zewnątrz budynku na ścianie wschodniej widoczne pęknięcie muru przebiegające wzdłuż połowy długości ściany w poziomie płyty dachowej. Podobne pęknięcie muru w poziomie płyty stropodachu jest widoczne na ścianie zachodniej, równe połowie długości ściany. W pralni na ścianie wewnętrznej ukośne pęknięcie od sufitu stropodachu do filara kominowego. Na klatce schodowej bardzo silne pęknięcie od płyty stropodachu do połowy wysokości biegu klatki.

Na podstawie danych z kopalni podziemnej określono, że w dniu 01.11 1993 r. miał miejsce wstrząs o przyśpieszeniu a= 656,7 mm/s², V=37,5 mm/s i częstotliwości f=2,30 Hz, a w dniu 30.04 1994 r.miał miejsce wstrząs o a=717.9 mm/s², V=41 mm/s i f= 2,24 Hz. Mając pomierzone wartości przyspieszenia drgań i częstotliwości punkty te nanosimy na wykres częstotliwości drgań Skala SWD I i z niego określamy rodzaje powstających uszkodzeń budynku. Przy tych wartościach parametrów „a" i „f" przekroczona została Granica B - dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych. Punkty te znajdują się w Strefie III – czyli drgania są szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania i spękania, może również nastąpić odpadanie wypraw i tynków. Uszkodzenia opisane w skali SWD-I pokrywają się w 100% ze stanem faktycznym. Przeanalizowano konkretne uszkodzenia budynku przy danych dotyczących prędkości drgań i ich częstotliwości z opisem uszkodzeń budynku wynikających z poszczególnych skali szkodliwości. Skala szkodliwości Langeforsa i Kihlstroma podaje, że dla analizowanego budynku powinny powstać w nim uszkodzenia większe, niż rzeczywiście w nim powstały. Skala MSK podaje, że dla analizowanego budynku powinny powstać w nim uszkodzenia mniejsze, niż rzeczywiście w nim powstały. Skala szkodliwości Bureau of Mines stosowana w USA prognozuje uszkodzenia mniejsze, niż wystąpiły w rzeczywistości.

Dla danej wielkości przyspieszenia lub prędkości drgań gruntu skala SWD pozwala wiarygodnie prognozować możliwe uszkodzenia budynku, a tym samym oceniać oddziaływanie drgań na bezpieczeństwo techniczne obiektów inżynierskich. Skala SWD jest jedną z najnowocześniejszych i najdokładniejszych skal wpływów dynamicznych, gdyż uwzględnia 5 stref uszkodzeń i nie tylko częstotliwość jak norma amerykańska lecz także odporność budynku na drgania poprzez uwzględnienie stanu budynku, rodzaju zastosowanych materiałów jak i jego konstrukcji czego brak jest w szwedzkiej i amerykańskiej skali szkodliwości drgań.

2.4 Literatura do rozdziału 2

Agrawal H, Mishra AK(2018). Evaluation of initiating system by measurement of seismicenergy dissipation in surface blasting. Arabian Journal of Geosciences 2018;11(13):345.https: //doi.org/10.1007/s12517-018-3683-3

Amnieh HB, Bahadori M.(2014) Safe vibrations of spilling basin explosions at "Gotvand Olya Dam"using artificial neural network. Archives of Mining Sciences 2014;59(4):1087e96.

Bhargava K., Kumar R, Choudhury D(2016). Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. Journalof Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 2016;8(3):341e

Bottle AD 13.811 Advanced Structural Dynamics and Acoustics Lecture 5. Massachusetts Instytute of Technology. Available from:https://ocw. mit.edu/courses/mechanical [dostęp 16 08.2020]

Chodkowska M (2003)Ochrona środowiska przy eksploatacji górniczej wegla brunatnego Praca magisterska napisana pod kierunkiem prof.UZ, dr hab. inż. T. Chrzana, Instytut Inżynieri Lądowej i Środ. Uniwer. Zielonogórski Z.Góra 2003.

Chrzan T.(2014), Prognozowanie bezpieczeństwa technicznego budynków położonych w zasięgu drgań parasejsmicznych [Dok.elektroniczny] Logistyka: 2014, nr 5, CD 1, Konferencja Międzynarodowa ICTS 2014. Wrocław 2014

Chrzan T., Modrzejewski Sz.(2014), Prognozowanie wartości drgań parasej-smicznych szkodliwie działających na infrastrukturę drogową i mieszkalną [Dok. elektroniczny] Logistyka: Wrocław 2014, nr 5, CD 1, Konf. Międzyn. ICTS 2014

Demirci AA, Ercan KG, at all (2013). Investigation of blast-induced ground vibrations in the Tülü boron open pit mine.December, 2013, Bulletin of Eng. Geology and the Environment. 72 (3-4, DOI: 10.1007 / s10064-013-0521-4)

Dobrucki A.(1987) *Podstawy akustyki.* Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej , Wrocław,1987

Dong L, Li X, Xu M, Li Q.(2011) Comparisons of random forest and support vector machine for predicting blasting vibration characteristic parameters. Procedia Engineering 2011;26: 1772e81.

Dowding CH, Kopp JW(1980), Siskind DE, Stagg MS, Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting.

Technical Report. US Department of the Interior, Bureau of Mines; 1980.

Duvall W.I, Fogelson DE (1962). Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations. Technical Report. US Depart. of the Interior, Bureau of Mines.

Duvall WI, Johnson CF, Nicholls HR, (1971) Biasting vibrations and their effects on structures, U.S. Dep.of Interior, Bureau of Mines Bulletin 656.

Gorgulu K at all (2013)Investigation of blast-induced ground vibrations in tke Tulu boron open pit mine. Bull Eng Geol Environ 72:555-564 (Springer).

Gupta N.Trivedi R, Singh TN, Mudgal K. (2014), Application of artificial neural network for performance evaluation of vertical axis wind turbine rotor. International Journal of Ambient Energy 2014;3(5):564e74.

Grześkowiak A. Patla S. (2016)] Przyczynek do wyznaczania zasiegów oddzia-ływań i dopuszczalnych wielkości ładunków MW w górnictwie skalnym. Prace Naukowe Inst. Gór. Polit.Wrocławskiej, Vol 23 (1) Mining Science 2016, s.47-58

Kaniak P.G, H. Schwenzer H (PDF) (2008) Advanced ultrasound object detection in air by intensive use of side lobes of transducer radiation pattern. EEE SENSORS 2008. Conference.Available from:- [accessed Sep 16 2020].

Khandelwal M (2014),Saadat M, Monjezi M . An ANN-based approach to predict blast-induced ground vibration of Gol-E-Gohar iron ore mine, Iran. Journal of RockMechanics and Geotechnical Engineering 2014;6(1):67e76.

Khandelwal M(2013),Sayadi A, Monjezi M, Talebi N. A comparative study on the application of various artificial neural networks to simultaneous prediction of rock fragmentation and back break. Jour. of Rock Mechanics and Geotech. Engineering 2013;5(4) :318e24.

Krautkramer I(1990), Krautkramer H, Ultrasonic testing of materials. Springer-Verlog, Berlin

Kudale M D, Tripathy GR, Shirke RR (2016), Safety of engineered structures against blast vibrations: a case study. Jour. of Rock Mech. and Geotechnical Engineering 2016;8(2):248e55.

Lownds M.,Yang R.(2011) Modeling the effect of delay scatter on peak particle velocity of blast vibration using a multiple seed waveform vibration model. Blasting and fragmentation 2011;5:31e46

Matauschek J (1961) Ultrasound technique.WNT Publishing House. Warsaw.

Norma (1986)Austriacka ÓNORM S 9020,

Norma (1993)Brytyjska, BS 7385-2:1993,

Norma (1999)Niemiecka DIN 4150-3

Norma(1983) Portugalska NP 2074:1983

Norma (2000)Polska, PN-EN 61260:2000 Elektroakustyka - Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy.

Norma (2016) Polska Skala wpływów dynamicznych, PN-B-02170:2016-12

Norma (1992)Szwajcarska SN 640312a

Opinia (1998) górniczo-geologiczna-budowlana w sprawie Kazimierza H. z Polkowic przeciwko Z.G , Chrzan T. Wrocław,styczeń 1998r./Opinia dla Sądu. Rejonowego. w Lubinie,

Onderka Z., Sieradzki J., Winzer J. (2003) Technika strzelnicza 2. AGH Kraków

Patterson NJ ,Yang R, Scovira DS(2014). An integrated approach of signature hole vibration -monitoring and modeling for quarry vibration control. In: Proceedings of the9th international symposium on rock fragmentation by

blasting. Taylor &Francis Group; 2010. p. Technologies 2014**,** 2, 31-53; doi:10.3390/ technologies 2010031 Nyal. Available from: internet/ google www.mdpi.com/journal/technologies. [accessed Sep 16 2020].

Pyra J., Winzer J., Sołtys A. (2016) Oddziaływanie na otoczenie robot strzałowych z uzyciem materiałow wybuchowych AGH. Kraków

Richard A. Dick, Larry R. Fletcher, and Dennis V. D'Andrea(1983) Explosives and Blasting Proce.Manuał. Information circular ; 8925 BUREAU OF MINES

Rozporządzenie(2016) Ministra Energii z dnia 09.11.2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego (Dz.U. z 2016 poz. 321)

Rao Y.S. (2012) Prediction of ground vibrations in opencast mine using nonlinear regression analysis.Inter.Jour.of Engi.Science and Technology 2012;4(9):4111e8.

Russell D. A, (2020) Acoustics and Vibration Animations. Graduate Program in Acoustics, The Pennsylvania State University. Available from: https:// acs.psu.edu /drusell/demos html[accessed Sep 16 2020].

Siskind DE, Stagg MS, Wiegand JE, Schulz DL(1994). Surface mine blasting near pressurized transmission pipelines. Tech. Report. US Depart. of the Interior Bureau of Mines; 1994.

Sołtys A. (2011) Analiza oddziaływania na otoczenie drgań wzbudzanych przez roboty strzałowe z zastosowaniem metody Matching. Prac. Dokt. AGH Kraków

Stan D., Sutkowska K., Stan-Kleczek J., Zolich M., (2012) The study of relationship beetwim cracks and sejsmic parameters of rocks. Acta Geodynamics Geomaterials Vol.9 Nr.2 /. 1GG /2012,s. 137-142,

Talarczyk E.(1990) *Podstawy techniki ultradźwięków*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1990

3 Określanie procentowego zużycia budynku mieszkalnego położonego przy kopalni odkrywkowej surowców skalnych urabianych materiałem wybuchowym

W górnictwie odkrywkowym prace z użyciem materiałów wybuchowych prowadzą do powstania drgań parasejsmicznych, mogących oddziaływać szkodliwie na lokalną zabudowę. Urabianie strzelaniem skał w kopalni odkrywkowej za pomocą materiałów wybuchowych, powoduje drgania urabianego ośrodka, a następnie gruntu. Drgania te poprzez propagacje fal parasejsmicznych we wszystkich kierunkach mogą działać szkodliwie na infrastrukturę drogową i mieszkalną. Wielkość oddziaływania drgań zależy na danym terenie od wielkości odstrzeliwanego ładunku materiału wybuchowego oraz odległości między kopalnią a danym obiektem. Parametrem pozwalającym na porównywanie wartości poszczególnych drgań spowodowanych strzelaniem za pomocą MW jest amplituda, prędkość lub przyspieszenie drgań w punkcie pomiarowym i odpowiadająca jej częstotliwość. Parametry te związane są z warunkami geologiczno-tektonicznymi w miejscu robót strzałowych wynikających z postępu wydobycia a punktem pomiarowym. Warunki te wpływją na przewodnictwo drgań parasejsmicznych w obrębie eksploatowanego złoża i poza nim. Wielkości tych parametrów wpływają z kolei na rodzaje powstałych uszkodzeń w okolicznych domach mieszkalnych. Dla danej odległości wielkość uszkodzeń domów zależy od odporności domu na wstrząsy i wielkości odpalanego na jedną zwłokę czasową ładunku materiału wybuchowego. Obecnie uważa się, że drgania ośrodka powstające podczas urabiania skał materiałem wybuchowym (MW) rozchodzą się kołowo z jednakową energią w każdym kierunku, podobnie jak fale na wodzie od wrzuconego kamienia, a ich energia drgań z odległością maleje [Chrzan(2014), Chrzan, Modrzejewski(2014)]. Skały urabia się, w wyrobisku kopalni odkrywkowej, poprzez odstrzelenie kolejnego bloku skalnego, o długości zależnej od ilości otworów w szeregu, o szerokości zależnej od ilości szeregów i o wysokości zależnej od długości prawie pionowych otworów. Otwory umieszczone są szeregowo na powierzchni bloku skalnego, wypełnione materiałem wybuchowym i odpalane ze zwłoką czasową w stosunku do czasu odpalenia poprzedniego otworu. Otwór pierwszy odpala się natychmiastowo. Kolejne odpalenie wszystkich otworów powoduje drgania urabianego złoża, a następnie gruntu poza złożem. Przyjmuje się, że wartość [Chrzan(2014), Chrzan, Modrzejewski (2014)] szkodliwego oddziaływania urabiania skał strzelaniem, czyli amplitudy przemieszczenia, prędkości lub przyspieszenia cząsteczki drgającego ośrodka zależą w danym punkcie od wielkości odstrzeliwanego ładunku MW oraz odległości między kopalnią, a danym obiektem. Przyjmując [z Normy (2016)] powyższe dopuszczalne wartości określa się wartość bezpiecznego promienia strefy szkodliwości drgań dla budynków mieszkalnych. Drgania gruntu wywołane strzelaniem w pobliskiej

kopalni odkrywkowej przenoszą się na budynek i mogą powodować jego przyśpieszone zużycie, które wyraża się różnego rodzaju uszkodzeniami jak: pękaniem tynków i ich odpadaniem, pękaniem ścianek działowych, stropów i murów nośnych. Takie same uszkodzenia mogą powstać w budynkach, w wyniku naturalnego zużycia. Trudno jest jednoznacznie i obiektywnie określić procent powstałych uszkodzeń zabudowań i jakie są tego powody.

Stan dotychczasowy określania uszkodzeń budynku mieszkalnego spowodowanego drganiami gruntu powstałymi podczas strzelania polega na porównaniu podobnych domów, z których jeden jest położony dalej od kopalni surowców skalnych i zauważone w nim uszkodzenia nie są zaliczane do uszkodzeń powstałych z powodu strzelania w kopalni, z uszkodzeniami domu położonego przy kopalni. Oceniający analizując powstałe uszkodzenia subiektywnie określa, które pęknięcia są spowodowane drganiami gruntu, a które powstały z przyczyn naturalnej eksploatacji domu. Na tej podstawie określa procentową wartość uszkodzeń, które powstały w domu w wyniku drgań wywołanych strzelaniem w kamieniołomie. Stosuje się też sposób oparty na normie budowlanej PN-B-02170:2016-12, na podstawie której mając pomierzone na budynku podczas urabiania skał strzelaniem częstotliwość, amplitudę, przyspieszenie lub prędkość drgań można ocenić jakie uszkodzenia domu mogą powstać. Sposob ten wymaga zespołu badawczego wyposażonego w aparaturę pomiarową i pozwala błędnie zaliczyć spękanie ścian powstałych w wyniku nierównomiernego osiadania fundamentu (zużycie naturalne) do spękań powstających w wyniku drgań gruntu. Ta ocena stanowi też znaczną część kosztów powstałej szkody. Stosowany jest też subiektywny sposób oceny polegający na tym, że na podstawie wiedzy i doświa-dczenia oceniający sam określa procentową wartość uszkodzeń, które mogły powstać wskutek urabiania skał strzelaniem, a które nie. Niekiedy kopalnia odkrywkowa chce zrekompensować straty i uiścić gratyfikację finansową właścicielowi domu, za wyrządzone w nim szkody, lecz koszty te trudno obiektywnie udokumentować i ocenić. Wadą dotychczasowych sposobów okre-ślania wartości szkody jest subiektywna ocena i brak uwzględnienia procentowego zużycia naturalnego budynku.

Znany i stosowany w budownictwie sposób określania rzeczywistego zużycia budynku wykonuje się przy następujących założeniach [Bakalarz (2002), Drozd (2017), Michalik(2014)]. Budynki, złożone są z wielu elementów, które zużywają się (tracą swoje wartości użytkowe i wytrzymałościowe np. wskutek spękań) w różnym tempie. Stąd też, aby ustalić stopień zużycia rzeczywistego budynku (z udziałem drgań) należy:

a) dokonać podziału obiektu na „i-te" elementy,
b) ustalić procentowy udział kosztów poszczególnych elementów (Ai) w koszcie całego nowego obiektu A (%),

c) dokonaniu oględzin ocenić stopnie zużycia poszczególnych elementów domu (Srz.i) (według znanych i stosowanych w budownictwie tabel [Internet (1/2020)],
d) określić średnio ważony stopień zużycia rzeczywistego całego obiektu budowlanego.

Średnioważony stopień rzeczywistego zużycia obiektu budowlanego (Zr) w procentach określa się jako iloczyn sumy (Ai *Srz.i) *100% wszystkich jego elementów. Opracowany obiektywny sposób określania procentowego rzeczywistego zużycia budynku mieszkalnego (Zr) uszkodzonego drganiami gruntu powstałymi podczas urabianiem skał strzelaniem polega na tym, że znanym z literatury sposobem [Bakalarz (2002), Drozd (2017), Michalik(2014)] „średnio-ważonego stopnia zużycia technicznego poszczególnych elementów" określa się sumę iloczynów rzeczywistego zużycia poszczególnych elementów składowych budynku (Srz.i) i procentową wartość tych elementów (Ai) w stosunku do całego budynku pomnożoną przez 100 i wyrażoną w procentach, co daje wartość rzeczywistego procentowego zużycia budynku (Zr) w procentach. Od rzeczywistego procentowego zużycia budynku odejmuje się naturalne (Zn) procentowe zużycie budynku i otrzymuje się przyśpieszone zużycie procentowe budynku (Zb) spowodowane przez drgania gruntu powstałe podczas urabiania skał strzelaniem. **Natomiast naturalne procentowe zużycie** budynku mieszkalnego [Internet (1/2020)] (Zn) oblicza się jako: obecny wiek budynku (t) w latach podzielony przez okres jego trwałości (T) w latach. Tak otrzymaną wartość tego stosunku podnosi się do kwadratu, a następnie mnoży, przez 100, aby otrzymać zużycie budynku wyrażone w procentach. Przewidywany okres trwałości [Internet (1/2020)] budynku (T) w latach, dla budynków murowanych, z kamienia, cegły na zaprawie cementowej, betonu, wynosi 150 lat. Dla budynków drewnianych i z muru pruskiego T=60 lat. Stąd (Zb) –przyśpieszone zużycie procentowe budynku mieszkalnego spowodowane drganiami gruntu powstałymi podczas urabiania skał strzelaniem określa się jako wielkość różnicy otrzymanej z odejmowania. Od procentowego zużycia rzeczywistego (Zr) odejmujemy zużycie naturalne (Zn) i otrzymujemy przyśpieszone zużycie budynku (Zb) wskutek drgań gruntu wywołanych strzelaniem w kamieniołomie. Zaletą opracowanego sposobu jest dokładne i obiektywne określenie procentowego zużycia rzeczywistego uszkodzonego budynku, procentowego zużycia naturalnego budynku mieszkalnego oraz przyśpieszonego zużycia budynku wskutek drgań gruntu powstałych podczas urabianiem skał strzelaniem. Opracowany sposób objaśniono na przykładzie I.

Przykład I Wartość (Zr) rzeczywistego procentowego zużycia budynku mieszkalnego zbudowanego z cegły na zaprawie cementowej i mającego obecnie 50 lat obliczamy jako sumę iloczynów rzeczywistego zużycia poszczególnych (Srz.i) elementów składowych budynku (i) i procentową wartość tych elementów (Ai) w stosunku do całego budynku pomnożoną przez 100. Rzeczywiste zużycie

(Srz.i) poszczególnych elementów składowych (Ai) - budynku położonego w odległości 600 m od kamieniołomu przy urabianiu skał strzelaniem ładunkiem Qc=5000kg wynosi: (Srz.) elementu 1(A1) -50%=0,5; (Srz.) elementu 2(A2) - 25%=0,25; (Srz.) elementu 3 A3) -75%=0,75; (Srz.) elementu 4(A4)-50% = 0,5 (Srz.) elementu 5 (A5)-25%=0,25; Procentowa wartość (Ai)-tych elementów w stosunku do całego budynku wynosi: Element A1- 30%=0,3 (fundamenty, stropy, schody), Element A2- 50%=0,5 (ściany, ścianki działowe, dach), Element A3- 10%=0,1 (instalacje), Element A4-5%=0,05 (tynki zewnętrzne i wewnętrzne, posadzki), Element A5-5%=0,05 (stolarka okienna i drzwiowa, podłogi). Obliczając iloczyny (Srz.i) oraz (Ai) otrzymujemy wartość rzeczywistego procentowego zużycia budynku (Zr) w procentach, która wynosi:

$$Zr = [(A1 * Srz.1) + (A2 * Srz.2) + (A3 * Srz.3) + (A4 * Srz.4) + (A5 * Srz.5)] * 100, (\%) \quad (3.1)$$

Zr = [(0,30*0,50)+(0,50*0,25)+(0,10*0,75)+(0,05*0,5)+(0,05*0,25)]*100 =38,7%

Wartość zużycia naturalnego (Zn) budynku mającego obecnie t-50 lat przy okresie jego trwałości T=150 lat, oblicza się jako obecny wiek (t) budynku w latach podzielony przez okres jego trwałości (T) w latach. Tak otrzymaną wartość tego stosunku podnosi się do kwadratu, a następnie mnoży przez 100 otrzymując zużycie budynku wyrażone w procentach. Zn=$[t /T]^2$ *100 w (%), Zn = $[50 /150]^2$ x 100 =11,1 (%). Obliczone (Zb) przyspieszone zużycie procentowe budynku mieszkalnego uszkodzonego drganiami gruntu powstałymi podczas urabianiem skał strzelaniem o masie ładunku Qc= 5000 kg jest różnicą między wartością procentowego zużycia rzeczywistego (Zr), a wartością procentowego zużycia naturalnego budynku (Zn) i wynosi:

Zb= (38,7 % -11,1%)= 27,6 (%)

Pozwala to określić z dokładnością 0,1% przyśpieszone procentowe zużycie budynku położonego w odległości 600 m od kamieniołomu powstające podczas urabiania skał w kopalni odkrywkowej materiałami wybuchowymi.

Z podanego przykładu wynika, że wartość ładunku Qc=5000 kg powoduje przyśpieszone procentowe zużycie budynku mieszkalnego położonego blisko kopalni–600 m o 27,6 (%). Na przykładzie I przedstawiono sposób dokładnego i obiektywnego określania rzeczywistego procentowego zużycia obiektu uszkodzonego drganiami gruntu powstającymi podczas urabiania skał w kopalni odkrywkowej materiałami wybuchowymi.

3.1 Cel monografii

Celem monografii jest wykonanie analizy pomiarów w wybranych punktach pola fali parasejsmicznej a na jej podstawie opracowanie teorii pola fali parasejsmicznej. W naukowej literaturze krajowej i światowej brak informacji nt.

teorii pola fali parasejsmicznej. Teoria pola fali parasejsmicznej wskutek swojej złożoności i braku pomiarów z uwzględnieniem kątów kierunkowych do tej pory nie została opracowana. Na podstawie wykonanych w USA [Duvall , Johnson , Nicholls , (1971)] i w kraju [Opracowanie (2015) Grześkowiak (2019), Onderka (1971)] badań dotyczących prędkości drgań ośrodka w polu bliskim oraz dostępnej literatury opracowano projekt teorii pola fali parasejsmicznej. Fala parasejsmiczna składa się z fali podłużnej poprzecznej i powierzchniowej. Ze względu na największą wartość prędkości zatem i szkodliwości drgań wywoływanych falą podłużną stanowiącą składową część fali parasejsmicznej, opracowywana teoria pola fali parasejsmicznej dotyczy w zasadzie fali podłużnej. Teoria pola fali parasejsmicznej została opracowana poprzez adaptację znanych krajowych [Chrzan (1994), Dobrucki (1987), Talarczyk (1990), Czajka (2009)] i zagranicznych [Matauschek J. (1961), Krautkramer (1990), Internet (2/2020), Internet (3/2020)] teoretycznych i literaturowych zależności dotyczących rozchodzenia się fali podłużnej (akustycznej) w powietrzu i fali podłużnej (ultradźwiękowej) w ciałach stałych do warunków rozchodzenia się fali podłużnej w skale. Taką adaptację dla ośrodka skalnego przyjęto przy takim samym założeniu jak dla fal ultradźwiękowych w metalach, że stosunki a/λ, wymiarów źródła i długość wytworzonych przez źródło fal podłużnych w skałach są takie same, a ośrodek jest jednorodny. W monografii będzie sprawdzone czy literaturowe warunki pomiarowe dotyczące podłużnych fal akustycznych i ultradźwiękowych mogą być stosowane do określania typu rozkładu kierunkowego parasejsmicznej fali podłużnej. Będzie opracowana definicja kierunkowości parasejsmicznej fali podłużnej dotyczącej kierunkowego rozkładu drgań: kołowego i elipsoidalnego. Źródłem drgań jest blok skalny, którego wymiary w stosunku do długości fali sejsmicznej decydują o powstawaniu kołowego lub elipsoidalnego kierunkowego rozkładu drgań w skałach i w otaczającym podłożu. Według [Czajka (2016)] każde źródło drgań ma swoją charakterystykę kierunkowości ciśnienia i prędkości drgań. Kształt charakterystyki kierunkowej fali podłużnej, najbliższy rzeczywistości, sprawdzony zostanie na podstawie równań dotyczących prostokątnego źródła drgań. W monografii celem badań jest przedstawienie rzeczywistej zależności prędkości drgań radialnych i stycznych w funkcji kąta kierunkowego i porównanie otrzymanego rozkładu z teoretycznym radialnym i stycznym rozkładem kołowym. Dalszym celem badań jest opracowanie zależności do określania stosunku zabioru „z” do odległości między otworami „a”, który dotąd nie był obliczany a jest on wynikiem anizotropii właściwości wytrzymałościowych urabianego masywu skalnego na kierunku X-„z ”zabioru i kierunku Y-„a” odległości między otworami. Nigdy też nie obliczano średnicy otworu w funkcji właściwości wytrzymałościowych urabianego masywu skalnego na kierunku X i Y. Głównym celem przedstawionym w monografii jest udowodnienie, że częstotliwość drgań fali parasejsmicznej jest częstotliwością drgań własnych odstrzelonego bloku skalnego na kierunku X,Y,Z.

W wyprowadzonych zależnościach teoretycznych i empirycznych zastosowane zostaną dynamiczne parametry urabianego ośrodka i wymiary urabianego bloczka i bloku skalnego.

Do szczegółowych celów badawczych należy zaliczyć:

A. opracowanie i podanie teoretycznych i empirycznych zależności oraz przeprowadzenie ich doświadczalnej weryfikacji dla:
   1) odległości początku pola bliskiego i dalekiego, określania tłumienia prędkości drgań fali w polu bliskim,
   2) prędkości drgań w źródle drgań i w polu bliskim, amplitudy wychylenia drgań na kierunku X, Y, Z w źródle drgań,
   3) określenie warunków górniczych i falowych dla występowania rozkładu kierunkowego drgań kołowego i elipsoidalnego fali parasejsmicznej,
   4) próba doświadczalnej weryfikacji trzech równań dotyczącymi kształtu charakterystyki kierunkowej fali podłużnej w tym 2 dla prostokątnego źródła drgań.
B. opracowanie i przedstawienie teoretycznej zależności podstawowej częstotliwości drgań fali parasejsmicznej jako częstotliwości drgań własnych odstrzelonego bloku skalnego na kierunku X, Y, Z oraz amplitudy drgań na tych kierunkach
C. doświadczalna weryfikacja przebiegu i charakteru wartości częstotliwości drgań w polu bliskim.

Celem badawczym będzie też określenie na podstawie literatury [Nicholls (1971), Johnson, Duvall, Internet (2/2020), Internet (3/2020), Internet (8/2021), Internet (9/2021)] i analizy metryk robót wiertniczo-strzałowych [Internet (1/2021), Internet (2/2021), Internet (3/2021), Internet (4/2021), Internet (5/2021), Internet (6/2021), Internet (7/2021), Internet (10/2021), Internet (11/2021), Internet (12/2021)] wymiarów: średnicy otworów, zabioru, odległości między otworami, których stosowanie powoduje najmniejsze drgania ośrodka. Opracowanie empiryczno-teoretycznych zależności do obliczania wymiarów średnicy otworów, zabioru i odległości między otworami. Stosunek parametrów obliczonych do stosowanych będzie użyty w modernizowanych zależnościach w celu zmniejszenia wartości stałych złożowych, których wartość określa wpływ nieujętych w zależnościach parametrów.

3.2 Literatura do rozdziału 3

Bakalarz A (2002*)., Ocena okresu użytkowania elementów i obiektów budowlanych do celów projektowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 95/2002

Chrzan T. *Ultradzwiekowe badania właściwości skał i materiałów budowlanych*. Monografia 35. Prace naukowe Inst. Górnictwa Pol. Wrocławskiej,1994.

Chrzan T.(2014), P*rognozowanie bezpieczeństwa technicznego budynków położonych w zasięgu drgań parasejsmicznych* [Dokument elektroniczny] Logistyka: 2014, nr 5, CD 1, Konferencja Międzynarodowa ICTS 2014. Wrocław 2014

Chrzan T., Modrzejewski Sz.(2014*), Prognozowanie wartości drgań parasejsmicznych szkodliwie działających na infrastr. drog.i mieszkalną*. Logistyka, 2014, nr 5, CD 1, s. 222

Czajka J. (2009*) Sterowanie rozkładem pola akustycznego generowanego przez . źródła wielopunktowe.* Rozprawa doktorska, AGH. Kraków,

Drozd W. [(2017*)]., Metody oceny stanu technicznego budynków w aspekcie ich praktycznego zastosowania,* Przegląd Budowlany nr 4/2017

Duvall WI, Johnson CF, Nicholls HR, (1971*) Biasting vibrations and their effects on structures,* U.S. Department of Interior, Bureau of Mines Bulletin 656.

Dobrucki A. (1987) *Podstawy akustyki.* Wydaw. Politach. Wrocławskiej , Wrocław,1987

Grześkowiak A. (2019) *Optymalizacja robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym.* Praca doktorska . Wydział Geoinżynierii, Geologii i Górnictwa. Politechnika Wrocławska

Matauschek J. (1961) *Technika ultradźwięków.* Wyd.Nauk-Techniczne. Warszawa

Michalik K. (2014), *Zużycie techniczne budynków i budowli. Metodologia oceny stanu technicznego budynków i budowli*. Wydawnictwo Prawo i Budownictwo, 2014

Krautkramer I. (1990), Krautkramer H., Ultrasonic testing of mater. Springer-Verlog, Berlin

Onderka Z.(1971*), Badania intensywnosci drgań sejsmicznych przy strzelaniu metodą otworów wiertniczych w kopalniach odkrywkowych.* Zeszyty Naukowe AGH, nr 334, Górnictwo, Kraków 1971

Opracowanie (2015) *Opracowanie promienia strefy bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych dla złoża bazaltu*. Inst. Gornictwa Odkr.–Poltegor. Wrocław, 2015

Talarczyk E. (1990) *Podstawy techniki ultradźwięków*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław,1990

Źródło internetowe:

Internet (1/2020). Określanie zużycia obiektów budowlanych; https://www bond.com.pl dostęp 23.12.2020..nr.72.poz 655,z 2003

Internet (2/2020).Kaniak P.G, H. Schwenzer H (PDF) (2008) Advanced ultrasound object detection in air by intensive use of side lobes of transducer radiation pattern. EEE SENSORS 2008.Konferencja. dostęp 23.12.2020.

Internet (3/2020)Russell D. A, (2020) Acoustics and Vibration Animations. Graduate Program in Acoustics, The Pennsylvania State University. Available from: https:// acs.psu.edu /drusell/demos html dostęp 23.12.2020.

Internet(1/2021). Blaster's guide - Austin Powder Company,https://www.austinpowder.com› downloads› 1-. dostęp 23.02.2021.

Internet(2/2021).Blasters Study Guide Chapters 1 through 8 - West Virginia https://dep.wv.gov › dmr › blasting › Documents dostęp 23.02.2021.

Internet(3/2021).Blasters Study Guide Chapters 1 through 8 - West Virginia https://dep.wv.gov › dmr › blasting › Documents, dostęp 23.02.2021.

Internet(4/2021) Explosives and Blasting Procedures Manual - Office of https://www.osmre.gov › blasting › docs › USBM, , dostęp 23.02.2021.

Internet(5/2021)Blasting and Explosives Quick Reference Guide 2021 https://www.leg.state.mn.us › other › PFEISref_1, dostęp 23.02.2021,

Internet(6/2021) Chapter 8 https://www.nps.gov/parkhistory/online_books/npsg/explosives/Chapter8.pdf, dostęp 23.02.2021.

Internet(7/2021)Blasting and Explosives Quick Reference Guide,2010 Dyno Nobel 2010, , dostęp 23.02.2021.

Internet(8/2021)K. Górgtjltj, E. Arpaz, Ó. Uysal at all.(2019)Comparison Of Blast-Induced Ground Vibration Predictors In Case Of Tulu-Plain Open Pit Colemanite.Dostęp 22.05.2021

Internet(9/2021)Wesley L. Bender .(2019) Blast effects . Understanding Blast Vibration and Airblast, their Causes, and their Damage Potential. Dostęp 22. 05.2021

Internet(10/2021). Richards A.B, Moose A, (2005/6) Blast vibration course,Terrock Cons.Eng. Dostęp 22.05.2021.

Internet(11/2021) Kortyzon Ł. (2017) Inż. strzałowy SSE Polska. Projektowanie i wykonanie kompleksowych robót wiertniczo-strzałowych długimi otworami w górnictwie odkrywkowym surowców skalnych.Kraków. Dostęp 22.05.2021.

Internet(12/2021). Baranwal A1, Bhaskar A, Ranjan P,(2019) Rock Fragmentation analysis by image processing – A case Study , Dostęp 22.05.2021.

4 Podstawy akustyki inżynieryjnej

4.1 Podstawowe wiadomości o falach sprężystych

Fale sprężyste – są to mechaniczne zaburzenia (odkształcenia) rozchodzące się w ośrodku sprężystym. Fale sprężyste, [Chrzan(1994), Talarczyk(1990), Matauschek (1961), Internet (1/2020), Internet(2/2020) Internet(3/2020)] jakie występują w przyrodzie lub są możliwe do wytworzenia technicznie obejmują bardzo szeroki zakres w porównaniu z obszarem obejmującym dźwięki słyszalne (16 Hz - 16 kHz). Obszar częstotliwości poniżej dźwięków słyszalnych obejmuje **infradźwięki** - poddźwięki. Górna granica słyszalności przyjęta jako częstotliwość 16 kHz, niekiedy przyjmuje się 20 kHz, wyznacza początek obszaru ultradźwiękowego. Fale sprężyste wytwarzane powyżej tej częstotliwości mogą być rejestrowane (odbierane) różnymi urządzeniami, jednakże nie mogą być już rejestrowane przez ucho ludzkie. Nazwano je więc **ultradźwiękami.** Tym terminem obejmuje się fale sprężyste o częstotliwościach aż do 16 GHz. Ta górna granica jest wyznaczona przez techniczne możliwości ich wytwarzania. Fale sprężyste o częstotliwościach jeszcze większych, które występują naturalnie jako fale cieplne związane z drganiami cząsteczek ośrodków w sieci krystalicznej, nazwano **hiperdźwiękami.** Hiperdźwiękowy zakres sięga do granicznej wartości częstotliwości rzędu 10 THz. Podstawowa relacja, jaka występuje między częstotliwością f a długością fali jest następująca:

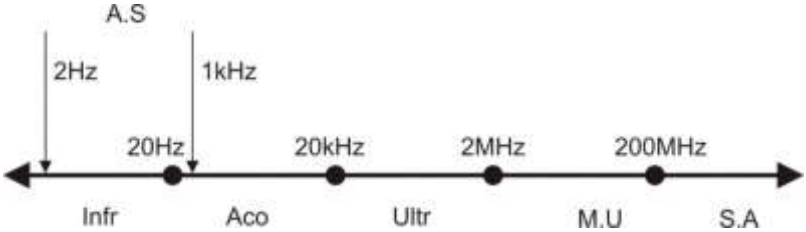
$$C = f\lambda$$

gdzie: C- jest prędkością rozchodzenia się fali w danym ośrodku;
λ-jest długością fali,

C- jest wielkością charakterystyczną dla danego ośrodka i dla danego rodzaju fal. W przypadku fal podłużnych /dźwięku/w powietrzu wynosi ona C=340 m/s, w cieczach jest ona rzędu 1500 m/s, a w ciałach stałych ok. 5000 m/s (np. w stali). W złożach skalnych w fali parasejsmicznej od 2000 do 4700 m/s przy częstotliwości od 1-1000 Hz. Z punktu widzenia zjawisk lub procesów fizycznych fale sprężyste o określonej częstotliwości (i długości) są wykorzystywane do ich badania. Natura fal sprężystych w każdym z podanych obszarów jest taka sama. Różnica między infradźwiękami, dźwiękami, ultradźwiękami i hiperdźwiękami polega tylko na innej częstotliwości (innej długości fali), bowiem mechanizm powstawania i rozchodzenia się fal jest określony przez te same prawa fizyczne. Spectrum drgań fal sprężystych przedstawiono na Rysunku 4.1.

Proces oddziaływania fal sprężystych z ośrodkiem, w którym się rozchodzą zależy od długości fal i ze względu na ich długość są one wykorzystywane do różnych celów jak spektroskopia akustyczna [S.A] o dużej zdolności rozdzielczej:

- w cieczach o częstotliwości f=10 GHz
- w ciałach stałych o f=100 GHz
- Mikroskopia ultradźwiękowa [M.U] o częstotliwości f=(0,1-1) GHz
- Badania nieniszczące materiałów o częstotliwości f =(1-100) MHz
- Diagnostyka medyczna o częstotliwości f=(1–100) MHz
- Hydrolokacja, sonar o częstotliwości f=(10-1000) kHz
- Czyszczenie ultradźwiękowe o częstotliwości f=(20-40) kHz



Rys. 4.1 Spektrum drgań fal sprężystych: Infr- infradźwięki, Aco- akustyczne, Ultr- ultradźwięki, M.U–mikroskopia ultradźwiękowa, S.A-spektroskopia akustyczna, A.S-akustyka sejsmiczna-fala parasejsmiczna

Infradźwięki i dźwięki słyszalne-[A.S] zakres akustyki sejsmicznej /trzęsienia ziemi, burze, urabianie skał MW/przy f=20 Hz długość fali w powietrzu wynosi 17 m, w wodzie 75 m, a w masywie skalnym od 100-300 m.

4.1.1 Propagacja fal sprężystych w ciałach stałych

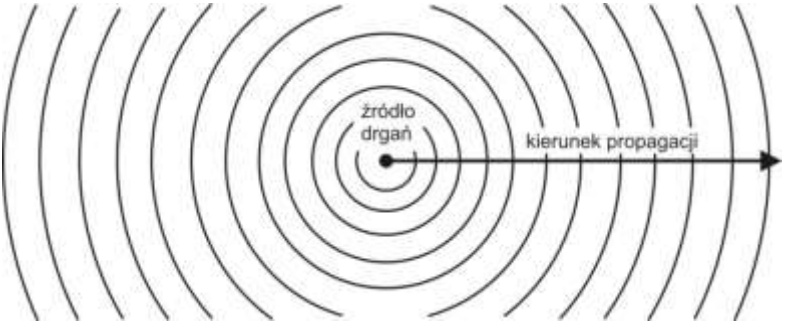
Teoretyczne podstawy propagacji fal sprężystych [Chrzan (1994), Talarczyk (1990), Matauschek (1961), Internet(1/2020)] opierają się na założeniach mechaniki ośrodków ciągłych. Ośrodek składa się z elementarnych cząsteczek, które są równomiernie od siebie oddalone. Pod działaniem siły zewnętrznej cząstka zostaje wychylona z położenia równowagi, a wskutek działania sił sprężystych ośrodka jest ona zmuszona do ruchu powrotnego. Bezwładność cząsteczki powoduje, że nie zatrzymuje się ona w położeniu równowagi (pierwotnym), lecz mija je z pewną prędkością i wychyla się w przeciwną stronę. Drganie cząsteczki oscylują wokół położenia równowagi. Wskutek sił sprężystych część energii zostaje przekazana sąsiednim cząstkom, które same zaczynają drgać i przekazują energię dalej. Ruch drgający przesuwa się z prędkością C w ośrodku. Drgania ośrodka charakteryzuje się następującymi parametrami:-okresem drgań T[s], -częstotliwością drgań f[1/s], -wielkością wychylenia lub przemieszczenia A [mm], prędkością drgań ośrodka V [mm/s] lub jego przyspieszeniem P [mm/s²]. Okres drgań T - jest to czas pojedynczego drgania . Częstotliwością drgań f nazywa się liczba drgań w ciągu jednej sekundy. Amplituda A- jest to maksymalna wielkość wychylenia cząsteczki z położenia równowagi. Maksymalna prędkość drgań ośrodka wynosi $V_{max}=2\pi f A$. Długość fali jest to odległość jaką przebędzie fala w czasie jednego okresu T.

Prędkość przenoszenia się drgań C w ośrodku nazywamy prędkością fali. C - jest to iloczyn długości fali i jej częstotliwości.

Drgania cząsteczek ośrodka podczas rozchodzenia się fal są następujące:

a. wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali-L jest to fala podłużna,
b. prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali-T jest to fala poprzeczna,
c. eliptycznie w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez kierunek propagacji fali, przeciwnie do ruchu wskazówek zegara-R fala powierzchniowa Rayleigha,
d. w poprzek kierunku rozchodzenia się fali w płaszczyźnie równoległej do powierzchni- Lo fala powierzchniowa Love'a.

Powszechnie przyjmuje się, że wibracje powstające w wyniku wybuchu ładunku MW mają kolistą drogę propagacji Rys. 4.2 [Sołtys, 2011, Chrzan 2014, Chrzan i Modrzejewski 2014, Dowding i in. (1980), Duval i in. (1971)]. W kołowym modelu propagacji prędkości drgań fal sejsmicznych, powszechnie dotąd stosowanym w górnictwie, przyjmuje się, że drgania wywołane odstrzałem materiału wybuchowego w jednym lub kilku otworach strzałowych, rozprzestrzeniają się w każdym kierunku z taką samą prędkością jak pokazano na Rys. 4.2 a tym samym nie rozpatruje się wpływu kąta kierunkowego pomiarów „α", który ma wpływ, co pokazano na Rys. 4.9 i 4.10, na wielkość pomierzonych parametrów drgań składowych poziomych.



Rys. 4.2 Drgania kołowe ośrodka od punktowego źródła drgań, linie ciągłe wierzchołki fal /opracowanie własne/

Prędkość fali podłużnej zależy od wartości modułu Younga E, którego wielkość określa sztywność czyli opór ośrodka przeciwko odkształceniom objętościowym. Prędkość fali poprzecznej zależy od modułu sprężystości postaciowej G, którego wielkość określa opór ośrodka przeciwko odkształceniom postaciowym. Fale poprzeczne propagują się tylko w ośrodku, który charakteryzuje się sprężystością postaci (ciała stałe). Fale podłużne związane są z odkształceniem objętościowym ośrodka i dlatego mogą się rozchodzić zarówno w ciałach stałych, jak i w cieczach i gazach. Rozchodzenie się fal sprężystych nie jest związane z przenoszeniem materii. Miejsce geometryczne punktów, do których dochodzą drgania

w danej chwili t, nazywamy czołem fali. Miejsce geometryczne punktów drgających w jednakowej fazie nazywamy powierzchnią falową.

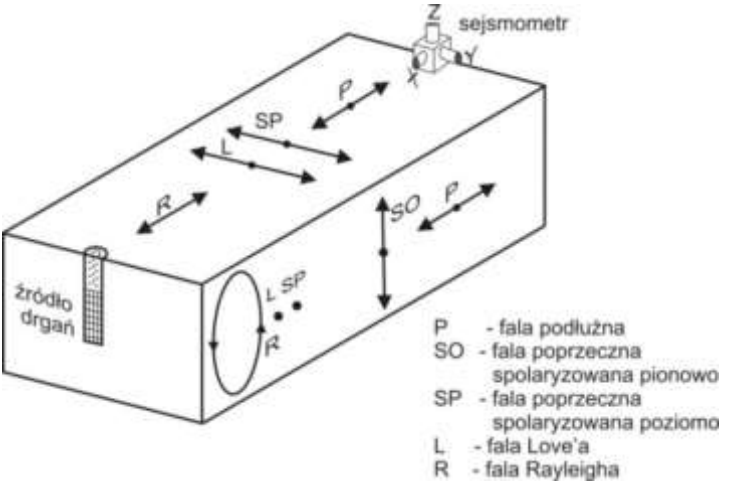
4.2 Projekt teorii pola fali sejsmicznej

Przeanalizowano badania mające na celu ustalić związki przyczynowe jak i uzyskać informacje ilościowe dotyczące projektu teorii pola fali sejsmicznej. Metodą indukcji na podstawie analizy wykonanych badań sformułowano prawa fizyki, które zapisano w postaci równań matematycznych. W większości przypadków prawa te poprzedzone są prostym wyprowadzeniem, którego celem jest podkreślenie logicznej struktury wnioskowania. Sformułowane prawa te zostały zastosowane do analizy badań podanych w literaturze przez kilku naukowców, a otrzymane wyniki potwierdziły słuszność otrzymanych w monografii zależności. Rozchodzenie się fal sejsmicznych opiera się na tych samych prawach fizycznych, jakie rządzą zjawiskami występującymi przy rozchodzeniu się dźwięków słyszalnych, czyli fal podłużnych, jak i ultradźwiękowych fal podłużnych i poprzecznych. Ze względu na szkodliwe działanie fali sejsmicznej mierzy się wielkość parametrów pola fali sejsmicznej jak: przemieszczenie cząsteczki ośrodka z położenie równowagi, prędkość drgań cząsteczki ośrodka i jej przyspieszenie. Nie mierzy się natomiast zmian ciśnienia w ośrodku jak w powietrzu ani natężenia fali jak w badaniach ultradźwiękowych. Wymaga to oddzielnego spojrzenia na związki między podstawowymi parametrami pola fali sejsmicznej. Niektórzy badacze ze względu, że fala sejsmiczna została wywołana przez człowieka, podczas urabiania skał materiałem wybuchowym, a nie jest skutkiem trzęsienia ziemi, nazywają ją parasejsmiczną choć dokładniej można by ją nazywać kwazisejsmiczną czyli prawie sejsmiczną. W monografii stosuje się nazwy fala parasejsmiczna i fala sejsmiczna. Ze względu, że największe parametry działające szkodliwie na zabezpieczane obiekty wytwarza fala podłużna, dlatego opracowana teoria pola fali sejsmicznej dotyczy głównie tej fali. Ośrodek, w którym rozchodzi się fala jest ośrodkiem jednorodnym, w którym prędkość fali podłużnej jest stała a zmienia się tylko jej amplituda, częstotliwość, a zatem i prędkość drgań, Ośrodek został scharakteryzowany na kierunkach pomiarowych X i Y za pomocą modułu sprężystości -Ex, Ey, modułu akustycznego -Hax, Hay, gęstości objętościowej –ρ, impedancji akustycznej Z1x, Z1y, MW za pomocą Qe-ciepła spalania i Vt-prędkości detonacji.

4.2.1 Rodzaje fal tworzących falę sejsmiczną

Fale tworzące falę sejsmiczną przedstawiono na Rys.4.3, a scharakteryzowano powyżej. Fala sejsmiczna to głównie fala podłużna, a następnie poprzeczna i powierzchniowa. Kierunek pomiaru drgań na Rys.4.3, równoległy do linii otworów - „poprzeczny” najczęściej oznacza się jako Y, a prostopadły do linii otworów - „podłużny” jako X. Stąd parametry zmierzone na kierunku X mają indeksy; Vx, Ax a na kierunku Y; Vy, Ay. Podczas pomiarów mierzymy

amplitudę, prędkość i przyspieszenie drgań poziomych radialnych wzdłuż linii poziomej łączącej punkt pomiarowy ze środkiem otworów strzałowych kierunek X i prostopadle do tej linii parametry poziomych drgań stycznych kierunek Y oraz pionowych drgań kierunek Z.



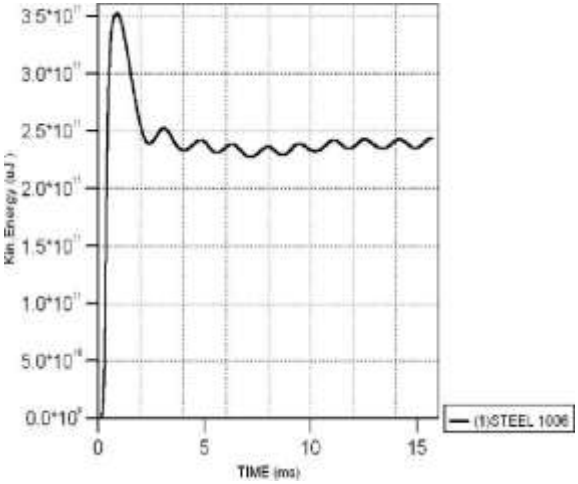
Rys. 4.3 Rodzaje fal tworzących falę sejsmiczną i kierunki ich pomiaru sejsmometrem /opracowanie własne/

4.2.2 Powstawanie i rozchodzenie się fal sejsmicznych

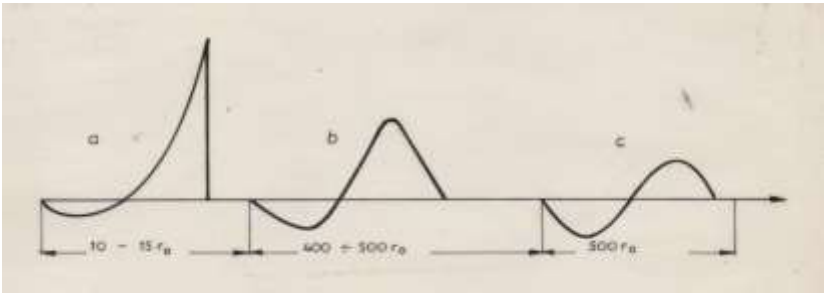
Otwór pierwszy wypełniony MW odpala się natychmiastowo. Przy strzelaniu szeregowym stosuje się zwłokę czasową w stosunku do czasu odpalenia poprzedniego otworu. Przy strzelaniu wieloszeregowym stosuje się zwłokę czasową między otworani oraz zwłokę czasową w stosunku do czasu odpalenia poprzedniego szeregu. Kolejne odpalenie wszystkich otworów powoduje drgania urabianego złoża, a następnie gruntu poza złożem w postaci fali sejsmicznej. Odpalenie ładunku MW powoduje powstanie fali udarowej. Z fali udarowej powstaje fala sejsmiczna, co przedstawiono w pracy Starczewski (2014), podczas pomiarów na płycie stalowej umieszczonej nad ładunkiem MW - Rys. 4.4. Ładunek MW wytwarza pierwszą falę udarową, która następnie poprzez drugą falę pośrednią przechodzi w trzecią falę –falę sejsmiczną harmoniczną o małej anplitudzie drgań, co przedstawia Rys. 4.4 i 4.5.

Z analizy pomiarów wykonanych na rysunku 4.4 wynika, że częstotliwość drgań fali pośredniej jest mniejsza od częstotliwości fali sejsmicznej o 9%. Fala pośrednia ma natomiast amplitudę drgań około 2 razy większą niż fala sejsmiczna. Teoretyczny kształt fali udarowej, fali pośredniej i fali sejsmicznej w funkcji promienia otworu przedstawiono na Rys 4.5. Z rysunku wynika, że dla otworu wykonanego w złożu bazaltu o średnicy 102 mm, w bloczku bazaltowym o wymiarach 3,45*3,8* 18,5 m, fala udarowa ma długość 77 cm, czyli mieści się całkowicie w bloczku skalnym. Fala pośrednia ma długość 25,5 m, czyli mieści

się całkowicie w urabianym bloku skały bazaltowej o wymiarach 10,45*18,5 m*41,8 m, w którym rozchodzi się już pierwsza w pełni fala sejsmiczna.



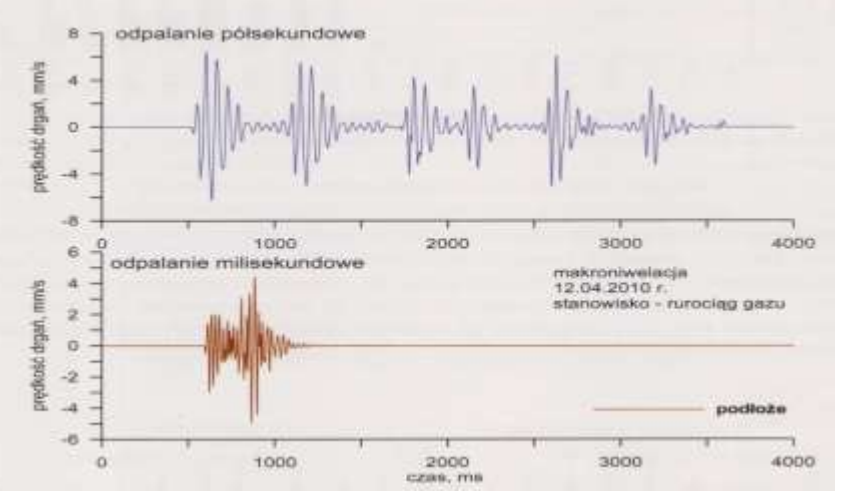
Rys. 4.4 Wykres przekazywania energii fali udarowej wywołanej wybuchem 6 kg Trój Nitro Toulenu [TNT] na płytę stalową, odległość pomiaru 50 cm [Starczewski (2014)]



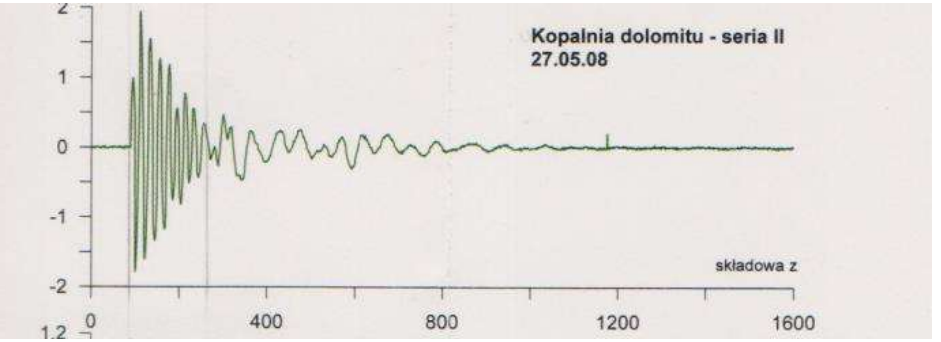
Rys 4.5.Teoretyczny kształt fali udarowej, fali udarowej, fali pośredniej i fali sejsmicznej w funkcji promienia otworu /Wykłady i Ćwiczenia autora na Wydz.Górnictwa Politechniki Wrocławskiej/

Wykonane w skałach pomiary fali sejsmicznej, już w odległości 30 m i 300 m od wybuchającego ładunku MW, potwierdzają, że skała tłumi amplitudę i częstotliwość fali udarowej i fali pośredniej, a już pierwsza zarejestrowana na sejsmogramie fala jest falą sejsmiczną, o małej amplitudzie drgań co przedstawiono na Rys 4.6 i 4.7. Z analizy czasu odpalania ładunków co 500 ms wynika, że różnica czasu odpalania poszczególnych ładunków w stosunku do czasu nominalnego wynosi od +1% do +33%. Tłumienie wewnętrzne skały powoduje, że amplitudy prędkości drgań maleją zgodnie z krzywą wykładniczą. Niewłaściwy dobór czasu zwłoki podczas strzelania milisekundowego (Rys.4.6)

powoduje dwukrotny wzrost prędkości drgań fali podłużnej. W przedziale czasowym od 1,4 do 2,0 razy dłuższym niż zarejestrowana fala podłużna (Rys.4.6 i 4.7), występuje brak nałożenia się prędkości drgań fali poprzecznej na prędkość fali podłużnej.



Rys. 4.6 Sinusoidalne sejsmogramy prędkości drgań wywołane odpaleniem ładunków MW w odległości 50 m dla odpalania pół sekundowego i milisekundowego [Pyra (2016), Sołtys, Winzer]



Rys. 4.7 Sejsmogram prędkości drgań [mm/s] wywołany milisekundowym odpaleniem ładunków MW w odległości ok 300 m[Pyra (2016), Sołtys, Winzer]

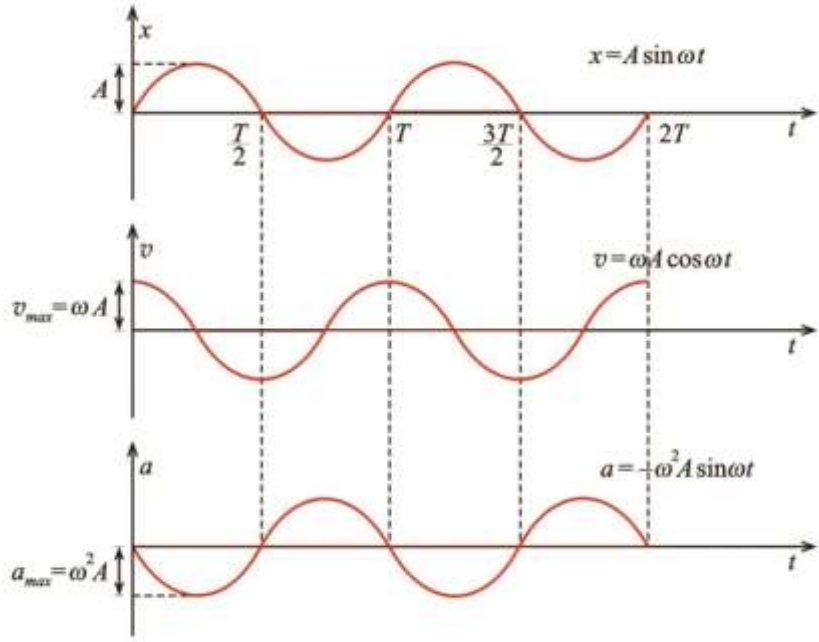
Stąd wynika wniosek, że prędkość drgań fali poprzecznej ma taka samą częstotliwość jak prędkość drgań fali podłużnej i ma małą prędkość drgań lub nie jest na tym kierunku rejestrowana. Z sejsmogramu Rys. 4.7 wynika, że dla 9 drgań amplitudy prędkości drgań maleją zgodnie z krzywą wykładniczą. Są to drgania o częstotliwości 51Hz a drganie 10, 11, 12 to fala zniekształcona nakładaniem się prędkości drgań wskutek strzelania milisekundowego. Trzynaste drganie prawdopodobnie dotyczy fali podłużnej propagującej się w masywie

skalnym po opuszczeniu bloku skalnego jako końcowy wynik nakładania się prędkości drgań wskutek strzelania milisekundowego. Jej prędkość jest mniejsza niż fali 9, a jej częstotliwości jest prawie dwukrotnie mniejsza. Dla drgania 13 i 14 częstotliwość prędkości drgań fom13=fom14=22 Hz. Jak wynika z powyższego, nakładanie się prędkości drgań sejsmicznych wskutek strzelania milisekundowego dotyczy w zasadzie nakładania się prędkości drgań fali podłużnej. Przy czym mierzy się PPV największej prędkość drgań co dotyczy drgania 2, V=1,97 mm/s i odpowiadającej jej częstotliwości f=51 Hz.

4.2.3 Parametry pola fali sejsmicznej

W ogólnym przypadku pole fali sejsmicznej jest utworzone przez dwa układy fal. Pierwszy układ - to fale biegające od źródła, drugi - to fale odbite od powierzchni ograniczającej i wracające ku źródłu. Pole fali sejsmicznej jest nieograniczone, gdy nie ma fal powracających i istnieją tylko fale biegające od źródła. Takie pole nazywa się polem fali sejsmicznej swobodnym i takie praktycznie najczęściej występuje, ponieważ fale powracające ze względu na swoje małe wartości i duży okres czasu powrotu nie mają wpływu na największą pomierzoną wartość prędkości drgań pierwszej czy drugiej fali podłużnej. Rozważając zagadnienie rozchodzenia się fali sejsmicznej w dowolnym środowisku, przyjmuje się z reguły, że amplitudy przesunięć są nieskończenie małe. To założenie umożliwia przedstawienie rozchodzącej się fali w postaci stosunkowo nieskomplikowanych liniowych równań matematycznych. Takie równania falowe umożliwiają obliczenia z dostateczną w praktyce dokładnością także wtedy, gdy amplitudy przesunięć są małe w porównaniu z długością rozchodzącej się fali. Ten warunek jest zawsze zachowany [Talarczyk (1990)] w akustyce dźwięków słyszalnych i w sejsmice inżynierskiej co zapewnia liniowość parametrów pola sejsmicznego od wielkości amplitudy przemieszczenia. Z definicji fizycznej wynika, że pole sejsmiczne to obszar, w którym rozchodzą się fale sejsmiczne, które charakteryzuje głównie rozkład częstotliwości i prędkość drgań cząsteczek ośrodka [Dobrucki (1987)]. W ośrodku skalnym najłatwiej mierzy się przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie drgań cząsteczek ośrodka. Pomiary parametrów falowych drgań ze względu na największe wartości, a tym samym największą szkodliwość dotyczą głównie fali podłużnej. Fala sejsmiczna powyżej dwóch długości fali (Rys. 4.4) jest falą harmoniczną o małej amplitudzie i falą sinusoidalną, do której mogą być stosowane teoretyczne zależności akustyczne opracowane dla fali podłużnej na kierunku prostopadłym do źródła drgań co odpowiada kątowi kierunkowemu pomiaru $\alpha=90^{o}$. Zależności teoretyczne dotyczą fali płaskiej i są stosowane do obliczeń dotyczących fali kulistej lub walcowej, przy założeniu, że czoło fali jest płaskie. Dotyczy to większej odległości od źródła drgań lub małego wymiaru obiektu. Jeżeli układ, na który nie działają zmienne siły zewnętrzne, zostaje wprawiony w drgania na skutek jakiegokolwiek początkowego odchylenia od położenia równowagi, to takie drgania nazywamy swobodnymi. Ruch drgający nazywamy okresowym

(periodycznym), jeżeli wartości wielkości fizycznych zmieniające się podczas drgań, powtarzają się w pewnych odstępach czasu. Najczęściej źródła fal sejsmicznych są sinusoidalnie zmienne (Rys.4.6-4.8), takim źródłem drgań jest też płaski tłok o bardzo dużych rozmiarach w stosunku do wytwarzanej fali unieszczony w sztywnej odgrodzie,[Internet (7/2020,Heutschi), Internet (6/2020,Battle). Równanie przemieszczenia płaskiej fali podłużnej dla takiego tłoka i fali harmonicznej ma postać (Rys.4.8):



Rys. 4.8 Wykres przemieszczenia, prędkości i przyśpieszenia w ruchu harmonicznym [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer]

$$x=A\sin\omega t \qquad (4.1)$$

gdzie: x -wielkość przemieszczenia zależna od funkcji sinωt, A największa wartość przemieszczenia. Zmienna **ωt,** będąca argumentem funkcji sinus jest fazą drgania [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer].

Ze wzoru 4.1 i Rys.4.8 wynika, że przemieszczenia ciała drgającego zmieniają się okresowo. Największa wartość x jest gdy ωt=π/2, ωt =3/2π

Prędkość drgań w ruchu harmonicznym

$$v=\omega A\cos\omega t \qquad (4.2)$$

Stąd wynika, że prędkość drgań w ruchu harmonicznym także zmienia się okresowo. Najmniejszą wartość v=0 osiąga dla ωt=π2 ponieważ prędkość ciała w tym ruchu ciągle się zmienia, więc musi występować przyśpieszenie.

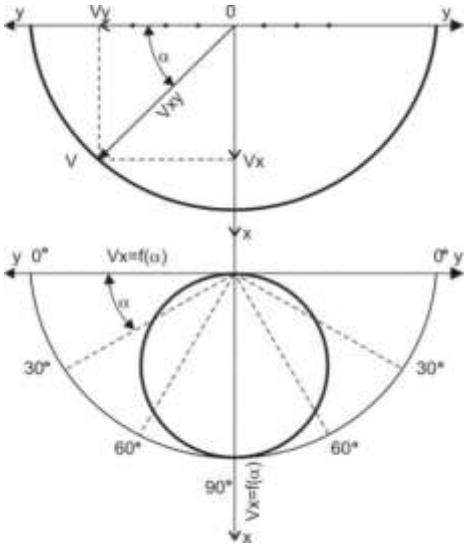
Przyśpieszenie drgań w ruchu harmonicznym

$$a = -\omega^2 A sin\omega t \qquad (4.3)$$

Największa wartość a jest gdy ωt=π/2, ωt =3/2π. Znak „–” występujący w tym wzorze informuje, że przyśpieszenie w ruchu drgającym jest zwrócone przeciwnie do przemieszczenia, tzn. że jeżeli przemieszczenie x ma wartość dodatnią, to przyśpieszenie jest zwrócone w stronę ujemnych wartości x, jeżeli przemieszczenie ma wartość ujemną, to przyśpieszenie jest zwrócone w stronę dodatnich wartości x. Maksymalną wartość przyśpieszenia ciało drgające ma wtedy, gdy znajduje się w skrajnych położeniach.

4.2.4 Analiza teoretyczna kierunkowości drgań poziomych radialnych i stycznych dla jednostkowego rozkładu kołowego drgań

W ośrodku jednorodnym, jak pokazano na schemacie Chrzana Rys. 4.9, 4.10 [Chrzan, Modrzejewski (2014)] dla rozkładu kołowego jednostkowa wypadkowa /suma/ prędkości drgań Vxy /półkole/ składająca się z prędkości drgania radialnego Vx /promieniowego/ i stycznego Vy prostopadłego do drgań promieniowych - Vx niezależnie od wartości kąta „α” ma stałą wartość.



Rys. 4.9 Schemat do wykreślnego przedstawienia kształtu i wartości wektora jednostkowego wypadkowej prędkości drgań Vxy oraz radialnej Vx prędkości drgań fali podłużnej w funkcji kąta kierunkowego „α” /rozkład kołowy/ opracowanie własne/

Rys. 4.9 przedstawia wykres zmian wartości wektora jednostkowego prędkości poziomej radialnej Vx drgań fali podłużnej w postaci koła, czyli dwóch półkoli na ćwiartce I i II (w akustyce - rozkład ósemkowy) w funkcji kąta kierunkowego „α” dla źródła drgań w punkcie 0. Z wykresu wynika, że prędkości drgań styczne

Vy i promieniowe Vx w zależności od kąta kierunkowego pomiarów„α” mają różne wartości. Składowe prędkości są sobie równe, gdy kąt kierunkowy „α” wynosi 45° - punkt V (Rys.4.9). Przy innym dowolnym kącie kierunkowym zawsze jedna składowa będzie większa od drugiej.

Schemat Chrzana, Rys. 4.9, 4.10 [Chrzan, Modrzejewski (2014)] służy do wykreślnego przedstawienia kształtu , rozkładu kierunkowego wielkości radialnej Vx i stycznej prędkości Vy drgań fali sejsmicznej oraz określenia kątów kierunkowych bezpiecznych dla obiektów inżynierskich przed czołem urabianego bloku skalnego . Na Rys.4.9 przedstawiono kształt i wartości wektora jednostkowego wypadkowej prędkości drgań Vxy dla kołowego rozkładu prędkości w postaci półkola, prędkości radialnej Vx drgań fali sejsmicznej dla różnych wartości kąta kierunkowego α. Kierunek Y, pokrywa się z linią otworów strzałowych, a prędkość drgań Vx jest prostopadła do kierunku Y. Jednostkową wartość wektora prędkości wypadkowej dla rozkładu kołowego można zapisać jako sumę wektorów składowych [Chrzan,1994)]:

$$Vxy^2 = Vx^2 + Vy^2,\ Vxy^2 = R^2 = 1 \qquad (4.4)$$

Z Rysunku 4.9 wynika, że:

$$Vx = Vxy\ sin\ \alpha\ =\ 1\ \ sin\ \alpha \qquad (4.5)$$

Analiza kołowego rozkładu składowej radialnej prędkości drgań Vx w funkcji kąta kierunkowego „α” (Rys.4.9) pokazuje, że radialna prędkość drgań Vx dla kąta kierunkowego „α” w przedziale „α”= 0 - 90º ma kształt półokręgu w każdej ćwiartce i zmienną wartość przy osi X, dla α = 0º, Vx = 0, dla α = 90º, Vx=Vx max. W akustyce rozkład składowych poziomych fali podłużnej nazywany jest rozkładem ósemkowym. Na Rys. 4.10 przedstawiono teoretyczny rozkład składowej stycznej prędkości drgań Vy fali sejsmicznej dla różnych wartości kąta kierunkowego α, oś Y, czyli kierunek Y pokrywa się z linią otworów strzałowych, a prędkość Vx jest prostopadła do kierunku Y.

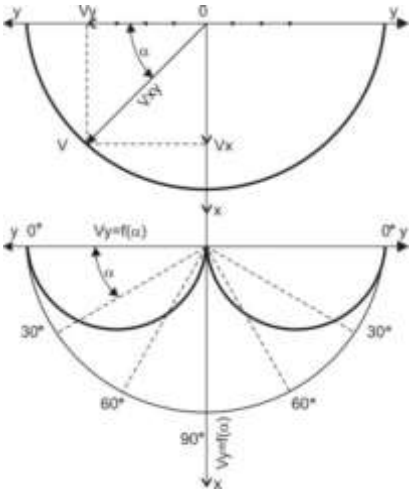
Rysunek przedstawia wykres zmian wektora jednostkowego wypadkowej prędkości drgań Vxy fali podłużnej w postaci półkola oraz wykres zmian wektora jednostkowego prędkości stycznej Vy drgań fali sejsmicznej w postaci dwóch półkoli (w akustyce rozkład ósemkowy) na ćwiartce I i II w funkcji kąta kierunkowego „α” dla źródła drgań w punkcie 0. Jednostkową wartość wektora prędkości wypadkowej dla rozkładu kołowego można zapisać jako sumę wektorów składowych [Chrzan,1994)]:

$$Vxy^2 = Vx^2 + Vy^2,\ Vxy = R^2 = 1 \qquad (4.6)$$

Z Rysunku 4.10 wynika, że:

$$Vy = Vxy\ cos\ \alpha = 1\ cos\ \alpha \qquad (4.7)$$

Analiza rozkładu składowej stycznej poziomej prędkości drgań Vy w funkcji kąta kierunkowego „α” pokazuje, że styczna prędkość Vy drgań dla kąta kierunkowego „α”w przedziale od „α”= 0-90º ma kształt półokręgu w każdej ćwiartce i zmienną wartość przy osi Y, dla α= 90º, Vy= 0, dla α=0º, Vy=Vy max (Rys.4.10) .



Rys. 4.10 Schemat do wykreślnego przedstawienia kształtu i wartości wektora jednostkowego wypadkowej prędkości drgań Vxy oraz stycznej Vy drgań fali sejsmicznej w funkcji kąta kierunkowego „α”/ rozkład kołowy/

Z pomierzonej w terenie prędkości drgań dla fali radialnej Vx i stycznej Vy dla charakterystyki kołowej można obliczyć maksymalną wartość składowej poziomej Vx max lub Vy max , którą odkładamy na wykresie Skali SWD, [Polska Norma 2016)]:

$$Vx/\ sin\alpha = Vx\ max,\ Vy/cos\ \alpha = Vy\ max \qquad (4.8)$$

Mając z kolei Vx max, Vy max i uwzględniając kąt kierunkowy α dla kierunkowości kołowej, radialną Vx α i styczną Vy α prędkości drgań oblicza się z zależności:

$$Vx\ \alpha\ = Vx\ 90^0 * \ sin\ \alpha\ ,\quad Vy\ \alpha\ \ = Vy\ 0^0 * \ cos\ \alpha\ , \qquad (4.8a)$$

gdzie:
$Vx\ \alpha, Vy\ \alpha$–prędkość radialna i styczna dla poszukiwanego kąta kierunkowego α,
$Vx\ 90^0 -$ maksymalna prędkość radialna dla kąta kierunkowego α = 90º,
$Vy\ 0^0 -$ maksymalna prędkość styczna dla kąta kierunkowego α=0º.

4.2.5 Tłumienie amplitudy przemieszczenia cząsteczek ośrodka

Na przebieg drgań fali sejsmicznej ma wpływ tłumienie wewnętrzne, geometryczne i absorpcja. Tłumienie wewnętrzne spowodowane jest tarciem cząsteczek o siebie. Zmniejszanie się chwilowych największych amplitud A1,

A2, A3 przemieszczenia wzdłuż krzywej wykładniczej przedstawiono na Rysunku 4.11 według zależności:

$$A_1 = Ax * \exp.(-\beta * t_1) \qquad (4.9)$$

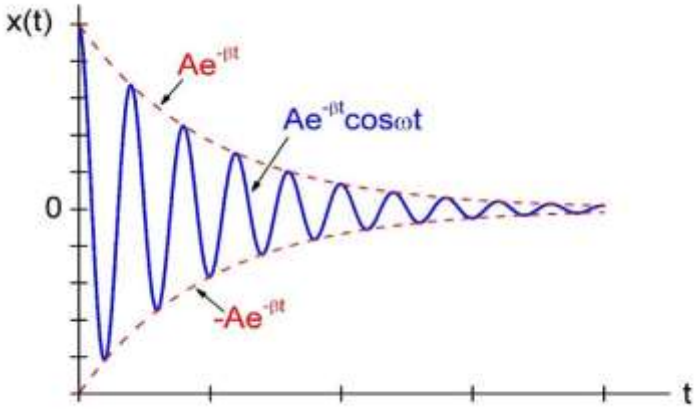
gdzie; t_1- czas, w którym powstaje amplituda A_1; Ax.-maksymalna amplituda na osi X; β-wykładnik tłumienia (w literaturze brak danych na temat jego wielkości) [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer].

Tłumienie geometryczne związane jest ze wzrostem odległości od źródła drgań. Ze wzrostem odległości do punktu r_2, znając wartość amplitudy w punkcie $r_1 = A_{r1}$ oblicza się jej wartość w punkcie r2 z zależności:

$$Ar2 = Ar1\ [\left(\frac{R1}{R2}\right)]\hat{}a \qquad (4.10)$$

gdzie: „a" dla fal objętościowych, a=2 [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer]

Absorpcja przejawia się tym, że spadki wartości amplitud z odległością są większe, niż by to wynikało tylko z tłumienia geometrycznego.



Rys. 4.11 Wykres drgań tłumionych maksymalnych amplitud wzdłuż krzywej wykładniczej [Internet (1.2020,2/2020,3/2020)]

Pochłanianie amplitudy fali oblicza się ze wzoru:

$$Ar = Ao * exp.(-\alpha * t) \qquad (4.11)$$

gdzie: Ar- amplituda w odległości r; Ao amplituda początkowa; α-współczynnik tłumienia fali (w literaturze brak danych dla wielkości tego współczynnika tłumienia [Onderka(2003), Sieradzki, Winzer]),t-czas (ms)

4.2.6 Dodawanie amplitud fal o tej samej częstotliwości i amplitudzie

Strzelanie milisekundowe jest najczęściej stosowane przy urabianiu skał MW. W czasie strzelania milisekundowego kolejne otwory odpalane są ze stałą wielkością opóźnienia czasowego /zwłoką/ w stosunku do czasu odpalenia

otworu poprzedniego. Odpala się ładunki o takiej samej masie i zabiorze, co powoduje, że mamy takie same amplitudy i częstotliwości powstających fal przesuniętych w fazie o czas zwłoki „tz”. Kosinusoidalne funkcje amplitudy (Rys.4.11 [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer]) dla przesuniętej fazy φ1, φ2…. φn mają zależność:

$$Ar1 = A * \cos(2\pi * fr1 * t + \varphi 1), \quad (4.12)$$

$$Ar2 = A * \cos(2\pi * fr2 * t + \varphi 2), \quad (4.12a)$$

$$Arn = A * \cos(2\pi * frn * t + \varphi n) \quad (4.13)$$

gdzie: Ar_1,Arn -amplituda 1 i enta drgań w punkcie r; 2π fr_1- częstotliwość drgań w punkcie „r” dla równania 1; t-czas dotarcia fali dla punktu „r”; A-maksymalna wartość amplitudy; φ_1, φ_2, φ_n-kąty przesunięcia fazowego.

Amplituda wypadkowa Awr nałożenia się drgań w punkcie „r” jest pierwiastkiem kwadratowym, z kwadratu sumy iloczynów amplitudy razy cos φn i sin φn.

$$Awr = (\sum_{i=1}^{n} A \cos \varphi n)^2 + (\sum_{i=1}^{n} A \sin \varphi n)^2 \quad (4.14)$$

Ponieważ częstotliwość drgań jest stała należy sprawdzić czy ta zależność nie będzie prawdziwa także dla prędkości drgań w polu bliskim i dalekim. Można napisać do tego wzoru program i szybko przeprowadzać na nim symulacje komputerowe dla prognozowania wartości amplitudy i prędkości drgań.

4.2.7 Pole bliskie i dalekie

Pole bliskie znane jest w akustyce i ultradźwiękach jako strefa Fresnela, jego długość zależy od wymiarów źródła drgań. Charakterystyki kierunkowości /mody/ zmieniają się z odległością od źródła drgań. Pole dalekie to strefa Fraunhofera. W polu tym charakterystyka kierunkowości jest stała. Dotychczas w skalnym górnictwie odkrywkowym nie dzieli się powstającego pola falowego fali parasejsmicznej na pole bliskie i dalekie. Ma to zasadnicze znaczenie dla zmiany wartości częstotliwości, amplitudy i prędkości drgań wraz z odległością. Wiadomo jest (Rys.4.12 i 4.13), że częstotliwość drgań w polu bliskim zmienia się po sinusoidzie od wartości minimalnej do maksymalnej. Na początku pola dalekiego, (Rys.4.12) od częstotliwości prawie równej maksymalnej częstotliwości pola bliskiego, maleje ona sinusoidalnie z odległością najczęściej do ¼ potęgi. Z Rysunku 4.12 wynika, że natężenie I w Polu dalekim [Internet(2/2020)]

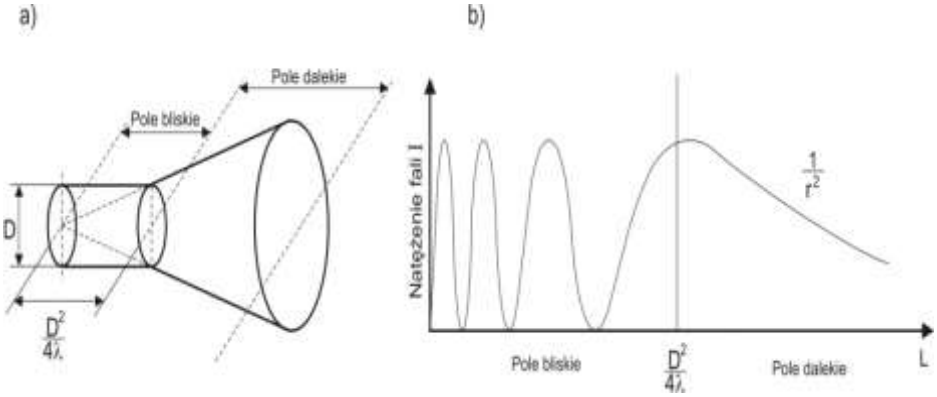
$$I = 0,5\, \varrho * Co * \omega^2 * A^2/(R\text{^}2) = 9,9\, \varrho * Co * f^2 * A^2/(R^2)$$

jest iloczynem kwadratów częstotliwości f i amplitudyA podzielonym przez kwadrat odległości R. Na podstawie pomiarów wykonanych przez [Duvall (1971), Nicholls, Johnson)] dotyczących prędkość drgań ośrodka można

twierdzić, że ich iloczyn w zależności od odległości w przybliżeniu wygląda następująco:

$$I = 9{,}9\,\varrho * Co * f^2 * A^2/R\hat{}2) = 9{,}9\,\varrho * Co(\frac{f^2}{R^{\sim 0,4}} * \frac{A^2}{R^{\sim 1,6}}.) = I/(R^{\sim 2}) \quad (4.15)$$

Powszechnie przyjmuje się, że częstotliwość drgań maleje z odległością, co nie jest prawdą w stosunku do pola bliskiego. Pole bliskie jest to odległość od źródła drgań, w której nakładają się fale powstające od drgań wywołanych odpaleniem kolejnych ładunków MW umieszczonych w otworach /bloczkach/, do momentu aż powstanie jedno wspólne dla wszystkich fal czoło fali. W polu tym nakładają się też drgania poszczególnych punktów bloczków, ponieważ każdy punkt powierzchni drgającego bloczka jest źródłem fali kulistej. Pole bliskie jest to odległość od źródła drgań, w której częstotliwości drgań ośrodka po odpaleniu ładunku MW zmienia się po zależności sinusoidalnej bez dodatkowego zmniejszania się częstotliwości drgań z odległością. Pole bliskie dla złóż skalnych jest ograniczone maksymalną częstotliwością na początku pola /najczęściej na fali 1/ i maksymalną częstotliwością na końcu pola / najczęściej na fali 6/ .



Rys. 4.12 Pole bliskie i pole dalekie [Matuschek (1961), Talarczyk (1990)]

Dla pomiarów w wodzie według Grelowska (1997) odległość pola dalekiego wynosi $Pdw=\pi r^2/\lambda$. Podana na Rysunku 4.12 zależność na odległość Pd początku pola dalekiego dotyczy pomiarów ultradźwiękowych [Matuschek (1961), Talarczyk (1990)]. Obie te zależności nie pozwalają obliczyć prawdziwych odległości początku pola dalekiego powstałego w czasie urabiania skał strzelaniem. Z podanych zależności wynika, że jest to współczynnik razy kwadrat największego wymiaru kołowego przetwornika podzielony przez λ. Na tej podstawie dla prostokątnego skalnego źródła drgań można przyjąć, że jest to współczynnik razy kwadrat średnicy zastępczej wymiaru źródła drgań podzielona przez długość fali. Przybliżona zależność na początek pola dalekiego Pd2 dla fali parasejsmicznej ma postać:

$$Pd2 = (A * 4\pi^2 * Dz^2)/:/(\lambda 1r) \qquad (4.16)$$

gdzie: $\lambda 1r$–długość fali dla częstotliwości drgań jednorzędowego bloku skalnego; Dz^2 - kwadrat średnicy zastępczej wymiaru źródła drgań bloku skalnego - Dz^2=H *Ly*1,27; A- stała złożowa dla badanych skał zwięzłych zmienia się od 1,1-2,3.

Analizując rozkłady prędkości w funkcji odległości podczas urabiania skał zwięzłych [Duvall(1971), Nicholls, Johnson)], przy odległości ok. 300 m następuje jej zmniejszanie się według $1/r^2$, podobnie jak na Rys. 4.12 w polu dalekim. Pozwoliło to określić, że podczas urabiania skał strzelaniem jednorzędowym występuje pole bliskie i pole dalekie. Dokładną odległość początkową i końcową pola bliskiego wyznaczamy z równań 4.21 i 4.22. Odległość początkową i końcową pola bliskiego wyznaczają wartości maksymalne częstotliwości na początku i końcu pola bliskiego (Rys.4.12).

4.2.8 Amplituda i prędkość drgań

Z Rys. 4.8 wynika, że amplituda drgań przebiega po sinusoidzie [Onderka(2003), Sieradzki, Winzer], [Internet(1/2020,2/2020,3/2020)]. Amplitudę maksymalną drgań masywu Axmm na kierunku X, obliczoną na podstawie pomiaru na masywie w odległości r na linii mającej kąt kierunkowy $\propto$=90º, oblicza się dla pola bliskiego i dalekiego z zależności (4.17 i 4.18):

-radialna amplituda, $Axmm = Axrm/:/(\sin 2\pi\, fxrm * tx)\, T$ (4.17)

-styczna amplituda, $Aymm = Ayrm/:/(\sin 2\pi\, fyrm * ty)\, T$ (4.18)

gdzie: Axrm, Ayrm–amplituda przemieszczenia drgań radialna i styczna zmierzona na masywie w odległości ”r”; frxm, frym -częstotliwość drgań radialna i styczna amplitudy w punkcie ”r” masywu; tx, ty- czas dotarcia fali do punktu ”r”, czyli tx= r/Coxm, ty=r/Coym; Coxm, Coym- prędkość fali podłużnej na kierunku radialnym i stycznym w masywie i bloku skalnym; T-stała uwzględniająca tłumienie amplitudy drgań z odległością, bliska wartościom podanym dla prędkości drgań.

Powyższe teoretyczne zależności wymagają sprawdzenia ich pomiarami dla innych wartości kąta kierunkowego dla rozkładu kołowego i eliptycznego, pola bliskiego i dalekiego prędkości drgań.

Wartość prędkość drgań zmienia się po zależnosci kosinusoidalnej, równanie (4,19, 4,20) oraz Rys. 4.8 [Onderka(2003), Sieradzki, Winzer, Internet [(1/2020, 2/2020, 3/2020)]. Maksymalną radialną prędkość drgań masywu Vxmm na podstawie pomiaru prędkości Vxmr na masywie w odległości r na linii mającej kąt kierunkowy $\propto$=90º dla pola bliskiego oblicza się z zależności:

- prędkość radialna $Vxmm = Vxmr\ /:/[\cos(2\pi\, fxmr * tx)]$ T (4.19)

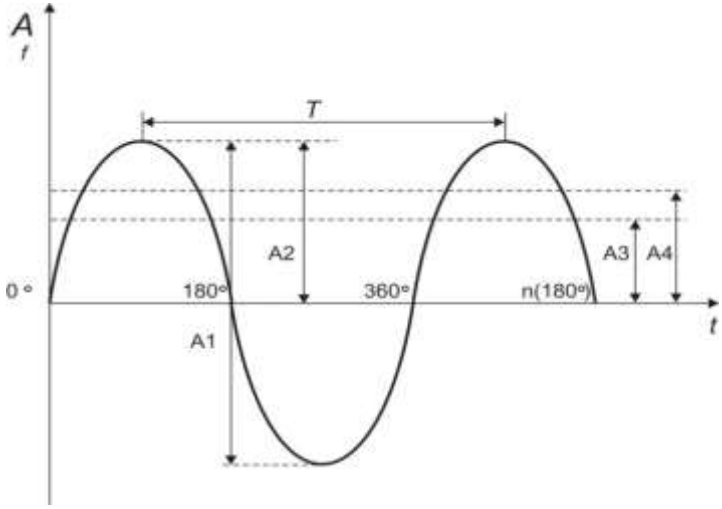
- prędkość styczna $Vymm = Vyrm /:/[\ cos\ (2\pi\ fymr * ty)\ ]$ T (4.20)

gdzie: Vxmr ,Vymr–prędkość drgań radialna i styczna zmierzona na masywie w odległości „r”[m]; fxmr , fymr -częstotliwość drgań radialna i styczna prędkości w punkcie „r”; tx, ty- czas dotarcia fali do punktu „r”, czyli tx= r/Coxm, ty=r/Coym; T-stała złożowa uwzględniająca tłumienie prędkości drgań z odległością,

Powyższe zależności wymagają sprawdzenia ich pomiarami dla innych kątów kierunkowych i rozkładu kołowego i eliptycznego, pola bliskiego i dalekiego oraz określenia stałej złożowej T.

4.2.9 Częstotliwość drgań

Z Rys. 4.8 wynika, że amplituda drgań przebiega po sinusoidzie podobnie jak przyśpieszenie drgań. Przyśpieszenie drgań to iloczyn amplitudy i kwadratu częstotliwości drgań i również zmienia się po sinusoidzie. Wynika stąd wniosek, że częstotliwość drgań musi mieć wartość stałą lub zmieniać się podobnie jak amplituda po sinusoidzie.



Rys. 4.73 Sinusoidalne drgania cząsteczki ośrodka i taka sama zmiana częstotliwości drgań na osi czasu od źródła drgań dla fali podłużnej/opracowanie własne/

Opis Rysunku 4.13: A1-wartość przemieszczenia, szczyt-szczyt, A2-wartość prze-mieszczenia szczytowa, A3- wartość przemieszczenia średnia, A4- wartość prze-mieszczenia skuteczna RMS /Rout Meam Square/.

Dla kąta 90º +(180º *n) częstotliwość drgań jest największa. Z pomiarów [Duvall (1971), Nicholls, Johnson (2015)] wynika, że niezależnie od odległości dla pola bliskiego wartości częstotliwości maleją i rosną sinusoidalnie. Zatem można napisać, że częstotliwość maksymalną drgań w masywie skalnym fxmm i fymm

na linii mającej kąt kierunkowy ∝=90º oblicza się z zależności (4.21) i (4.22) dla pola bliskiego i początku dalekiego:

- częstotliwość radialną $fxmm = \frac{fxmr}{\sin(fx\ mr*360*\ tx)}$, (4.21)
- częstotliwość styczną $fymm = \frac{fymr}{\sin(fy\ mr*\ 360*ty)}$, (4.22)

gdzie: fxmr ,fymr– częstotliwość drgań radialna i styczna zmierzona na masywie złoża w odległości „r"; tx, ty- czas dotarcia fali do punktu „r",czyli tx=r/Coxm, ty=r/Coym; Coxm, Coym - prędkość fali podłużnej na kierunku radialnym i stycznym w masywie.

Wartości maksymalne są to maksymalne wartości częstotliwości dla fali pierwszej dokładnie określające początek pola bliskiego, a dla fali 5 Rys. (4.12), dokładnie określające początek pola dalekiego. Powyższe zależności wymagają sprawdzenia ich pomiarami dla innych kątów kierunkowych dla rozkładu kołowego i eliptycznego. Mając dwa pomiary na kierunku x lub y w odległości „r" i (r+a) częstotliwości drgań, określano prędkość fali na kierunku x i y oraz wartość maksymalną prędkości i częstotliwości drgań na kierunku x i y dla analizowanych w pracy odstrzałów bloków skalnych. W związku z sinusoidalnym przebiegiem częstotliwości drgań w polu bliskim Rys. (4.12) całkowitej zmianie ulegnie filozofia doboru czasu zwłoki międzystrzałowej dla pola bliskiego.

4.2.10 Energia i natężenie fali [Talarczyk (1990), Matauschek (1961) Internet (1/2020, 2/2020,32020)]

Każda cząstka ośrodka, w którym rozchodzi się fala, ma energię ruchu drgającego. Fala, przechodząc przez ośrodek, pobudza coraz to nowe cząstki do drgań. W ten sposób fala przenosi energię. Średnia gęstość energii fali W o częstości ω wynosi:

$$W=0,5\ \varrho\ \omega^2\ A^2 \qquad (4.23)$$

Jest ona proporcjonalna do kwadratu amplitudy i częstości fali. Miarą energii fali przenoszonej przez jednostkową powierzchnię w jednostce czasu jest natężenie fali. Natężenie fali I podaje ile energii przenoszonej przez falę podłużną Co przepływa w ciągu jednej sekundy przez pole powierzchni prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali o wymiarach 1 m². Jednostką natężenia I fali w układzie SI jest [W/m²].

$$Ix\ = 0,5\varrho * Cox * \omega x^2 * Ax^2 \qquad (4.24)$$

gdzie: Vx- prędkość drgań na kierunku X, Vx=2πfxAx, ωx=2πfx , czyli podstawiając do wzoru (4.24) otrzymamy:

$$Ix= 0,5\varrho* Cox*Vx^2 \qquad (4.25)$$

Ciśnienie Px fali na kierunku X związane jest z prędkością drgań ośrodka zależnością:

$$Px=Ix/Vx.$$

Dla ośrodka jednorodnego prędkość drgań cząsteczek ośrodka zależy od ciśnienia, zatem pole ciśnienia w ośrodku pokrywa się z polem prędkości drgań ośrodka.

$$Px=1/8\ \varrho mw\cdot Vt^2\ [Pa],$$

gdzie: ϱ_{mw}-gęstość objętościowa MW [kg/m³];·V_t- prędkość fali detonacyjnej w MW [m/s]; Vx –prędkość drgań punktu harmonicznie drgającego[m/s]; Ix– natężenie fali podłużnej [W/m²]; ϱ – gęstość ośrodka [kg/m³]; Ax – amplituda drgań punktu drgającego [m]; Cox– prędkość fali w ośrodku na kierunku X równa ilorazowi odległości jaką przebywa fala do czasu, w którym to następuje [m/s]; ω – pulsacja [rad/s], $\omega x=2\pi fx$, gdzie fx to częstotliwość drgań fali na kierunku X [1/s].

Natężenie fali parasejsmicznej sinusoidalnej płaskiej od ładunku cylindrycznego w odległości r na kierunku X jest to stosunek mocy MW umieszczonego w otworze do 1m² powierzchni walcowej o wysokości H i promieniu r, co można zapisać w postaci:

$$Ix = [Qe * Qz * Wfn * Vt]\frac{1}{\pi * r\ H * tr}\ \ [W/\ m^2\ ] \qquad (4.26)$$

gdzie:·tr–czas przejścia fali detonacyjnej przez długość ładunku Lł=0,8H w otworze tr=0,8H/Vt; Vt - prędkość fali detonacyjnej[m/s]; Cox-prędkość fali podłużnej w ośrodku na kierunku X; Qe –energia spalania MW [kJ/kg]; Qz- ilość MW na jedną zwłokę czasową [kg]; Wfn- wskaźnik zmniejszania prędkości drgań w funkcji ilość zwłok czasowych.H-wysokość bloku skalnego.

Porównując natężenie fali akustycznej $Ix=0{,}5\varrho*Cox*\cdot Vx^2$ z natężeniem fali parasejsmicznej - wzór 4.26 - otrzymamy wzór na prędkość drgań ośrodka na kierunku X:

$$Vx = \left(\frac{Vt}{H}\right)\left[\frac{2\ Qe*\ Qz*\ Wfn}{r*\varrho*Cox*\pi*0{,}8}\right]^{½}\ \left[\frac{m}{s}\right] \qquad (4.27)$$

Uwzględniając przemysłowe urabianie strzelaniem na jednym poziomie i stosowane parametry, które najczęściej są stałe jak: D, ϱ, Co, Qz, Qs,Vt lub mało się zmieniają jak: n i H oraz przyjmując, że Lł=0,8H otrzymujemy wzór na maksymalną prędkość drgań na kierunku X.:

$$Vx = \left[\frac{0{,}9\ Vt}{H}\right] * [(\ Qz * Qe * Wfn)/:/(r * \varrho * Cox)]\text{^}(½)\ \ \left[\frac{m}{s}\right] \quad (4.28)$$

gdzie: Wfn- wskaźnik zmniejszania prędkości drgań w funkcji ilość zwłok czasowych.

Ze wzoru (4.28) wynika, że prędkość drgań zależy od 8 parametrów i stosując je można zwiększyć dokładność jej określania. Ciśnienie P fali na kierunku X związane jest z prędkością drgań ośrodka dla odległości r za pomocą zależności:

$P_{xr}=I_{xr}/V_{xr}$, $P_{ox}=1/8\ \varrho_{mw}\cdot V_t^2$,

gdzie: ϱ_{mw}-gęstość objętościowa MW; V_t- prędkość fali detonacyjnej w MW P_{ox}–ciśnienie maksymalne na osi X. ,

Amplitudę ciśnienia P_{rx} na osi tłoka X w odległości r oblicza się [Talarczyk (1990), Internet(1/2020.2/2020.3/2020)] ze wzoru:

$$Prx = 2\ Pox * sin\ [\frac{\pi}{\lambda}(\frac{D^2}{4} + r^2)\text{^}(½)\ - r\ ] \qquad 4.29)$$

gdzie: P_{ox}–ciśnienie maksymalne na osi X.

Do wzoru $V_{rx}=I_{rx}/P_{rx}$ wstawiając dane górnicze z równania 4.26 i 4.29 otrzymamy wzór na prędkość drgań na kierunku X:

$$Vx = 1{,}6[(Qe * Qz * Wfn)/`:/\{(r * H^2) * \ (\varrho mw * \ sin[(\frac{\pi}{\lambda})(Cyb * Czb + r^2)\text{^}(½)\ - r])\}\ [m/s] \qquad (4.30)$$

C_{yb}- przekątna pola wysokości i długości bloku skalnego; C_{zb}- przekątna pola długości i zabioru/grubości bloku skalnego/.

Ze wzoru (4.30) wynika, ze prędkość drgań jest zależnością harmoniczną a kąt przy sinusie większy niż 90 stopni daje zależność kosinusoidalną. Wyprowadzone zależności wymagają weryfikacji w dalszych badaniach dla pola bliskiego jak i dalekiego. Na podstawie badań doświadczalnych należy określić tłumienie fali i wartości potęgowe tłumienia do odległości r dla równań 4.26-4.30. Dopiero po pozytywnej weryfikacji będą mogły być one stosowane do praktycznych zastosowań.

4.2.11 Współczynnik przenikania energii fali do ośrodka drugiego

Współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego zależy od impedancji akustycznej jednego ośrodka Z_1 oraz impedancji akustycznej drugiego ośrodka Z_2.W przypadku urabiania skał w bloczku i bloku skalnym, ośrodek jest jeden i impedancja akustyczna taka sama. Natomiast stopień przejścia energii z MW na skałę określa współczynnik przenikania energii Tp, [Talarczyk(1990)].

$$Tp=1-R, \qquad (4.31)$$

$$R = [(Z2 - \ Zx1)/:/(Z2 + \ Zx1)]\text{^}(2) \qquad (4.32)$$

gdzie: Z_{x1}-impedancja akustyczna skały na kierunku X, $Z_{1x}= C_{ox} *\rho_s$ czyli iloczyn prędkości fali podłużnej w bloku skalnym na kierunku X i gęstości objętościowej urabianej MW skały; Z_2-impedancja akustyczna MW,

$Z_2=V_t*\rho_{mw}$; T_p- współczynnik przenikania energii fali detonacyjnej z MW do ośrodka skalnego stosowany w monografii do praktycznych obliczeń.

4.2.12 Dyfrakcja, przeszkoda na drodze fali

Dyfrakcja [Internet(1/2020, 2/2020,3/2020)] to ugięcie fali na krawędzi przeszkody na trasie propagacji fali. Fale o niższych częstotliwościach (większych długościach) uginają się łatwiej niż fale o wyższych częstotliwościach (krótsze). Skutek fizyczny tego zjawiska jest taki, że fale o dłu-gościach porównywalnych z wymiarami przeszkody oraz o długościach większych - omijają tę przeszkodę praktycznie bez żadnego tłumienia i jej nie zauważają. Gdy w przestrzeni, w której rozchodzą się fale sejsmiczne znajduje się przeszkoda o rozmiarach dużych w stosunku do długości fali, bieg fali zostaje zakłócony. Następuje odbicie zupełne lub częściowe zgodnie z zasadami wynikającymi z twierdzenia Huygensa [Internet - (1/2020, 2/2020, 3/2020)].

4.2.13 Prędkość fali i prędkość drgań cząsteczki ośrodka

Prędkość fali jest to prędkość, z jaką dowolna faza fali rozchodzi się w ośrodku jednorodnym o nieograniczonych rozmiarach, czyli jest to prędkość fazowa. Jeżeli w pewnych odstępach czasu następuje wysyłanie grupy drgań to mamy do czynienia z prędkością grupową. Jeżeli nie występuje zmiana prędkości fali grupowej z częstotliwością to równa jest ona prędkości fazowej [Talarczyk (1990)]. Zmiana prędkości fali grupowej z częstotliwością nazywana jest dyspersją fali i występuje w ośrodku o ograniczonych wymiarach jak płyty lub pręty, co nie ma miejsca podczas strzelania w masywie skalnym. Prędkość fali podłużnej Co w ośrodku nieograniczonym wyraża się wzorem:

$$C_o=[E*(1-\nu)/:/\rho(1+\nu)*(1-2\nu)]^{\wedge 2} \qquad (4.33)$$

Prędkość fali poprzecznej Ct w ośrodku nieograniczonym:

$$C_t=[E/:/2\rho(1+\nu)]^{\wedge 2} \qquad (4.34)$$

Znając Co i Ct można obliczyć ν:

$$C_o/C_t=[\ 2(1-\nu)/:/\ (1-2\nu)]^{\wedge(1/2)} \qquad (4.35)$$

Gdzie: orientacyjny stosunek Co/Ct wynosi:- dla skał krystalicznych Co/Ct = 1,67; -dla skał osadowych Co/Ct = 2,00; -dla gleby Co/Ct = 2,5; Fala powierzchniowa Rayleigh´a, R =0,9 Ct; ρ-gęstość objętościowa; ν- liczna Poissona.

Maksymalną prędkość drgania cząsteczki ośrodka Vm przy przejściu fali obliczamy z zależności:$V_m=2\pi*f_m*A_m$; gdzie;Am,fm-największa amplituda i częstotliwość.

4.3 Nowe zależności do określania częstotliwości drgań bloczka skalnego, bloku skalnego i masywu

Model przedstawiony na Rys. (4.14) jest to układ o 1 stopniu swobody bez strat [Internet (1/2020, 2/2020, 3/2020)]. Dla tego modelu wyprowadzona została zależność określająca częstotliwość drgań własnych ciała o masie „ m”, na które działa siła Px przesuwająca ciało o wielkość Δlx. Podczas przesuwania się ciało ściska sprężynę. Taki model jest najbliższy blokowi skalnemu, który wskutek działania ciśnienia powstałego po wybuchu MW ściska pozostały poza urabianym blokiem urabiany ośrodek. Częstotliwość drgań własnych odstrzelonego bloczku skalnego na kierunku X wynoszą :

$$fx=[1/(2\pi)]*[kx/m]^{\wedge ½}; [(N/(m^2* kg)] \quad (4.36)$$

gdzie: kx- sztywność [N/m²]; m- masa ciała [kg], m= ρs *Vbo czyli iloczyn gęstości objętościowej i objętości bloczka skalnego [(kg/m³)*m³].

Za sztywność ciała, powszechnie [Bednarz, Bieleń (2017), Internet(4/2020)] uważa się wartość modułu sprężystości Younga E, co można przedstawić na kierunku X jako:

$$fx=[(1/2\pi)]*[Ex/(\rho s *Vbo)]^{\wedge ½} [(N/(m^2* kg)], \quad (4.37)$$

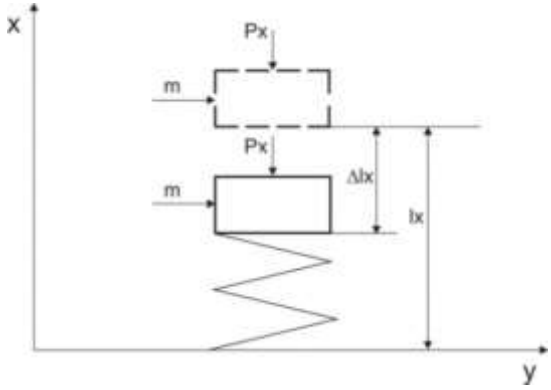
w równaniu 4.37 można zastąpić Ex z zależności: σ=E*ε

$$Ex * \varepsilon x = \frac{Px}{Ax} \quad (4.38)$$

stąd:

$$fx=[(1/2\pi)]*[Px/:/(Ax * \varepsilon x * \rho s *Vbo)]^{\wedge ½} \quad (4.39)$$

Podstawiając za Px/Ax=(ρmw*Vt²), [N/m²] oraz za $\varepsilon x = Vx/Cox$ [Pyra(2016) Sołtys, Winzer] otrzymamy:



Rys. 4.14 Model układu o 1 stopniu swobody bez strat dla obliczenia częstotliwości drgań własnych urabianego strzelaniem bloczka skalnego [Internet(1/2020, 2/2020,3/2020)]

fx=[1/(2π)]*[ρmw*Vt² *Tpx*Cox/:/(ρs *Vbo*Vx)]^(½) [(N/(m²* kg)] (4.40)

ostatecznie:

fx=[(Vt/2π]*[ρmw * Tpx*Cox/:/(ρs *Vx*H*Ly*z)]^(½) (4.41)

-częstotliwości drgań własnych odstrzelonego bloczka na kierunku Y-stycznym:

fy=[(Vt/2π]*[ρmw * Tpy*Coy/:/(ρs *Vy*H*Ly*z)]^(½) (4.42)

-częstotliwości drgań własnych odstrzelonego bloczka na kierunku Z-pionowym:

fz=[(Vt/2π]*[ρmw * Tpz*Coz/:/(ρs *Vz*H*Ly*z)]^(½) (4.43)

gdzie: Vt – prędkość detonacji MW [m/s]; z*H*a wymiary bloczku skalnego [m³]; z-zabiór; a- odległość między otworami; Cox.Coy,Coz- prędkość fali podłużnej na kierunku X,Y,Z [m/s]; Vx, Vy, Vz- prędkość drgań cząsteczek ośrodka na kierunku X,Y,Z [m/s]; Tpx, Tpy, Tpz - współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego z MW do skały[-]na kierunku X,Y,Z; ρs, ρmw - gęstość pozorna skały i MW [kg/m³] Vbo-objętość urabianego bloczku skalnego [m³].

Z zależności (4.40) i (4.41) wynika, że podczas natychmiastowego odstrzału wszystkich otworów w bloku skalnym częstotliwość drgań zależy od ilości odstrzeliwanych bloczków. Za każdym dodanym do odstrzelenia bloczkiem częstotliwość drgań obliczona dla jednego bloczka zmniejsza się o pierwiastek z 2. Ze wzoru (4.39) podstawiając za $\frac{Px}{Ax} = Vt^2 * \rho mw * Tp$ [N/m²] oraz za $\varepsilon x = \frac{\Delta l}{l} = A/z$ otrzymamy, że amplituda drgań na kierunku X i Y, bloczka bo skalnego:

Axbo=$(Vt^2 * \rho mw * Tp)$/:/(fx²*4π²*z) (4.44)

Aybo=$(Vt^2 * \rho mw * Tp)$/:/(fy²*4π² a) (4.45)

Zależności (4.41) i (4.42) zostały pozytywnie zweryfikowane w czasie badań wykonanych w monografii, natomiast pozostałe wymagają pomiarów weryfikujących.

4.3.1 Częstotliwości drgań bloku skalnego i masywu

Wyprowadzone wzory (4.41); (4,42); (4.43) dotyczą częstotliwości drgań własnych bloczka skalnego. Obliczenia częstotliwość drgań bloku skalnego w pierwszym przybliżeniu dokonuje przy następujących założeniach; a) ze względu na małe czasy zwłok, w czasie strzelania milisekundowego odpalanie wszystkich otworów następuje natychmiastowo, co pozwala przyjąć, że prędkość drgań bloczka równa się prędkości drgań bloku skalnego, b) drgająca masa jest równa masie wszystkich odpalanych bloczków-masie bloku skalnego, c) obliczona według założeń a) i b) częstotliwość drgań bloku skalnego zostaje pomniejszona poprzez uwzględnienie wpływu ilości zwłok czasowych oraz wymiarów geometrycznych bloku skalnego. Na częstotliwość drgań bloku

skalnego działa ilość odpalanych kolejno otworów. Dla strzelania milisekundowego empirycznie określony wskaźnik wpływu ilości zwłok czasowych na częstotliwość drgań bloku Wfn wynosi:

$$Wfn = [1 + 0{,}05i]^{\wedge a} \qquad (4.46)$$

gdzie: i-ilość zwłok czasowych; a-wskaźnik potęgowy - a=1/3 dla bazaltów i dolomitów.

Na częstotliwość drgań bloku skalnego mają wpływ także jego wymiary. Wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań czyli bloku skalnego w stosunku do kulistego lub walcowego źródła drgań uwzględnia Wfgb-wskaźnik wymiarów geometrycznych żródła drgań zmniejszający częstotliwość drgań bloku skalnego i fali sejsmicznej wg zależności:

$$Wfgb=[H^* z]^{\wedge}(½) \ / \ Ly \qquad (4.46a)$$

gdy H=D, z=D, Ly=D, a D jest średnicą kuli lub walca to dla takiego jednostkowego źródła drgań Wfgb=1. Dla innych wymiarów źródła drgań otrzymane wartości będą mniejsze. Dzieląc obliczoną częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla odstrzelonego bloczku skalnego fx , fy na kierunku X i Y przez wskaźnik wpływu ilości zwłok czasowych Wfn i mnożąc przez wskaźnik wymiarów geometrycznych źródła drgań, otrzymujemy wartość częstotliwości drgań bloku skalnego, teoretycznie równą maksymalnej wartości częstotliwości drgań masywu złoża fxmm lub fymm. Zależność (4.46) i (4.46a) została pozytywnie zweryfikowana w czasie badań przedstawionych w monografii.

4.3.2 Odkształcenie względne, prędkość drgań bloczka i bloku skalnego

Z prawa Hook'a dotyczącego próbek laboratoryjnych wynika, że $\varepsilon = \sigma/E$, $\sigma=E^*\varepsilon * Ww$, dla próbek laboratoryjnych wskaźnik wielkości próbki wynosi Ww=1. Przechodząc do warunków urabiania bloczka skalnego otrzymujemy $\sigma = Vt^2 * \rho mw * Tp$ [N/m²]. Dla dynamicznego działania siły, statyczny moduł sprężystości E-zastępujemy dynamicznym modułem akustycznym Ha [N/m²]. Wielkość bloczka skalnego w stosunku do wielkości próbki laboratoryjnej uwzględniamy poprzez wskaźnik wielkości bloczka skalnego Ww. Na kierunku X, εx obliczamy z równania (4.47) :

$$\varepsilon x = \frac{Vt^2 * \rho mw * Tp}{\frac{(Hax * Ww)}{1}} \qquad (4.47)$$

Z równania (4.47) wynika, że zwiększając ilość otworów w liczniku równą ilości bloczków w mianowniku otrzymujemy εx takie samo, czyli zwiększając ilość odpalanych natychmiastowo otworów nie zwiększamy prędkości drgań całego bloku skalnego. Jest ona równa prędkości drgań otrzymanej z odpalenia pojedynczego otworu. Jest to bardzo ważne stwierdzenie dotąd niejednoznacznie interpretowane. Podobnie obliczamy εy na kierunku Y. Predkość drgań bloczka skalnego obliczamy z równania (4.48):

$$Vx=\varepsilon x * Cox \text{ ;} Vy= \varepsilon y * Coy \qquad (4.48)$$

Równania (4.47) i (4.48) potwierdzają stosowaną empiryczną zależność (2.1) i (2.3), że prędkość drgań zależy od wielkości ładunku MW odpalanego w tym samym momencie. Na prędkość drgań bloku skalnego mają wpływ jego wymiary. Prędkość drgań bloku skalnego Vxb zostaje zmniejszona w zależności od stosunku wymiarów geometrycznych źródła drgań, czyli bloku skalnego do wymiarów kulistego lub walcowego jednostkowego źródła drgań według zależności:Vxb =Wvgb*Vx; dla jednorzędowego/ bloku/ źródła drgań: Wvgb={[(H*z)^(½))/Ly]}^(1/4), stąd Vxb wynosi:

$$Vxb=(Vx/Wfn)*\{[(H* z)^ (½)) / Ly]\}^(1/4) \qquad (4.48a)$$

a dla trójrzędowego źródła drgań:

$$Wvgb=[(H* z)^ (½)) / Ly] \qquad (4.48b)$$

Na prędkość drgań bloku skalnego ma wpływ ilość odpalanych zwłok. Wfn-wskaźnik wpływu ilości odpalanych zwłok na prędkość drgań wzór (4.46), gdy H=D, z=D, Ly=D, a D jest średnicą kuli lub walca, to dla takiego źródła drgań Wfgb=1. Dla innych wymiarów źródła drgań otrzymane wartości będą mniejsze. Na końcową prędkość drgań bloku skalnego mają wpływ warunki falowe Wvb bloku. Obliczona prędkość drgań Vxb przechodząca z bloku skalnego, na masyw Vxbm zostaje zmniejszona wskutek przechodzenia fali poprzez blok skalny, którego wymiary w stosunku do jej długości stwarzają jej warunki przechodzenia jak w ośrodku ograniczonym, co uwzględnia wskaźnik warunków falowych bloku Wvb. Wskaźnik warunków falowych dla prędkości drgań bloku wynosi:

$$Wvb=Vxb/(fxb * z) \quad \text{lub} \quad Wvb=(Vxb)/(fxmm*z) \qquad (4.49)$$

Największą prędkość drgań przechodzącą z bloku skalnego na masyw Vxbm obliczamy z zależności:

$$Vxbm = Vxb * Wvb \qquad (4.50)$$

Mnożąc obliczoną prędkość drgań fali sejsmicznej przechodząca z bloku skalnego Vxb, Vyb na masyw na kierunku X i Y przez wskaźnik wpływu warunków falowych Wvb otrzymujemy wartość prędkość drgań fali sejsmicznej teoretycznie równej maksymalnej wartości prędkość drgań masywu Vxmm, Vymm. Zależności (4.47; 4.48; 4.48a, 4.48b, 4.49 i 4.50) zostały pozytywnie zweryfikowane w czasie badań podanych w monografii.

4.3.3 Określenie największej amplitudy przemieszczenia Am

Z równania (4.47) podstawiając za $\varepsilon x = \frac{\Delta l}{l} = A/z$ i przyjmując, że Δl=A, a l=z gdzie: A- najwieksza amplituda drgań; l=z=zabiór, otrzymamy, że największa amplituda drgań na kierunku X bloczka skalnego Axm równa się:

$$Axm= [z (Vt^2 *\rho mw*Tpx)]/:/[(Hax*Ww)] \quad (4.51)$$

Największa amplituda drgań na kierunku Y bloczka skalnego Aym wynosi:

$$Aym= [a (Vt^2 *\rho mw*Tpy)]/:/[(Hay*Ww)] \quad (4.52)$$

Zwiększając ilość otworów w liczniku równą ilości bloczków w mianowniku otrzymujemy Axm takie samo, czyli zwiększając ilość odpalanych natychmiastowo otworów nie zwiększamy amplitudy drgań całego bloku skalnego i jest ona równa amplitudzie drgań otrzymanej z odpalenia pojedynczego otworu. Zależności (4.51) i (4.52) nie zostały zweryfikowane w czasie badań omówionych w monografii i wymagają pomiarów weryfikujących.

4.3.4 Określenie średnicy otworu strzałowego

Średnica otworu strzałowego - D wpływa pośrednio na efekt urabiania strzelaniem. Na jej podstawie dobiera się zabiór - z i odległość między otworami - a, np. z=30D, a=45D. Brak jest zależności, które uwzględniając wytrzymałość skały na ściskanie i siłę działania MW pozwalałaby na jej racjonalny dobór. Opierając się na prawie Hooke'a i na analizie wymiarowej opracowano zależność, którą z pozytywnym wynikiem sprawdzono dla złoża bazaltu i dolomitu. Niemniej wymaga ona dalszych badań. Z prawa Hook'a wynika, że $\sigma=E*\varepsilon$. Przechodząc do warunków urabiania bloczka skalnego: $\sigma=\rho mw*Qe$ [N/m²]. Dynamiczną wartość sprężystości masywu Es obliczamy jako iloczyn $Es=\rho s*Co^2$ [N/m²]. Na kierunku X, siła Pxo na średnicy D i długości otworu H wynosi $Pxo=\sigma x*(\pi\ Dx/2)*H$ [N], gdzie: σx-średnie ciśnienie na kierunku X, $\sigma x=0,5\ \sigma$. Naprężenie σxm na długości H i szerokości bloczka skalnego „a" to $\sigma xm=Pxo/(a*H)$. Podstawiając dane teoretyczne do wzoru $\sigma=E*\varepsilon$ otrzymano: $Dx= [\rho s*Cox*Vx*4*a] / [\pi*\rho mw*Qe*Tp]$. Tak obliczona średnica Dx jest 1,57 razy mniejsza niż ze wzoru (4.52a). Z empirycznych obliczeń średnicy otworu wynika, że dla kierunku radialnego X, naprężenie w otworze jest proporcjonalne do 0,5D oraz odwrotnie proporcjonalne do długości" a" bloczka, na który działa, co można zapisać: $\sigma x*0,5D/a$ [N/m²]. Dla kierunku stycznego Y, przyjęto podobnie, że naprężenie w otworze jest proporcjonalne do 0,5D oraz odwrotnie proporcjonalne do szerokości „z" bloczka /zbioru/, na który działa co można zapisać: $\sigma y*0,5D/z$. Stąd $\sigma x*0,5D/a$ [N/m²]$=Ex*\varepsilon x$ [N/m²]; $\varepsilon x= Vx/Cox$. Podstawiając powyższe dane otrzymamy:$\rho mw*Qe*0,5Dx*Tp=\rho s*Co^2*\varepsilon x*a$, dalej: $\rho mw*Qe*0,5Dx*Tp*Cox=\rho s*Cox^2*Vx*a$, skąd:

$$Dx = [\rho s * Cox * Vx * 2 * a] / [\rho mw * Qe * Tp] \quad (4.52a)$$

gdzie: ρs, ρmw-gęstość objętościowa skały i MW; Cox prędkość fali podłużnej w masywie; Vx- prędkość drgań bloku skalnego; Qe- energia spalania MW;,a-odległość między otworami; Es-dynamiczny moduł sprężystości masywu na kierunku X. Dx- średnica otworu dla skały o właściwościach wytrzymałościo-

wych na kierunku X; Tp-współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego.

Zniszczenie ciągości i rozdrobienie masywu skalnego podczas jego urabiania następuje głównie poprzez przekroczenie jego wytrzymałości na ściskanie. Róznica wytrzymałości na ściskanie masywu skalnego w dwóch prostopadłych kierunkach dochodzi do 40% o czym świadczy mpirycznie dobierany przez inżynierów podczas obliczania parametrów strzelania stosunek odległości między otworami „a" kierunek Y, do zabioru „z" kierunek X, który do tych obliczeń wynosi; a=(1-1,4)*z. W punkcie 4.4.4.2 monografii dla strzelania w badaniu T8, zastosowano „a" o wartości a=1,51*z co świadczy, że wytrzymałość na ściskanie masywu skalnego prostopadle do głównego kierunku szczelinowatości jest nawet 1,51 razy większa, niż wytrzymałość na ściskanie masywu skalnego równolegle do głównego kierunku szczelinowatości. Stosunek zabioru „z" do odległości między otworami „a" nazwano geometryczną anizotropią właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego i oznaczono Awg. Geometryczna anizotropia właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to: A_{wgx}=z/a i A_{wgy}=a/z. Stosunek prędkości drgań na kierunku X do prędkości na kierunku Y nazwano prędkościową anizotropią Awv właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego i oznaczono Awv. Prędkościowa anizotropia Awv właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Yto: A_{wvx}=Vx/Vy i A_{wvy}=Vy/Vx. Stosunek obliczonej średnicy otworu Dx uwzgledniającej parametry wytrzymałościowe urabianego MW masywu na kierunku X do obliczonej średnicy otworu Dy uwzględniającej parametry wytrzymałościowe urabianego MW masywu na kierunku Y nazwano otworową anizotropią i oznaczono Awo. Otworowa anizotropia Awo właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to: A_{wox}=Dx/Dy i A_{woy}= Dy/Dx. Znając zależności pomiędzy tymi rodzajami anizotropii i uwzględniając właściwości wytrzymałościowe masywu skalnego, można właściwie dobierać zabiór i odległość między otworami. Dobierany empirycznie dla strzelań stosunek odległości między otworami „a" do zabioru „z" nie był nigdy teoretycznie obliczany jak to przedstawiono w monografii, a jest on wynikiem anizotropii właściwości wytrzymałościowych urabianego masywu skalnego na kierunku X-„z" zabioru i kierunku Y „a" odległości między otworami. Największy stosunek otworowej anizotropii A_{wox} odpowiada stosunkowi, do którego powinna dążyć wartość geometrycznej anizotropii, A_{wgy}=a/z.

4.4 Doświadczalna weryfikacja teorii pola fali sejsmicznej

W czasie strzelania milisekundowego procesy urabiania skały zachodzą prawie jednocześnie. Aby uporządkować kolejność obliczeń prędkości i częstotliwości drgań procesy te umownie przyporządkowano poszczególnym etapom. Etap I to odpalenie pierwszego otworu o średnicy np.102 mm i urobienie bloczka skalnego o wymiarach H*a*z. Dla odległości równej 15 promieni otworu, czyli do promienia 76,5 cm, rozchodzi się fala udarowa. Dla odległości równej 500 promieni otworu, czyli do promienia 26.00+0.76.5 m, rozchodzi się fala pośrednia. Dalej rozchodzi się fala sejsmiczna, której częstotliwość jest tylko o

9% wyższa niż fali pośredniej. Dlatego przyjęto, że obliczona ze wzoru teoretycznego częstotliwość drgań własnych bloczka skalnego, czyli fali pośredniej pomnożona przez 1,09, jest równa częstotliwości drgań fali sejsmicznej w źródle drgań. W Etapie I ze wzoru teoretycznego obliczamy prędkości i częstotliwości drgań jednorzędowego bloku skalnego jako prędkości i częstotliwości drgań fali sejsmicznej. Następnie uwzględniając ilość zastosowanych zwłok czasowych (najczęściej 1otwór=1 zwłoka) i wymiary urabianego bloku skalnego zależne od ilości odstrzelonych w bloku bloczków skalnych, obliczamy prędkość i częstotliwość drgań fali sejsmicznej /bloku skalnego/. W monografii empirycznie określono parametry i ich ilościowy wpływ na zmniejszanie się prędkości i częstotliwości drgań bloku skalnego. Uwzględnienie ilości zastosowanych zwłok czasowych oraz wymiarów geometrycznych bloku skalnego w stosunku do wymiarów kulistego lub walcowego źródła drgań powoduje zmniejszenie obliczonej częstotliwości drgań fali sejsmicznej, a tym samym bloku skalnego i zwiększenie długości fali podłużnej rozchodzącej się w urabianym bloku skalnym. Fala ta jest dłuższa od największego wymiaru bloku skalnego i rozchodzi się w bloku skalnym podobnie jak w warunkach ośrodka ograniczonego. Etap II. Rozchodzenie się fali podłużnej w bloku skalnym odbiega od warunków rozchodzenia się fali podłużnej w ośrodkach o ograniczonych wymiarach, jak w pręcie lub w płycie, gdzie warunki i zależności zostały teoretycznie opracowane [Dobrucki (1987)]. Natomiast dla ośrodka, w ten sposób ograniczonego, brak teoretycznych opracowań do określania prędkości i częstotliwości drgań fali podłużnej. Dlatego w monografii aby rozwiązać ten problem, empirycznie określono czynniki zmniejszające prędkości i częstotliwość fali sejsmicznej w bloku skalnym i określono wskaźniki przejścia prędkości i częstotliwości drgań z bloku skalnego na masyw złoża. Obliczona w Etapie II prędkość i częstotliwość drgań bloku skalnego, uwzględniając poczynione wcześniej założenia i uproszczenia w wykonaniu obliczeń, powinna być bliska pomierzonych na masywie złoża podczas strzelania maksymalnym wartościom prędkości i częstotliwości drgań fali sejsmicznej. Na każdym Etapie obliczeń określane są współczynniki przejścia prędkości i częstotliwości drgań między kolejnymi etapami, aż do masywu skalnego. Z monografii wynika, że na podstawie pomiarów wykonanych na masywie złoża oraz znając współczynniki przejścia prędkości i częstotliwości drgań fali sejsmicznej między kolejnymi etapami można określać częstotliwość drgań w Etapie I szczególnie istotnym dla dobierania zwłoki czasowej „tz" w strzelaniu milisekundowym.

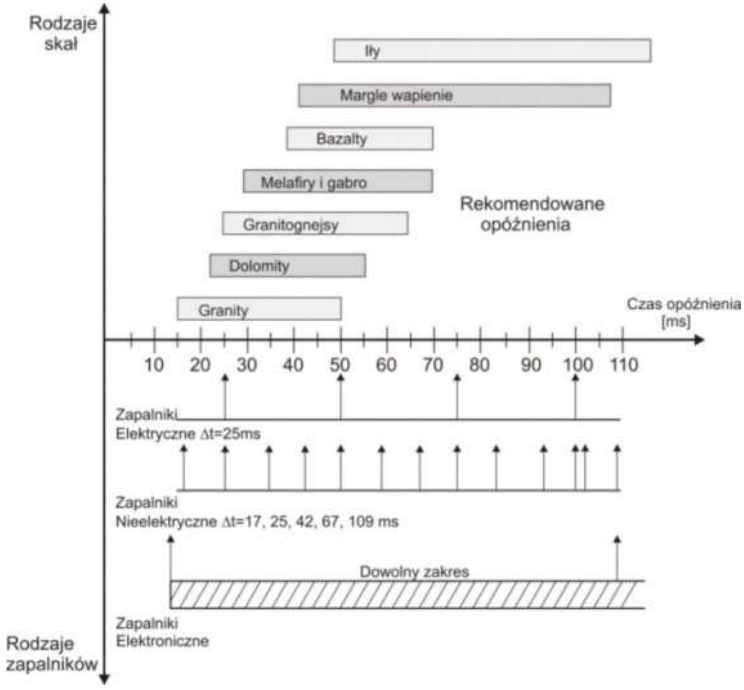
4.4.1 Częstotliwości drgań fali parasejsmicznej stan obecny

Twierdzi się [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer], że pomierzona częstotliwość drgań fali parasejsmicznej jest efektem nakładania się częstotliwości wielu fal powstających podczas urabiania bloku skalnego MW. Po wykonanej analizie kilku strzelań okazało się, że jest to częstotliwość jednej fali radialnej, stycznej lub pionowej o największej prędkości i częstotliwości zmieniającej się w polu bliskim po krzywej sinusoidalnej. W naukowej literaturze dotyczącej drgań parasejsmicznych nie ma obecnie żadnej teoretycznej lub empirycznej zależności

do obliczania częstotliwości drgań fali parasejsmicznej lub jej poziomych: radialnej i stycznej. Stosowane są natomiast wzory empiryczne do obliczania okresu drgań fali parasejsmicznej, aby do niego dobierać czas zwłoki milisekundowej podczas strzelania. Okres drgań T fali parasejsmicznej określa się z kilku empirycznych zależności [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer, Grześkowiak (2019), Sołtys (2011)]:

$$1)\ T = 0{,}023[Qc]^{\wedge}(0{,}185),\ \ 2)\ T = [Qc]^{\wedge}(0{,}33),\ \ 3)\ T = k\ log\ r \qquad (4.53)$$

gdzie: k=0,01- 0,13; r- odległość od źródła drgań w [m]; Qc –całkowita ilość MW użyta do strzelania w [kg] – k=0,01 skały zwięzłe, k=0,13 skały słabe i zawodnione. Pierwsza zależność nie uwzględnia ciśnienia i siły MW, a otrzymywane wyniki z tej zależności są mniejsze niż otrzymywane z pomiarów. Zależność druga daje czas odpalenia następnego otworu w przedziale 10-50 ms. Z zależności trzeciej otrzymywane wyniki są tego samego rzędu, co otrzymywane z pomiarów. Zależności te są również niedokładne, ponieważ nie uwzględniają częstotliwości drgań zmieniającej się po krzywej sinusoidalnej w polu bliskim i tłumienia drgań w polu dalekim. Na Rys. 4.15 podano stosowane w praktyce strzelań czasy zwłoki milisekundowej. Dopiero opracowane i empirycznie sprawdzone równania (4.41) i (4.42) pozwalają na obliczenie i dobranie właściwego czasu zwłoki milisekundowej, co pokazano na podanym poniżej przykładzie.



Rys. 4.15 Rekomendowane oparte na praktyce strzelań czasy zwłoki milisekundowej [Modrzejewski(2014)]

4.4.2 Porównanie częstotliwości pomierzonej z obliczoną z zależności sinusoidalnej dla pola bliskiego

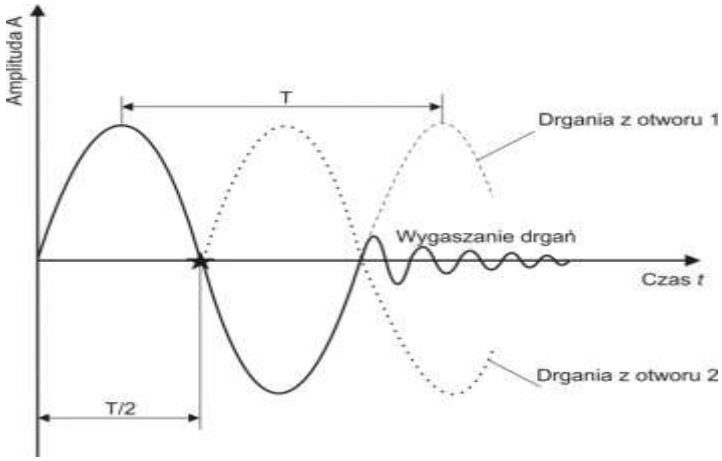
Maksymalna wartość radialnej częstotliwości masywu w polu bliskim fxmm obliczona ze wzoru teoretycznego (4.21) pozwala na określanie częstotliwości radialnej fxr drgań w polu bliskim, w odległym od źródła drgań punkcie „r". Podobnie, ze wzoru (4.22) obliczamy częstotliwość styczną fyr. Mając dwa pomiary częstotliwości drgań w odległości „r" i (r+a) możemy obliczyć z tej zależności prędkość fali i częstotliwość maksymalną dla fali sejsmicznej. Wyniki obliczeń dla Badania T-3 [Nicholls(1971), Johnson, Duvall] sporządzonego przy odpalaniu trzech otworów, pierwszy odpalony natychmiastowo a 2 i 3 ze zwłoką 17ms, w złożu dolomitu o prędkości fali radialnej Cox=2741m/s oraz częstotliwości maksymalnej masywu fxmm=50,6 Hz w polu bliskim podano poniżej w Tabeli 4.1. Z tabeli wynika prawie 100 % zgodność pomierzonej częstotliwości radialnej /fxr-pom/ drgań w polu bliskim z częstotliwością obliczoną /fxr-oblicz/ ze wzoru teoretycznego (4.21).

Tabela 4.1 Wyniki pomiarów i obliczeń częstotliwości z zależności sinusoidalnej dla badań T.3 [Nicholls (1971),Johnson, Duvall]

L.p.	r [m]	fxrm pom. [Hz]	fxr oblicz. dla fxmm= 50,6 Hz i prędkości 2741[m/s]	Odległość r w [λ] λ=54,17m dla foxmm i Cox	Prędkość Vxm pomierzona [cm/s]	Prędkość Vxomm obliczona dla fxmm-z poz.1 Vxomm [cm/s]
1	2	3	4	5	6	7
	41	foxmm	50,55	0,76 λ	początek pola bliskiego	
1	45,6	40	43,6	0,84 λ	4,49	8,8
2	70,1	45	41,1	1,29 λ	1,83	
3	97,2	50	50,07	1,79 λ	1,16	
4	122	50	49,99	2,26 λ	0,74	
5	167,3	40	18,2	3,09 λ	0.60	
6	228	18	0,9	4,21 λ	0.31	
7	289	50	50,1	5,33 λ	0,155	
8	285	foxmm	=50,6	5,23 λ	koniec pola bliskiego	

Opis Tabeli 1; fxr.pom.-częstotliwość pomierzona w odległości r , fxr.oblicz-częstotliwość obliczona dla odległości r z zależności sinusoidalnej (4.21).

Pozycja 1-fala 1 początek obliczonego pola bliskiego, poz.8 -fala 6 koniec obliczonego pola bliskiego.Wyniki pomiarów obliczonych w punkcie 6 i 7 różnią się od pomierzonych w związku z przejściem sinusoidy z pola bliskiego Rys.4.12 w krzywą w polu dalekim. Pozycja 6 dotyczy niskich wartości częstotliwości przy końcu pola bliskiego Rys.4.12 a pozycja 7 to wartość wysokich częstotliwości na początku pola dalekiego. Częstotliwości maksymalna masywu na początku pola bliskiego występuje przy odległości 41 m /0,76λ/ i na końcu pola bliskiego występuje przy odległości 285 m. Odległość tę jako 5,23 λ długości fali, przyjęto jako koniec pola bliskiego i początek pola dalekiego. Tym samym doświadczalnie określono dla złoża dolomitu koniec pola bliskiego i początek pola dalekiego. Odpalenie 2 otworu nastąpiło gdy sinusoida częstotliwości znajdowała się w odległości 50 m (0,92 λ) a następny pomiar 2 częstotliwości wykonano w odległości 70,1 m /1,29λ /. Wyniki częstotliwości pomierzone w punkcie 2 dla fali drugiej różnią się od obliczonych. Odpalenie 3 otworu nastąpiło gdy sinusoida częstotliwości znajdowała się w odległości 100m (1.56 λ) a następny 4 pomiar częstotliwości wykonano w odległości 122m /2,26 λ/ od źródła drgań. Jak wynika z Tabeli. 4.1 wyniki częstotliwości pomierzone w punkcie 2 dla fali drugiej różnią się od obliczonych. Natom iast wyniki częstotliwości pomierzone w punkcie 4 na fali trzeciej nie różnią się od obliczonych. Prawdopodobnie zmienia się częstotliwość tylko tej fali na której długości odpalono następny ładunek MW. Wynika stąd wniosek, że odpalanie następnego otworu ze zwłoką milisekundową powoduje zmianę wartości częstotliwości, a tym samym zmianę kształtu sinusoidy tylko na długości odpalanej fali, a dla kolejnych fal częstotliwość nie ulega zmianie Tabela 4.1. W celu dokładnego wyjaśnienia tego problemu wymaga on dalszych badań.



Rys. 4.16 Przedstawia 100% wygaszanie drgań spowodowanych odpaleniem pierwszego otworu gdy czas t zwłoki milisekundowej czyli odpalenia drugiego otworu/pierwszego ze zwłoką czasową/ tz=T/2 oraz dla kolejnych „n" otworów /Opracowanie własne/

Do tej pory z powodu braku możliwości obliczania maksymalnej częstotliwości drgań w masywie dobierało się zwłoki czasowe na podstawie praktyki Rys.4.15 lub jako ½ T okresu drgań pomierzonej podczas poprzedniego strzelania częstotliwości drgań. W związku z sinusoidalnym przebiegiem częstotliwości drgań w polu bliskim Rys.4.12 całkowitej zmianie ulegnie filozofia doboru czasu zwłoki międzystrzałowej dla pola bliskiego. Pole bliskie jest ograniczome maksymalną częstotliwością na początku pola /na fali 1/ i maksymalną częstotliwością na końcu pola /na fali 6/ Tabela 4.1. Według podanego w Tabeli 4.1. przykładu na podstawie poprzedniego odstrzału przy takich samych parame-trach strzelania można będzie określić prawdopodobną długości pola bliskiego oraz częstotliwości drgań w tym polu dla następnie planowanego sąsiedniego strzelania.

W monografii stawia się tezę, że w ośrodku skalnym najsilniej propagują się drgania, które są najbliższe drganiom własnym odstrzelonego bloczka lub bloku skalnego. Obecnie brak opracowanych zależności dla określania częstotliwości drgań jak i okresu drgań, tak aby odstrzał drugiego otworu następował w połowie okresu drgań T wywołanego przez otwór pierwszy. Odpalenie drugiego otworu w punkcie czasowym tz=T/2 spowodowało by 100% wygaszenie drgań wywołanych przez otwór pierwszy (Rys. 4.16). Ponieważ dotąd nie można określić przed strzelaniem częstotliwości drgań, a tym samym okresu drgań T, dlatego w zastosowaniu jest 15 różnych korelacyjnych zależności, które służą do określania czasu odpalenia drugiego i kolejnych otworów [Onderka-(2003),Sieradzki, Winzer, Grześkowiak (2019), Sołtys(2011)]. Wszystkie one oparte są na współczynnikach pomnożonych przez wielkość zabioru lub odległości między otworami, co daje czas odpalenia następnego otworu w przedziale 10-50 ms.

Istota nowej filozofii doboru zwłoki polega na tym, że znając maksymalną radialną częstotliwość drgań otrzymaną dla poprzedniego strzelania, przy tych samych parametrach strzelania w sąsiednim następnym strzelaniu planujemy, że czas „tp" jest równy planowanej zwłoce międzystrzałowej w kolejno odpalanym otworze. Następnie z zależności sinusoidalnej obliczamy wartość częstotliwości dla czasu „tp", a następnie określamy jej okres T a czas „tz" równy ½ T będzie czasem zwłoki międzystrzałowej powodującej całkowicie wytłumienie drgań poprzedniego otworu. Planowany czas „tp" odpalenia drugiego otworu podstawia się do zależności sinusoidalnej: f_{xrp}= f_{rxmm}*sin(f_{xrp} *360* tp), gdzie: f_{rxmm}-maksymalna radialna częstotliwość drgań z poprzedniego strzelania w badanym złożu; f_{xrp} –częstotliwość radialna drgań obliczana dla planowanego czasu „tp" zwłoki milisekundowej i podstawiana do zależności sinusoidalnej, 1/f_{xrp} =Trp, stąd tz= ½ Trp; tz-obliczony czas zwłoki milisekundowej równy czasowi odpalenia drugiego otworu (Rys.4.16) powodujący całkowicie wytłumienie drgań poprzedniego otworu.

Obliczony czas „tp” planowanej pierwszej zwłoki międzystrzałowej dla otworu pierwszego odpalanego ze zwłoką milisekundową mnożymy przez kolejne liczby całkowite „n”, n= 1,2,3,4 otrzymując kolejne czasy dla odpalenia kolejnych otworów ze zwłoką milisekundową, przy czym ilość otworów musi być parzysta, tn= n * T/2 (tn- czas kolejnego odpalanego milisekundowo otworu, n kolejna liczba naturalna odpowiadająca kolejno odpalanemu ze zwłoką otworowi, n=1,2,3,4,5,6,7,8,9).

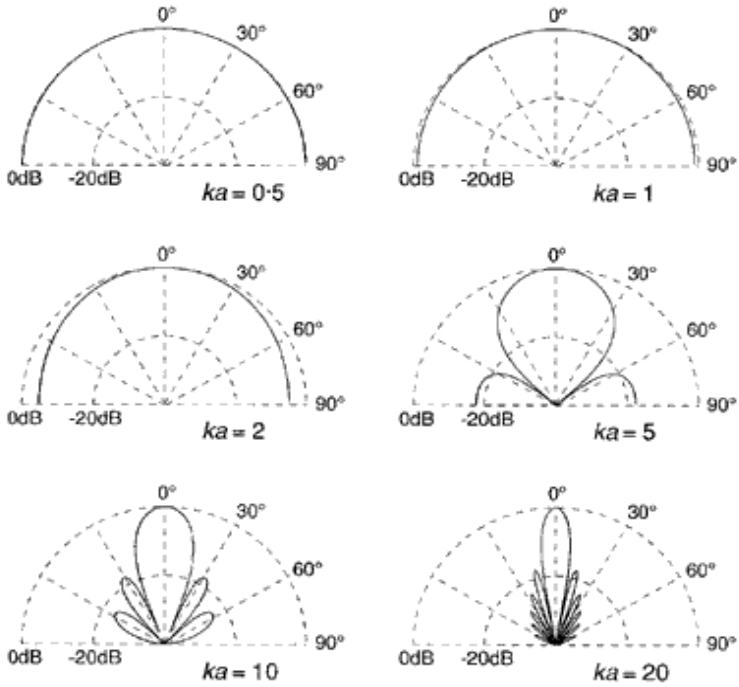
Przykład sposobu obliczeń czasu tz odpalenia drugiego otworu: frmax.- maksymalna radialna częstotliwość drgań w badanym złożu obliczona dla poprzedniego strzelania; frmax=34 Hz. Planowany czas odpalenia drugiego otworu 30 ms, tp=0,030 ms. fxrp –częstotliwość radialna drgań tak dobrana dla planowanego czasu tp zwłoki milisekundowej i podstawiana do zależności sinusoidalnej, aby . lewa strona równania równa się prawej: Przyjęto, że fxrp=20,0 Hz, co spowodowało, że lewa strona równania równa się prawej: 20 Hz= 34*sin (20 * 360 * 0,030)= 34 * 0,588= 19,99 Hz Podobnie przyjęto, że tp=0,055ms i obliczono, że lewa strona równania równa się prawej: 20 Hz=34*sin(20,0*360*0,055)=34*0,588=19,99 Hz. Czyli częstotliwość radialna drgań obliczona dla planowanego czasu tp zwłoki milisekundowej tp=30 ms wynosi 20 Hz. Stąd okres drgań T=50 ms, a T/2=25 ms, Czyli czas pierwszej zwłoki tz=30 ms a następnych tzn, tzn=30+n*25, co powoduje, że dla czasów zwłoki 55, 80, 105. 130 ms zawsze są drgania o częstotliwości 20 Hz. Podobnie można wykonać obliczenia dla innego czasu zwłoki „tp”. Sposób ten wymaga doświadczalnej weryfikacji i po pozytywnym wyniku może być zgłoszony do Urzędu Patentowego. Zastosowane odpalanie następnego otworu ze zwłoką milisekundową nie powoduje zauważalnej zmiamy wartości c częstotliwości sinusoidy na dalszych falach (Tabela 4.1). Sprawdzenie braku zmiamy wartości częstotliwości na dalszych falach w polu bliskim i dalekim wymaga dalszych badań.

4.4.3 Analiza warunków występowania różnych typów rozkładu kierunkowego prędkości drgań na podstawie opublikowanej literatury

4.4.3.1 Iloczyn „ka" i wskaźnik rozkładu kierunkowego "Wrk"

Kierunkowość, to termin używany do opisania sposobu, w jakim ciśnienie lub prędkość drgań cząsteczek ośrodka wytwarzane przez element drgający zmienia się poza główną osią podłużną drgającego tłoka ze zmianą kąta, Rys. 4.17 i 4.18. Szeroka kierunkowość to taka, który utrzymuje prędkość amplitudy drgań w osi głównej i poza nią na tym samym poziomie, a prędkość amplitudy drgań nie różni się zasadniczo czyli wartość ka <= 1, Rys. 4.17. Wąska kierunkowość to taka, w której prędkość amplitudy drgań w osi głównej i poza nią różni się zasadniczo czyli wartość ka>= 6, Rys. 4.18. Dla celów dyskusji wyobraźmy sobie idealne źródło punktowe np. drgający okrągły tłok w sztywnej odgrodzie. Tak długo, jak

długo źródło pozostaje małe w stosunku do długości fali, promieniowanie drgań będzie kołowe, bez zmiany wartości prędkość amplitudy drgań przy kątach poza osią główną. Gdy długość fali zacznie się zmniejszać w stosunku do wymiarów źródła promieniowania, to zaczynają powstawać elipsoidy drgań pod różnymi kątami poza osią główną tłoka jak to pokazano na Rysunku 4.17. Elipsoida powstaje w wyniku zaniku fazy, gdy fale z różnych części tłoka (np. z przeciwnych boków) wychodzą ze sobą w fazie. Efekty kierunkowości drgań są ilustrowane za pomocą wykresów o współrzędnych biegunowych– Rys 4.18, które pokazują prędkość amplitudy drgań pod różnymi kątami od 0º przy głównej osi tłoka do 90º.



Rys. 4.17 Kierunkowość drgań fali podłużnej podczas ruchu tłoka w nieskończenie sztywnej płycie odgrody dla różnych wartości " ka" (Mellor 2013), 0 stopni oś główna tłoka

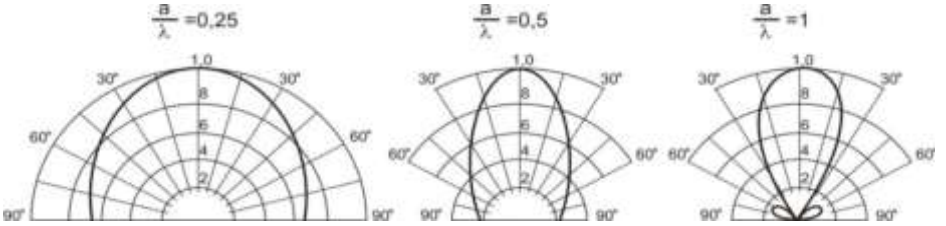
Charakterystyka kierunkowości, Rys. 4.18 przedstawia w układzie współrzędnych biegunowych krzywą wykreśloną w ten sposób, że na wartości współrzędnej „r" prowadzonej co 15º, pod kątami od 0º do 90º, odkłada się stosunek wartości ciśnienia w ośrodku lub prędkości drgań cząsteczki ośrodka pomierzone na danym kierunku do ich wartości zmierzonej pod kątem 0º. Przy czym odległość punktów pomiarowych od źródła drgań dla wszystkich kątów od 0º do 90º jest taka sama. Dla Rys. 4.17 i 4.18 wykreślny kąt kierunkowy θ równa się 90-α gdzie α –kąt kierunkowy pomiarów. Charakterystyka kierunkowości dla

odkładanych stosunków wartości ciśnienia w ośrodku lub prędkości drgań cząsteczki ośrodka jest podobna a wartości ciśnienia do prędkości drgań proporcjonalne [Gołaś, Filipek, Suder-Dębska(2018)]. Na rysunkach 4.17, 4.19, 4.20, 4.21 ,4.22, 4.23 bezwymiarowa liczba falowa „ka" odnosi się do obwodu źródła drgań podzielonego przez długość wysyłanej fali, której wartość informuje o rodzaju wytwarzanej przez źródło kierunkowości drgań. W akustyce sejsmicznej, opisując właściwości i charakterystykę kierunkową fal sejsmicznych powstających podczas urabiania MW bloków skalnych, iloczyn "ka" został zastąpiony wskaźnikiem rozkładu kierunkowego "Wrk". "Wrk" wynosi podobnie jak w literaturze akustycznej i ultradźwiękowej "ka" = $\pi D/\lambda$, czyli jest obwodem źródła drgań podzielonym przez długość wytwaranej przez źródło fali λ. W przypadku fal sejsmicznych, gdzie zamiast koła mamy prostokątny obwód bloku skalnego Op:

$$Op=2\ (L+H).\quad Wrk=2\ (L+H)/\ \lambda. \qquad (4.54)$$

gdzie: Op - to obwód prostokąta, czyli suma długości L i wysokości H bloku skalnego, który jest źródłem drgań; λ-długość fali λ.

Wartości liczbowe "ka" i "Wrk" obliczone na podstawie powyższych zależności dla koła i opisanego na nim kwadratu, gdy bok kwadratu jest równy średnicy koła, wynoszą ka=0,785Wrk .

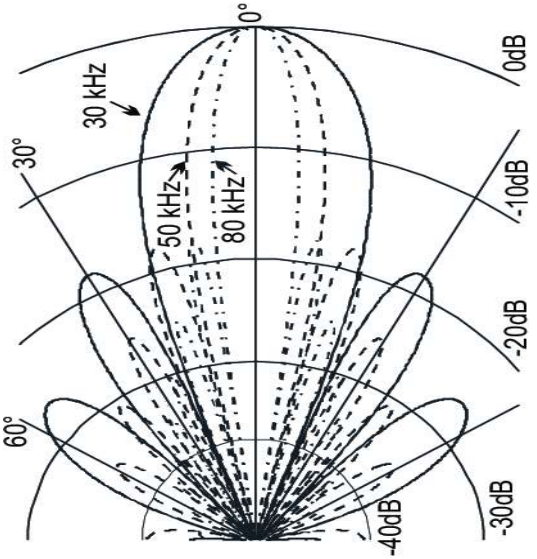


Rys. 4.18 Pola kierunkowe propagacji drgań fali podłużnej fali w powietrzu we współrzędnych biegunowych w zależności od stosunku a/λ; 1) a/λ=0,25=1,55ka; 2) a/λ=0,5=3,14 ka; 3) a/λ=1= 6,28 ka [Dobrucki; (1987) Żyszkowski (1966)

4.4.3.2 Warunki występowania rozkładu kierunkowego prędkości drgań

Aby określić warunki występowania różnych typów rozkładu kierunkowego prędkości drgań, analizie poddano propagację fal ultradźwiękowych podłużnych, na kierunku X w ośrodku stałym, wytwarzanych przez element wibracyjny. Element ten wytwarza jednocześnie (podobnie jak wybuch) falę podłużną, poprzeczną i powierzchniową. Z analizy literatury dotyczącej propagacji fal ultradźwiękowych [Matauschek (1961, Krautkramer i Krautkramer (1990), Internet (8/2020)Kaniak), Jussi (2014),Yunglong Geng i inni.(2009)] i fal dźwiękowych [Internet (6/2020)Botlle), Internet (11/2020)Mellor), Internet (10/2020)Russell] wynika, że fale te mają podobny kierunkowy rozkład ciśnienia i prędkości drgań w ośrodku stałym i w powietrzu jak fale podłużne i poprzeczne

wytwarzane podczas wybuchu MW w skale, co pokazano na załączonych rysunkach od Rys.4.19 do Rys.4.34. Źródła drgań fal sprężystych, niezależnie od sposobu ich wytwarzania /głośnik, wybuch ładunku MW, nadajnik ultradźwiękowy/ zgodnie z prawami fizyki, mają różne kształty kierunkowości prędkości drgań w zależności od wymiarów źródła drgań i długości wytwarzanej przez nie fali. Na Rys. 4.24 pokazano, że dla długości fali znacznie większej niż promień elementu drgającego "a", widoczne są okrągłe kształty pola propagacji prędkości drgań fali L podłużnej Cox na kierunku X – L /obwód koła dotyka elementu drgającego bokiem / oraz dwa duże eliptyczne T pola fali poprzecznej Ct oraz dwa małe pola R fali powierzchniowej Cp. Ten typ kierunkowości został nazwany kierunkowością styczną kołową λ>a. Wartość wskaźnika tego typu kierunkowego rozkładu "ka" wynosi ka=~2,6-3,6. Gdy promień elementu drgającego jest znacznie większy od długości fali podłużnej a>> λ, pole prędkości drgań fali L podłużnej Cox powstaje w postaci pola o kształcie wydłużonej elipsoidy L, a pola pozostałych elipsoid fali poprzecznej T i fali powierzchniowej R zmniejszają się, co potwierdzają wykresy na Rys. 4.19-4.23. Z analizy wymiarów źródła drgań sejsmicznych /badania własne/wynika, że dla ka> 6,0 można mieć pewność, że wystąpi znaczna kierunkowość prędkości drgań fali podłużnej, poprzecznej i powierzchniowej, co przedstawiają Rys. 4.31 i 4.34.

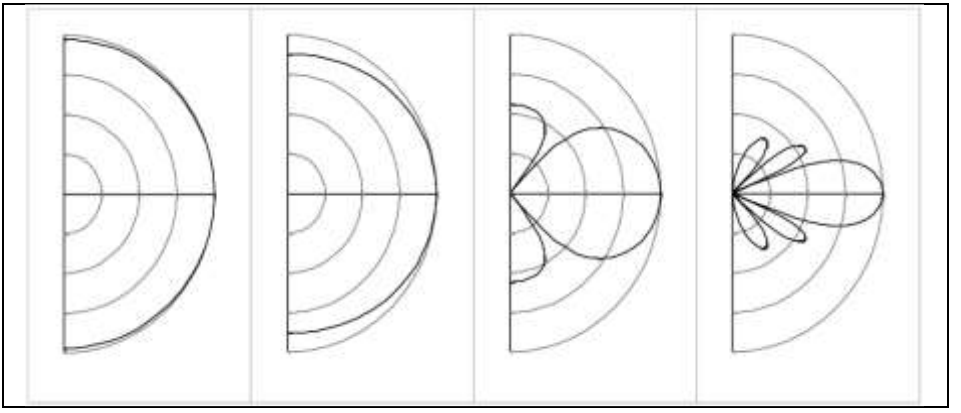


Rys. 4.19 Schemat eliptycznego promieniowania przetwornika ultradźwiękowego według modelu membrany tłokowej dla różnych częstotliwości w funkcji wykreślnego kąta kierunkowości " θ " [Internet (8/2020)Kaniak)]. 0° oś główna przetwornika-kąt kierunkowy α=90°

Analizowane pole prędkości drgań sejsmicznych w skale, Rys.4.31 ma kształt zbliżony do prędkości drgań pola ultradźwiękowego tej samej fali w stali,

Rys.4.24. Rysunki 4.19-4.22 pokazują dla fali podłużnej, że im większa wartość "ka", tym większy wskaźnik rozkładu kierunkowego Wrk i większa częstotliwość źródła drgań, co powoduje, że charakterystyka kierunkowa ma główną powierzchnię eliptyczną o coraz mniejszej grubości, a powierzchnie eliptyczne boczne zmniejszają się. Z pomiarów akustycznych i ultradźwiękowych wynika, że wartość prędkości drgań w ośrodku stałym oraz ciśnienia w powietrzu generowane przez źródło drgań zależy od kąta kierunkowego. W artykule [Kaniak (2008)] omówił techniki korelacji w celu rozszerzenia zakresu pomiarowego elipsoidy bocznej przetwornika ultradźwiękowego oraz przedstawił wpływ częstotliwości źródła drgań na kształt głównej powierzchni eliptycznej i powierzchni eliptycznych bocznych, Rys.4.19.

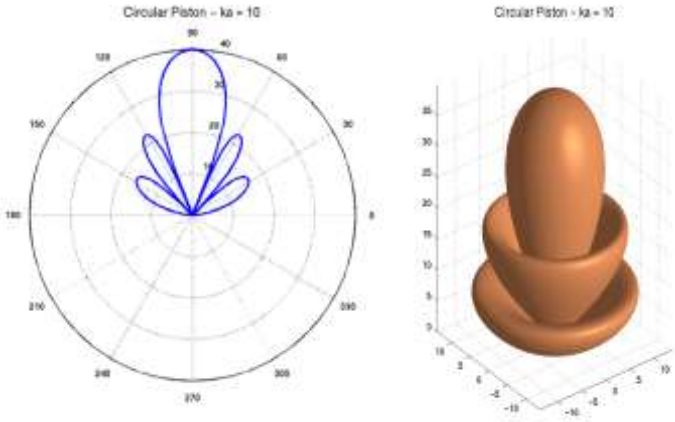
Rys.4.19 przedstawia eliptyczną kierunkowość promieniowania przetwornika ultradźwiękowego według modelu membrany tłokowej dla różnych częstotliwości w funkcji wykreślnego kąta kierunkowości " θ ". Dla Rys.4.19 wykreślny kąt kierunkowości θ równa się (90-α), gdzie α –kąt kierunkowy pomiarów. Badacze różnie określali wykreślny kąt kierunkowości θ, dla rysunków Rys.4.17-4.30, θ równa się; θ=(90-α) lub θ=α. ka=1, ka=2 ka=5ka=10



Rys. 4.20 Kierunkowość drgającego tłoka w odgrodzie sztywnej [Internet (7/2020)Heutschi] i kierunkowość drgającej membrany w ścianie nieskończenie długiej dla iloczynu ka= 1, ka= 2, ka= 5, ka= 10 (od lewej do prawej), przedstawione jako wykresy biegunowe ze skalowaniem 10 dB na przedział. 0º - oś główna przetwornika prostopadła do powierzchni tłoka

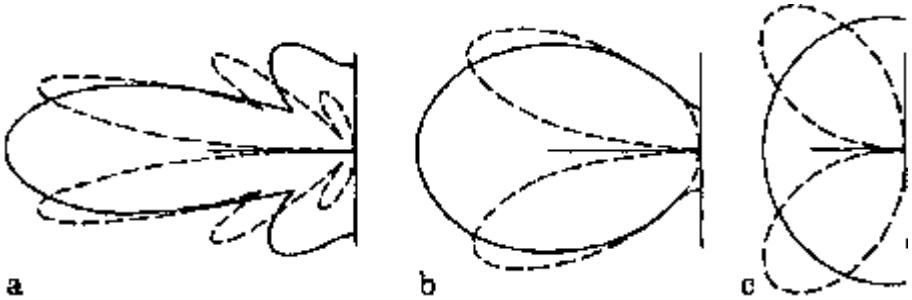
Bardzo często typowy wzorzec promieniowania przetwornika ultradźwiękowego jest opisany modelem membrany tłokowej. Zgodnie z tym modelem [Internet (8/2020) Kaniak] faza drgań przesuwa się o 180º z jednej powierzchni eliptycznej na drugą. Szerokość głównej ultradźwiękowej powierzchni eliptycznej zależy od średnicy obszaru nadawczego “d” i częstotliwości sygnału “f”. Im wyższa “f” i większe “d” tym węższy obszar głównej powierzchni eliptycznej promieniowania przetwornika. Okrągły tłok w sztywnej odgrodzie jest też powszechnie

stosowany do przybliżonego badania promieniowania dźwięku z głośnika w obudowie. Ciśnienie w polu dalekim wypromieniowywane przez tłok z odgrodą zależy od promienia tłoka "a" oraz częstotliwości (przez liczbę falową ka) i kierunku kąta θ. θ = 0º dla osi tłoka. Rusell [Internet (10/2020)Rusell)] przeanalizował drgania okrągłego tłoka w sztywnej odgrodzie i stwierdził istnienie trzech warunków falowych, które powodują, że występują trzy rodzaje drgań kierunkowych: kołowe, kołowe-styczne i eliptyczne. Rodzaj rozkładu charakteryzuje wartość iloczynu „ka”,Rys.4.17, 4.18, 4.22, 4.23. Wskaźnik typu rozkładu kierunkowego "ka" = <1,38- to rozkład kołowy, ka> 1 = ~ 2,6-3,6- to rozkład kołowy styczny, a ka >>1=>~ 6 – to rozkład eliptyczny. Rysunek 4.21 to schematyczny rysunek kierunkowości nadajnika ultradźwiękowego podobnego do oscylatora z tłokiem okrągłym [Internet (6/2020)Battle)]. Rozmiary eliptycznej powierzchni przedstawiają proporcje dźwięku emitowanego w różnych kierunkach dla różnych kątów kierunkowych [Jussi i inn.(2014)].

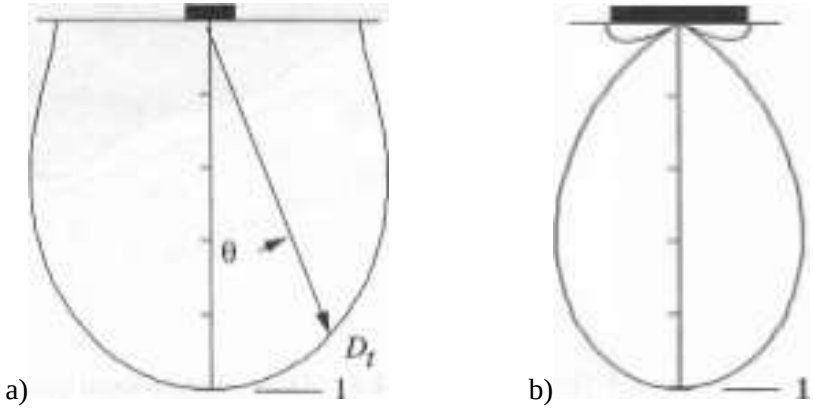


Rys. 4.21 Eliptyczny kształt powierzchni drgań kierunkowych/przekrój bryły/ drgającego tłoka dla ka=10 [Internet (6/2020)Battle)] i nadajnika ultradźwiękowego[Jussi i inn.(2014)]

Eliptyczny kształt powierzchni drgań dla różnych kątów kierunkowych po lewej i elipsoidalna bryła główna i bryły boczne przestawiające wartości prędkości drgań po prawej w układzie kartezjańskim. Dla Rys. 4.21 wykreślny kąt kierunkowości θ równa się α, jest tokąt kierunkowy pomiarów. Rzut poziomy przekroju podłużnego elipsoidy kierunkowości prędkości drgań przedstawiony po lewej stronie Rys. 4.21. Załączona literatura akustyczna i ultradźwiękowa opisuje też Rys. 4.21 jako kierunkowość z dużym listkiem głównym i dwoma listkami bocznymi lub kierunkowość z wiązką główną i dwiema wiązkami bocznymi. W przypadku przedstawionym na Rys. 4.22 [Krautkramer i Krautkramer (1990)] odbłyśnik fali działa jako oscylator tłokowy i w zależności od wielkości “ka” wytwarza różne rodzaje kierunkowości drgań w ośrodku.



Rys. 4.22 Odbite fale podłużne (linie pełne) i poprzeczne (linie przerywane) z małego okrągłego odbłyśnika tarczowego umieszczonego w polu fal podłużnych, a) średnica d=2λ-ka=6,28, b) średnica d=λ-ka=3,14; c) średnica d-λ/2-ka=1,57, [Krautkramer, Krautkramer(1990)]

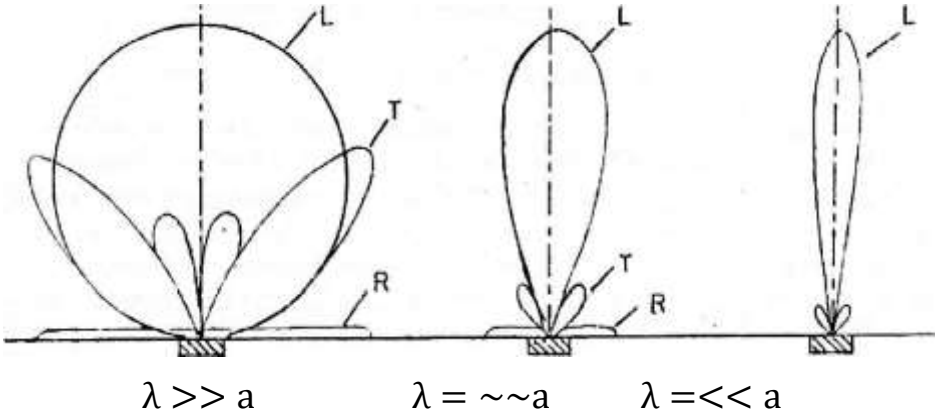


a) b)

Rys. 4.23 Biegunowe wykresy we współrzędnych kierunkowych przetworników tłokowych okrągłych dla dwóch wartości ka. Pole dalekie a) ka=2,5, b) ka=5 [Clay i Medvin (1997)]

Dla Rys. 4.23 wykreślny kąt kierunkowości θ równa się 90-α, α –kąt kierunkowy pomiarów. Szczegółowe wykresy kierunkowości drgań tłoka w nieskończonej odgrodzie sztywnej dla poszczególnych wartości "ka" zostały przedstawione w wykładach: [Internet (7/2020)Heutschi)-Rys.4.20 i [Internet (6/2020)Battle]-Rys.4.21 oraz publikacjach [Clay,Medwin(1997)]- Rys.4.23 .i [Mellor (2013] -Rys.4.27. Badania akustyczne opisuje literatura [Internet (6/2020,Battle),Internet (11/2020,Mellor), Internet (10/2020, Russell] i przedstawiają rysunki; Rys.4.20, 4.21, 4.23, 4.27, 4.17, 4.18 a badania ultradźwiękowe literatura [Matauschek (1961), Krautkramer i Krautkramer (1990), Internet (8/2020, Kaniak, Schwenzer), Yunglong Geng i inn.(2009)]. Przedstawione na Rysunkach 4.17, 4.18, 4.20 4.22, 4.23, 4.24 różne rodzaje kierunkowości prędkości drgań, wykazały, że fale podłużne i poprzeczne mają trzy podstawowe rodzaje kierunkowości. Kierunkowość kołową, która wraz z rosnącą wartością “ka” poprzez styczną kierunkowość kołową stopniowo zmienia się w kierunkowość

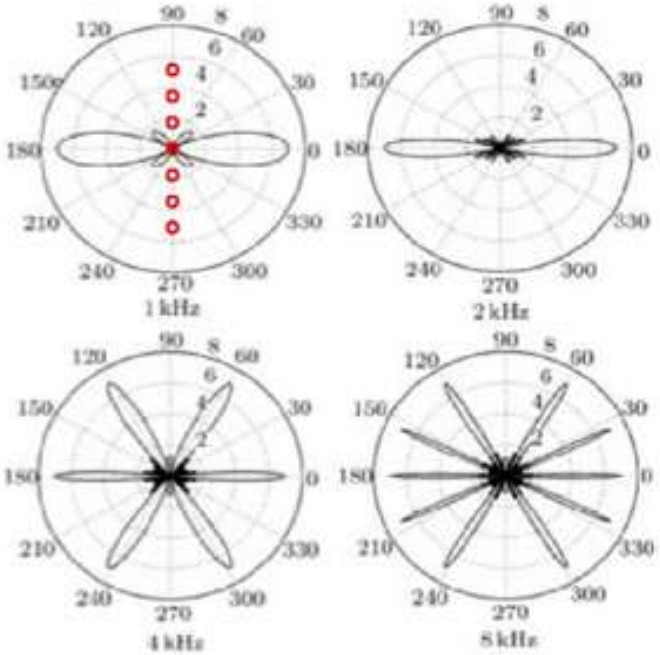
eliptyczną. Nie ma wyraźnej granicy pomiędzy tymi typami kierunkowości, co jest widoczne na przedstawionych rysunkach. Podczas urabiania bloków skalnych ładunkami materiałów wybuchowych, które jako źródła drgań wytwarzają te typy fal i trzy opisane typy kierunkowości zgodne z omawianą przez autora eliptyczną kierunkowością prędkości drgań Rys.4.31. Z analizy teorii kierunkowości źródeł akustycznych [Internet (7/2020,Heutschi), Internet (6/2020,Battle), Czajka(2009)] oraz artykułów o propagacji fal dźwiękowych podłużnych [Mellor (2013), Internet (10/2020,Russell), Dobrucki (1987), Żyszkowski (1966)],przez analizę kierunkowej teorii źródeł ultradźwiękowych podłużnych i poprzecznych[Krautkramer i Krautkramer (1990), Clay,Medwin (1997)] i literatury o propagacji fal ultradźwiękowych [Matauschek (1961),Talarczyk(1990),Sliwiński (2001), Internet (8/2020,Kaniak,Schwenzer), Yunglong Geng i inn.(2009),Internet Pokarinen,Polits (9/2020)] można się spodziewać, że dalsze badania nad odstrzałami produkcyjnymi bloków skalnych, pozwolą dokładniej ustalić warunki dla powstania kierunkowości: kołowej, kołowo stycznej i eliptycznej tych źródeł drgań, niż to przedstawiono na Rys. 4.22 i 4.24.



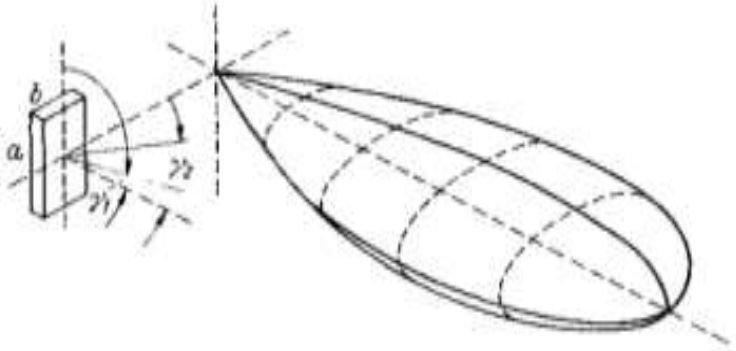
Rys. 4.24 Kierunkowe pole propagacji promieniowej fali podłużnej L, poprzecznej T i powierzchniowej R przetwornika ultradźwiękowego drgającego o średnicy "2a" rozchodzące się w stali w zależności od stosunku "λ / a" [Matauschek J (1961) Talarczyk (1990)]

W zależności od wielkości λ/a mamy rozkłady kierunkowe ; $\lambda \gg a - ka = \sim 2{,}6 - 3{,}6$, styczno-okrągły rozkład drgań, $\lambda \sim a - ka = \sim 6{,}28$ elipsoidalny rozkład drgań, $\lambda =<< a - ka > 12$ elipsoidalny rozkład drgań. Dla Rys.4.27 wykreślny kąt kierunkowości θ = 90-α, α –kąt kierunkowy pomiarów. Charakterystyka kierunkowości dla odkładanych stosunków wartości ciśnienia w ośrodku lub prędkości drgań cząsteczki ośrodka jest identyczna. Rys.4.25 [Internet (9/2020, Pokarinen, Polits)] przedstawia kierunkowe eliptyczne pole

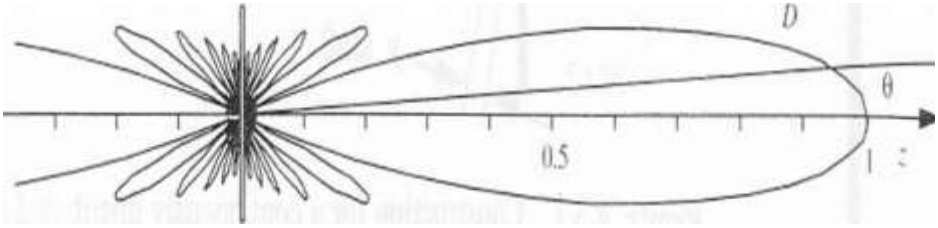
prędkości drgań, które wytwarzają punktowe ultradźwiękowe źródła drgań ułożone w jednym rzędzie w stałej odległości od siebie.



Rys. 4.25 Kierunkowość powstająca przy jednoczesnych drganiach 7 ultradźwiękowych źródeł drgań/małe punktowe koła / ilość elips kierunków o większym natężeniu pola /1kHz- 2, 8 kHz-8 / wzrasta ze wzrostem częstotliwości [Internet 9/2020,Pokarinen,Polits)]



Rys. 4.26 Trójwymiarowy widok charakterystyki kierunkowej prostokątnego nadajnika ultradźwiękowego bez bocznych elipsoid/listków/; stosunek wymiarów 2: 1, b = 4λ, a = 2λ [Krautkramer, Krautkramer(1990)]



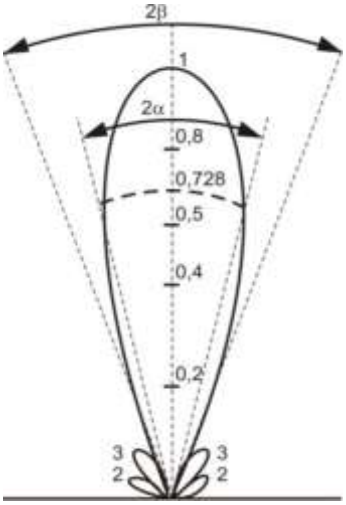
Rys. 4.27 Promieniowanie ultradźwiękowe w polu dalekim od źródła liniowego „L" L=4λ Odpowiedź kierunkowa, \ D \ w funkcji kąta dla jednorodnego źródła liniowego; Kąt θ° jest mierzony od normalnej do źródła liniowego.[Clay, Medvin (1997)]

Największa wartość drgań znajduje się na osi głównej eliptycznego pola prędkości drgań, prostopadłej do linii szeregu otworów. Wraz z kilkukrotnym wzrostem częstotliwości, tj. wartości "ka", Rys.4.25 zwiększa się liczba generowanych eliptycznych pól prędkości drgań. Rys.4.26 przedstawia elipsoidalną bryłę prędkości drgań, które wytwarza prostokątne źródło drgań [Krautkramer, Krautkramer (1990)]. Największa wartość prędkości drgań znajduje się na osi głównej bryły prostopadłej do powierzchni źródła drgań. Rys.4.27 przedstawia eliptyczne pole prędkości drgań, które wytwarza ultradźwiękowe, liniowe źródło drgań [Clay,Medvin (1997)]. Największa wartość drgań znajduje się na osi głównej, prostopadłej do liniowego źródła drgań. Opisane powyżej kształty i warunki rozmieszczenia źródeł drgań powodują przedstawiony na rysunkach eliptyczny kierunkowy rozkład prędkości drgań. Takie same warunki falowe dla źródeł drgań występują w prostokątnym górniczym bloku skalnym urabianym ładunkami MW umieszczonymi w otworach strzałowych w jednym rzędzie, w stałej odległości od siebie (punktowe źródła drgań) oraz z dużą liczbą otworów strzałowych w jednym rzędzie, co tworzy warunki jak dla liniowego źródła drgań przedstawionego na Rys.4.27.

4.4.3.3 Prostokątne źródło drgań wytwarzające kierunkowe elipsoidalne pole prędkości drgań

Podczas strzelania w złożu bazaltu prostokątny blok skalny tworzy prostokątne źródło drgań, które wytwarza kierunkowe elipsoidalne pole prędkości drgań podobne do przedstawionego na Rys.4.26. Kierunkowość prostokątnego źródła drgań we współrzędnych biegunowych dla złoża bazaltu przedstawiono na Rys.4.35 i 4.35a. Dla opisania charakterystyki kierunkowej prędkości drgań przy przejściu fali podłużnej stosuje się kąt rozbieżności „α"' lub „β" wyprowadzone teoretycznie [Talarczyk(1990)].Kąty rozbieżności [Talarczyk (1990)], obliczane z zależności: sin"2α"=A λ/r oraz dla sin"β"=B λ/r. Dla kołowego źródła drgań

i stosunku długości fali podłużnej do promienia źródła drgań znacznie mniejszego od 1, ilościowy wskaźnik A=0,60 a B=0,61.



Rys. 4.28 Charakterystyka kierunkowa we współrzędnych biegunowych prędkości drgań fali podłużnej /1-listek główny/dla odstrzału w złożu bazaltu [Opracowanie własne], na dole/2,3/ teoretyczne listki boczne wg [Talarczyk(1990)]

Dla strzelania w bazalcie przy 0,708 wartości maksymalnej prędkości drgań spowodowanej falą podłużną, wyznaczony empirycznie z Rysunku 4.28, kąt rozbieżności oblicza się z zależności:

$$\sin''\alpha''=A\,\lambda/Rz \qquad (4.55)$$

oraz dla:

$$\sin''\beta''=B\,\lambda/Rz. \qquad (4.56)$$

gdzie: Rz promień zastępczy prostokąta, Rz= [S/π]^(½).

Dla prostokątnego źródła drgań i stosunku długości fali podłużnej do promienia zastępczego źródła drgań bliskiego 1, ilościowy wskaźnik A=0,24, a B=0,37. Gdzie: λ-długość fali podłużnej [m]; S- pole prostokątnego źródła drgań czyli urabianego MW bloku skalnego.

Podane empiryczne wzory 4.55 i 4.56 podobnie jak wyprowadzone teoretycznie [Talarczyk(1990)],wskazują że kąt rozbieżności„α”' lub „β” maleje, czyli zwiększa się kierunkowość źródła drgań, gdy wymiary źródła drgań zwiększają się i częstotliwość źródła drgań wzrasta. Mając dane: A, sin kąta „α” i wymiary prostokątnego źródła drgań można obliczyć długość fali podłużnej powstającej podczas urabiania MW bloku skalnego. Podane wzory empiryczne podane są dla bazaltu i wymagają weryfikacji dla pozostałych skał. Biorąc powyższe pod

uwagę, w trakcie strzelań produkcyjnych na różnych złożach można będzie, znacznie dokładniej niż to przedstawiono na Rys.4.24, określić wartości Wrk dla prostokątnego źródła drgań, które powodują wystąpienie kołowego, kołowo stycznego i eliptycznego kierunkowego rozkładu prędkości drgań.

4.4.3.4 Literaturowe zależności charakterystyk kierunkowych fali podłużnej dla źródeł drgań na kierunku radialnym

Charakterystyka kierunkowa znajduje się na płaszczyźnie poziomej wzdłuż osi bloku skalnego prostopadłej do osi pionowej. Na płaszczyźnie tej znajduje się punkt P, który jest przesuwany kątowo od 0 do 2π radianów. Zmieniając zakres wartości kąta θ między prostopadłą do bloku skalnego leżącą na tej powierzchni a punktem P otrzymuje się wartość charakterystyki i obraz kierunkowości drgań. Wykreślny kąt kierunkowości θ często równa się 90-α, α –kąt kierunkowy pomiarów.

A) Charakterystyka kierunkowa źródła złożonego z "n" źródeł punktowych bez przesunięcia fazy [Czajka (2009)] Charakterystyka kierunkowa źródła złożonego z "n" punktowych źródeł bez przesunięcia fazy odległych od siebie o odległość d jest opisana równaniem:

$$K(\theta) = sin(n\,\pi\,d\,sin\theta)/:/n\,sin[(\pi d/\lambda)\,sin\,\theta] \qquad (4.57\,)$$

B) Model liniowego źródła rozciągłego [Czajka (2009)] Najogólniejszym modelem wielopunktowego źródła dźwięku stanowi źródło liniowe, w postaci prostoliniowego odcinka "L" złożonego z nieskończonej liczby elementarnych źródeł punktowych, umieszczonych obok siebie. Zatem charakterystyka kierunkowości źródła w postaci odcinka złożonego z nieskończonej ilości źródeł punktowych wyraża się wzorem:

$$K(\theta)\ = sin(kLsin\theta)/:/kL\,sin\theta \qquad (4.58)$$

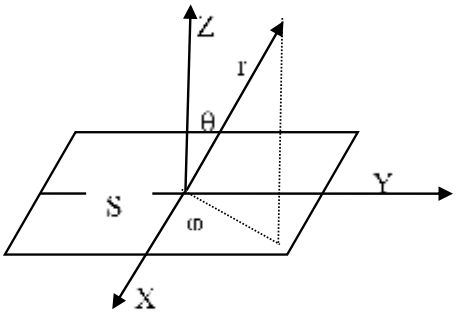
gdzie: λ– długość fali; n – liczba źródeł promieniujących =ilości otworów odpalanych z opóźnieniem milisekundowym; d– odległość pomiędzy poszczególnymi źródłami /otworami/; k=2π/λ– liczba falowa.

C*) Charakterystyka kierunkowa źródła prostokątnego /np. bloku skalnego/ [Internet(12/2020,Salamon)]* Charakterystyka kierunkowa „K" źródła prostokątnego dla dwóch boków a i b jest opisana równaniem [Internet(12/2020, Salamon)]:

$$K(\ \theta,\varphi) = [\sin(\pi\frac{a}{\lambda}\ sin\theta\ cos\varphi)\ \sin(\pi\frac{b}{\lambda}\ sin\theta\ sin\varphi]\ /:/\ [1(\pi\frac{a}{\lambda}\ sin\theta\ cos\varphi)\ 1(\pi\frac{b}{\lambda}\ sin\theta\ sin\varphi] \qquad (4.59)$$

Dla przekroju wzdłuż krótszego boku a i podstawiając do wzoru $\varphi=0^0$, charakterystyka wyraża się następującym wzorem:

$$\mathrm{K}(\ \theta,\varphi) = [\sin(\pi\frac{a}{\lambda}\ sin\theta\ /:/\ [1(\pi\frac{a}{\lambda}\ sin\theta\ ]. \qquad (4.60)$$

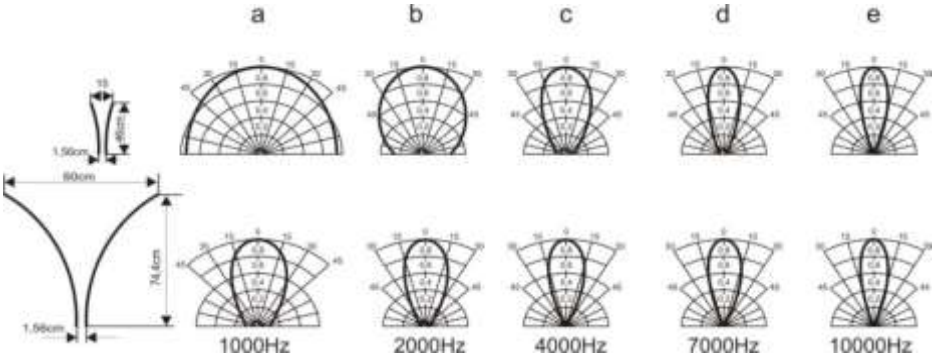


Rys. 4.29 Charakterystyka kierunkowa „K" źródła prostokątnego dla dwóch boków a i b

Charakterystyka kierunkowa „K" źródła prostokątnego pokazana na Rys. 4.29. Opis oznaczeń dla punktu 4.4.3.4 i Rysunku 4.29: θ – kąt kierunkowy rozpatrywanego punktu między linią łączącą punkt z początkiem układu a osią Z; φ – kąt rzutu punktu na płaszczyźnie poziomej między linią łączącą rzut punktu z początkiem układu a osią X; n – liczba źródeł promieniujących /ilości otworów odpalanych z opóźnieniem milisekundowym/; d– odległość pomiędzy poszczególnymi źródłami /otworami/; $k=2\pi/\lambda$– liczba falowa.

4.4.3.5 Literaturowe warunki powstawania różnych typów kierunkowych prędkości drgań sejsmicznych

Z analizy literatury rozchodzenia się fal ultradźwiękowych [[Matauschek (1961), Talarczyk (1990), (Krautkramer,Krautkramer(1990), Internet(9/2020, Pokarinen, Polits)] i Rysunku 4.24 wynika, że dla długości fali znacznie większej niż promień elementu drgającego „a", który jednocześnie wytwarza /podobnie jak podczas strzelania/ falę podłużną, poprzeczną i powierzchniową, gdy ka<=1,38, a W_{rk}<=1 27 ka, otrzymujemy prawie kołowy kształt pola rozchodzenia się prędkości drgań fali podłużnej C_{ox}-L /koło dotyka bokiem elementu drgającego/, kilka elipsoid pola dla fali poprzecznej C_{tx}-T i prawie prostokątny kształt pola dla fali powierzchniowej C_{px}-R. Gdy promień elementu drgającego jest bliski długości fali podłużnej ka=~6,28 a W_{rk}=~8 to powstaje pole prędkości drgań dla fali podłużnej C_{ox} w postaci symetrycznej, wydłużonej elipsoidy a pola pozostałych fal maleją. Przedstawione na Rys.4.24 pomiary wykonano na kierunku radialnym dla kąta kierunkowego pomiarów α=90º dla drgającego przetwornika ultradźwiękowego. Poprzez podobieństwo falowe można sądzić, że jeżeli dla urabianego bloku skalnego W_{rk}=~8 to powstaje pole prędkości drgań fali podłużnej C_{ox} w postaci symetrycznej wydłużonej elipsoidy i możliwe jest występowanie znacznej kierunkowości powstającego pola fali sejsmicznej. Jest to czynnik, który uzasadnia celowość pomiarów terenowych prędkości drgań z uwzględnieniem kąta kierunkowego pomiarów α.



Rys. 4.30 Pola kierunkowe fali podłużnej w powietrzu [Czajka (2009)]

Analizując warunki akustyczne i geometryczne pola kierunkowego rozchodzenia się fali podłużnej w powietrzu dla tub w zależności od stosunku λ/a [Czajka (2009)] z Rys. 4.30 otrzymano dla wiersza pierwszego:

a) f=1000Hz, λ=34 cm, a=7,5cm; a/λ=0,22 /, ka=1,38 ;Wrk=1,75

Przyjęto, że do wartości ka = 1,38 jest rozkład kierunkowy kołowy, gdy ka wzrasta otrzymujemy rozkład kołowo-styczny a następnie rozkład elipsoidalny.

b) f=2000Hz, λ=17 cm, a=7,5cm; a/λ=0,45/, ka=2,75 ;Wrk=3,5

c) f=4000Hz, λ=8,5 cm, a=7,5cm; a/λ=0,9 /, ka=5,5 ;Wrk=7,0

d) f=7000Hz, λ=4,86 cm, a=7,5cm; a/ λ=1,54 /, ka=9,7 ; Wrk=11,6

e) f=10 000Hz, λ=3,4 cm, a=7,5cm; a/λ=2,2 /, ka=13,8 ; Wrk=17,5

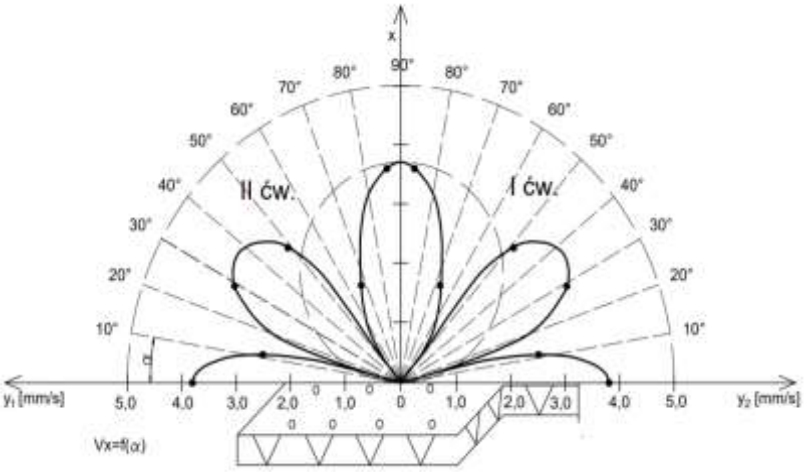
Z analizy literatury rozchodzenia się fal podłużnych [Czajka (2009)], Rys.4.30 wynika, że dla długości fali znacznie większej niż promień elementu drgającego „a", który wytwarza falę podłużną przy ka <1,38; a Wrk<1,75, otrzymujemy prawie kołowy kształt pola rozchodzenia się prędkości drgań fali podłużnej. Zauważalna kierunkowość prędkości drgań fali podłużnej występuje już, gdy ka >1,38 a Wrk>1,75.

4.4.4 Analiza wyników pomiarów kierunkowych rozkładów prędkości drgań sejsmicznych podczas urabiania strzelaniem

4.4.4.1 Kierunkowy rozkład elipsoidalny prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złoża bazaltu strzelaniem [Opracowanie (2015)]

Metodologia badań i opis złoża. Złoże bazaltu położone jest w obrębie górskiego bloku przedsudeckiego w północno-wschodniej części Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich. Bazalty te należą do trzeciorzędowej środkowo europejskiej prowincji wulkanicznej. Skała bazaltowa występująca w złożu to skała w większości masywna, słabo zwietrzała i dlatego kruszywa z niej

wykonane mają wysoką jakość. Wartości drgań gruntu zostały zmierzone dla radialnej i stycznej prędkości szczytowej cząstek (PPVx, PPVy). Prędkość szczytowa drgań cząstek ośrodka odpowiada za rodzaj uszkodzeń budynków, w dużej mierze zależy ona od ładunku maksymalnego, odległości pomiędzy źródłem drgań a punktem pomiarowym oraz od właściwości fizycznych MW i wydobywanej skały [Chrzan(2014)]. Wibracje wywołane wybuchem monitorowano za pomocą sejsmografu. Na sejsmografie zapisano wartości pomiarów prędkości drgań w trzech kierunkach: podłużnym /promieniowym/, pionowym i poprzecznym/ stycznym/. Sejsmograf zarejestrował również częstotliwość drgań dla: szczytowej prędkości drgań cząsteczki ośrodka radialnej i stycznej (PPVx, PPVy), szczytowego przyspieszenia cząsteczki (PPAx, PPAy i szczytowego przemieszczenia cząsteczki (PPDx, PPDy). Pomiary prędkości i częstotliwości drgań prowadzono w średniej odległości 313.0m od źródła drgań za pomocą aparatury pomiarowej UVS-1504. Mapa złoża [(Opracowanie (2015)] pokazuje istniejące domy oraz miejsce urabiania skał, linię otworów strzałowych, punkty pomiarowe w terenie przed chronionymi domami. Z mapy złoża zmierzono kąty kierunkowe 6 kolejnych punktów pomiarowych zlokalizowanych na I ćwiartce półkola z przodu urabianego bloku skalnego w złożu bazaltu. Wyniki pomiarów poziomych prędkości Vx/PPVx/ i Vy/ PPVy/ drgań w warunkach przemysłowych odstrzałów przy eksploatacji górniczej złoża bazaltu dla różnych wartości kątów kierunkowych zestawiono w Tabeli 4.2



Rys.4.31 Charakterystyka kierunkowa poziomej składowej radialnej prędkości Vx drgań w funkcji kąta kierunkowego "α", dla złoża bazaltu./Opracowanie własne/

Zgodnie z symetrią pomiarów literaturowych, na Rys. 4.31 przedstawiono wyniki pomiarów symetrycznie dla dwóch ćwiartek. Rys.4.31 jest elipsoidą kierunkową rozkładu poziomego prędkości radialnej Vx drgań podczas urabiania

MW bloku skalnego w złożu bazaltu. Otrzymany kierunkowy rozkład elipsoidalny prędkości radialnej Vx drgań parasejsmicznych, Rys.4.31 podczas urabiania złoża bazaltu strzelaniem, swoim kształtem znajduje się pomiędzy ka=6,28 Rys.4.18 i ka=9,7 Rys.4.30. Wyniki pomiarów przedstawiono na Rys.4.31 jako elipsoidalny rozkład kierunkowy prędkości radialnej drgań. Linie przerywane cienkie przedstawiają 6 razy większy kształt teoretycznego jednostkowego kołowego rozkładu Vxk prędkości drgań. Z Tabeli 4.2 wynika, że pomierzone wartości stycznej prędkości drgań masywu Rys. 4.34 układają się wg rozkładu elipsoidalnego, tak samo jak rozkład prędkości radialnej masywu przedstawiony na Rys. 4.31.

Tabela 4.2 Pomiary wartości drgań podczas urabiania w złożu bazaltu [Opracowanie(2015)]

Nr stanowiska pomiar.	fxm Hz	Fym Hz	Vxm mm/s	Vym mm/s	r m	∝° Kąt°	Wsk. korekc.	Vxsm mm/s	Vysm mm/s	Rodzaj fali
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1500.1	12,1	15,1	2,25	1,18	356	13	1,14	2,56	1,34	R
1500.2	14,2	14,9	3,59	3,89	338	0,0	1,08	3,85	4,17	R
499	9,7	19,4	2,04	2,04	266	67	0,85	1,73	1,73	L
473	5,8	5,05	4,80	4,10	252	86	0,80	3,84	3,28	L
133	13,5	11,9	2,880	1,77	362	29	1,16	3,40	2,1	T
465	13,7	16,6	3,24	2,38	302	49	0,97	3,14	2,27	T

Objaśnienia do Tabeli 4.2: poz.1,Nr.- Stanowiska pomiarowego; poz.2 i 3, fxm, fym- częstotliwość drgań, masywu; poz.4 i 5, Vxm,Vym- prędkość drgań na kierunku radialnym i stycznym masywu, [mm/s]; poz.6, r- odległość punktu pomiarowego w masywie od źródła drgań, [m]; poz.7, ∝-kąt kierunkowy pomiarów odczytany z mapy złoża i pomierzony kątomierzem, [°]; poz.8, Wsk- wskaźnik korekcyjny odległości obliczony zgodnie z Rozdz.6.1; poz.9 i 10 Vxsm, Vysm –prędkość radialna i styczna masywu skorygowana wskaźnikiem korekcyjnym odległości; poz.11,rodzaj fali; R- fala powierzchniowa, L –podłużna, T-poprzeczna.

I Przykładowe obliczenie parametrów drgań sejsmicznych otrzymanych po strzelaniu przed projektem następnego strzelania .

W warunkach eksploatacji przemysłowej [Opracowanie(2015)] złoża bazaltu przy prędkości fali podłużnej masywu Coym=3161 i max pomierzonej częstotliwości masywu fym=19,4 Hz powstaje fala sejsmiczna o długości fali 163m. W tym przypadku dla 11 otworów Ly=41,8 a H=18,5m, Wrk=0,74, a ka=0,58, co jest wielkością zbyt małą aby spełnić literaturowy warunek

powstania rozkładu elipsoidalnego, gdyż „ka” powinno być; ka>1,38 lub Wrk>1,75. Średnie odległości pomiarów powyżej 300m od źródła drgań (pole dalekie), sugeruje, że może to być rozkład elipsoidalny, bo tylko w polu dalekim jest możliwość powstania elipsoidalnej charakterystyki kierunkowej. Problem ten wymagał wyjaśnienia. Dlatego wykonano obliczenia częstotliwości drgań, długości fali oraz ka i Wrk powstałych przy odstrzeleniu 1 otworu, jednego rzędu otworów i trzech rzędów otworów, aby jednoznacznie określić jakie parametry strzelania decydują o tym kiedy powstaje elipsoidalny rozkład kierunkowy.

I.1 Parametry prac wiertniczo strzałowych [Opracowanie(2015)]

n- ilość odpalanych otworów=3 rzędy po 11 otworów, pierwszy otwór odpalany natychmiastowo a kolejne ze zwłoką tz=25 ms; zwłoka między rzędami tzr=42 ms; z-zabiór,z= 3,45 m; a-odległość między otworami, a=3,8 m; Or-odległość między rzędami otworów, Or= 3,5 m; zc-zabiór całkowity równy szerokości 3 rzędowego bloku, zc=10,45m; H-wysokość bloku i bloczka skalnego, H=18,5m.

Rys. 4.32 Złoże bazaltu przed i po strzelaniu /Opracowanie własne/

D-średnica otworu, D=102mm. Materiał wybuchowy emulsyjny, [MW]; Vt-prędkość detonacji, Vt =5030 m/s, ρmw- gęstość objętościowa MW, ρmw =1,2 *1000 [kg/m³]; Qe-energia spalania 3364 kJ/kg. Dwa ładunki w otworze oddzielone metrową przybitką pośrednią odpalane ze zwłoką 25ms. Mniejszej długości ładunków MW, lw=14m, a dłuższej przybitce odpowiada większa średnica otworu Dw=102 mm. Większej długość ładunków MW, lm=15 m, a krótszej przybitce odpowiada obliczona mniejsza średnica otworu Dm=98,5mm.

*I.2 Obliczone parametry bloku skalnego i masyw*u:

Ly-długość bloku skalnego, Ly=n*a=11*3,8=41,8m,

Coxm- prędkość fali podłużnej w nasywie i bloku skalnym na kierunku X, Coxm=3641m/s,

fxomm-największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku X w masywie, fxomm=9,98 Hz,

Coym- prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, Coym=3161m/s,

fyomm- największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku Y w masywie,fyomm=8,8 Hz,

Ctxm- prędkość fali poprzecznej w nasywie i bloku skalnym na kierunku X, Ctxm=2578m/s,

fxtmm-największa częstotliwość fali poprzecznej w nasywie na kierunku X , fxtmm =22,4 Hz,

Ctym- prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, Ctym=2839 m/s

fytmm- największa częstotliwość fali poprzecznej na kierunku Yw masywie , fytmm=16,7 Hz

ρs gęstość objętościowa skały, ρs=3.*1000 [kg/m³],

Z1-impedancja akustyczna skały, Z1= ρs * Coxm =10,95*1000 000 [kg/(m²s)]

Z2-impedancja akustyczna MW, Z2= ρmw * Vt=6,04*1000 000[kg/(m²s)],

Hax- moduł akustyczny na kierunku X, Hax=28,15 GPa

Hay- moduł akustyczny na kierunku Y, Hay=26,92 GPa,

Ww- wskaźnik wielkości urabianego bloczku skalnego w stosunku do objętości standardowej próbki laboratoryjnej, Ww=0,83*1000 [-]

Tp-współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego dla kierunku X i Y, Tpx=0,92, Tpy=0,95[-],

Ubol-objętość jednego bloczka, Ubol=a*H*z=3,8*18,5*3,45= 242,5m³,

U1r-objętość jednego rzędu otworów,U1r= Ubol*n= 242,5 *11 =2668 m³,

I.3 Obliczenia prędkości i największej częstotliwości fali podłużnej na kierunku X i Y w masywie

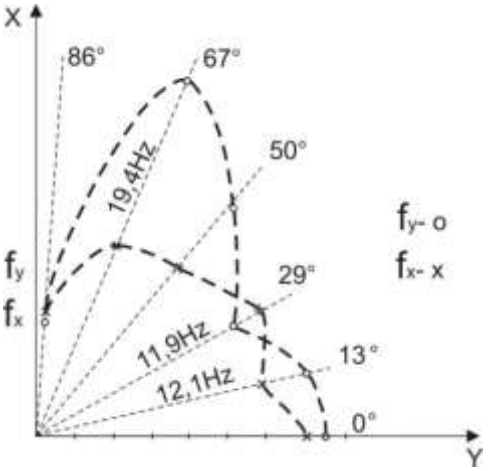
Obliczono Coxm i Coym na kierunku X i Y w masywie z równań (4.21) i (4.22). Z pozycji 473 i 499 Tabeli 4.2 obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r-252 m i częstotliwości fxm=5,8 Hz największą częstotliwość masywu na kierunku X,fxmm:

$$fxmm = fxm252/[sin\left(fxm252 * 360 * \frac{252}{3641}\right)] = \frac{5,8}{[sin144,5^{o}]} = \frac{5,8}{0,581} = 9,98\ Hz \quad (4.61)$$

Sprawdzono właściwy dobór prędkości fali podłużnej i częstotliwości fxmm dla odległości r=266 m. gdzie pomierzona częstotliwość drgań fxm 266=9,7 Hz:

$$fxm\ 266 = fxmm * sin[fxm265 * 360 * 266/3651)] = 9,98 * sin[9,7 * 266/3641)] = 9,64Hz$$

co uznano za dostateczną dokładność obliczeń prędkości fali podłużnej Coxm i częstotliwości fxmm. Stąd fxmm=9.98 Hz, a Coxm=3641m/s.



Rys. 4.33 Kierunkowość częstotliwości drgań masywu na kierunku X-fxm i kierunku Y-fym dla strzelania w złożu bazaltu

Z rysunku wynika, że kąt kierunkowy α =67º ma duży wpływ na wartości częstotliwości drgań fym co może być spowodowane głównym kierunkiem szczelinowatości w złożu. Przedstawiony na Rys.4.33 sposób określania głównego kierunku szczelinowatości w złożu, po potwierdzeniu w innych badaniach , może być zgłoszony do Urzędu Patentowego.

Obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r-252 m i częstotliwości fym=5,05 Hz największą częstotliwość masywu na kierunku Y,wzór (4.22), fymm:

$$fymm = fym252/[sin(fym252 * 360 * 252/3161) = 5.05/ [sin144{,}9º] = 5{,}05/0{,}575 = 8{,}8\ Hz \quad (4.62)$$

Ze względu na kierunkowość częstotliwości drgań masywu dla fym kąt α=67º , Rys.4.33 nie można tutaj jak poprzednio sprawdzić prawidłowości przyjętych wartości częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla odległości 266 m. Pośrednio prawidłowości przyjętych wartości częstotliwości i prędkości fali podłużnej potwierdza wartość ka i obliczona wartość fym. Z pozycji 133 i 465 Tabela 4.2 obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r-302 m i częstotliwości fxtm=13,7 Hz największą częstotliwość drgań masywu dla fali poprzecznej na kierunku X, fxtmm, wzór (4.21):

$$fxtmm = fxtm302/[sin\left(fxtm302 * 360 * \frac{302}{2578}\right) = \frac{13{,}7}{[sin217{,}7°]} = \frac{13{,}7}{0{,}611} = 22{,}4\ Hz \quad (4.63)$$

Sprawdzono właściwy dobór prędkości fali poprzecznej i częstotliwości fxtmm dla odległości r=362 m, gdzie pomierzona częstotliwość drgań wynosi fxtm362=13,5 Hz:

$fxtm362 = fxmm * sin[fxmm * 360 * 362/2534] = 22{,}4 * sin[13{,}5 * 360 * 362/2578)] = 13{,}7Hz$

co uznano za dostateczną dokładność obliczeń prędkości fali poprzecznej Cxtm i częstotliwości fxtmm. Stąd fxtmm=22,4 Hz a Ctxm=2578m/s.

Podobnie obliczono fytmm oraz Cytm.

I.4 Obliczenia największej prędkości drgań dla fali poprzecznej Vxtmm na kierunku X w masywie skalnym. Największą prędkość drgań dla fali poprzecznej w masywie Vxtmm, obliczono dla prędkości fali nieco większej niż dla prędkości Cxt= 2596m/s. Zwiększenie prędkości fali z 2578 m/s o 0,7% może być błędem pomiaru lub wymaga dalszych badań. Największą prędkości drgań dla fali poprzecznej w masywie Vxtmm, obliczono dla pozycji 133 i 465 i odległości 302 i 362 m (Tabela 4.2). Obliczenia wykonano według wzoru (4.19)

$Vxtmm = Vxtm302/[cos(fxmt302 * 360 * (302/2596) = 3{,}24/[cos(13{,}7 * 41{,}8)]$ =3,24/cos 213º 3,24/0,832=3,89 mm/s.

Sprawdzono właściwy dobór prędkości drgań i prędkości fali poprzecznej dla odległości r=362 m, gdzie pomierzona prędkości drgań dla fali poprzecznej Vxtm362, Vxtm362=2.88 mm/s. $Vxtm362 = Vxtmm * cos[fxm362 * 360 * 362/2596)] = 3{,}89 * cos[317{,}7)] = 3{,}89 * 0{,}74]$ =2,88 mm/s. Otrzymany wynik uznano za dostateczną dokładność obliczeń największej prędkości drgań dla fali poprzecznej w masywie, Stąd Vxtmm=3,89mm/s

Podobnie obliczano największą prędkości drgań dla fali podłużnej Vxomm na kierunku X i Y w masywie wg wzorów (4.19) i (4.20):

$$Vxomm = Vxm252/[\cos(fxm52 * 360 * \left(\frac{252}{3641}\right) = \frac{4{,}8}{[cos(144{,}5^{o})]} = \frac{4{,}8}{0{,}814} = \frac{5{,}9mm}{s}$$

i największą prędkości drgań dla fali podłużnej Vyomm na kierunku Y w masywie:

$$Vyomm = Vym252/[cos(fxm252 * 360 * \left(\frac{252}{3161}\right) = \frac{4{,}1}{[cos(144{,}9^{o})]} = \frac{4{,}8}{0{,}818} = \frac{5{,}0mm}{s}$$

I.5 Odkształcenie względne bloczka na kierunku X i Y

$$\varepsilon x = (Vt^2 * \rho mw * Tpx)/:/ (Hax * Ww) \quad (4.64)$$

εx =[5030²*1,2*1000*092]:[28,15*10^(9)*0,83*1000]=0,0013

Odkształcenie względne bloczka na kierunku Y:

$$\varepsilon y = (Vt^2 * \rho mw * Tpy)/:/ (Hay * Ww) \quad (4.65)$$

εy =[5030²*1,2*1000*092]:[26,92*10^(9)*0,83*1000]=0,00136

I.6 Prędkość drgań V bloczka i bloku skalnego na kierunku X i Y
Na blok skalny działa prędkość drgań V bloczka

Vx= $\varepsilon x * Coxm$ =0,0013*3641=4,73 m/s; Vy=0,00136 *3161=4,3 m/s, (4.66)

I.7 Częstotliwość drgań własnych jednego bloczka na kierunku X i Y, wzór (4.41)

$fx = [(Vt/(2\pi)] * [\ \rho mw * \ Tpx * Coxm/:/(\rho s \ * Vx * a * H * z)\ ]$^$(1/2)$,

fx = [5030/(2 π] *[(1,2*1000*0,92*3641/ :/3*1000*4,73*242,5]^(½)=800,95*1,08 = 865,67 Hz.

Częstotliwości drgań własnych jednego bloczka na kierunku,Y wzór (4.42)

$fy = [(Vt/2\pi\ ] * [\rho mw \ * \ Tpy * Coym/:/(\rho s \ * Vy * a * H * z\ )\ ]$^(½)

fy = [5030/(2 π)]*[(1,2*1000*0,95 *3161/:/3*1000*4,3*242,5]^(½) = 800,95*1,07= 859,64 Hz.

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej fs na kierunku X i Y równają się częstotliwości drgań własnych jednego bloczka pomnożonej przez 1.09:

fsx=1,09*865,67=943,58Hz, fsy=1,09*859,64=937,0 Hz.

Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y.

λx=Coxm/fsx=3641/943,58=3,86m,

λy=Coym/fsy=3161/937=3,37m

I.8 Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y

Wrk dla bloczka skalnego na kierunku X:

Wrkx=2(H+a)/λx=2(18,5+3,80)/ 3,86=44,6/3,86=11.55 (4.67)

Wrky=2(H+a)/λy=2(18,5+3,80)/3,37= 44,6/3,37=13,23 (4.68)

Stąd kax=9,1 a kay=10,4 co jest wielkością zbliżoną jak na otrzymane kształty prędkości drgań fali sejsmicznej fs na kierunku X i Y, przedstawione na rys.4.35 i 4.35a. Wynika stąd wniosek ,że być może to nie jeden bloczek wytwarza kierunkowość elipsoidalną prędkości drgań fali sejsmicznej a prawdopodobnie pierwszy rząd otworów, ponieważ grubość źródła drgań czyli ilość rzędów nie ma wpływu na kształt powstałego pola prędkości drgań fali sejsmicznej. Na kształt powstałego pola prędkości drgań fali sejsmicznej ma wpływ jego szerokość,co potwierdzają równania (4.67) i (4.68). Wykonano zatem obliczenia celem sprawdzenia powyższej hipotezy.

I.9 Obliczenie częstotliwość drgań własnych fxb1 bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fxb1r na na kierunku X wzór (4.41):

$fxb1r = [(Vt/(2\pi)] * [\ \rho mw * \ Tpx * Coxm/:/(\rho s \ * Vx * \mathrm{U1r})\ ]\text{^}(1/2)$ (4.69)

fxb1r = [5030/(2 π)]*[(1,21*1000*0,92*3641/:/3*1000*4,73*2668]]
^(1/2) = 800,95* 0,326=261.0 Hz

Częstotliwości drgań własnych bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fsx1r na kierunku, Y wzór (4.42):

$fyb1r = [(Vt/2\pi\ ] * [\rho mw * Tpy * Coym/:/(\rho s \ * Vy * \mathrm{U1r})\ ]\text{^}(1/2)$ (4.70)

fyb1r = [5030/(2π)]*[(1,2*1000*0,95*3161)/:/(3*1000*4,3*2668)]
^(½)=800,95*0,32=259,17 Hz

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego jednym rządem otworów fsx1r na kierunku X i Y równa się częstotliwości drgań własnych jednorzędowego bloku skalnego pomnożona przez 1.09.

fsx1r=261*1,09=284,5 Hz,

fsy1r=1,09*259,17=282,5Hz.

Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y:

λxfs1r=Coxm/fsx1r=3641/284,5=12,8m,

λyfs1r=Coym/fsy1r=3161/282,5=11,19 m.

Aby zachować takie same warunki dla wykonywanych porównań, podobnie jak dla bloczka nie uwzględniamy wpływu wskaźnika wymiarów geometrycznych źródła drgań na częstotliwość drgań fali sejsmicznej.

I.10 Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y. Wrk dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów na kierunku X i Y ze wzoru (4.54):

Na kierunku X Wrkxb=2(H+Ly)/λxfs1r=2(18,5+41,8)/ 12,8= 9,42

Na kierunku Y Wrkyb=2(H+a)/λyfs1r=2(18,5+41,8)/11,19=10,78.

Stąd kaxb=7,39 a kayb=8,46 co jest wielkością zbliżoną jak na otrzymane kształty prędkości drgań fali sejsmicznej fsb rys. (4.35) i (4.35a) na kierunku X i Y. Obecnie nie można jednoznacznie określić czy to jeden bloczek wytwarza kierunkowość elipsoidalną prędkości drgań fali sejsmicznej czy prawdopodobnie pierwszy rząd otworów.

I.11 Obliczanie wskaźnika ilości zwłok czasowych /Wfn/ dla 1 rzędu otworów
W czasie strzelania milisekundowego kolejno odpalamy otwory co powoduje zmniejszenie częstotliwości i prędkości drgań. Efekt stosowania zwłok czasowych zgodnie ze wzorem (4.46) określa wskaźnik $\mathrm{Wf}n = [1 + 0{,}05i]^a$, a-wskaźnik potęgowy, a=1/3; bazalty, dolomity. Dla i=20, zwłok czasowych dla pierwszego szeregu otworów, wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań obliczony ze wzoru 4.46 wynosi:

$Wfn = [1 + 0{,}05 * 20]^{1/3}$, Wfn=1,26.

Czyli

kaxb=9,42*0,785/1,26=5,86 kayb=10,78*0,785/1,26=6,72.

Najczęściej w jednym otworze jest jeden ładunek MW i ilość zwłok czasowych równa się wtedy ilości otworów. Gdyby zamiast ilości zwłok czasowych przyjąć ilość otworów to Wfn=1,14 a kaxb=6,49, kayb=7,42. Tak obliczone wartości byłyby najbliższe kształtom przedstawionym na rys.4.35 i 4.35a. Zastąpienie ilości zwłok czasowych ilością otworów podobnie jak przyjęcie, że to jeden otwór powoduje ostateczną kierunkowość drgań wymaga jednak dalszych badań. Wykonane obliczenia potwierdzają, że przedstawiony na Rys. 4.35 i 4.35a kształt biegunowego kierunkowego rozkładu elipsoidalnego prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań sejsmicznych podczas urabiania złoża bazaltu strzelaniem znajduje się pomiędzy ka=6,28; Rys.4.18 i ka=9,7; Rys. 4.30. Podobnie jak dla bloczka nie uwzględniamy wpływu wskaźnika wymiarów geometrycznych źródła drgań na częstotliwość drgań fali sejsmicznej. Obecnie nie można jednoznacznie określić czy to jeden bloczek wytwarza kierunkowość elipsoidalną prędkości drgań fali sejsmicznej czy prawdopodobnie pierwszy rząd otworów. Sprawdzenie tego wymaga dalszych badań. Sprawdzenie, że drgania całego bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów mają niższą wartość „ka" niż obliczona tutaj, wykonano w Etapie II.

I.12 Sprawdzenie dokładności określania średnicy otworu strzałowego

Dotąd nie obliczano średnicy otworu jako funkcji właściwości wytrzymałościowych urabianego masywu skalnego na kierunku X i Y. Dla kierunku radialnego średnicę otworu strzałowego obliczamy z równania (4.52a):

Dx= [ρs*Coxm*Vx*2*a] / [ρmw*Qe*Tpx]

Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku X otrzymamy:

Dx=[3*1000*3641*4,73*2*3,8]/[1,2*1000* 3364 * 1000*0,92]=105,8 mm

W otworze o średnicy otworu 102 mm - Dw znajdują się dwa ładunki MW oddzielone 1 metrową przybitką pośrednią a łączna ich długość wynosi lm=14m. Gdyby nie było przybitki pośredniej to długość tych samych ładunków wynosiłaby lw=15 m.Aby pomieścić tą sama objętość MW średnica otworu Dm może zostać pomniejszona. Srednicę mniejszą Dm obliczamy ze wzoru Dm=Dw*[lm/lw]^(½). Podstawiając dane otrzymano Dm=102*0,97=98,5mm. Czyli obliczona średnica jest tylko 105,8/98,5=1,07 większa co świadczy, że jest właściwie obliczona. Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku Y otrzymamy średnicę otworu Dy:

Dy = [ρs*Coym*Vy*2*z]/:/[ρmw*Qe*Tpy]=[3*1000*3161*4,3*2*3,45] /[1,2*1000* 3364 * 1000*0,95]=73,4mm.

Mnożąc Dy przez współczynnik złożowy bazaltu Sz=0,93 otrzymamy Dyz=68,3mm. Czyli do zniszczenia bloczku na kierunku Y wystarczy MW załadowany do otworu o średnicy 69 mm. Natomiast do zniszczenia bloczku ma kierunku X wystarczy MW załadowany do otworu o średnicy 99mm i taka powinna być racjonalnie dobrana średnica otworu dla jednego ładunku MW. Otrzymane z obliczeń wartości średnicy otworu strzałowego dla bazaltu Dx=-7% potwierdzają właściwie dobrane założenia i metodykę obliczeń.

I.13 Sprawdzenie doboru zabioru i odległość między otworami

Dobierany empirycznie dla strzelań stosunek zabioru „z" do odległości między otworami "a" nie był nigdy obliczany a jest on wynikiem anizotropii właściwości wytrzymałościowych urabianego masywu skalnego na kierunku X-„z"zabioru i kierunku Y-„a" odległości między otworami. Geometryczna anizotropia jest wynikiem praktycznego doboru zabioru i odległości między otworami wynikającym z uwzględnienia właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y. Geometryczna anizotropia Awg na kierunku X i Y to:

Awgx=z/a, Awgx=3,45/3,8=0,91. Awgy=a/z, Awgy=3,8/3,45=1,1

Prędkościowa anizotropia Awv uwzględnia właściwości wytrzymałościowe masywu skalnego na kierunku X i Y jako stosunek Vx/Vy. Prędkościowa anizotropia Awv to:

Awvx=Vx/Vy. Awvx=4,73/4,3=1,1; Awvy=Vy/Vx. Awvy=4,3/4,73=0,91

Otworowa anizotropia Awo uwzględnia właściwości wytrzymałościowe masywu skalnego na kierunku X i Y jako stosunek Dx/Dy. Otworowa anizotropia Awo to:

Awox=Dx/Dy. Awox=98,5/68,3=1,44. Awoy= Dy/Dx. Awoy= 68,3/98,5=0,69

Dopiero znając zależności pomiędzy tymi rodzajami anizotropii i uwzględniając właściwości wytrzymałościowe masywu skalnego można właściwie dobierać zabiór i odległość między otworami. Z analizy wyników obliczeń wynika, że dobrany do strzelania stosunek a/z jest równy stosunkowi Vx/Vy i wynosi 1,1 lecz jest mniejszy od stosunku Dx/Dy, który wynosi 1,44 i do takiej wartości powinien dążyć stosunek odległości między otworami do zabioru na badanym kierunku w złożu bazaltu.

II. Etap. Wykonanie obliczeń częstotliwości i prędkości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów

II.1 Obliczenie wartości Wrk i ka dla całego bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów

Aby zachować takie same warunki dla wykonywanych porównań, podobnie jak dla bloczka i jednego rzędu otworów nie uwzględniamy wpływu wskaźnika wymiarów geometrycznych źródła drgań na częstotliwość drgań fali sejsmicznej. Maksymalna częstotliwość drgań bloku skalnego na kierunku X, f_{xbko} bez uwzględniania wpływu wskaźnika wymiarów geometrycznych źródła drgań wynosi:

$f_{xbko}=f_{xsb}/W_{ofnb}=164{,}45Hz/4{,}56=36{,}1$ Hz .

na kierunku Y:

$f_{ybko}=163{,}3Hz/4{,}56= 35{,}8$ Hz

$f_{sxb}=164{,}45Hz$, a $f_{syb}=163{,}3Hz$. $W_{ofnb}=4{,}56$ Powyższe dane obliczono w następnym podpunkcie II.2.1 poniżej

Obliczona dla f_{xbko} i prędkości fali podłużnej $C_{oxm}=3641m/s$, na kierunku X długość fali $\lambda_{xbk}=100{,}9m$. Obliczona dla fybko i prędkości fali podłużnej $C_{oym}=3161m/s$, na kierunku Y długość fali $\lambda_{ybk}=88{,}3m$. Stąd Wrk bloku na kierunku X:

$W_{rkxb}=2(H+L_y)/\lambda_{xb}=2(18{,}5+41{,}8)/100{,}9 =120{,}6/100{,}9=1{,}2$

Wrk bloku na kierunku Y:

$W_{rkyb}=1{,}36$. $k_{axb}=0{,}785*W_{rkxb}=0{,}94$; $k_{ayb}=0{,}785*1{,}36=1{,}07$.

Otrzymane z obliczeń wyniki Wrk i ka są znacznie mniejsze niż dla bloku urabianego jednym rzędem otworów i sugerują, że jest to rozkład kołowy, jednocześnie potwierdzają, że powstała kierunkowość elipsoidalna prędkości drgań nie jest związana z całym blokiem skalnym lecz tylko z jego pierwszym rzędem otworów lub bloczkiem co może być cennym nowym odkryciem. Zależność ta wymaga jednak potwierdzenia w dalszych badaniach.

II.2 Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego na kierunku X i Y

II 2.1 Wskaźniki zmniejszające częstotliwość drgań fali sejsmicznej

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów wynoszą $f_{sxb1r}=284{,}5$ Hz, $f_{syb1r}=282{,}5$ Hz. Objętość bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów jest 3 razy większa, zatem częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla tego bloku jest o $\sqrt{3}$ razy mniejsza, stąd $f_{sxb}=164{,}45Hz$, a $f_{syb}=163{,}3Hz$. Przyjęto jak poprzednio wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań dla jednego rzędu otworów $W_{fn1}=1{,}14$, dla 3

rzędów Wfn3=1,14*3=3,42. Wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań przy stosowaniu zwłok czasowych między rzędami otworów dla 3 rzędów otworów przy stosowaniu zwłok po odpaleniu 1 i 2 rzędu otworów wynosi Wfnb=2*0,5*Wfn=1,14. Ogólna wartość wskaźnika zmniejszającego częstotliwość drgań fali sejsmicznej ze względu na stosowanie zwłok czasowych dla bloku skalnego Wofnb=4,56. Wfgb-wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań fali sejsmicznej uwzględniający wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań czyli bloku skalnego w stosunku do kulistego lub walcowego źródła drgań można wyznaczyć z zależności:

$$Wfgb=[H^* zc]^{(1/2)}/ Ly \qquad (4.71)$$

gdy H=D, zc=D, Ly=D, a D jest średnicą kuli lub walca, to dla takiego źródła drgań Wfgb=1. Dla innych wymiarów źródła drgań otrzymane wartości będą mniejsze. Podstawiając wymiary bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów do wzoru otrzymamy:

$Wfgb=[18,5*10,45]^{(½)}/41,8= 13,9/41,8=0,33$

Końcową częstotliwości drgań fali sejsmicznej $fxbk$ dla bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów uwzględniając jego kształt i liczbę zastosowanych zwłok na kierunku X obliczamy z zależności;

$$fxbk = fsxb * Wfgb/Wofnb \qquad (4.72)$$

gdzie: fxbk- końcowa częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego na kierunku X, fsxb=164,45Hz; fsyb-częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego na kierunku Y, fsyb=163,3Hz; Wfgb-wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań fali sejsmicznej uwzględniający wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań, Wfgb=0,33; Wofnb-ogólna wartość wskaźnika zmniejszającego częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego ze względu na ilość zastosowanych zwłok czasowych ,Wofnb =4,56.

Podstawiając do wzoru (4.72) otrzymamy:

fxbk=164,45*0,33/4,56=11,9Hz: fybk=163,3*0,33/4,56=11,8Hz.

Maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X wynosi, fxmm=9,98Hz, a na kierunku Y,fymm=8,8 Hz, Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw:

Wxzfm i Wyzfm, Wxzfm=fxmm/fxbk= 9,98/11,9=0,84;

Wyzfm=fymm/fybk= 8,8/11,8=0,75.

Na tej podstawie można ocenić, że otrzymane wyniki w 84 % na kierunku X i 75% na kierunku Y są prawidłowo obliczone..Z pewnością następne badania pozwolą na powiększenie dokładności tych wskaźników.

II.3 Prędkości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów i przy przejściu do masywu

Prędkości drgań V bloczka skalnego na kierunku X i Y wynoszą: Vx=4,73 m/s; Vy=4,3 m/s, Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku skalnego urabianego trzema rzędami otworów uwzględniając jego kształt i liczbę zastosowanych zwłok na kierunku X obliczamy z zależności: Vbx= Vx*Wfb/(Wofnb)

Podstawiając dane, prędkość drgań Vb bloku skalnego na kierunku X i Y otrzymamy; Vbx=4,73*0,33/4,95=0,325 m/s. Vby=4,3*0,33/4,95=0,29 m/s. Długość fali sejsmicznej rozchodzącej się w bloku skalnym: na kierunku X- λ_{xbk}=306,0m, na kierunku Y długość fali λ_{ybk}=265,6m.Wymiary bloku skalnego:41,8*18,5*10,45 m czyli największy wymiar bloku jest około 6,3 razy mniejszy niż długość rozchodzącej się w bloku fali. Fala sejsmiczna o tej długości rozchodzi się w urabianym bloku skalnym jak w warunkach ośrodka ograniczonego. Wskaźnik zmniejszania się prędkości drgań fali sejsmicznej przy przejściu z ośrodka ograniczonego/bloku skalnego/ na kierunku X i Y na masyw skalny wynosi: W_{vbxm}=Vbx/(f_{xbk}*zc) podstawiając dane otrzymamy:

W_{vbxm}=0,325/(10,96*10,45)=0,0028, W_{vbym}=0,29/(10,89*10,45)=0,0025 .

Ostatecznie prędkości końcowe drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw skalny to V_{xbk} i W_{ybk}. V_{xbk}=Vbx*W_{vbxm}, podstawiając dane otrzymamy; V_{xbk}=325*0,0028= 0,91mm/s, V_{ybk}=290*0,0028=0,81 mm/s. Obliczone na podstawie pomiarów w masywie dla kołowego rozkładu drgań, największe prędkości drgań fali sejsmicznej w masywie wynoszą V_{xomm}=5,9mm/s, V_{yomm}=5,01 mm/s .Duże różnice między prędkością końcową drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw skalny a największymi prędkościami drgań fali sejsmicznej w masywie skalnym na kierunku X i Y można wytłumaczyć elipsoidalnym rozkładem drgań. Stosunek V_{xomm}/V_{xbk}=5.9/0,91=6,4, co w przybliżeniu odpowiada wartości kax=5,86. Stosunek V_{yomm}/V_{ybk}=5.01/0,81 =6,2, co w przybliżeniu odpowiada wartości kay=6,72.

II.4 Pole bliskie

Pole bliskie jest ograniczone maksymalną częstotliwością na początku pola i maksymalną częstotliwością na końcu pola. Obliczanie początku i końca pola bliskiego na kierunku X wykonuje się wg wzoru (4.21):

$$fxomm = fxrm/[sin\left(fxrm * \frac{r}{Coxm}\right)]$$

gdzie; $fxrm$ - częstotliwość drgań masywu na kierunku X w punkcie r; f_{xomm}- maksymalna częstotliwość drgań masywu dla fali podłużnej na kierunku X, f_{xomm}=9,98 Hz; r- początek pola bliskiego-szukana odległość; C_{oxm}-prędkość fali podłużnej w masywie na kierunku X, C_{oxm}=3641m/s.

Należy tak dobrać fxrm i r, aby otrzymać fxomm=~9,98 Hz. Podobny wzór dotyczy końca pola bliskiego. Podstawiając za r=60m i fxrm=4 Hz otrzymano dla początku pola bliskiego; 9,98=4/[sin23,7º]= 4/0,402=9,95.

Podobnie dla końca pola bliskiego podstawiając za r=295m i fxrm=8Hz otrzymano dla końca pola bliskiego; 9,98=8/[sin233,3º]= 8/0,802=9,97.

Stąd Pbs1=60m, Pbs2=295m, gdzie Pbs1-początek pola bliskiego, Pbs2- początek pola dalekiego. Stąd obliczona stała Ax1r wg. wzoru (4.16), dla obliczania końca pola bliskiego dla jednorzędowego bloku skalnego w złożu bazatu wynosi Ax1r=2,33.

II.5 Wykładniki potęgowe dla zależności określajacej zmianę prędkości drgań fali podłużnej z odległością czyli tłumienie objętościowe

Podobnie jak w równaniu (4.10) zgodne z [Onderka, Sieradzki, Winzer (2003)] dotyczącym wartości amplitudy przemieszczenia wartość prędkości w punkcie bliższym pola prędkości Vb oblicza się według zależności $Vb=Vd\ (Ld/Lb)^a$ gdzie dla przemieszczenia [Onderka, Sieradzki, Winzer (2003)] dla fali powierzchniowej R -„ a”=0,5 ; dla fali podłużnej Co i poprzecznej Ct „a”=2. Ld– odległość dalsza, Lb-odległość bliższa. Wartości wykładnika „a” dotyczą rozkładu kołowego amplitudy przemieszczenia i powinny być bliskie wykładnikom prędkości drgań. Na podstawie wyników pomiarów prędkości i częstotliwosci drgań zestawionych w Tabeli 4.2 dla złoża bazaltu..Rzeczywiste wartości „a” dla prędkości drgań z zależności potęgowej miały wartości- a=~7 czyli kikakrotnie przekraczające wartości dla amplitudy przemieszczenia podane w literaturze [Onderka,Sieradzki,Winzer(2003)].

II.6 Pole bliskie

Wyniki pomiarów dla pola bliskiego oraz uzyskane zależności dla określania prędkości drgań i częstotliwości drgań w tym polu podano poniżej. Pomiary dotyczą urabiania złoża dolomitu Weaver Quary, Alden Iowa, badanie T.7 [Duvall , Nicholls, Johnson(1971)].

Tabela 4.3 Wyniki pomiarów dla pola bliskiego T.7

Odległość m	Fx [Hz]	fy [Hz]	Vxm mm/s	Vym mm/s	n-szt.	∝º Kątº	Z m	H m	a m
56,5	27	33	44.2	18,3	7	90°	3,05	9,15	4,6
106,5	18	20	14,5	6,8	7	90°	3.05	9,15	4,6

Prędkość radialną Vxm i styczną Vym oraz częstotliwość radialną fxm i styczną fym drgań fali parasejsmicznej dla pola bliskiego w masywie (kąt kierunkowy 90°) dla odległości Lb= 56,5 m można obliczyć mając prędkość Vx56,5=14,5 mm/s, Vy56,5=6,8 mm/s, częstotliwość fx=18 Hz, fy=20 Hz pomierzone

w odległości Ld=106,5 m. Z zależności potęgowej Vx56,5=Vx106,5*(L106,5 / L56,5)^{a} otrzymano wartości współczynnika potęgowego ”a” dla dolomitów i prędkości Vx wynosi, ax=1,77 ,dla Vy, ay=1,57. Współczynnik potęgowy dla częstotliwości fx wynosi: ax=0,64 m, dla fy, ay=0,8

Vx56,5= 14,5 *(106.5/56,5)^(1.77)=44,3 mm/s,

Vy56,5= 6,8*(106.5/56,5)^(1,57)= 18,3 mm/s

fx56,5= 18*(106.5/56,5)^(0,64) = 27 Hz

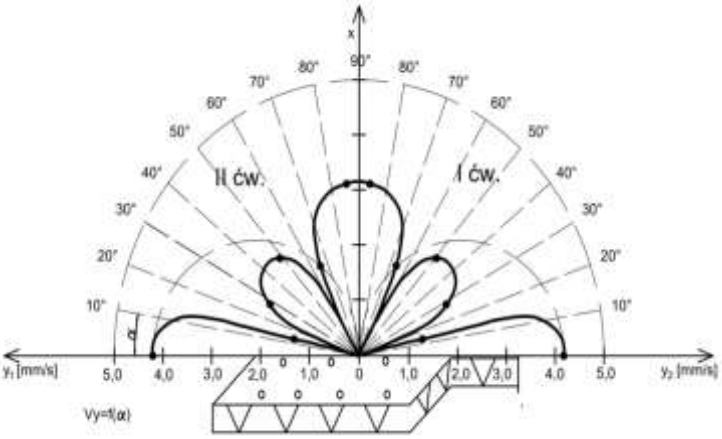
fy56,5= 20*(106.5/56,5)^(0,8) = 33 Hz

Wartości współczynnika potęgowego ”a” były bliskie wartościom podanym w literaturze [Onderka, Sieradzki, Winzer(2003)] czyli dotyczyły rozkładu kołowego co zostało potwierdzone w Rozdziale 4.4.4.3 Monografii.

II.7 Kierunkowy rozkład elipsoidalny podczas urabiania MW złoża bazaltu

W opracowaniu [Opracowanie(2015)] na punktach pomiarowych wykonano pomiary wartości prędkości PPV poziomych stycznych i radialnych prędkości drgań i odpowiadających im kątom kierunkowym. Pomiary wykonano dla 6 punktów rozłożonych równomiernie na jednej ćwiartce przed czołem urabianego strzelaniem bloku skalnego w złożu bazaltu. Pomiary przeprowadzono w średniej odległości 313,0m od źródła drgań z zastosowaniem aparatury pomiarowej UVS-1504 firmy Abem. Uwzglednienie wpływu różnych odległości pomiaru na wartości prędkości drgań wykonano według opisu patentowego podanego Rozdziale 6.1. Wyniki pomiarów poziomej prędkości radialnej i stycznej drgań dla różnych wartości kątów kierunkowych przedstawiono symetrycznie dla dwóch ćwiartek na Rys. 4.31 i 4.34. Na Rys 4.31 jest przedstawiony rozkład kierunkowy elipsoidalny składowej radialnej prędkości Vx drgań występujący w czasie strzelania w odległości powyżej 300m od źródła drgań, czyli w polu dalekim. Pomiary wykonano przy użyciu 6 czujników drgań na połowie obwodu koła dla różnych kątów pomiarowych Vx=f(α). Wykres kierunkowy wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, w pierwszej i drugiej ćwiartce półokręgu przedstawia się, jako połączony obwód trzech elipsoid i dwóch półelipsoid, pierwsza największa elipsoida fali podłużnej L, której dłuższa oś znajduje się na osi X zaczyna się, gdy kąt α=0° i Vx=0. Maksymalna wartość wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań jest przy kącie 90°. Elipsoida fali podłużnej na ćwiartce I i II poprzez dwie ukośne pełne elipsoidy fali poprzecznej T, o kącie kierunkowym dłuższej osi około α=38°,przechodzi w dwie półelipsoidy fali powierzchniowej R o dłuższych osiach leżących na osi wykresu Y**1** i Y**2** i ich kącie kierunkowym α=0°. Elipsoidy i półelipsoidy na ćwiartce I i II są sobie podobne. Rys.4.31 to rozkład kierunkowy [Opracowanie(2015)] elipsoidalny radialnej prędkości Vx=f (α) na ćwiartce I i symetryczny na Ćwiartce II dla

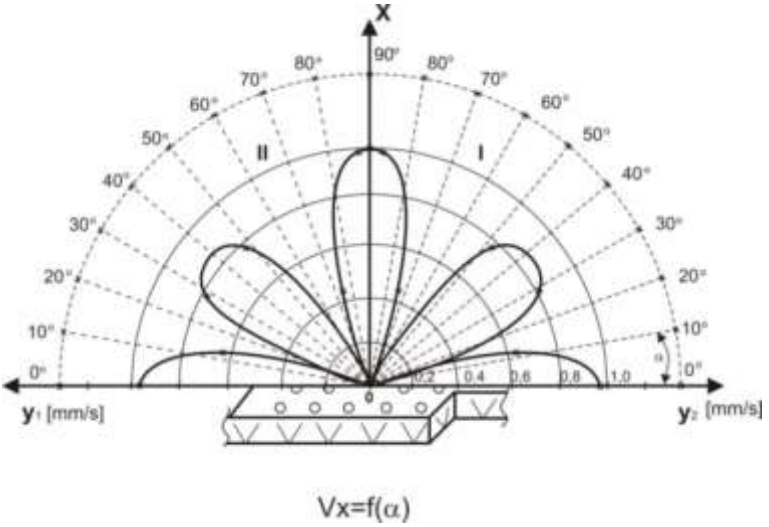
zmiennych wartości kąta kierunkowego pomiarów „α”. Linia przerywana cienka (koło) to teoretyczny rozkład punktów pomiarowych dla rozkładu kołowego radialnej prędkości drgań Vxk. Na rysunku 4.31 elipsoidowego rozkładu prędkości drgań Vx widać wyraźnie główne kierunki drgań gruntu w stosunku do linii otworów strzałowych. Przy elipsoidalnym rozkładzie kierunkowym wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, zaobserwować można kierunki, na których wektor poziomej radialnej prędkości Vx jest nawet kilka razy mniejszy niż na innych kierunkach. Podobne kierunki występują przy poziomej stycznej prędkości Vy Rys. 4.34.



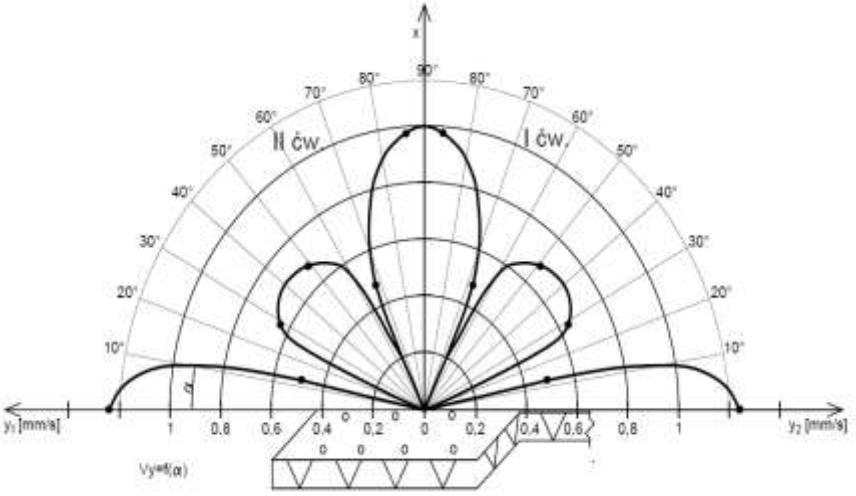
Rys. 4.34 Charakterystyka kierunkowa poziomej składowej stycznej prędkości Vy drgań w funkcji kąta kierunkowego "α", dla złoża bazaltu./Oprac. własne/

Przy następnym przemysłowym strzelaniu o takich samych parametrach strzelania, na podstawie tak otrzymanych kierunków można oceniać w przybliżeniu główne kierunki drgań gruntu w stosunku do linii otworów strzałowych.

Znając rozkład kierunkowy drgań fali parasejsmicznej mamy możliwość kierowania kierunkami największych drgań w czasie strzelania w stronę niezabudowanego terenu. Powyższe uwagi dotyczą także eliptycznego rozkładu prędkości drgań stycznych, Vy w funkcji kąta kierunkowego "α", występującego podczas urabiania MW złoża bazaltu. Dla analizowanego złoża kąty kierunkowe α zapewniające najmniejsze oddziaływanie prędkości drgań Vx i Vy na budowle i budynki obejmują obszar odchylony od linii otworów strzałowych o kąt α od 13° do 26° w ćwiartce I i II oraz od 60°do 69° w ćwiartce I i II. W tym zakresie kątowym powinny znajdować się chronione obiekty inżynierskie.



Rys. 4.35 Charakterystyka kierunkowa we współrzędnych biegunowych kierunkowego elipsoidalnego pola prędkości drgań Vx dla złoża bazaltu. Eliptyczne zależności wartości Vx prędkości drgań radialnych w funkcji kąta kierunkowego "α"./Opracowanie własne/



Rys. 4.35a Charakterystyka kierunkowa we współrzędnych biegunowych kierunkowego elipsoidalnego pola prędkości drgań Vy dla złoża bazaltu. Eliptyczne zależności wartości Vy prędkości drgań stycznych w funkcji kąta kierunkowego "α"/Opracowanie własne/

Przy występowaniu kierunkowego pola drgań /11 otworów strzałowych w jednym rzędzie/, aby zapewnić bezpieczeństwo techniczne budynkom [Polska Norma (2016)] prędkość działających na nich drgań nie powinna przekraczać

Granicy B (dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych) w skali szkodliwości drgań SWD I. Należy przeprowadzić pogłębioną analizę stosowanych w Normach europejskich parametrów i na podstawie pomiarów ocenić czy są takie normy, które pozwalają lepiej niż Polska Norma, prognozować możliwe uszkodzenia budynku, a tym samym dokładniej oceniać oddziaływanie drgań na bezpieczeństwo techniczne budynków. Aby zapewnić bezpieczeństwo techniczne obiektom inżynierskim położonym blisko kopalni odkrywkowej należy określić charakterystykę kierunkową drgań powstających na danym złożu przy stosowanym sposobie strzelania, i na tej podstawie określić bezpieczne kąty kierunkowe /obszary z najmniejszymi wartościami drgań/. Zmieniając położenie obecnego i planowanego frontu robót górniczych, a tym samym położenie otworów strzałowych, można tak zaplanować front robót górniczych, że obiekty inżynierskie znajdą się w bezpiecznej strefie kąta kierunkowego. Mamy zatem możliwość kierowania kierunkami największych drgań w czasie strzelania w stronę niezabudowanego terenu. Znając kierunki największych drgań Urząd Gminy na tych kierunkach nie powinien udzielać pozwoleń na budowę domów w pobliżu kopalni surowców skalnych.

II.8 Charakterystyki kierunkowe dla różnych wariantów źródła drgań

II.8.1 Obliczanie charakterystyki kierunkowej źródła złożonego z ”n” źródeł punktowych bez przesunięcia fazy [Czajka(2009)]

Charakterystyka kierunkowa źródła złożonego z ”n” punktowych bez przesunięcia fazy odległych od siebie o odległość d jest opisana równaniem (4.57);

$$K(\theta) = sin(n\,\pi\,d\,sin\theta)/:/n\,sin[(\pi d/\lambda)\,sin\,\theta]$$

Podstawiając do wzoru wartości otrzymane z pomiarów dla złoża bazaltu stwierdzono, że nie opisuje on rozkładu elipsoidalnego, czyli kształtu listka głównego, a raczej opisuje obwód koła.

II.8.2 Obliczanie charakterystyki kierunkowej liniowego źródła rozciągłego [Czajka(2009)]

Źródło liniowe, to prostoliniowy odcinek „L” złożony z nieskończonej liczby elementarnych źródeł punktowych, umieszczonych obok siebie. Charakterystyka kierunkowości źródła w postaci odcinka złożonego z nieskończonej ilości źródeł punktowych wyraża się wzorem (4.58):

$$K(\theta) = sin(kLsin\theta)/:/kL\,sin\theta$$

Podstawiając do wzoru wartości otrzymane z pomiarów dla złoża bazaltu stwierdzono, że opisuje on rozkład elipsoidalny, czyli kształt listka głównego. Wykonany jeden pomiar prędkości drgań dla α=86º uniemożliwia nawet

przybliżoną ocenę dokładności określania wartości prędkości drgań z charakterystyki kierunkowej liniowego źródła rozciągłego.

II.8.3 Obliczanie charakterystyki kierunkowej „K” źródła prostokątnego [Internet(12/2020) Salamon]

Charakterystyka kierunkowa „K” źródła prostokątnego dla boku a jest opisana równaniem (4.60):

$$K(\ \theta, \varphi) = [\sin(\pi \frac{a}{\lambda}\ sin\theta\ /:/\ [1(\pi \frac{a}{\lambda}\ sin\theta\ ].$$

Podstawiając do wzoru wartości otrzymane z pomiarów dla złoża bazaltu stwierdzono, że opisuje on rozkład elipsoidalny, czyli kształt listka głównego. Wykonany jeden pomiar dla złoża bazaltu i prędkości drgań dla α=86º uniemożliwia nawet przybliżoną ocenę dokładności określania wartości prędkości drgań z charakterystyki kierunkowej źródła prostokątnego dla boku a. Dla przekroju wzdłuż dłuższego boku b, charakterystyka kierunkowa wyraża się wzorem:

$$K(\ \theta, \varphi) = [\sin(\pi \frac{b}{\lambda}\ sin\theta\ /:/\ [1(\pi \frac{b}{\lambda}\ sin\theta\ ]. \qquad (4.73)$$

Podstawiając do wzoru wartości otrzymane z pomiarów dla złoża bazaltu stwierdzono, że opisuje on rozkład elipsoidalny, czyli kształt listka głównego. Wykonany jeden pomiar prędkości drgań dla α=86º dla złoża bazaltu, uniemożliwia nawet przybliżoną ocenę dokładności określania wartości prędkości drgań z charakterystyki kierunkowej źródła prostokątnego dla boku b. Z analizy przedstawionych charakterystyk kierunkowych powyższych zależności wynika, że aby je stosować w praktyce wymagają one dalszych badań.

4.4.4.2 Rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania bloku skalnego w złożu dolomitu - strzelanie natychniastowe T8 [Duvall, Nicholls, Johnson (1971)]

Na złożach skalnych dolomitu sprawdzono dokładność i prawidłowość podanych wcześniej w monografii zależności dla określania parametrów drgań przy urabianiu bloku skalnego strzelaniem natychniastowym i milisekundowym.

T8.I.1 Strzelanie natychniastowe bloku skalnego. Parametry prac wiertniczo-strzałowych

n- ilość natychniastowo odpalanych otworów, n=7, w jednym rzędzie 7 otworów; z-zabiór, z= 3,05 m; a-odległość między otworami, a=4,6 m; H-wysokość bloku i bloczka skalnego, H=9,15m; D-średnica otworu, D=25,4*6"= 152,4 mm; materiał wybuchowy [MW], ANFO typu slurry, Vt - prędkość detonacji, Vt =4500 m/s; Qe-energia spalania MW, Qe=3700 kJ/kg; ρmw- gęstość objętościowa MW, ρmw =0,85 *1000 [kg/m³],[Internet (5/2020)].

T8.I.2 Obliczone parametry bloku skalnego i masywu

Ly-długość bloku skalnego, Ly=n*a=7*4,6=32,2m; Coxm- prędkość fali podłużnej w nasywie i bloku skalnym na kierunku X,Coxm=3320 m/s; fxomm-największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku X w masywie, fxomm=53,0 Hz; Coym - prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, Coym=3258m/s; fyomm- największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku Y w masywie, fyomm = 61,3Hz; Ctxm-prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku X, Ctxm=1660 m/s; Ctym- prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, Ctym=1629 m/s; ρs gęstość objętościowa skały, ρs=2,6.*1000 [kg/m³]; Z1-impedancja akustyczna skały, Z1= ρs * Cox=8,6*10^(6)[kg/(m²s)]; Z2-impedancja akustyczna MW, Z2 =ρmw * Vt, Vt=3,8*10^(6)[kg/(m²s)]; Hax- moduł akustyczny na kierunku X, Hax=14,33 GPa; Hay- moduł akustyczny na kierunku Y, Hay=13,8 GPa; Ww- wskaźnik wielkości urabianego bloczku skalnego w stosunku do objętości standardowej próbki laboratoryjnej, Ww=0,6* 1000[-]; Tp-współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego dla kierunku X, Tpx=0,85, Tpy=0,855; Ubl-objętość jednego bloczka Ubl=a*H*z= 3,05*9,15 *4,6=128,4 m³; U1r-objętość jednego rzędu otworów, U1r= Ubl*n=128,4 *7=898,8 m³.

T8.I.3 Etap I,Obliczenie prędkości i największej częstotliwości fali podłużnej

Coxm i Comy na kierunku X i Y w masywie - równanie (4.19) i (4.20). Z pozycji 4 i 5 Tabela 4.4 obliczam dla pomierzonej na masywie (pozycja 5), w odległości od źródła drgań r-153 m i częstotliwości fx=50 Hz największą częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka w masywie na kierunku X, fxmm. Dla pozycji 5 dobrano częstotliwość i prędkość fali podłużnej ma kierunku X tak, aby otrzymać fxmm a po podstawieniu danych do zależności sinusoidalnej,równanie (4.19) otrzymać częstotliwość drgań bliską częstotliwości z pozycji 4, która wynosi 50Hz.

$$fxmm = fxm153/[sin\left(fxm153 * 360 * \frac{153}{3320}\right)] = \frac{50}{[sin109{,}5^{o}]} = \frac{50}{0{,}443} = 53{,}0\ Hz$$

Sprawdzono właściwy dobór częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla pozycji 4:

$$fxm112{,}9 = fxmm * sin\left(fxm112{,}9 * 360 * \frac{112{,}9}{3320}\right) = \frac{53*[sin252{,}1^{o}]}{1} = \frac{53*0{,}951}{1} = 50{,}4\ Hz$$

Ponieważ obliczona częstotliwość drgań wynosi 50,4 Hz w stosunku do pomierzonej 50 Hz, dlatego przyjęto , że właściwie została dobrana wartość częstotliwości i prędkość fali podłużnej. Podobne obliczenia wykonano dla częstotliwości i prędkość fali podłużnej na kierunku Y dla pozycji 5, Tabela 4.4:

$$fymm = fym153/[sin\left(fym153 * 360 * \frac{153}{3258}\right)] = \frac{50}{[sin125{,}3^{o}]} = \frac{50}{0{,}816} = 61{,}3\ Hz$$

Sprawdzono właściwy dobór częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla pozycji 6 Tabela 4.4.:

$$fym205{,}4 = fymm * sin\left(fym205{,}4 * 360 * \frac{205{,}4}{3258}\right) = \frac{61{,}3[sin54{,}8^{o}]}{1} = \frac{61{,}3*0{,}817}{1} = 50{,}1\ Hz$$

Ponieważ obliczona częstotliwość drgań wynosi 50,1 Hz w stosunku do pomierzonej 50 Hz, dlatego przyjęto , że właściwie została dobrana wartość częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla kierunku Y.

Opis tabeli. Tabela 4.4 przedstawia zestawienie pomiarów i wyników obliczeń maksymalnej stycznej Vym prędkości drgań dla strzelania natychmiastowego, BadanieT.8 [Duvall, Nicholls, Johnson(1971)] w dolomicie. Obliczone wartości z teoretycznej zależności kosinusoidalnej nr.(4.20) są bardzo wysokie (kolumna 7) ponieważ nie uwzględniają wpływu odległości na prędkość drgań. Wpływ odległości na prędkość drgań ujmuje wzór (4.74) . Wzór na prędkość drgań dla kierunku X ma wykładnik potęgowy ax=1,53 a dla kierunku Y,ay=0,86:

$$Vd=Vb[rb/rd]^{a} \qquad (4.74)$$

Gdzie: Vb - prędkość dla bliższego punktu pomiarowego od źródła drgań Vb=4,19 [cm/s]; Vd- obliczana prędkość dla dalszego punktu pomiarowego od źródła drgań rb -bliższa odległość punktu pomiarowego od źródła drgań rb =44,3[m]; rd= dalsza odległość punktu pomiarowego od źródła drgań [m]; „ax, ay”-wykładnik potęgowy wyznaczony na podstawie pomiarów zestawionych w tabeli na kierunku X i Y.

Tabela 4.4 Zestawienie wyników stycznej i maksymalnej stycznej prędkości drgańT.8 [Duvall, Nicholls, Johnson(1971)]

Lp	r odle-glość, [m]	fxm Hz	Prędkośc Vxm zmierzona, badanie T-8 Vxm [cm/s]	fym Hz	Prędkośc Vym zmierzona, badanieT-8 Vym [cm/s]	Prędkość Vy oblicz. z zalez. cos [cm/s] dla Vymax.=7,82 [cm/s]	Prędkość Vy oblicz. z uwzględnieniem wzoru (4.74) [cm/s]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	44,3	-	-	25	4,19	7,82	4,19
2	61,1	15	17,58	50	2,29	7,22	3,16
3	83.5	14	11,81	20	2,36	7,64	2,42
4	112,9	50	4,93	30	2,18	7,57	1,87
5	153	50	5.08	50	1,53	4,52	1,44
6	205,4	50	3.68	50	0,96	4,50	1,12
7	276.2	28	1,75	18	0.86	7,72	0,866

Prawie dwukrotna różnica wartości wykładnika potęgowego w zależności od kierunku pomiarów X czy Y świadczy, że jeden z kierunków pomiarów prędkości drgań wykonano na głównym kierunku szczelinowatości w złożu. Większej wartości prędkości drgań fali podłużnej odpowiada większa wartość wykładnika

potęgowego. W kolumnie 8 zestawiono wyniki obliczeń, których wartości są bardzo bliskie wartościom pomierzonym zestawionym w kolumnie 6. W ten sposób można obliczać dla pola bliskiego dla dowolnej odległości prędkość drgań co po potwierdzeniu w dalszych badaniach może być zgłoszone jako patent.

T8.I.4 Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y Strzelanie natychmiastowe

Odkształcenie względne εx i εy bloku na kierunku X i Y wzór (4.47):

εx =[4500²*0,85*1000*0,85]:[14,33*10^(9)*0,6*1000]=0,0017

Odkształcenie względne bloku na kierunku Y:

εy =[4500²*0,85*1000*0,855]:[13,8*10^(9)*0,6*1000]=0,00178

Prędkość drgań V bloku na kierunku X i Y obliczam ze wzoru (4.48):

Vx=0,0017*3320=5,64 m/s; Vy=0,00178 *3258=5,8 m/s,

Obliczenie częstotliwość drgań własnych fxbs1r bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów: fxbs1r na kierunku X, wzór (4.41):

fxbs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*0,85*3320/:/2,6*1000*5,64*898,8]^(½)
= 308,1Hz

Częstotliwości drgań własnych bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fybs1r na kierunku Y, wzór (4.42)

fybs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*0,85*3258/:/2,6*1000*5,8*898,8]^(½))
= 298,6Hz

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fxs1r i fys1r na kierunku X i Y równa się częstotliwości drgań własnych jednorzędowego bloku skalnego pomnożona przez 1.09:

fxs1r = 308,1*1,09=335,8 Hz; fys1r=1,09*298,6=325,5 Hz.

T8.I.5 Wskaźniki zmniejszające częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego

Uwzględniono wskaźnik zmniejszający częstotliwość drgań fali sejsmicznej, określający wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań czyli bloku skalnego: Wfgb wzór (4.71):

Wfgb={[H* zc]^(½)}/(Ly), (4.75)

Podstawiając wymiary bloku skalnego do wzoru 4.75 otrzymamy: Wfgb={[9,15*3,05]^(½)/32,2=5,3/32,2=0,164

Strzelanie natychmiastowe, Wfn=1, częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y fxsb i fysb,

fxsb=fxs1r*Wfgb, fxsb= 335,8 *0,164=55,1Hz; fysb=325,5*0,164=53,4 Hz

T8.I.6 Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej Wxzfm i Wyzfm przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw

Maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X- fxmm=53,Hz, na kierunku Y - fymm=61,3 Hz. Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw Wxzfm i Wyzfm,

Wxzfm= fxmm/fxsb= 53/55,1=0,96 (4.76)

Wyzfm= fymm/fysb= 61,3/53,4=1,15.

Na tej podstawie można ocenić, że otrzymane wyniki w 4 i 15% procentach nie są prawidłowo obliczone. Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku Y na masyw jest o 15 % większy od jedności czego przyczyną może być wpływ głównego kierunku szczelinowatości złoża na wyniki pomiarów na kierunku X. Następni badacze będą mieli możliwość dokładniejszego wyjaśnienia i opisania takich przypadków.

T8.I.7 Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y dla jednorzędowego bloku skalnego

Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y. Wrk dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów na kierunku X i Y z równania (4.54).

Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y.

λxsb=Coxm/fxsb=3320/55,1=60,25 m, λysb=Coym/fysb=3258/53,4=61,0 m

Na kierunku X, Wrkxb=2(H+Ly)/λxsb;

Wrkxb=2(H+Ly)/λxsb=2(9,15+32,2)/60,25= 82,7/60.25=1,37,
kax=1,1 - na kierunku X, rozkład kołowy.

Na kierunku Y, Wrkyb=2(H+a)/λysb=2(9,15+32,2)/61,0=1,35;
kay=1,1-na kierunku Y, rozkład kołowy.

T8.I.8 Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku skalnego

Prędkość drgań fali sejsmicznej Vxb dla bloku skalnego urabianego natychmiastowo jednym rzędem otworów na kierunku X uwzględniając jego kształt obliczamy z zależności (4.48a):

Vxb=(Vx/Wfn)*{[(H* z)^ (½)) / Ly]}^(1/4)

Podstawiając dane: prędkość drgań Vb bloku skalnego na kierunku X i Y, Wfn=1 otrzymamy:

Vxb=5,64*(0,164)^(1/4)=5,64 * 0,64=3,59 m/s. Vyb=5,8*0,636=3,69 m/s.

Fala sejsmiczna o tej prędkości drgań rozchodzi się w urabianym bloku skalnym jak w warunkach ośrodka ograniczonego. Wskaźnik zmniejszania się prędkości drgań fali sejsmicznej Wvb przy rozchodzeniu się fali sejsmicznej w bloku skalnym na kierunku X i Y w warunkach ośrodka ograniczonego, otrzymujemy z równania (4.49). Podstawiając dane otrzymamy:

Wxvb=3,59/(55,1*3,05)=0,021, Wyvb=3,69/(53,4*3,05) =0,023.

Prędkości drgań fali sejsmicznej, Vxbm przy przejściu z końca bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw skalny:

$$Vxbm=Vxb*Wxvb \tag{4.77}$$

podstawiając dane otrzymano:

Vxbm=3,59*0,021=7,5 cm/s; Vybm=3,69*0,023=8,49 cm/s.

T8.II1. Etap II. Obliczanie największej prędkości drgań masywu dla fali podłużnej Vxomm,Vyomm na kierunku X i Y

Obliczanie największej prędkości drgań masywu dla fali podłużnej Vxomm,Vyomm na kierunku X i Y dla masywu odbywa się na podstawie ze wzorów (4.19) i (4.20):

$$Vxomm = Vxm61{,}1/[\cos(fxm61{,}1 * 360 * \left(\frac{61{,}1}{3320}\right) = \frac{17{,}58}{[cos(99{,}4^{o})]} = \frac{17{,}58}{0{,}16} = 110\ cm/s$$

Największe prędkości drgań dla fali podłużnej Vyomm na kierunku Y dla masywu:

$$Vyomm = Vym44{,}3/[cos(fxm44{,}3 * 360 * \left(\frac{44{,}3}{3258}\right) = \frac{4{,}19}{[cos(122{,}4^{o})]} = \frac{4{,}19}{0{,}536} = 7{,}8\ cm/s$$

Obliczone na podstawie pomiarów dla kołowego rozkładu drgań, największe prędkości drgań w masywie dla fali sejsmicznej wynoszą Vxomm=110 cm/s i Vyomm=7,8 cm/s. Przy prędkości drgań w masywie dla fali sejsmicznej wynoszącej Vxomm=110 cm/s następuje jego pękanie. Potwierdza to stan faktyczny złoża, które wskutek szczelinowatości jest tak spękane, że umożliwia rozchodzenie się w nim fali o takiej prędkości drgań w masywie. Prawie 12-krotne różnice między największymi prędkościami drgań fali sejsmicznej w masywie skalnym na kierunku X i Y można wytłumaczyć głównym kierunkiem szczelinowatości w złożu bliskim kierunkowi osi X. Zarówno wartości prędkości drgań bloczka skalnego Vx=5,64m/s i Vy=5,8m/s oraz częstotliwości drgań fx1r=335,8 i fy1r=325,5 bardzo sobie bliskie nie ujmują wpływu szczelinowatości w złożu przez co nie potwierdzają możliwości wystąpienia takich różnic. Ujęcie wpływu szczelinowatości we wzorach na częstotliwości drgań i prędkości drgań bloku skalnego wymaga dalszych badań.

T.8 II.2 Początek pola i koniec pola oraz maksymalna prędkości drgań fali sejsmicznej

Pole bliskie jest ograniczone maksymalną częstotliwością na początku pola i maksymalną częstotliwością na końcu pola. Obliczanie początku i końca pola bliskiego na kierunku X i Y ze wzorów (4.21) i (4.22):

$$fxomm = fxrm/[sin\left(fxrm \ * \frac{r}{Coxm}\right)]$$

Na kierunku X, gdzie: $fxrm$ -częstotliwość drgań masywu na kierunku X w punkcie r; fxomm-maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X, fxomm=53,0 Hz; r- początek pola bliskiego – szukana odległość [m]; Coxm-prędkość fali podłużnej w masywie na kierunku X, Coxm =3320 m/s. Należy tak dobrać fxrm i r aby fxomm=~53,0 Hz. Podobny wzór dotyczy końca pola bliskiego. Podstawiając za r=46m i fxrm=52Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:

53,0=52/[sin259,4º]= 52/0,983=52,9 Hz.

Podobnie dla końca pola bliskiego podstawiając za r=269m i fxr=52Hz otrzymano dla końca pola bliskiego:

53=52/[sin76,8º]= 52/0,973=53,4 Hz

Stąd Pbs1=46m, Pbs2=269m. Obliczono stałą Ax podstawiając dane do wzoru (4.16). Dla obliczenia końca pola bliskiego dla jednorzędowego bloku skalnego, dla dolomitu - badanie T8:

Ax8-1,1, λxsb = 60,25m, Pbs1=46/60,25m=0,76 λxsb, Pbs2= 269/60,25m = 4,5 λxsb.

Na kierunku Y, podstawiając za r=42,5m i fyr=60Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:

61,3=60/[sin281,8º]= 60/0,979=61,3 Hz

Stąd Psb1=42,5m. Przyjmując, że początek pola bliskiego na kierunku Y, to odległość 42,5m, której odpowiada obliczona maksymalna prędkość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na masyw wynosi Vyb=3,69*0,023=8,49 cm/s. Sprawdzono dokładność obliczeń licząc maksymalną prędkość drgań fali sejsmicznej w masywie z potęgowej zależności. Mając pomiar dalszy obliczono wartość pomiarów bliższych wg. wzoru (4.78) dla kierunku Y, /Tabela poz.1/. ay=0,87:

$$Vb= Vd\ [rd/rb]^{a} \qquad (4.78)$$

gdzie: Vb- najbliższa maksymalna prędkość drgań fali sejsmicznej w masywie; Vd - dalsza maksymalna prędkości drgań fali sejsmicznej w masywie; rb= najbliższa odległość punktu pomiarowego od źródła drgań [m]; rd= dalsza

odległość punktów pomiarowych od źródła drgań [m]. Wykładnik potęgowy „a” wyznaczono na podstawie pomiarów zestawionych w Tabeli 4.4 na kierunku Y. Mając pomiar dalszy obliczam wartość pomiaru bliższego dla kierunku Y, wzór (4.78) dla ay=0,87:

Vym42,5=7,82 [44,3/42,5]^(0,87)=7,82*1,035=8,1 cm/s

Stąd wskaźnik przejścia Wyvbm prędkości drgań fali sejsmicznej obliczonej dla bloku skalnego na kierunku Y na masyw:

Wyvbm=Vyb/Vym42,5=8,48/8,1=1,05

Wynika stąd wniosek, że tylko 5% wartości jest niewłaściwie obliczonych, a stosowane zależności gdy widoczny jest wpływ szczelinowatości wymagają uzupełnienia. Wykładnik potęgowy dla tłumienia objętościowego prędkości drgań dla kierunku X gdzie widoczny jest wpływ szczelinowatości na wyniki pomiarów ma wartość 1,5 a dla drugiego kierunku Y ma wartość 0.86. Z analizy wykładnika potęgowego wynika, że gdy nie ma wpływu szczelinowatości na wyniki pomiarów jest on sobie bliski dla każdego kierunku pomiarów. Otrzymane wyniki potwierdzają prawidłowość metodyki obliczeń lecz wymagają uściślenia w dalszych badaniach wykładników potęgowych. Wartości wykładnika potęgowego w zależnościach określających zmianę prędkości drgań cząstek ośrodka przy przejściu fali podłużnej ze zmianą odległości określają wpływ tłumienia objętościowego.

4.4.4.3 Rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złóż dolomitu - strzelanie milisekundowe bloku skalnego T7 [Duvall, Nicholls, Johnson(1971)]

T.7 I.1 Parametry prac wiertniczo strzałowych

n- ilość milisekundowo odpalanych w jednym rzędzie 7 otworów, n=7; tz-czas zwłoki,tz=34 ms; z-zabiór, z= 3,05 m; a-odległość między otworami, a=4,6 m; H-wysokość bloku i bloczka skalnego, H=9,15m; D-średnica otworu, D=25,4*6"=152,4 mm. Materiał wybuchowy [MW], ANFO typu slurry; Vt-predkość detonacji,Vt =4500 m/s; ρmw- gęstość objętościowa MW, * ρmw =0,85 *1000 [kg/m³]; Qe- energia spalania, Qe=3700 [kJ/kg], [Internet (5/2020)]

T.7 I.2 Obliczone parametry bloku skalnego i masywu

Ly długość bloku skalnego, Ly=n*a=7*4,6=32,2 m; Coxm- prędkość fali podłużnej w nasywie i bloku skalnym na kierunku X, Coxm=3531 m/s; fxomm-największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku X w masywie, fxomm=65,1 Hz; Coym- prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, Coym=2831m/s, fyomm- największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku Y w masywie złoża, fyomm=39,3 Hz; Ctxm- prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku X, Ctxm=1909 m/s; Ctym- prędkość fali poprzecznej

w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, C_{tym}=1530 m/s; ρs gęstość objętościowa skały, ρs=2,6.*1000 [kg/m³]. Największa prędkość drgań fali podłużnej na kierunku X i Y w masywie skalnym: V_{xmm}=4,86cm/s ,V_{ymm}=1,86cm/s; Z1-impedancja akustyczna skały na kierunku X i Y. Z_{1x}=ρs C_{ox}=9,2*10^(6)[kg/(m²s)]. Z_{1y}=7,5 *10^(6) [kg/(m²s)]; Z2-impedancja akustyczna MW, Z2= ρmw * Vt=3,8*10^(6) [kg/(m²s)].; H_{ax}- moduł akustyczny na kierunku X, H_{ax}=17,53 GPa; H_{ay}- moduł akustyczny na kierunku Y, H_{ay}=11,5 GPa; Ww- wskaźnik wielkości urabianego bloczku skalnego w stosunku do objętości standardowej próbki laboratoryjnej, Ww=0,6*1000 [-]; Tp-współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego, dla kierunku X, T_{px}=0,83, dla kierunku Y, T_{py}=0,89; U_{bl}-objętość jednego bloczka U_{bl}=a*H*z=3,05*9,15*4,6=128,4 m³ U_{1r}-objętość jednego rzędu otworów, U_{1r}= U_{bl}*n= 128,4 *7 =898,8 m³.

T.7 I.3 Obliczenia Etap I: *Obliczenia prędkości i największej częstotliwości fali podłużnej w masywie*

Obliczenia C_{oxm} i C_{oym} na kierunku X i Y w masywie, równanie (4.21) i największej częstotliwości drgań w masywie f_{xmm} i f_{ymm}. Z pozycji 1 i 2, Tabela 4.5 obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r-72 m i częstotliwości f_{xm}=28 Hz największą częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka w masywie na kierunku X - f_{xmm}. Dla pozycji 2 dobrano częstotliwość i prędkość fali podłużnej ma kierunku X tak, aby po podstawieniu danych z pozycji 2 do zależności sinusoidalnej otrzymać częstotliwość drgań bliską częstotliwości 27Hz z pozycji 1. Pozycja2, Tabela 4.5:

$$fxmm = \frac{fxm72}{\left[sin\left(fxm72*360*\frac{72}{3531}\right)\right]} = \frac{28}{[sin205{,}5^{o}]} = \frac{28}{0{,}43} = 65{,}1\ Hz.$$

Sprawdzono właściwy dobór częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla pozycji 1:

$$fxm56{,}5 = fxmm * sin\left(fxm56{,}5 * 360 * \frac{72}{3531}\right) = \frac{65{,}1*[sin155{,}5^{o}]}{1} = \frac{65{,}1*0{,}415}{1} = 27{,}0\ Hz$$

Ponieważ obliczona częstotliwość drgań wynosi 27 Hz w stosunku do pomierzonej 27 Hz przyjęto , że właściwie została dobrana wartość częstotliwości i prędkość fali podłużnej.

Tabela 4.5 przedstawia zestawienie pomiarów i wyników obliczeń maksymalnej radialnej prędkości drgań Vx dla strzelania natychmiastowego dla badania T.7 w dolomicie [Duvall, Nicholls, Johnson(1971)]. Obliczone wartości maksymalnej radialnej Vx z teoretycznej zależności kosinusoidalnej nr. (4.19) są bardzo wysokie (kolumna, 7) ponieważ nie uwzględniają wpływu odległości na prędkość drgań. Wpływ odległości na prędkość drgań ujmuje wzór (4.74).

Tabela 4.5 Zestawienie wyników obliczeń maksymalnej prędkości drgań T7 [Duvall, Nicholls, Johnson(1971)]

Lp	r odle-głość, [m]	fxm Hz	Prędkośc Vxm zmierzona, Badanie T-7, [cm/s],	fym Hz	Prędkośc Vym zmierzona, Badanie T-7 [cm/s],	Prędkość Vxm oblicz. z zależności kosinusoidal. dla Vxmax. =4,86 [cm/s]	Prędkość Vxmr oblicz. z uwzględn. Wzoru (4.74) [cm/s]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	56,5	27	4,42	33	1,83	4,86	4,86
2	72	28	2,95	33	0,76	4,39	3,10
3	106,2	18	1,45	20	0,68	4,704	1,52
4	146	18	0,81	22	0,51	0,20	0,85
5	201	20	0,48	23	0,33	3,14	0,47
6	281,6	23	0,23	23	0,18	2,45	0,25

Wzór ten, dla kierunku X na odległości od 56,5 do 281,6 m ma wykładnik potęgowy ax=1,84 a dla kierunku Y, ay=1,44. Dla mniejszego zakresu odległości Tabela 4.3 od 56.5 do 106,5 m dla kierunku X wykładnik potęgowy ax=1,77, a dla kierunku Y,ay=1,57. Wzór (4.74).

$Vd=Vb[rb/rd]^a$

gdzie: Vb- prędkość dla bliższego punktu pomiarowego od źródła drgań Vd- prędkość dla dalszego punktu pomiarowego od źródła drgań [cm/s]; rb-bliższa odległość punktu pomiarowego od źródła drgań [m]; rd= dalsza odległość punktu pomiarowego od źródła drgań [m]; ”a” wykładnik potęgowy wyznaczony na podstawie pomiarów zestawionych w Tabeli 4.5, na kierunku X i Y. W kolumnie 8 zestawiono wyniki obliczeń radialnych Vxmr, których wartości są bardzo bliskie wartościom pomierzonym zestawionym w kolumnie 4. Na podstawie Tabeli 4.4 i 4.5 odkryto, że dla danej odległości mając obliczoną wartość maksymalnej radialnej i stycznej prędkości drgań oraz ich wykładniki potęgowe tłumienia prędkości drgań można obliczać z dostateczną dla praktyki dokładnością dla pola bliskiego dla dowolnej odległości radialne i styczne prędkości drgań.

Podobne jak wyżej obliczenia dla częstotliwości i prędkość fali podłużnej w masywie na kierunku Y wykonano dla pozycji 1 $fymm = 39.3\,Hz$ Coymm=2831m/s. Sprawdzono właściwy dobór częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla pozycji 2. fym72=33,0 Hz. Obliczona częstotliwość drgań wynosi 33,0 Hz w stosunku do pomierzonej 33 Hz, dlatego przyjęto , że właściwie została dobrana wartość częstotliwości i prędkości fali podłużnej dla kierunku Y w masywie.

T.7 *I.4 Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y*

Przyjmujemy, że źródłem drgań jest cały blok i dla niego obliczamy częstotliwość drgań pomniejszając ją o ilość zwłok i wymiary urabianego bloku skalnego. Odkształcenie względne bloczku na kierunku X, i Y obliczono ze wzoru (4.47):

εx =[4500²*0,85*1000*0,83]:[17,53*10^(9)*0,6*1000]=0,00136

Odkształcenie względne bloczku na kierunku Y:

εy =[4500²*0,85*1000*0,89]:[11,5*10^(9)*0,6*1000]=0,00217

Prędkość drgań Vb bloczka i bloku skalnego na kierunku X i Y obliczono ze wzoru (4.48) z uwzględnieniem pierwszego przybliżenia;

Vxb=0,00136*3531=4,80 m/s ; Vyb=0,00217 *2831=6,14 m/s

Obliczenie częstotliwości drgań własnych fxbs1r bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fxbs1r na kierunku X, wzór (4.41) z uwzględnieniem pierwszego przybliżenia:

fxbs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*0,83*3531/:/2,6*1000*4,8*898,8]^(½)
= 337,7 Hz

Częstotliwości drgań własnych bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fybs1r na kierunku Y, wzór (4.42):

fybs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*0,89*2831/:/2,6*1000*6,14*898,8]^(½)
= 276,8 Hz

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fxs1r i fys1r na kierunku X i Y równa się częstotliwości drgań własnych jednorzędowego bloku skalnego pomnożona przez 1.09:

fxs1r=337,7*1,09=368,1 Hz, fys1r=1,09*276,8=301,7 Hz.

T.7 *I.5 Wskaźniki zmniejszające częstotliwość drgań fali sejsmicznej*

Wskaźnik określający wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań Wfgb obliczono ze wzoru (4.75):

Wfgb=[H* zc]^(1/2)/Ly

Podstawiając wymiary bloku skalnego do wzoru otrzymano Wfgb:

Wfgb=[9,15*3,05]^(1/2)]/32,2= 5,3/32,2=0,164

Wskaźnik określający wpływ ilości zwłok czasowych Wfn:

Wfn=[1+0,05*i]^(1/3) (4.79)

dla i=6, Wfn=1,09. Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y:fxsb i fysb:

fxsb=fxs1r*Wfgb/:/Wfn, fxsb=368,1*0,164/1,09=55,4 Hz ;
fysb=301,7*0,164/1,09=45,4,0 Hz

T.7 *I.6 Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej Wxzfm i Wyzfm przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw*

Maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X wynosi fxmm=65,1Hz, na kierunku Y-fymm=39,3 Hz. Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw Wxzfm i Wyzfm, Wxzfm=fxmm/fxsb=65,1/55,4=1,17; Wyzfm=fymm/fysb= 39,3/45,4=0,86. Na tej podstawie można ocenić, że otrzymane wyniki w 17 i 14 % procentach są nieprawidłowo obliczone. Wskaźnik zmniejszania się częstotliwości drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X na masyw jest o 17 % większy od jedności, czego przyczyną może być wpływ głównego kierunku szczelinowatości złoża na wyniki pomiarów. Przeprowadzenie dodatkowych badań pozwoli na wyjaśnienie i usunięcie przedstawionych niedociągnięć.

T.7.*I.7 Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y dla jednorzędowego bloku skalnego*

Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y. Wrk dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów na kierunku X i Y Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y. λxsb=Coxm/fxsb=3531/55,4=63,7 m, λysb=Coym/fysb=2831/45,4=62,3m.

Na kierunku X Wrkxb=2(H+Ly)/λxsb= 2(9,15+32,2)/ 63,7= 82,7/63,7=1,3; ka=1,0 - na kierunku X rozkład kołowy,

Na kierunku Y, Wrkyb=2(H+a)/λysb= 2(9,15+32,2)/62,3=1,33;ka=1,04-

Na kierunku Y rozkład kołowy.

T.7 *I.8 Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku skalnego*

Prędkość drgań fali sejsmicznej Vbx dla bloku skalnego urabianego milisekundowo jednym rzędem otworów na kierunku X uwzględniając jego kształt obliczamy z równania 4.48a:

Vbx=Vx*[(Wvgb)^(1/4)]/Wfn

Podstawiając dane: prędkość drgań Vb bloku skalnego na kierunku X i Y otrzymano :

Vbx=4,8*0,64/1,09=3,35m/s. Vby=6,14*0,64/1,09 = 3,6 m/s.

Fala sejsmiczna o długości ok 60m rozchodzi się w urabianym bloku skalnym o wymiarach ok.30 m jak w warunkach ośrodka ograniczonego. Wskaźnik

zmniejszania się prędkości drgań fali sejsmicznej przy rozchodzeniu się fali sejsmicznej w bloku skalnym na kierunku X i Y w warunkach ośrodka ograniczonego, Wxvb .Wxvb=Vbx/(fxsb*z), podstawiając dane otrzymamy:

Wxvb=3,35/(55,4*3,05)=0,02, Wyvb=3,6/(45.4*3,05)=0,026

Ostatecznie prędkość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z końca bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw skalny, Vxbm=Vbx*Wxvb , podstawiając dane otrzymamy:

Vxbm=3,35*0,02=6,7 cm/s, Vybm=3,6*0,026=9,37 cm/s.

T.7.*I.9 Obliczono ;-największe prędkości drgań masywu dla fali podłużnej*

Vxomm, Vyomm na kierunku X i Y dla masywu; Z Tabeli 4.5 i pozycji 1 obliczono Vxomm:

$$Vxomm = Vxm56{,}5{,}1/[\cos(fxm56{,}5 * 360 * (\frac{56{,}5}{353} = 4{,}42[\cos(155{,}5º)]$$
$$= 4{,}42/0{,}91 = 4{,}86\ cm/s$$

Sprawdzono Vxomm dla Tabeli 4.5 i pozycji 2. Vxm72=2,95 cm/s.

$$Vxm72 = Vxomm * \cos[fxm72 * \frac{72}{3531} = 4{,}82\cos[(28 * 360 * \left(\frac{72}{3531}\right)$$
$$= 4{,}82*\cos 205^0 = = 4{,}82*0{,}902 = 4{,}3\ \mathrm{cm/s}$$

Uwzględniono zmniejszanie się prędkości drgań z odległością poprzez użycie wykładnika potęgowego „ax”= 1,77:

Vxm72 =4,3[56,5/72]^(1,77)= 0,784^(1,77)=2,80 cm/s.=~2,95cm/s

Otrzymany wynik uważa się za potwierdzenie właściwego toku obliczeń. Z Tabeli 4.5 i pozycji 1 obliczono największą prędkości drgań dla fali podłużnej Vyomm na kierunku Y dla masywu:

$$Vyomm = Vym56{,}5/[\cos(27 * 360 * \left(\frac{56{,}5}{2831}\right) = \frac{1{,}83}{[cos(170{,}5^0)]} = \frac{1{,}83}{0{,}986}$$
$$= 1{,}86\ cm/s$$

Sprawdzono Vyomm dla Tabeli 4.5 i pozycji 2. Uwzględniono zmniejszanie się prędkości drgań z odległością poprzez użycie wykładnika potęgowego „ay”= 1,57 i jak poprzednio otrzymując potwierdzenie właściwego toku obliczeń. Wskaźnik przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw obliczono poniżej.

T.7.*I.9a Początek pola i koniec pola oraz maksymalna prędkość i częstotliwość drgań fali sejsmicznej*

Pole bliskie jest ograniczone maksymalną częstotliwością na początku pola i maksymalną częstotliwością na końcu pola. Obliczanie początku i końca pola bliskiego na kierunku X odbywa się ze wzoru 4.21.

Na kierunku X:

$$fxomm = fxrm/[sin\left(fxrm * \frac{r}{Coxm}\right)]$$

gdzie; $fxrm$ - częstotliwość drgań masywu na kierunku X w punkcie r; fxomm -maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X obliczona na podstawie pomiarów na masywie, fxomm= 65,1Hz; r- początek pola bliskiego - szukana odległość[m]; Coxm-prędkość fali podłużnej w masywie na kierunku X, Coxm=3531 m/s.

Należy tak dobrać fxrm i r, aby fxomm=~65,1 Hz. Podobny wzór dotyczy końca pola bliskiego dla kierunku X i Y. Podstawiając za r=42m i fxr=56Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:

65,1=56/[sin240º]=56/0,865=64,7 Hz

co oceniono jako zadowalającą dokładność obliczeń. Dla końca pola bliskiego; podstawiając za r=278 m i fxrm=46 Hz otrzymano dla końca pola bliskiego:

65,1=46/[sin223,8º]= 46/0,692=66,5 Hz

co oceniono jako zadowalającą dokładność obliczeń. Stąd Pbxs1=42 m, Pbxs2=278 m. Obliczono stałą Ax podstawiając dane do wzoru (4.16), aby obliczyć koniec pola bliskiego dla jednorzędowego bloku skalnego. Dla dolomitu i badania T7 i kierunku X, Ax7= 1,2; λxsb=63,7 m, Pbxs1=42/63,7=0,66 λxsb. Pbxs2= 278/63,7m=4,36 λxsb.

Na kierunku Y. Podstawiając za r=22 m i fyrm=38 Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:
39,3=38/[sin106,3º] =38/0,96=39,6 Hz

co oceniono jako zadowalającą dokładność obliczeń. Dla końca pola bliskiego; podstawiając za r=276m i fyrm= 38Hz, otrzymano dla końca pola bliskiego:

39,3=38[sin253,7º]= 38/0,96=39,6 Hz

co oceniono jako zadowalającą dokładność obliczeń. Stąd Pbys1=22 m, Pbys2=276m. Obliczono stałą Ay podstawiając dane do wzoru (4.16) aby obliczyć koniec pola bliskiego dla jednorzędowego bloku skalnego. Dla dolomitu, badanieT7, Ay7=1,16; λysb=62,3m, Pbys1=22/62,3=0,35 λysb. Pbys2=276/62,3 m =4,43 λysb.

Wskaźnik przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw. Przyjmując, że początek pola bliskiego na kierunku X, to odległość 42,0m której odpowiada obliczona maksymalna prędkości drgań bloku skalnego Vxb=6,7 cm/s. Sprawdzono dokładność obliczeń obliczając maksymalną prędkość drgań w masywie dla odległości 42 m przy przejściu fali sejsmicznej z potęgowej zależności, wzór (4.75). Mając pomiar dalszy obliczono wartość pomiaru bliższego dla kierunku X; ax=1,77:

Vxm22=4,86* [56,5/42]^(1,77)=4,86*1,68 =8,2 cm/s

Stąd wskaźnik przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej obliczonej dla bloku skalnego na kierunku X na masyw:

Wxvbm=Vxb/Vxm42= 6,7/8,2=0,82.

Wynika stąd wniosek, że 82% wartości prędkości drgań dla bloku skalnego jest właściwie obliczonych a stosowane zależności wymagają uzupełnienia o inne bardziej dokładne wskaźniki. Przyjmując, że początek pola bliskiego na kierunku Y, to odległość 22,0m, której odpowiada obliczona maksymalna prędkości drgań bloku skalnego Vyb=9,37 cm/s. Obliczona z zależności kosinusoidalnej maksymalna prędkość drgań fali sejsmicznej w masywie Vyomm wynosi 1,9 cm/s. Sprawdzono dokładność obliczeń licząc maksymalną prędkość drgań w masywie dla odległości 22m przy przejściu fali sejsmicznej z potęgowej zależności (4.75). Mając pomiar dalszy, obliczono wartość pomiaru bliższego dla kierunku Y; ay=1,57:

Vym22=1,9 *[56,5/22]^(1,57)=1,9*4,4= 8,36 cm/s

Stąd wskaźnik przejścia prędkości drgań obliczony dla bloku skalnego na kierunku Y na masyw w odległości 22m. Wyvbm=Vyb/Vym22=6,1/8,36=0,73. Wynika stąd wniosek, że 73% wartości prędkości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego jest właściwie obliczonych a stosowane zależności wymagają uzupełnienia o inne bardziej dokładne wskaźniki.Jeżeli dalsze stosowanie pierwszego przybliżenia nie spowoduje zwiększenia wskaźnika przejścia prędkości drgań na masyw należy opracować nowe zależności aby wartości obliczone Vo były bliskie wartościom pomierzonym Vp. Vp=~Vo+-5%. Niemniej otrzymane wyniki potwierdzają prawidłowość kierunku obliczeń. Wykładniki potęgowe dla zależności określającej zmianę prędkości drgań fali podłużnej z odległością określają wpływ tłumienia objętościowego na prędkość drgań fali podłużnej.

T.7.*I.10 Sprawdzenie dokładności określania średnicy otworu strzałowego*

Dla kierunku radialnego średnicę otworu strzałowego obliczany z równania 4.52a:

Dx= [ρs*Coxm*Vx*2*a] / [ρmw*Qe*Tpx]

Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku X otrzymano :

Dx=[2,6*1000*3531*4,8*2*4.6]/[0,85*1000*3700*1000*0,83] =155,3 mm

Stosowana średnica otworu to 152,4 mm, czyli jest mniejsza niż obliczona, a załadowana ilość MW wystarcza do zniszczenia bloczku ma kierunku X. Współczynnik złożowy Szd dla tego strzelania w dolomicie wynosi: Szd=152,4/155,3=0,98

Sprawdzono średnicę otworu strzałowego dla kierunku Y. Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku Y otrzymano średnicę otworu:

Dy=[ρs*Coym*Vy*2*z]/[ρmw*Qe*Tpy]=[2,6*1000*2831*6,14*2*3,05]/
[0,85* 1000* 3700 * 1000*0,89]=98,5 mm

Mnożąc przez współczynnik złożowy dla dolomitu Szd=0,98, otrzymano :

Dy=0,98*98,5=96,5 mm.

Czyli do zniszczenia bloczku na kierunku X i Y wystarczy MW załadowany do otworu o średnicy 152,4mm i taka powinna być racjonalnie dobrana średnica otworu. Otrzymane wartości średnicy Dx=155,3/152,4=1,02 otworu strzałowego bliskie średnicy stosowanej potwierdzają właściwe założenia obliczeniowe i metodykę obliczeń.

T.7.I.11 Sprawdzenie doboru zabioru i odległość między otworami

Sprawdzenie doboru zabioru i odległość między otworami z uwzględnieniem anizotropii właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego. Geometryczna anizotropia właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to:

Awgx=z/a więc Awgx=3,05/4,6=0,66Awgy=a/z więc Awgy=4,6/3,05=1,51
Prędkościowa anizotropia Awv właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to:
Awvx=Vx/Vy, Awvx=4,8/6,14=0,78; Awvy=Vy/Vx, Awvy=6,14/4,8=1,28
Otworowa anizotropia Awo właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to:
Awox=Dx/Dy, Awox=155,3/96,5=1,61; Awoy= Dy/Dx, Awoy= 96,5/155,3=0,62
Znając zależności pomiędzy tymi rodzajami anizotropii i uwzględniając właściwości wytrzymałościowe masywu skalnego dopiero można właściwie dobierać zabiór i odległość między otworami. Z analizy wyników obliczeń wynika, że dobrany z geometrycznej anizotropii i stosowany stosunek a/z wynosi 1,51 lecz jest mniejszy od stosunku anizotropii otworowej Dx/Dy, który wynosi 1,61 i do takiej wartości powinien dążyć stosunek odległości między otworami do zabioru. Otrzymane z obliczeń wartości stosunku odległości między otworami do zabioru większe tylko o 7% potwierdzają właściwą metodykę obliczeń. To nie dobierana geometryczna ani obliczana prędkościowa anizotropia, lecz obliczana otworowa anizotropia właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego powinna być podstawą do dobierania stosunku odległości między otworami do zabioru. Stwierdzenie to wymaga jednak dalszych badań.

4.4.4.4 Kierunkowy rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania złóż dolomitu - strzelanie natychmiastowe badanie T12 [Duvall, Nicholls, Johnson(1971)]

T12.I.1 Parametry prac wiertniczo strzałowych

n- ilość natychmiastowo odpalanych w jednym rzędzie 15 otworów, n=15; z-zabiór, z= 3,05 m; a-odległość między otworami, a=4,6 m; H-wysokość bloku i bloczka skalnego, H=9,15m; D-średnica otworu, D=25,4*6"=152,4 mm. Materiał wybuchowy ANFO typu slurry; Vt - predkość detonacji, Vt=4500 m/s; ρ_{mw}-gęstość objętościowa MW, ρ_{mw}=0,85 *1000[kg/m³]; Qe- energia spalania, Qe=3700 kJ/kg [Internet (5/2020)]

T12.I.2 Obliczone parametry bloku skalnego i masywu

Ly długość bloku skalnego, Ly=n*a=15*4,6=69 m. ***Kierunek X***: C_{oxm}- prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku X, C_{oxm}=3683 m/s; f_{xomm}-największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku X w masywie, f_{xomm}=22,0 Hz; C_{txm}- prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku X, C_{txm}=1909 m/s. ***Kierunek Y:*** C_{oym}- prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, C_{oym}=3317 m/s; f_{yomm} -największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku Y w masywie, f_{yomm}=22,0 Hz; C_{tym}-prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, C_{tym}=1719 m/s; ρ_s gęstość objętościowa skały, ρ_s=2,6 *1000 [kg/m³].Największa prędkość drgań fali podłużnej na kierunku X i Y w masywie skalnym, V_{xmm}=51cm/s, V_{ymm}=2,16cm/s; Z_1-impedancja akustyczna skały$Z_{1x}=\rho_s*C_{ox}$=9,58*10^(6) [kg/(m²s)], $Z_{1y}=\rho_s*C_{oy}$= 8,62*10^(6) [kg/(m²s)]; Z_2-impedancja akustyczna MW, $Z_2=\rho_{mw}*V_t$=3,8*10^(6) [kg/(m²s)]; H_{ax}- moduł akustyczny na kierunku X, H_{ax}=18,27GPa; H_{ay}-moduł akustyczny na kierunku Y, H_{ay}=14,82 GPa; Ww-wskaźnik wielkości urabianego bloczku skalnego w stosunku do objętości standardowej próbki laboratoryjnej, Ww=0,6*1000 [-]; Tp-współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego dla kierunku X, T_{px}=0,81, dla kierunku Y, T_{py}=0,85; U_{bl}- objętość jednego bloczka U_{b1}, U_{bl}=a*H*z=3,05*9,15*4,6=128,4 m³; U_{1r}-objętość jednego rzędu otworów, U_{1r}= U_{bl}*n= 128,4 *15 =1926 m³.

T12.I.3 Obliczenia Etap I, obliczenia prędkości fali podłużnej C_{oxm} i największej częstotliwość drgań f_{xomm} na kierunku X i Y w masywie

Według równania (4.21).

Kierunek X. Z pozycji 5 Tabela 4.6 obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r-127,17 m i częstotliwości fxm=22 Hz największą częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka w masywie na kierunku X fxomm=22

Hz i prędkość fali podłużnej Coxm= 3683m/s. Obliczone wartości pozytywnie zweryfikowano dla danych zestawionych w Tabeli 4.6 i pozycji 6.

Kierunek Y. Z pozycji 4 Tabela 4.6, obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r-106,47 m i częstotliwości fym=25 Hz największą częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka w masywie na kierunku Y fyomm=26,4 Hz i prędkość fali podłużnej ma kierunku Y Coym=3317 m/s. Obliczone wartości pozytywnie zweryfikowano dla danych zestawionych w Tabeli 4.6 i pozycji 5.

Tabela 4.6 Zestawienie wyników Vxm i Vym prędkości drgań badanie T12 [Duvall,Nicholls,Johnson(1971)]

Lp	r odległość [m]	fxm [Hz]	Prędkośc Vxm zmierzona, Badanie T-12 [cm/s]	fym [Hz]	Prędkośc Vym zmierzona, Badanie T-12, Vym [cm/s]	Prędkość Vxm oblicz. z zależności kosinusoidal dla Vxmax =88,7[cm/s]
1	2	3	6	4	5	7
1	62,91	16	12,95	20	3,99	88,69
2	74,84	12	10,54	25	3,15	
3	89,58	20	9,58	30	2,56	
4	106,47	20	9,25	25	3,73	
5	127,17	22	8,10	22	2.77	
6	150,81	20	3,76	25	3,17	
7	182,32	15	2.293			

Tabela 4.6 przedstawia zestawienie pomiarów i wyników obliczeń maksymalnej radialnej Vx i stycznej Vy prędkości drgań dla strzelania natychmiastowego dla badania T.12 [Duvall,Nicholls,Johnson(1971)] w dolomicie. Obliczone wartości maksymalnej prędkości drgań Vx i Vy w masywie z teoretycznej zależności kosinusoidalnej nr 4.19 dla pozycji 1 wynoszą Vx=88,7cm/s, Vy=5,51 cm/s. Na kierunku X, na odległości od 62,91 do 182,32 m dla wzoru (4.74) wykładnik potęgowy ax=1,63 a dla kierunku Y na odległości od 62,91 do 127,17 m, wzór (4.74) ma wykładnik potęgowy ay=0,52. Z tak wielkiej różnicy maksymalnej prędkości drgań Vx i Vy w masywie i wykładników potęgowych wynika, że kierunek X jest bliski głównej kierunkowości szczelinowatości w złożu, który ma duży wpływ na wartości pomiarów.

T12.I.4 Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y

Odkształcenie względne bloczku i bloku na kierunku X i Y obliczono ze wzoru (4.47):

$\varepsilon x = 0{,}001345, \quad \varepsilon y = 0{,}001645$

Prędkość drgań V bloku i bloczku na kierunku X i Y obliczono ze wzoru (4.48):

Vx=0,001345*3683=4,955 m/s; Vy=0,001645*3317=5,46 m/s

Obliczenie częstotliwość drgań własnych fxbs1r bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fxbs1r na kierunku X, wzór (4.41):

fxbs1r = [4500/(2 π)]*[(0,85*1000*0,81 *3683/:/2,6 *1000*4,955*1926]^(½) =229,1 Hz

Częstotliwości drgań własnych bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fybs1r na kierunku Y, wzór (4.42):

fybs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*0,85*3317/:/2,6*1000*5,46*1926]^(½) = 212,1 Hz

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fxs1r i fys1r na kierunku X i Y równa się częstotliwości drgań własnych jednorzędowego bloku skalnego pomnożona przez 1,09:

fxs1r=229,1*1,09=249,7 Hz, fys1r=1,09*212,1=231,2 Hz.

T12.I.5 Wskaźniki zmniejszające częstotliwość drgań fali sejsmicznej

Wskaźnik określający wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań:

Wfgb=[H* zc]^(½) /(Ly)

Podstawiając wymiary bloku skalnego do wzoru otrzymamy:

Wfgb=[9,15*3,05]^(½) /69=5,3/69=0,077

Wskaźnik określający wpływ ilości zwłok czasowych Wfn, dla strzelania natychmiastowego wynosi Wfn=1 Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y:

fxsb=fxs1r*Wfgb, fxsb=249.7*0,077=19,2Hz ; fysb=231,2*0,077=17,8 Hz

T12.I.6 Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej Wxzfm i Wyzfm przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw

Maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X- fxomm=22.0 Hz, na kierunku Y-fyomm=26,4 Hz, Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw Wxzfm i Wyzfm:

Wxzfm= fxomm/fxsb=22/19.2 =1,15, Wyzfm=fyomm/fysb=26,4/17,8= 1,48

Na tej podstawie można ocenić, że otrzymane wyniki w 15 i 48% procentach nie są prawidłowo obliczone. Wskaźnik zmniejszania się częstotliwości drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw jest większy od jedności czego przyczyną może być wpływ głównego kierunku szczelinowatości złoża na wyniki pomiarów. Następne badania pozwolą na dokładniejsze wyjaśnienie i usunięcie przyczyn takich przypadków.

T12.I.7 Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y dla jednorzędowego bloku skalnego

Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y. Wrk dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów na kierunku X i Y.

Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y:

λxsb=Coxm/fxsb=3683/19,2 =191,8 m, λysb=Coym/fysb=3317/17,8=186,3 m

Na kierunku X: Wrkxb=2(H+Ly)/λxsb=2(9,15+69)/191,8=0,81; ka=0,64- na kierunku X, rozkład kołowy.

Na kierunku Y: Wrkyb=2(H+a)/λysb=2(9,15+69)/186,3=0.84; ka=0,66-na kierunku Y, rozkład kołowy

T12.I.8 Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku skalnego

Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku skalnego urabianego natychmiastowo jednym rzędem otworów uwzględniając jego kształt obliczono z zależności (4.48a):

Vxb= Vx*(Wvgb)^(1/4)

Podstawiając dane, prędkość drgań Vb bloku skalnego na kierunku X i Y otrzymamy:

Vxb=4,955*(0,077)^(1/4)=4.955*0,526= 2,61 m/s. Vyb=5,46*0,526=2,87 m/s

Fala sejsmiczna o długości ok 190m rozchodzi się w urabianym bloku skalnym o maksymalnej długości 69m jak w warunkach ośrodka ograniczonego. Wskaźnik zmniejszania się prędkości drgań fali sejsmicznej przy rozchodzeniu się fali sejsmicznej w bloku skalnym na kierunku X i Y tak jak w ośrodku ograniczonym, wzór (4.49):

Wxvb=Vxb/(fxsb*z)

podstawiając dane otrzymamy:

Wxvb=2,61/(22*3,05)=0,039; Wyvb=2,87/(26,4* 3,05)=0,036

Prędkość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z końca bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw skalny: Vxbm=Vbx*Wxvb; podstawiając dane otrzymamy:

Vxbm=2,61*0,039=11,2 cm/s, Vybm=2,87*0,036=10,3 cm/s.

Obliczono największe prędkości drgań masywu dla fali podłużnej Vxomm,Vyomm na kierunku X i Y.

Kierunek Y. Z Tabeli 0.6 i pozycji 1, r=62,91, Vym=3.99 cm/s obliczono Vyomm:

$$Vyomm = Vym\ 62{,}91/[cos(20 * 360 * \left(\frac{62{,}91}{3317}\right) = \frac{3{,}99}{[cos(136{,}5^{9})]} = \frac{3.99}{0{,}725} = 5{,}5\ cm/s.$$

Sprawdzono Vyomm dla pozycji 2, Vym74,84=3,15 cm/s:

$$Vym74{,}84. = Vyomm * \cos[fym74{,}84 * \frac{74{,}84}{3317} = 5{,}5\cos[(25 * 360 * \left(\frac{74{,}84}{3317}\right) .$$
$$= 5{,}5*\cos 203{,}1^{0} = = 5{,}5*\ 0{,}92 = 5{,}1\ \mathrm{cm/s}$$

Z obliczeń wynika, że dla odległości 74,84 m Vym= 5,1 cm/s i jest większa od Vym=3,99 cm/s dla odległości 62,91m. Tak działa wpływ szczelinowatości na kierunku Y, gdy wykładnik potęgowy ay=0,52.

Kierunek X. Z Tabeli 4.6 i pozycji 1 obliczono największą prędkości drgań dla fali podłużnej Vxomm na kierunku X dla masywu Vxm62,91=12.95 cm/s:

$$Vxomm = Vxm62{,}91/[cos(16 * 360\left(\frac{62{,}91}{3683}\right) = \frac{12{,}95}{[cos(98{,}4^{0})]} = \frac{12{,}95}{0{,}15} = 86{,}3\ cm/s$$

Sprawdzono Vxomm dla pozycji 2, Vxm74,84=10,54 cm/s:

$$Vxm74{,}84. = Vxomm * \cos[fxm74{,}84 * \frac{74{,}84}{3683} = 86{,}3\cos[(12 * 360 * \left(\frac{74{,}84}{3683}\right)$$
$$= 86{,}3*\cos.87{,}8^{0} = 86{,}3*0{,}038 = 3{,}31\ \mathrm{cm/s}$$

Z obliczeń wynika, że dla odległości 74,84 m Vxm=3,31 cm/s i jest ok. 3x mniejsza od Vxm pomierzonej Vxm=10,54 cm/s. Tak działa wpływ szczelinowatości na kierunku X, gdy wykładnik potęgowy ax=1,63. Z analizy danych pomiarowych wynika, że aby obliczona prędkość drgań była równa prędkości pomierzonej należy ją pomnożyć przez wskaźnik działania szczelinowatości Wsz. Dla przypadku gdy wykładnik potęgowy ”a” jest większy od 1, obliczoną wartość prędkość drgań mnożymy przez 2a. Gdy jest mniejszy od 1 obliczoną wartość prędkość drgań mnożymy przez 1,2a. Podstawiając dane obliczamy prędkość drgań dla odległości 74,84m z uwzględnieniem wskaźnik działania szczelinowatości

$VxmW74{,}84$ oraz $VymW74{,}84$. $VxmW74{,}84$ =Vxm *2*ax=3,31*2*1,63 =10,8 cm/s,

$VymW74{,}84$=Vym*1,2*ay= 5,1* 1,2*0,52=3,18 cm/s.

Jest to jedna z propozycji uwzględniania szczelinowatości złoża przy obliczaniu prędkości drgań, wymaga ona jednak weryfikacji podczas dalszych badań.

T12.I.9 Początek pola i koniec pola bliskiego oraz maksymalna prędkość drgań fali sejsmicznej

Pole bliskie jest ograniczone maksymalną częstotliwością na początku pola i maksymalną częstotliwością na końcu pola. Obliczanie początku i końca pola bliskiego na kierunku Y odbywa się ze wzoru (4.42):

$$fyomm = fyrm/[sin\left(fym * \frac{r}{Coym}\right)]$$

gdzie: $fyrm$- częstotliwość drgań masywu na kierunku Y w punkcie r; fyomm- maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku Y obliczona na podstawie pomiarów na masywie, fyomm=26,4 Hz; r- początek pola bliskiego - szukana odległość,[m]; Coym-prędkość fali podłużnej w masywie na kierunku Y, Coym=3317 m/s. Należy tak dobrać fyrm i r aby fyomm=~26,4 Hz. Podobny wzór dotyczy końca pola bliskiego. Podstawiając za r=36m i fyrm=26Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:

26,4=26/[sin101,6º]=26/0,98=24,5 Hz

co oceniono jako zadowalającą dokładność obliczeń. Dla końca pola bliskiego; podstawiając za r=293m i fyrm=21 Hz otrzymano dla końca pola bliskiego:

26,4=21/[sin 307,8º]= 21/0,79=26,6 Hz

co oceniono jako zadowalającą dokładność obliczeń. Stąd Pbys1=36 m, Pbys2=293 m. Obliczono stałą Ay podstawiając dane do wzoru (4.16) aby obliczyć koniec pola bliskiego dla jednorzędowego bloku skalnego. Dla dolomitu T.12 i kierunku Y, Ay12-1,73, λxsb= 9,6 m, Na kierunku Y, Pbys1=36/9,6=3,75 λxsb. Pbys2=293/9,6 m=30,5 λxsb. Są to wartości znacznie odbiegające od wartości dla badanych złóż dolomitu. Przyjmując, że początek pola bliskiego na kierunku Y, to odległość 36,0 m, której odpowiada obliczona maksymalna prędkości drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na masyw Vy=10,3 cm/s.

Sprawdzano dokładność obliczeń licząc maksymalną prędkości drgań fali sejsmicznej w masywie z potęgowej zależności. Mając pomiar dalszy obliczono wartość pomiaru bliższego dla kierunku Y,wzór (4.75), ay=0,52:

Vym36=5,5 [62,91/36]^(0,52)= 1,34*5,5=7,37 cm/s

Stąd wskaźnik przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej obliczonej dla bloku skalnego na kierunku Y na masyw:

Wyvbm=Vyb/Vym36 = 10,3/7,37=1,40

Wynika stąd wniosek, że ze względu na szczelinowatość masywu skalnego przy natychmiastowym strzelaniu obliczona wartość prędkości drgań fali sejsmicznej dla bloku skalnego na kierunku Y jest o 40 % większa od pomierzonej w masywie. Stosowana metodyka obliczeń w przypadku tego złoża i stosowanego natychmiastowego strzelania nie daje zadawalającej dokładności obliczeń. Ze względu na rzadko stosowane strzelanie natychmiastowe trudno będzie opracować nowe zależności uzupełniając je o inne wskaźniki tak aby wskaźnik przejścia prędkości drgań zmniejszyć do wartości jeden. Wykładniki potęgowe dla zależności określającej zmianę prędkości drgań fali podłużnej z odległością określają wpływ tłumienia objętościowego na prędkość drgań ośrodka przy przejściu fali podłużnej.

T12.I.10 0cena dokładności określania średnicy otworu strzałowego

Dla kierunku radialnego średnicę otworu strzałowego obliczono z równania (4.52a):

Dx= [ρs*Cox*Vx*2*a] / [ρmw*Qe*Tpx]

Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku X otrzymamy:

Dx=[2,6*1000*3683*5,0*2*4.6]/[0,85*1000*3700*1000*0,81] =172,8 mm.

Stosowana średnica otworu to 152,4 mm, czyli jest mniejsza niż obliczona, a załadowana ilość MW wystarcza do zniszczenia bloczku ma kierunku X. Współczynnik złożowy dla tego strzelania w dolomicie:

Szd=152,4/172,8=0,88

Sprawdzono średnicę otworu strzałowego dla kierunku Y. Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku Y, obliczono średnicę otworu:

Dy=[ρs*Coy*Vy*2*z]/[ρmw*Qe*Tpy]=[2,6*1000*3317*5,46*2*3,05]/[0,85* 1000*3700 * 1000*0,85]=107,4 mm

Mnożąc przez współczynnik złożowy tego strzelania w dolomicie Szd=0,88, otrzymano Dy=0,88*107,4=94,5 mm. Czyli do zniszczenia bloczku ma kierunku X i Y wystarczy MW załadowany do otworu o średnicy 152,0mm i taka powinna być racjonalnie dobrana średnica otworu. Otrzymane z obliczeń wartości średnicy otworu strzałowego dla dolomitu Dx=172,8/152,4=1,14; Dx=+14 % i bazaltu Dx=+7%potwierdzają właściwy dobór założeń i metodykę obliczeń.

T12.I.11 Ocena doboru zabioru i odległość między otworami

Sprawdzenie doboru zabioru i odległość między otworami z uwzględnieniem anizotropii właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego. Geometryczna stosowana anizotropia właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to:

Awgx=z/a, Awgx=3,05/4,6=0,66; Awgy=a/z, Awgy=4,6/3,05=1,51

Prędkościowa anizotropia Awv właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to:

Awvx=Vx/Vy, Awvx=5,0/5,46=0,92; Awvy=Vy/Vx,. Awvy=5,46/5,0=1,09

Otworowa anizotropia właściwości wytrzymałościowych masywu skalnego na kierunku X i Y to:

Awox=Dx/Dy, Awox=152,4/94,5=1,61;Awoy=Dy/Dx, Awoy=94,5/152,4=0,62

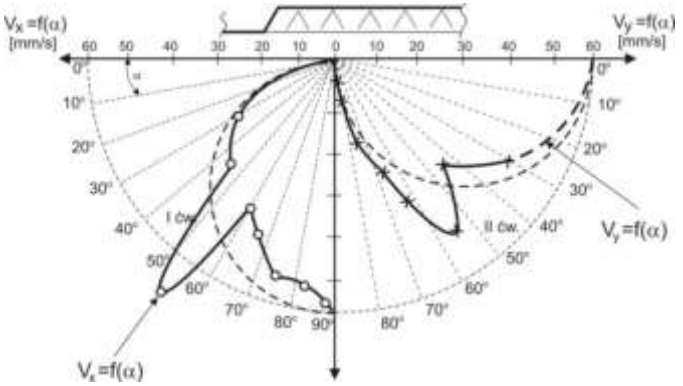
Znając zależności pomiędzy tymi rodzajami anizotropii i uwzględniając właściwości wytrzymałościowe masywu skalnego dopiero można właściwie dobierać zabiór i odległość między otworami. Z analizy wyników obliczeń

wynika, że dobrany z geometrycznej anizotropii stosunek a/z wynosi 1,51 lecz jest, mniejszy od stosunku anizotropii otworowej Dx/Dy o 7 %, który wynosi 1,61 i do takiej wartości powinien dążyć stosunek odległości między otworami do zabioru. Duża wartość anizotropii geometrycznej oraz anizotropii otworowej rownież świadczy o kierunkowej szczelinowatość masywu skalnego.

4.4.4.5 Kierunkowy rozkład kołowy prędkości radialnej Vx i stycznej Vy drgań parasejsmicznych podczas urabiania glin zwałowych strzelaniem milisekundowym

Przedstawiono rzeczywisty rozkład kołowy w polu bliskim otrzymany podczas pomiarów w czasie urabiania strzelaniem gliny zwałowej oraz sprawdzono czy opracowane dla skał zwięzłych zależności i metodyka obliczeń sprawdzi się i w jakim zakresie może być stosowana do prognozowania parametrów drgań fali sejsmicznej w ośrodkach plastycznych. Sprawdzenie wykonano na dostępnych wynikach pomiarów innego polskiego badacza [Onderka (1971)]. W kołowym rozchodzeniu się drgań sejsmicznych przyjmuje się, że drgania ośrodka rozchodzą się w każdym kierunku z taką samą prędkością a tym samym nie rozpatruje się wpływu kąta kierunkowego pomiarów „α" na wielkość parametrów pomierzonych drgań. W ośrodku jednorodnym [Chrzan, Modrzejewski(2014)] jak to przedstawiono na rysunku 4.9, jednostkowa wypadkowa prędkości drgań Vxy /półkole/, składająca się z drgania stycznego Vy /prostopadłego do drgań promieniowych - Vx/ i promieniowego Vx, ma stałą wartość. Natomiast prędkości drgań styczne Vy /prostopadłe do drgań promieniowych - Vx/ i promieniowe Vx w zależności od kąta kierunkowego pomiarów α mają różne wartości. Wyniki pomiarów drgań parasejsmicznych z uwzględnieniem kąta kierunkowego nanosimy na schemat Chrzana. Sporządzanie schematu Chrzana [Chrzan, Modrzejewski(2014)] polega na oznaczaniu na opracowanym wykresie w przyjętej skali, wartości prędkości lub przyśpieszenia drgań pomierzonych pod różnymi kątami kierunkowymi α w stałej odległości od punktu 0. W czasie pomiarów wartości prędkości drgań na danym obiekcie mierzy się dwie składowe poziome radialną Vx i styczną Vy. Na podstawie większej wartości prędkości drgań i odpowiadającej jej częstotliwości określa się ze skali szkodliwości drgań (Rys 2.5 i 2.6) możliwość powstania w budynku danego rodzaju uszkodzeń. Jak wynika z analizy pomiarów prędkości składowych Vx i Vy [Onderka (1971)] dla złoża Adamów przy urabianiu glin zwałowych uzyskano, co przedstawia Rys.4.36, rozkład prędkości Vx i Vy zgodny z rozkładem teoretycznym przedstawionym na Rys.4.9 i 4.10 dotyczącym kołowego rozchodzenia się prędkości drgań. Można to wytłumaczyć tym, że w tym przypadku iloczyn ka był mniejszy niż 1,38 co jest widoczne na Rys.4.36. Wyniki pomiarów poziomej radialnej Vx i stycznej Vy prędkości drgań dla urabianych glin zwałowych nieznacznie odbiegają od narysowanego linią przerywaną półkola czyli kołowego rozkładu teoretycznego. Kąty kierunkowe α obliczono jak dla zależności kołowej z funkcji tangens α w tym przypadku jako tanges $\propto$ =Vx/Vy. Poniżej na Rys.4.36

przedstawiono rzeczywisty rozkład kołowy prędkości drgań składowych radialnej Vx i stycznej Vy otrzymany podczas strzelania w glinach zwałowych kopalni Adamów opracowany na podstawie pomiarów zestawionych w pracy [Onderka (1971)]. Widoczny jest punkt o kącie kierunkowym α=53,5º, Tabela 4.7, poz.14, którego wartość jest większa niż wartość pozostałych punktów prędkości drgań fali radialnej układających się po obwodzie koła, jest to prędkość fali poprzecznej. Jest to zgodne z rozkładem kołowym prędkości drgań ultradźwiękowej fali radialnej Rys 4.24 dla wariantu λ >> a , gdzie punkty pomiarowe fali poprzecznej T układają się wzdłuż elipsoidy, a ich wartość jest większa niż wartość punktów fali podłużnej układających się po obwodzie koła.



Rys. 4.36 Kołowy kierunkowy rozkład prędkości poziomej radialnej Vx i stycznej Vy drgań w nadkładzie złoża węgla brunatnego Adamów w funkcji kąta kierunkowego α. Linia przerywana rozkład teoretyczny kołowy dla Vxk i Vyk, Vx-o,Vy-x- zaznaczone wartości punktów pomiarowych. Pomiary wykonano na Ćwiartce I. Źródło: Opracowanie literaturowych danych pomiarowych [Onderka (1971)].

Podobne zjawisko występuje przy rozkładzie kołowym prędkości drgań fali poziomej stycznej. Z pozycji 14 Tabela 4.7 obliczono prędkość fali poprzecznej Ctx i Cty na kierunku X i Y. Linią przerywaną zaznaczono teoretyczne rozkłady prędkości drgań fali poziomej stycznej i radialnej w złożu jednorodnym. Dla pozycji 17 przy fxomm= 2,6Hz długość fali λxm dla prędkości Coxm=1895m/s wynosi 729 m. Z zestawionych w tabeli /Tabela 4.7/ pomiarów odległości od źródła drgań wynika, że pomiary wykonano w polu bliskim a otrzymane zależności dotyczą pola bliskiego i rozkładu kołowego. Dla strzelania w glinach zwałowych kopalni Adamów stosunek średniej odległości punktów pomiarowych (820m) do długości fali (730m) wynosi 1,12 λ co podobnie jak wyniki analizy rysunku 4.36 stwarza warunki do powstania rozkładu kołowego w polu bliskim.

Tabela 4.7 Parametry drgań podczas urabiania glin zwałowych w kopalni Adamów [Onderka (1971)]

Nr	Fxm Hz	fym Hz	Vxm cm/s	Vym cm/s	r m	Qz kg	∝ kąt	n szt	Wsk	Vxs cm/s	Vys cm/s
10	1,8	1,7	0,28	0,49	800	250	30	3	1,02	0,29	0,50
14	2,2	1,7	0,81	0,60	700	200	53,5	5	0,89	0,72	0,53
15	2,5	1,2	0,56	0,15	810	200	75	5	1,03	0,58	0,10
16	1,4	2,5	0,50	0,07	930	250	82	4	1,19	0,60	0,08
17	2,0	2,5	0,50	0,06	1080	250	83	4	1,38	0,69	0,08
24	2,5	2,5	0,49	0,48	600	250	45,5	6	0,76	0,37	0,36
25	2,5	7,7	0,48	0,27	700	250	60	6	0,89	0,43	0,24
31	2,4	2,5	0,60	0,28	650	220	65	15	0,83	0,50	0,23

Objaśnienia do Tabeli 4.7, gdzie: Nr to nr badanego strzelania; fxm, fym - częstotliwość drgań w punktach pomiarowych na masywie złoża; Vxm, Vym - prędkość drgań na kierunku radialnym i stycznym w punktach pomiarowych na masywie złoża; r- odległość punktu pomiarowego od źródła drgań; Qz-ładunek MW na jeden otwór i jedną zwłokę /zapalnik/; ∝-kąt kierunkowy określony dla rozkładu kołowego jako tg∝=Vx/Vy; n- ilość odpalanych otworów; Wsk - wskaźnik korekcyjny odległości obliczony zgodnie z Rozdz.6.1; Vxs, Vys – prędkość radialna i styczna skorygowana wskaźnikiem korekcyjnym; z-zabiór. Odległość między otworami: pozycja-10,14,15=6m, pozycja; 16,17=5m, pozycje: 24,25,31=7m. Zabiór pozycje-10,17,24,25=14m, pozycje-15,16=15m, pozycja - 14=17m, pozycja-31=16m.

Dla złoża Adamów przy bliskich sobie kątach kierunkowych obliczono z zależności potęgowej wykładnik potęgowy prędkości drgań w masywie. Przy odległości 800m, Tabela 4.7, poz.10 prędkość drgań wynosi Vxm=0,28 cm/s a przy odległości 600m poz.24 Vxm=0,49 cm/s. Dla kierunku X można zapisać potęgową zależność: ax=1,95

Vxm600 = Vxm800*[800/600]^{a}=0,28*[1.33^(1,95)]=0,28*1,74=0,488 cm/s, ax=1,95

Dla kierunku Y nie można obliczyć wartości wykładnika potęgowego, ponieważ prędkość w odległości dalszej jest większa niż prędkość w odległości bliższej. Dla pozycji 17, Tabela 4.7 przy fxomm=2,6Hz, długość fali λxm dla prędkości Coxm=1895 m/s wynosi 729 m. Z zestawionych w tabeli pomiarów odległości od źródła drgań wynika, że pomiary wykonano w polu bliskim a otrzymane zależności dotyczą pola bliskiego i rozkładu kołowego. Na podstawie większej wartości poziomej prędkości drgań określa się ze skali szkodliwości drgań możliwość powstania danego rodzaju uszkodzeń obiektu. Przy występowaniu

kołowego pola drgań, aby zapewnić bezpieczeństwo techniczne [Polska Norma (2016)] budynkom, to prędkość działających na nich drgań nie powinna przekraczać granicy B /dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych /w skali szkodliwości drgań SWD. Największe drgania należy kierować w kierunku niezabudowanego terenu. Dla analizowanego złoża Adamów, przy występowaniu kołowego rozkładu pola prędkości drgań, kąt kierunkowy „α" zapewniający najmniejsze oddziaływanie drgań na budowle i budynki powinien obejmować obszar pomiędzy 30-45° oraz 60-90° stopni i na nim powinny znajdować się chronione obiekty inżynierskie, Rys.4.36.

I.1 Parametry prac wiertniczo strzałowych dla pozycji 17 z Tabeli 4.7:

n- ilość milisekundowo odpalanych w jednym rzędzie 4 otworów,n=4; z-zabiór, z=14 m; a-odległość między otworami, a=5 m; H-wysokość bloku i bloczka skalnego, H=20m; D-średnica otworu, D=25,4*7"=178 mm. Materiał wybuchowy [MW], ANFO typu slurry; V_t- prędkość detonacji, V_t =4500 m/s; ρ_{mw}- gęstość objętościowa MW, * ρ_{mw} =0,85 *1000 [kg/m³].

I.2 Obliczone parametry bloku skalnego i masywu:

Ly długość bloku skalnego, Ly=n*a=4*5=20 m.

Kierunek X: C_{oxm}- prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku X, C_{oxm}=1985 m/s; f_{xomm}-największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku X w masywie, f_{xomm}=2,6 Hz; C_{txm}- prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku X, C_{txm}=923 m/s.

Kierunek Y: C_{oym}- prędkość fali podłużnej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y,C_{oym}=2110 m/s; f_{yomm}-największa częstotliwość fali podłużnej na kierunku Y w masywie, f_{yomm}=2,54 Hz; C_{tym}- prędkość fali poprzecznej w masywie i bloku skalnym na kierunku Y, C_{tym}=945 m/s; ρ_s gęstość objętościowa gliny zwałowej, ρ_s=2,05.*1000 [kg/m³].
Największa prędkość drgań fali podłużnej na kierunku X i Y w masywie skalnym -glina - skała osadowa, V_{xmm}=0,78 cm/s, V_{ymm}=0,32 cm/s;
Z_1-impedancja akustyczna gliny, $Z_{1x}=\rho_s*C_{ox}$=3,88*10^(6)[kg/(m²s)], $Z_{1y}=\rho_s*C_{oy}$=4,09*10^(6) [kg/(m²s)];

Z_2-impedancja akustyczna MW, $Z_2=\rho_{mw}*V_t$=3,8*10^(6)[kg/(m²s)];

H_{ax}- moduł akustyczny na kierunku X, H_{ax}=3,58 GPa;

H_{ay}-moduł akustyczny na kierunku Y, H_{ay}=4,08 GPa;

Ww- wskaźnik wielkości urabianego bloczku gliny w stosunku do objętości standardowej próbki laboratoryjnej, Ww=3,74*1000 [-];

Tp-współczynnik przenikania energii fali z jednego ośrodka do drugiego dla kierunku X, T_{px} =1,0 dla kierunku Y, T_{py}=1,0;

U_{bl} -objętość jednego bloczka U_{bl} =a*H*z=5*20* 14=1400m³;

U1r-objętość jednego rzędu otworów,U1r=Ubl*n=1400*4 =5600 m³.

I.3 Obliczenia Etap I: *Obliczenia prędkości i największej częstotliwości fali podłużnej*

Coxm na kierunku X i Y w masywie wg. równania (4.21).

Kierunek X. Z pozycji 17 Tabela 4.7, obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r=1080 m i częstotliwości fxm=2,0 Hz największą częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka w masywie na kierunku X, fxomm=2,6 Hz i prędkość fali podłużnej Coxm= 1895 m/s. ***Kierunek Y***. Z pozycji 17 Tabela 4.7, obliczono dla pomierzonej na masywie w odległości od źródła drgań r=1080 m i częstotliwości fym=2,5 Hz największą częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka w masywie na kierunku Y, fyomm=2,54 Hz i prędkość fali podłużnej na kierunku Y, Coym=2110 m/s. Ponieważ jest tylko jeden pomiar Vx i Vy, brak zatem możliwości sprawdzenia dokładności otrzymanych wyników obliczeń fomm i Comm.

I.4 Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y

Odkształcenie względne bloczku na kierunku X i Y obliczono ze wzoru (4.47):

$\varepsilon x = 0{,}00128$, $\varepsilon y = 0{,}001128$

Prędkość drgań V bloku i bloczku na kierunku X i Y obliczono zgodnie z pierwszym przybliżeniem ze wzoru (4.48):

Vx=0,00128*18953=2,42 m/s; Vy=0,001128*2110=2,38 m/s

Obliczenie częstotliwości drgań własnych fxbs1r bloku gliny urabianego jednym rzędem otworów fxbs1r na kierunku X, wzór (4.41):

fxbs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*1,0*1895/:/2,05*1000*2,42*5600]^(1/2)=
= 172,5 Hz

Częstotliwości drgań własnych bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów fybs1r na kierunku Y, wzór (4.42):

fybs1r = [4500/(2π)]*[(0,85*1000*1,0*2110/:/2,05*1000*2,38*5600]^(1/2)=
= 182,1 Hz

Częstotliwości drgań fali sejsmicznej, dla bloku skalnego urabianego jednym rzędem otworów, fxs1r i fys1r na kierunku X i Y równa się częstotliwości drgań własnych jednorzędowego bloku skalnego pomnożona przez 1.09:

fxs1r=172,5*1,09=188,0 Hz, fys1r=1,09*182,1=198,5 Hz.

I.5 Wskaźniki zmniejszające częstotliwość drgań fali sejsmicznej bloku skalnego

Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y:

$\lambda xsb=Coxm/fxomm=1895/2,6=729$ m, $\lambda ysb=Coym/fyomm=2110/2,54=536$ m

Wskaźnik Wfgb określający wpływ wymiarów geometrycznych źródła drgań na częstotliwość drgań:

Wfgb={[H* z]^(1/2)} / (Ly).

Podstawiając dane otrzymamy:

Wfgb={[20*14]^(1/2)}/20=16,7/20=0,84

Wskaźnik określający wpływ ilości zwłok czasowych na częstotliwość drgań Wfn dla strzelania milisekundowego:

Wfn=[1+3*0,05]^(1/3)=1,05

Częstotliwość drgań fali sejsmicznej dla całego bloku, na kierunku X i Y:

fxsb=fxs1r*Wfgb/Wfn, fxsb=188*0,84/1,05=150,4 Hz;
fysb=198,5*0,84/1,05=158,8Hz

Maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku X- fxomm=2,6 Hz, na kierunku Y-fyomm=2,54 Hz. Wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw Wxzfm i Wyzfm, Wxzfm=fxomm/fxsb=2,6/150,4=0,017, Wyzfm=fyomm/fysb=2,54 /158,8=0.016.

Na tej podstawie można stwierdzić, że otrzymane wyniki nie są prawidłowo obliczone, a przy urabianiu glin zwałowych, ośrodka twardoplastycznego ze średnią zawartością 14,5 % minerałów ilastych potrzebne są nowe wskaźniki zmniejszające częstotliwość drgań bloku np. z 158,8 Hz do 2,54 Hz. Autor proponuje aby uwzględnić szerokość drgającego bloku, czyli zabiór na kierunku X i długość bloku Ly na kierunku Y oraz zawartość minerałów ilastych w glinie zwałowej wyrażoną poprzez kwadrat stosunku prędkości fali poprzecznej do prędkości fali podłużnej. Minerały te w postaci owalnej, jak elipsoidy obrotowe , ułożone są dłuższą osią w kierunku ruchu lodowca. Przy tej samej zawartości procentowej od 11 do 19% [Krawczyk(2016)] prędkość fali na tym kierunku jest, mniejsza niż na kierunku prostopadłym. Zgodnie z tą sugestią dla kierunku X należy otrzymaną częstotliwość fxsb podzielić przez z zabiór i pomnożyć przez kwadrat stosunku prędkości fali poprzecznej do prędkości fali podłużnej a otrzymamy częstotliwość bloku zmodyfikowaną:

$fxbzm=[fxsb/z]*(Ctxm/Coxm)^2=[150,4/14]*[923/1895]^2=10,7*0,24=2,6Hz$

Dla kierunku Y należy otrzymaną częstotliwość fysb podzielić przez długość Ly bloku i pomnożyć przez kwadrat stosunku prędkości fali poprzecznej do prędkości fali podłużnej. Częstotliwość bloku fybzm zmodyfikowaną obliczamy ze wzoru:

$fybzm=[fysb/Ly]*(Ctym/Coym)^2=[158,8/(20)]*[945/2110]^2=7,94*0,20=1,56Hz$

Po zastosowaniu zmodyfikowanej częstotliwości wskaźnik zmniejszania się częstotliwość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na kierunku X i Y na masyw Wxzfm i Wyzfm.

Wxzfm=fxomm/fxzm=2,6/2,6=1,00 a Wyzfm= fyomm/ fyzm=2,54/1,56=1,63. Następne badania pozwolą na opracowanie dla kierunku Y nowych i dokładniejszych wskaźników zmniejszających częstotliwość drgań do rzeczywistych ich wartości.

***I.6 Obliczono ;-największe prędkości drgań masywu dla fali podłużnej Vxomm i* Vyomm:** na kierunku X i Y dla masywu; Z Tabeli 4.7 i pozycji 17 obliczono *Vxomm:*

$$Vxomm = Vx/[cos(2{,}0 * 360 * \left(\frac{1080}{1895}\right)] = \frac{0{,}5}{[cos(50{,}3^{o})]} = \frac{0{,}5}{0{,}639} = 0{,}78\ cm/s$$

Z Tabeli 4.7 i pozycji 17 obliczono największą prędkości drgań dla fali podłużnej Vyomm na kierunku Y dla masywu:

$$Vyomm = Vy/[\cos(2{,}5 * 360\left(\frac{1080}{2110}\right)] = \frac{0{,}06}{[cos(100{,}7^{0})]} = \frac{0.06}{0{,}186} = 0{,}32\frac{cm}{s}$$

I.7 Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y dla jednorzędowego bloku skalnego

Obliczanie ka i Wrk na kierunku X i Y. Wrk dla bloku gliny zwałowej urabianego jednym rzędem otworów na kierunku X i Y. Długość fali sejsmicznej na kierunku X i Y:

λxsb=Coxm/fxomm=1895/2,6=729 m, λysb=Coym/fyomm= 2110/2,54=536 m

Na kierunku X: Wrkxb=2(H+Ly)/λxsb=2(20+20)/729=0,11, ka=0,09- na kierunku X, rozkład kołowy.

Na kierunku Y,Wrkyb=2(H+Ly)/λysb=2(20+20)/536=0,15; ka=0,12 -na kierunku Y, rozkład kołowy.

I.8 Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku skalnego

Prędkość drgań fali sejsmicznej Vb dla bloku gliniastego urabianego milisekundowo jednym rzędem otworów z uwzględnieniem jego kształtu obliczamy z zależności:

Vbx=Vx*Wfgb/Wfn

Podstawiając dane: Wfgb=0,84, Wfn=1,05 obliczamy predkość drgań Vb bloku skalnego na kierunku X i Y i otrzymujemy:

Vbx=2,42*0,84/1,05=1.94 m/s. Vby=2,38*0,84/1,05=1,9 m/s

Fala sejsmiczna o długości 729m rozchodzi się w urabianym bloku skalnym o maksymalnym wymiarze 20m jak w warunkach ośrodka ograniczonego.

Wskaźnik zmniejszania się prędkości drgań fali sejsmicznej Wxvbm przy rozchodzeniu się fali sejsmicznej w bloku skalnym na kierunku X i Y:

Wxvbm=Vbx/(fxomm*z),

podstawiając dane otrzymamy:

Wxvbm=1,94/(2,6*14)=0,053, Wyvbm=1,9/(2,54*20)=0,037

Prędkości drgań fali sejsmicznej przy przejściu z końca bloku gliniastego na kierunku X i Y na masyw,Vxbm,Vybm:

Vxbm=Vbx*Wvbxm

podstawiając dane otrzymamy:

Vxbm=1,94*0,053=10,3 cm/s, Vybm=1,9*0,037=7,03 cm/s.

I.9 Początek pola i koniec pola bliskiego oraz maksymalna prędkość drgań fali sejsmicznej

Kierunek Y. Pole bliskie jest ograniczone maksymalną częstotliwością na początku pola i maksymalną częstotliwością na końcu pola. Obliczanie początku i końca pola bliskiego na kierunku Y odbywa się ze wzoru (4.22):

$$fyomm = fyrm/[sin\left(fyrm * 360\frac{r}{Coym}\right)$$

gdzie: $fyrm$ - częstotliwość drgań masywu na kierunku Y w punkcie r; fyomm-maksymalna częstotliwość drgań masywu na kierunku Y obliczona na podstawie pomiarów na masywie, fyomm=2,54 Hz; r- początek pola bliskiego –szukana odległość[m]; Coym-prędkość fali podłużnej w masywie na kierunku Y, Coym=2110 m/s.

Należy tak dobrać fyrm i r aby obliczona fyomm=~2,54 Hz. Podobny wzór dotyczy końca pola bliskiego. Podstawiając za r=172m i fyrm=2,4 Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:

2,54=2,4/[sin70,4º]= 2,4/0,942=2,547 Hz

Dla końca pola bliskiego; podstawiając za r=1051 i fyrm=2.4 Hz otrzymano dla końca pola bliskiego:

2,54=2,4/ [sin70,4º]= 2,4/0,94=2,55 Hz

Stąd na kierunku Y:

Pbys1=172m, Pbys2=1051m. λysb=536m, Pbys1=172/536=0,32λysb, Pbys2=1051/536 m=1,96 λysb.

Obliczono stałą Ay podstawiając dane do wzoru (4.16) dla jednorzędowego bloku gliniastego, Ay=29,7. Przyjmując, że początek pola bliskiego na kierunku Y, to odległość 172,0 m, której odpowiada obliczona maksymalna prędkość drgań

fali sejsmicznej przy przejściu z bloku gliny na masyw Vy=27,1 cm/s. Z braku wartości wykładnika potęgowego ay nie można sprawdzić dokładności obliczeń licząc maksymalną prędkość drgań fali sejsmicznej w masywie z potęgowej zależności dla kierunku Y, wzór (4.78).

II.1 Obliczanie wskaźnika przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej obliczonej dla bloku skalnego na kierunku Y na masyw

Dla kierunku Y nie można obliczyć wartości wykładnika potęgowego. Dlatego nie można, mając pomiar dalszy, obliczyć wartości pomiaru bliższego dla r=172 m dla kierunku Y wzór (4.78).

Kierunek X, wzór (4.78).

Podstawiając za r=180m i f_{xrm}=2,6Hz otrzymano dla początku pola bliskiego:

2,6=2,6/[sin 88,9º]=2,6/0,9998=2,6 Hz

Dla końca pola bliskiego; podstawiając za r=913 i f_{xrm}=2,5 Hz otrzymano:

2,6=2,5/[sin73,6º]= 2,5/0,96=2,604 Hz

Stąd dla kierunku X:

P_{bxs1}=180m, P_{bxs2}=913m. λ_{xsb}=729m, P_{bxs1}=180/729=0,25λ_{xsb}, P_{bxs2}=913/729=1,25λ_{xsb}

Obliczono stałą Ax podstawiając dane do wzoru (4.16), dla jednorzędowego bloku gliny,Ax=33,2. Przyjmując, że początek pola bliskiego na kierunku X, to odległość 180,0 m, której odpowiada obliczona maksymalna prędkość drgań fali sejsmicznej przy przejściu z bloku skalnego na masyw Vxb=14 cm/s. Sprawdzono dokładność obliczeń licząc maksymalną prędkość drgań fali sejsmicznej w masywie z potęgowej zależności. Mając pomiar dalszy, obliczono wartość pomiaru bliższego dla kierunku X, wzór (4.78), ax=1,95:

Vxm180=0,78*[1080/180]^(1,95)=0,78*[6^(1,95)]=0,78*32,9=25,7 cm/s

II.2 Obliczanie wskaźnika przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej obliczonej dla bloku skalnego na kierunku X na masyw

W_{xvbm}=Vxb/Vxm180=10,3/25,7=0.40.

Ze względu na bardzo rzadko stosowane milisekundowe strzelanie w glinie zwałowej, ostatnio w 1971r., trudno będzie zastosowane zależności uzupełnić o inne parametry tak, aby wskaźnik przejścia prędkości drgań fali sejsmicznej zwiększyć do wartości jeden. W monografii przedstawiono rzeczywisty rozkład kołowy w polu bliskim otrzymany podczas pomiarów (Onderka (1971)] w czasie urabiania strzelaniem gliny zwałowej. Otrzymane wyniki obliczeń prędkości drgań na kierunku X mniejsze o 60% od pomierzonych potwierdzają duży wpływ minerałów ilastych i kierunku ich ułożenia w masywie gliny zwałowej przy

obliczaniu prędkości drgań fali sejsmicznej. Niemniej otrzymane wyniki dla glin zwałowych w zasadzie potwierdzają możliwość zastosowania opracowanej dla skał zwięzłych metodyki obliczeń dla skał twardo-plastycznych.

II.3 Sprawdzenie dokładności określania średnicy otworu strzałowego

Dla kierunku radialnego średnicę otworu strzałowego obliczono z równania (4.52a):

Dx= [ρs*Cox*Vx*2*a] / [ρmw*Qe*Tpx]

Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku X otrzymano :

Dx=[2,05*1000*1985*2,42*2*5]/[0,85*1000*3700*1000*1]=31,3 mm.

Stosowana średnica otworu to 178 mm czyli jest znacznie większa niż potrzebna do załadowania ilości MW wymaganej do zniszczenia bloczku ma kierunku X.

Sprawdzono średnicę otworu strzałowego dla kierunku Y. Podstawiając dane wytrzymałościowe masywu dla kierunku Y otrzymano średnicę otworu:

Dy = [ρs*Coy*Vy*2*z]/[ρmw*Qe*Tpy]=[2,05*1000*2110*2,38*2*14]/
[0,85*1000* 3700 * 1000*1]=91,6 mm

Czyli do zniszczenia bloczku na kierunku X i Y wystarczy MW załadowany do otworu o średnicy 92mm i taka powinna być racjonalnie dobrana średnica otworu. Ze względu na zawartość minerałów ilastych otrzymane wartości średnicy otworu strzałowego wymagają jednak potwierdzenia w dalszych badaniach oraz określenia stałej złożowej Sz.

4.5 Literatura do rozdziału 4

Bednarz, Bieleń(2017) Metody wyznaczania modułu Younga dla materiałów elastoplastycznych. Eksploatacja i Testy, Autobusy 6/2017

Chrzan T. (2014),Prognozowanie bezpieczeństwa technicznego budynków położonych w zasięgu drgań parasejsmicznych, Logistyka : 2014, nr 5, CD 1, s. 233-241.Konferencja Miedzynarodowa ICTS 2014,Wrocław.

Chrzan T.,Modrzejewski Sz.(2014) Prognozowanie wartości drgań parasejsmicznych szkodliwie działających na infrastrukturę drogową i mieszkalną Logistyka, nr 5, CD 1, s. 222-232.Konf. Międzynarodowa ICTS, 2014,Wrocław.

Chrzan T. (1994), Ultradźwiękowe badania właściwości skał i materiałów budowlanych.Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław

Clay(1997) C.Medwin H.Fundamentals of Acoustical Oceanography Acad.Press

Czajka J Sterowanie rozkładem pola akustycznego generowanego przez źródła wielopunktowe. Rozprawa doktorska,2009, AGH. Krakow,

Dobrucki A(1987). Podstawy akustyki. Wyd. Polit. Wrocławskiej ,Wrocław 1987 Dowding CH, Siskind DE, Stagg MS, Kopp JW(1980),Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting.Technical

Report. US Department of the Interior, Bureau of Mines

Gołaś W.,Filipek R.,Suder-Dębska K(2018)].Wprowadzenie do akustyki użytkowej. Kraków

Grelowska G.(1997) Pole dalekie w badaniach morskich. XLIV Otwarte seminarium z akustyki . Jelenia Góra

Grześkowiak A.(2019) Optymalizacja robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym. Praca doktorska.Wydz. Geoinż., Geol. Górni. Politechnice. Wrocławskiej,Wrocław

Yunlong Geng 2009,Limei Xu, Xuesheng Li, Leon Xu. DirectivityAnalysis of Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer Array.

Sensors & Transducers Journal, Vol.111, Issue 12, December 2009,pp. 45-54 Jussi.(2014),Leiwo,Kuutti,Juhana and Sepponen,Raimo E. Local Control of Audio Environnment:

A Review of Methods and Applications. Technologies 2014, 2, 54 62 F DOI:10.3390/ technologies 2010031

Krawczyk D.A (2016). Charakterystyka składu mineralnego frakcji iłowej glin lodowcowych oraz ich parametrów geologiczno-inżynierskich na terenie Poznania i okolic.Archiwum Inst. Inż. Lądowej nr.21/2016. Politechnika Poznańska

Matauschek J (1961) Technika ultradźwięków. Wyd.Nauk-Techniczne. Warszawa

Modrzejewski S(2014).Szczelinowanie górotworu jako czynnik zwiększający bezpieczeństwo budowli podczas urabiania strzelaniem surowców skalnych. Referat na semin.w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Ląd.,Wrocław 23.05.2014.

Duvall WI,Nicholls HR, Johnson CF(1971).Biasting vibrations and their effects on structures, U.S. Department of Interior, Bureau of Mines Bulletin 656.

Onderka Z.(1971) Badania intensywnosci drgań sejsmicznych przy strzelaniu metodą otworów wiertniczych w kopalniach odkrywkowych. Zeszyty. Naukowe AGH. Nr. 334. Górnictwo.

Onderka Z.,Sieradzki J., Winzer J (2003) Technika strzelnicza 2. AGH .Kraków

Opracowanie(2015).Opracowanie promienia strefy bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych dla złoża bazaltu. Instyt.Górnictwa Odkryw.Poltegor. Wrocław

Polska Norma (2016) ;PN-B-02170:2016-12 , Skala wpływów dynamicznych.

Pyra J. Winzer J.,Sołtys (2016) Oddziaływanie na otoczenie robot strzałowych z uzyciem materiałow wybuchowych, AGH, Kraków

Sołtys A.(2011) Analiza oddziaływania na otoczenie drgań wzbudzanych przez roboty strzałowe z zastosowaniem metody Matching Pursuit.

Praca Doktorska. Wydział Geoinżynierii i Górnictwa. AGH. Kraków.

Starczewski L.R.,Koślik P.,Wilk Z.(2014),. Symulacje numeryczne i wstępne badania eksperymentalne modeli układów ochronnych narażonych na wybuch ładunków o masie 2-6 kg TNT w warunkach określonych dokumentem NATO AEP-55 . Logistyka 4/2014

Talarczyk E(1990).Podstawy techniki ultradźwięków.Wyd.Polit.Wroc.Wrocław.

Yunlong 2009 Geng,Limei Xu, Xuesheng Li, Leon Xu. Directivity Analysis of Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer Array. Sensors & Transducers Journal, Vol.111, Issue 12, December 2009,pp. 45-54

Źródła Internetowe

Internet(1/2020) http://ilf fizyka.pw.edu.pl/podręcznik, dostęp 10.05.2020

Internet(2/2020)2) https://*www.naukowiec.org.wzory/fizyka/natężenie* fali, dostęp 10.05.2020

Internet(3/2020) https://www. Youtube.com/watch .*Wykłady z fizyki Popko E,* Politechnika Wrocławska/ dostęp 10.05.2020

Internet(4/2020) *http://zwmik.imir.agh.edu.pl›dydaktyka›imir›imir*. Podstawy wytrzymałości materiałów. Wykład 2. Machniewicz.AGH. Kraków, dostęp 10.05.2020.

Internet(5/2020)https://www.dynonobel.com/apac/~/media/Files/Dyno/ResourceHub/Technical%20Information/Asia%20Pacific/BulkExplosives/ANFO.pdf,[dostęp 10.05.2020],

Internet(6/2020)Bottle AD 13.811 Advanced Structural Dynamics and Acoustics Lecture 5. Massachusetts Instytute of Technology. Available from:https://ocw.mit.edu/courses/mechanical,[dostęp10.07.2020],obecnie,12.2021,kod dostępu został znieniony

Internet(7/2020) Heutschi Kurt (2013) Acoustic II loudspekers.Lecture. Technische Hochschule Zurich.2013.Availablefrom: https://people.ee.ethz.ch

/~isistaff/courses/ak2/lautsprecher.english.pdf [dostęp10.07.2020] obecnie, 12.2021, kod dostępu został znieniony

Internet(8/2020)Kaniak P.G, H. Schwenzer H (PDF) Advanced ultrasound object detection in air by intensive use of side lobes of transducer radiation pattern. EEE SENSORS 2008 Conference.Available from: -https://www.researchgate.net /publication /224360072 [dostęp10.07.2020].

Internet(9/2020) Pakarinen Jyri,Archontis Polits . Sound Radiation from Vibrating Objects. ELEC-E5610 .Acoustics and the Physics of Sound, Lecture 7. November 2016.available from: ttps://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/392585/mod_resource /content/1/Lecture_7.pdf. [dostęp 10.07.2020].

Internet(10/2020)Russell D. A, Acoustics and Vibration Animations . Graduate Program in Acoustics, The Pennsylvania State University. Available from: https:// acs.psu.edu /drusell/demos. Html [dostęp 10.07.2020].

Internet(11/2020) Mellor Nyal/google/:Speaker directivity /off axis response: the-ory and measurement techniques december7,2013.Acoustic Frontiers [dostęp. 10.07.2020], obecnie, 12.2021, kod dostępu został znieniony

Internet(12/2020) Salamon R.(2017) Podstawy elektroakustyki. Wykład. Politechnika Gdańska, [dostęp 10.05.2020].

5 Przegląd literatury światowej i krajowej pod kątem badań nad rozwiązaniem problemów istotnych dla rozwoju kierunku akustyka inżynieryjna

5.1 Stan obecny określania promienia strefy szkodliwości drgań, częstotliwości, prędkości i amplitudy drgań

W monografii omawia się kierunkowość drgań fali parasejsmicznej związanej z eksploatacją skał zwięzłych w kopalniach odkrywkowych, w których produkuje się kruszywo drogowe i kolejowe. Dotychczasowy stan określania szkodliwości drgań, częstotliwości, prędkości i amplitudy drgań oraz sposób ochrony budynków w terenie otaczającym kamieniołom opisano w Rozdziale 2.3.

5.1.1 Stan obecny określania prędkości drgań gruntu

Dotychczas przyjmuje się, że prędkość drgań parasejsmicznych w punkcie pomiarowym zależy od masy Qz odstrzelonego ładunku MW /na zwłokę milisekundową/ i odległości r od miejsca strzelania. Krajową zależność powszechnie stosowaną do obliczania prędkości drgań opisano w Rozdziale 2.3.2.2 a zależność powszechnie stosowaną do obliczania poziomej radialnej i stycznej prędkości drgań na świecie opisano w Rozdziale 2.3.3.

5.1.2 Określanie częstotliwości i kierunkowości drgań parasejsmicznych

W światowej i krajowej literaturze górniczej brak publikacji dotyczących ilościowego wpływu parametrów robót strzałowych i rodzaju MW na parametry falowe „ka" fali parasejsmicznej. Określanie częstotliwości drgań fali parasejsmicznej i stan obecny opisano w Rozdziale 4.4.1. Analizę warunków i możliwości występowania w czasie przejścia fali, rozkładu kierunkowego drgań ośrodka, na podstawie pomiarów literaturowych przedstawiono w Rozdziale 4.4.3. Maksymalną częstotliwość drgań w źródle drgań można obliczać przed strzelaniem z opracowanych w monografii teoretycznej zależności nr.4.4.1 i 4.4.2. Maksymalną częstotliwość drgań poziomych w masywie skalnym można obliczać z zależności teoretycznej po wykonaniu 2 pomiarów w odległośći „r" i (r+a) ze wzorów 4.2.1, 4.2.2. Została przeprowadzona analiza dokładności określania charakterystyki kierunkowości prędkości drgań fali parasejsmicznej. Nastąpiło to poprzez porównanie otrzymanej z pomiarów kierunkowości prędkości drgań fali parasejsmicznej z kierunkowością otrzymaną z obliczeń znanych w akustyce teoretycznych źródeł drgających a podanych w Rozdziale 4.4.4.1. Przeprowadzono doświadczalną weryfikację trzech równań dotyczących kształtu charakterystyki kierunkowej prędkości drgań fali podłużnej, w tym dwóch dla prostokątnego źródła drgań. Z analizy przedstawionych charakterystyk kierunkowych, Rozdział 4.4.4.1, wynika, że aby je stosować w praktyce wymagają one dalszych badań.

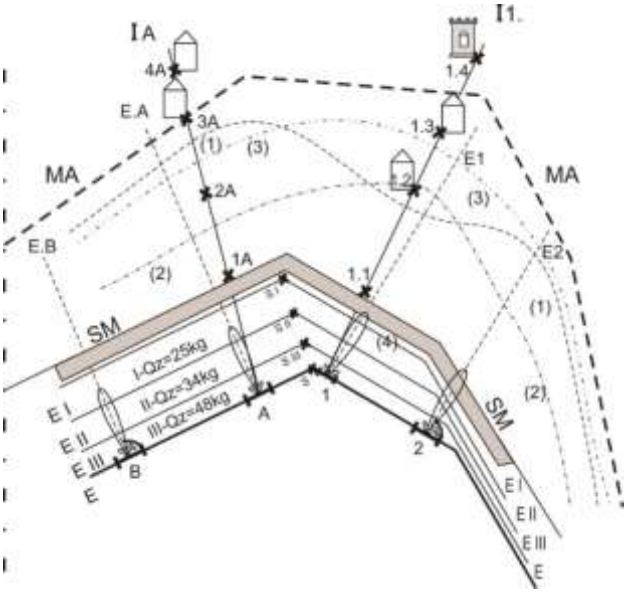
Prędkość drgań jest iloczynem amplitudy i częstotliwości drgań. Ponieważ występuje kierunkowość prędkości drgań należy zbadać czy występuje kierunkowość dla obu jej składników.

5.1.3 Pole bliskie i dalekie

W skalnym górnictwie odkrywkowym nie dzieli się powstającego pola falowego fali parasejsmicznej na pole bliskie i dalekie. Ma to zasadnicze znaczenie dla zmiany wartości częstotliwości, amplitudy i prędkości drgań z odległością. Pole bliskie i pole dalekie opisano w Rozdziale 4.2.7. Pole bliskie w zależności od rodzaju urabianej skały i częstotliwości źródła drgań zależnej od parametrów strzelania kończy się w odległości około 300 m. Udowodniono, że w polu bliskim występuje sinusoidalny niezależny od odległości przebieg wartości częstotliwości drgań. Sprawdzenie przebiegu sinusoidalnego wartości częstotliwości drgań w polu dalekim wymaga natomiast dalszych badań.

5.2 Analiza dotychczas stosowanej metodyki badań przy określaniu prędkości drgań ośrodka

Dotychczasowa metodyka badań polega na uzyskaniu zależności korelacyjnej dla prędkości drgań między wielkością ładunku a odległością od źródła drgań chronionego przed drganiami obiektu. Pomiary wykonuje się podczas pierwszego strzelania (Rys.5.1) na profilu 1-I1 łączącym źródło drgań z pojedynczym domem lub skupiskiem domów, co powoduje, że kąt kierunkowy jest stały lub zmienia się w niewielkim zakresie. Gdy występuje drugie skupisko domów to pomiary wykonuje się, z braku większej ilości czujników drgań na profilu A-1A podczas drugiego strzelania (Rys.5.1) w odległości około 300m /punkt 1/, 600 m/punkt 2/ i około 900-m /pozostałe punkty/. Zgodnie z wyliczeniami zawartymi w Tabeli 2.2 i skalą SWD I odległość 300m jest odległością gdzie mierzy się wartości prędkości, które mogą spowodować uszkodzenia konstrukcyjne budynków. Odległość 600m to odległość gdzie nie powinny występować uszkodzenia konstrukcyjne budynków. Odległość 800 m do 1000 m to odległość, gdzie może występować przyśpieszone zużycie budynków. W tej metodyce nie uwzględnia się zmiany kątów kierunkowych, długości fali i specyfiki pola bliskiego i dalekiego. Przykładowa mapa z punktami pomiarowymi na profilu 1-I1 i A-1A na złożu skalnym z punktami pomiarowymi x ułożonymi wg dotychczasowej metodyki jest pokazana na Rys 5.1. Zaznaczone są strefy o jednakowym ładunku MW na zwłokę Qz. Punkty strzelania 1 i 2, położone są na tym samym poziomie urabianego strzelaniem złoża. Kąty kierunkowe α dla punktów pomiarowych x i domów położonych na profilu pomiarowym 1-I1/punkt strzelania 1/, różnią się między sobą, w stosunku dla strzelania w punkcie 2 co ma wpływ na wartość pomierzonej w nich prędkości drgań.



Rys. 5.1 Dotychczasowy sposób określania profili pomiarowych 1-I1, A-IA, punktów pomiarowych 1.1,1.2,1.3,1.4 oraz 1A,2A,3A,4A w celu określenia bezpiecznej wielkości ładunku MW i drgań sejsmicznych dla budynków podczas strzelania w punkcie A i 1 na poziomie eksploatacyjnym E./Oprac. Własne/

Wykonane pomiary prędkości drgań wzdłuż przedstawionych linii pomiarowych dla strzelania A ujmują około 60% ich rzeczywistego działania, a dla strzelania 1 około 80% ich rzeczywistego działania. Widoczna na rysunku linia ciągla /profil pomiarowy/ strzelanie A przecinając elipsę prędkości drgań wskazuje ze pomierzono prędkości drgań mniejsze od maksymalnych choć to maksymalne predkości drgań będą na badany obiekt działaływ czasie następnych strzelań.

Nowa metodyka pomiarów (Rys.5.2) polega na uzyskaniu zależności korelacyjnej dla prędkości drgań między wielkością ładunku a odległością pomiaru od źródła drgań dla kąta kierunkowego o największej wartości prędkości drgań. Z tego powodu pomiary wykonuje się dla całego zakresu kąta kierunkowego co 10º, od 0 do 90º, w stałej odległości od źródła drgań na półkolu pomiarowym położonym przed czołem urabianego strzelaniem bloku skalnego. Pomiary wykonuje się w punktach umieszczonych na półkolu o stałej podziałce kąta kierunkowego wynoszącego, podobnie jak w [Stan (2012)], 10 stopni (Rys.5.2 w odległości 0,9 λ1r., 1,5 λ1r., 3,3 λ1r., 5,5 λ1r., 8 λ1r., 9 λ1r. /λ1r- długość fali dla strzelania 1 rzędowego/). Przy ograniczonej ilości czujników drgań, pomiary na półkolu dla różnych odległości prowadzone będą na sąsiednich kolejno urabianych MW blokach skalnych na kątach kierunkowych o największej i najmniejszej wartości prędkości drgań. Takie rozmieszczenie punktów pomiarowych pozwoli na wyjaśnienie podanych w monografii różnic między

pomiarami a danymi literaturowymi. Pozwoli to na jednoznaczne, empiryczne wyjaśnienie wpływu pola bliskiego i dalekiego na typ rozkładu kierunkowego oraz pozwoli przetestować dokładność podanych w monografii zależności teoretycznych i empirycznych. Przykładowy rozkład punktów pomiarowych dla pierwszego badania na półkolu pomiarowym dla złoża bazaltu pokazano na Rys.5.2. Planowana nowa metodyka badań dla złoża bazaltu została szczegółowo opisana w Rozdziale 5.4.2.

5.2.1 Problemy do jednoznacznego empirycznego wyjaśnienia

Problem do rozwiązania to nie tylko warunki falowe określone poprzez iloczyn ka lub Wrk dla określenia typu rozkładu kierunkowego kołowego lub elipsoidalnego prędkości drgań, lecz także określenie rzeczywistych parametrów robót strzałowych, które wpływają na amplitudę przemieszczenia i częstotliwość drgań, a tym samym na długość fali. Parametry te będą dodatkowo zastosowane w celu zwiększenia dokładności w zależnościach określających wartości amplitudy prędkości i częstotliwości drgań fali parasejsmicznej w źródle drgań oraz w polu bliskim i dalekim.

Hipoteza naukowa.

Hipoteza naukowa brzmi: wydłużenie względne próbki i masywu podczas ściskania jednoosiowego istotnie się nie różni czyli jest prawie takie samo. Opiera się ona na znanym zjawisku, że wytrzymałość masywu i moduł Younga w masywie jest mniejszy niż w próbce. Gdyby te dwa parametry zmniejszały się proporcjonalnie np. o 200% to wydłużenie względne by się nie zmieniło. Gdyby ta hipoteza okazała się błędna to podczas badań uzyskamy informacje o ile należy pomniejszyć wydłużenie względne otrzymane na próbce aby otrzymać wartość wydłużenia względnego masywu.

Warto też będzie sprawdzić następną hipotezę: wydłużenie względne w złożu zmienia się o +- 20 % od swojej wartości średniej. Hipoteza ta opiera się na tym, że moduł Younga w złożach skał magmowych odchyla się od swojej średniej wartości maksymalnie do +- 20 %, co jest widoczne w Tabeli 5.1. Taka różnica modułu Younga może spowodować, że dokładność obliczonej dla dowolnego punktu częstotliwość drgań na podstawie średniej wartości wydłużenia względnego też będzie wynosić +- 20%. W rzeczywistości dokładność określenia przyjętej do obliczeń częstotliwości drgań wydłużenia względnego będzie mniejsza niż 20%, gdyż będzie to najczęściej wydłużenie względne sąsiedniego urobionego już MW bloku skalnego. Na tym pierwszym etapie analizy i badań taka dokładność obliczeń będzie wystarczająca. Sposób określania wartości wydłużenia względnego w następnym bloku skalnym na podstawie wykonanych pomiarów sąsiedniego, wcześniej odstrzelonego bloku skalnego, może być tematem zgłoszenia patentowego. W tabeli 5.1 podano prędkość fali podłużnej

i poprzecznej dla wybranych rodzajów złóż. Dane dla pozostałych złóż krajowych zawarte są w literaturze [Markowicz M(2010)].

Tabela 5.1 Wartości średnie i odchylenia % od wartości średniej prędkości fali podłużnej Coś i poprzecznej Ctś [Markowicz M(2010)]

Skały magmowe;			
granit, poz.	57	CLś=3339+ -6%,	CTś=2364+ -2%
poz.	52	3493+- 13%	2470+ - 3%.
	50	3749+ -20%	2881+ -3%.
	41	5045+-20%	3225+ -2%.
bazalty; poz.	40	4968+-2%	3581+ -3%.
	54	5036+-6%	3427+ -0,1%.
	55	4756+-11%	3182+ -6%.
gabro; poz.	49	5326+-6%	2353+ -9%.
sjenit;	44	6221+-4%	3041+ -5%.
gnejs;	43	3350+-12%	2346+ -2%.
melafir;	36	4557+-2%	2810+ -3%.
Skały osadowe wapień;	56	5020+-4%	3103+ -4%.
	27	3468+-15%	2275+ -7%.
	24	5733+-4%	3003+ -3%

5.3 Zakres nowych rozwiązań opracowanych w monografii

W naukowej literaturze krajowej i światowej brak informacji na temat teorii pola fali parasejsmicznej. Teoria pola fali parasejsmicznej wskutek swojej złożoności i braku pomiarów z uwzględnieniem kątów kierunkowych do tej pory nie została opracowana. W monografii, Rozdział 4.2, podano wstępny projekt teorii pola fali parasejsmicznej. Teorię tę opracowano poprzez adaptację znanych teoretycznych i literaturowych zależności dotyczących rozchodzenia się fali podłużnej (akustycznej) w powietrzu i fali podłużnej (ultradźwiękowej) w ciałach stałych do warunków rozchodzenia się fali w skałach. Na podstawie badań ultradźwiękowych uwzględniono rozkład kierunkowy fali podłużnej i poprzecznej w środowisku skalnym. Zaadaptowano teoretyczne zależności dotyczące tych fal oraz sprawdzono eksperymentalnie zależności do obliczania: odległości pola dalekiego, początku pola bliskiego, tłumienia prędkości drgań fali w polu bliskim, obliczania prędkości drgań w źródle drgań w polu bliskim i dalekim oraz przedstawiono do sprawdzenia zależności do obliczania energii fali, natężenia fali w polu bliskim i dalekim, amplitudy przemieszczenia drgań na kierunku X,Y,Z w źródle drgań oraz w polu bliskim i dalekim. Sprawdzono, że literaturowe warunki falowe iloczynu „ka” dotyczące podłużnych fal

akustycznych i ultradźwiękowych mogą być stosowane do określania typu rozkładu kierunkowego fali parasejsmicznej. Na tej podstawie opracowano definicję kierunkowości fali parasejsmicznej i wskaźnik rozkładu kierunkowego drgań Wrk, którego wielkość określa typ rozkładu kierunkowego drgań: kołowy lub eliptyczny. Kształt charakterystyki kierunkowej fali podłużnej najbliższy rzeczywistości opisują trzy podane w monografii równania, Rozdział 4.4.3.4. W monografii podano parametry pola fali parasejsmicznej, proponowane zależności do praktycznego określania amplitudy, prędkości i częstotliwości drgań. Doświadczalna weryfikacja teorii pola fali sejsmicznej obejmowała obliczeniowe określenie:

1. prędkości drgań: a) w źródle drgań, b) w urabianym bloku skalnym, c) w masywie skalnym pola bliskiego,
2. tłumienia prędkości drgań w polu bliskim fali,
3. częstotliwości drgań: a) w źródle drgań, b) w urabianym bloku skalnym, c) w masywie skalnym pola bliskiego,
4. wskaźnika kierunkowości drgań i rodzaju charakterystyki kierunkowej,
5. średnicy otworu strzałowego, stosunku odległości między otworami do zabioru
6. nowej metodyki doboru czasu zwłoki międzystrzałowej.

Na podstawie kilkunastu pomiarów stwierdzono, że w polu bliskim na kierunku X i Y wartość częstotliwości drgań cząsteczki ośrodka zmienia się z odległością według zależności sinusoidalnej, a wartość prędkości drgań według zależności kosinusoidalnej. Niemniej opracowana teoria wymaga dalszych badań w zakresie:

A) doświadczalnej weryfikacji znanych zależności na określanie:
   1) tłumienia prędkości drgań w polu dalekim,
   2) częstotliwości drgań w masywie pola dalekiego,
   3) sprawdzenia czy kierunkowość elipsoidalna prędkości drgań jest związana z bloczkiem skalnym czy tylko z pierwszym rzędem otworów,
   4) prędkości drgań w masywie w polu dalekim.

Dotychczas na podstawie tylko dwóch pomiarów stwierdzono, że w polu dalekim na kierunku X i Y częstotliwość drgań cząsteczki ośrodka zmienia się z odległością według zależności sinusoidalnej, a prędkość drgań według zależności kosinusoidalnej /złoże bazaltu/.

B) opracowanie nowych zależności i doświadczalnej ich weryfikacji na określanie:
   1) kierunkowości amplitudy i częstotliwości drgań,
   2) wpływu głównego kierunku szczelinowatości w złożu na obliczeniową prędkość drgań bloku skalnego.

Głowną hipotezą, która została udowodniona pomiarami w warunkach przemysłowego urabiania skał jest wyprowadzona w monografii teoretyczna

zależność częstotliwości drgań fali parasejsmicznej jako częstotliwości drgań własnych odstrzelonego bloku skalnego na kierunku X,Y,Z.

Problemem, który został rozwiązany jest uwzględnienie w wyprowadzonych zależnościach teoretycznych opartych na wynikach badań laboratoryjnych próbek, parametrów i wymiarów urabianego bloczka i bloku skalnego. Dla przykładu wartości modułu Younga i wytrzymałości na ściskanie próbki laboratoryjnej na kierunku X,Y,Z, zostały zastąpione modułem akustycznym i wytrzymałością na ściskanie urabianego masywu skalnego na kierunku X,Y,Z. Na podstawie analizy wyników pierwszych pomiarów w danym złożu wprowadzone zostaną do wyprowadzonych zależności teoretycznych stałe złożowe badanych złóż. Opracowany w pracy model matematyczny testowany metodą symulacji komputerowej uwzględniający rzeczywiste dane wejściowe pozwala badać wpływ zmiany parametrów wejściowych (zmiennych) na wartości otrzymywanych wielkości badanych. Na podstawie wykonanych pomiarów na badanych złożach skalnych oraz symulacji komputerowych można będzie opracować obszerniejszą i dokładniejszą niż podaną obecnie teorię pola fali parasejsmicznej. Podane zostaną dokładniejsze eksperymentalnie wyznaczone zależności do obliczania parametrów pola fali parasejsmicznej. Zmodernizowane teoretyczne zależności o wyznaczone stałe złożowe pozwolą przed strzelaniem obliczyć na kierunku X,Y,Z z błędem +- 10% prędkość drgań, amplitudę drgań, częstotliwość drgań w źródle drgań i w danym punkcie terenu. Dopiero na tej podstawie znając kierunkowość drgań i wartości drgań na kierunku gdzie one są największe można będzie dokładnie obliczyć strefę bezpieczną względem drgań dla chronionych przed nimi budynków.

5.4 Celowość podjęcia omawianego problemu badawczego i znaczenie otrzymanych wyników badań dla rozwoju dziedziny i dyscypliny naukowej

5.4.1 Wyniki badań wstępnych

50 lat temu, gdy byłem studentem Wydziału Górniczego śp. prof. Onderka z AGH tłumaczył że drgania parasejsmiczne powstające podczas urabiania skał materiałami wybuchowymi rozchodzą się kołowo z jednakową energią w każdym kierunku, podobnie jak fale na wodzie od wrzuconego do wody kamienia a ich energia drgań z odległością maleje. Od 50 lat nic się w tej materii nie zmieniło i tak sądzi się dotąd w Polsce i na świecie. Fala parasejsmiczna ma częstotliwość od 1 do 1000 Hz i jako fala słyszalna od 16Hz jest częścią akustyki. Do niej też odnoszą się prawa fizyki. Teoria pola fali parasejsmicznej, ze względu na jej złożoność i brak pomiarów na obwodzie koła, do tej pory nie została opracowana. Obecnie są warunki i wiedza jak tę lukę, w tej części akustyki, wypełnić. Celem naukowym monografii było przedstawienie problemu badawczego jego rozwiązanie oraz podanie koncepcji określania nierozwiązanych jeszcze parametrów pola fali parasejsmicznej. Przyczyni się to

do rozwoju dziedzin wiedzy: akustyka oraz akustyka inżynieryjna. Nowatorski charakter monografii polega na teoretycznym i empirycznym wyprowadzeniu zależności określającej częstotliwość drgań parasejsmicznych w źródle drgań oraz amplitudę drgań i innych parametrów w polu bliskim fali parasejsmicznej. Następni badacze otrzymane wyniki pomiarów będą mogli porównywać z wynikami obliczonymi z wyprowadzonych zależności teoretycznych i empirycznych podanych w monografii. Przy dużej różnicy pomiarów z wynikami obliczonymi, wiedząc jakie parametry mają wpływ na częstotliwość drgań parasejsmicznych oraz amplitudę drgań, przy pomocy analizy wymiarowej będą mogli modyfikować podane zależności teoretyczne dodając do nich parametry robót strzałowych i właściwości urabianego masywu. Otrzymane wyniki pomiarów ponownie będą porównywać z wynikami obliczonymi ze zmodyfikowanych zależności teoretycznych. Następnie będą mogli określić stałe złożowe. Mając wyniki pomiarów, kolejno będą modyfikować zapis otrzymanej funkcji, a poprzez dodanie poprzednio otrzymanych stałych złożowych zmniejszą różnicę otrzymanych z obliczeń wyników do + - 10% w stosunku do wartości pomierzonych. W ten sposób otrzyma się korelacyjne zależności dla danego złoża do obliczania amplitudy, częstotliwości i prędkości drgań ośrodka w źródle drgań oraz w polu bliskim i dalekim.

W wyniku badań wstępnych [Chrzan(2019)] wykonanych jako prace statutowe „Poltegoru Instytutu" opracowano 12 zgłoszeń patentowych z czego otrzymano 6 patentów, przy czym jeden z nich i jedno zgłoszenie patentowe szczegółowo opisano w Rozdziale 6 i zastosowano do obliczeń i analiz przedstawionych w monografii. Autorzy patentów to: Chrzan T, Grześkowiak A, Rogosz K; pracownicy „Poltegor Instytut". Otrzymane patenty „P" i zgłoszenia patentowe „Z.P." podano w spisie literatury [Pat.(P.420146, P.420158, P.420152), Z.P(P.432959, P.432964, P.432966, P.432969)]. Na podstawie literatury [Koeaslan (2013)] stwierdzono, że przy tej samej odległości na różnych kierunkach mogą wystąpić różne wartości prędkości drgań ośrodka natomiast na podstawie badań własnych z uwzględnieniem kąta kierunkowego [Opracowanie (2015)] stwierdzono, że podczas urabiania skał MW występuje elipsoidalny kierunkowy rozkład drgań, który omówiono w Rozdziale 4.4.4. Stwierdzono także, że w polu bliskim wartość częstotliwości drgań zmienia się po zależności sinusoidalnej, co udokumentowano w Rozdziale 4.4.2 i zaproponowano nową metodykę doboru czasu zwłoki międzystrzałowej. Na podstawie wyników badań wstępnych [Chrzan(2019)] oraz otrzymanych wyników podanych w opracowanej monografii proponuje się nową metodykę pomiarów podaną w Rozdziale 5.4.2.

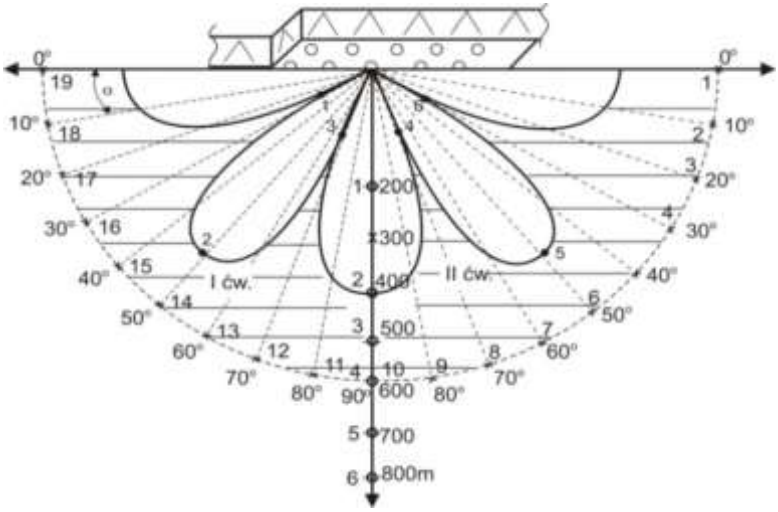
5.4.2 Proponowany plan pierwszego badania według nowej metodyki pomiarów dla złoża skalnego

Na podstawie pomiarów wartości prędkości drgań PPV oraz odpowiadającej jej częstotliwości zgodnie z obowiązującymi przepisami i Polską Normą

PN-B-02170:2016-12 określa się strefę bezpieczną dla budynków przy stosowanych ładunkach MW na jedną zwłokę czasową jak i ich dopuszczalną wielkość. Obecnie mierzy się wartość poziomej radialnej i stycznej prędkości drgań PPV gruntu, odległość od źródła drgań i masę użytego do strzelania na jedną zwłokę ładunku MW. Pomiary takie wykonuje się w wąskim zakresie kąta kierunkowego poprzez wykonanie pomiarów na profilu pomiarowym dotyczącym jednego lub kilku skupionych budynków co pokazano na Rys. 5.1. Ze względu na ograniczoną ilość pomiarów, otrzymane wyniki z jednego profilu pomiarowego łączy się z wynikami rzeczywistych zarejestrowanych wcześniej parametrów drgań gruntu dla zróżnicowanego zakresu kątów kierunkowych. Dla tak przyjętej większej ilości pomiarów określa się korelacyjne równanie wartości radialnej lub stycznej prędkości drgań gruntu w zależności od odległości punktu pomiarowego od źródła drgań i masy użytego ładunku MW. Na podstawie tak wyznaczonego korelacyjnego równania, oblicza się dla stałej masy ładunku materiału wybuchowego i przyjętej wartości odległości wartość poziomej radialnej lub stycznej prędkości drgań. Mając obliczoną wartość poziomej radialnej lub stycznej prędkości drgań określa się skutki oddziaływania drgań na promieniu równym przyjętej wartości odległości na całym terenie przyległym do eksploatowanego złoża. Dokładność tak określonej wartości poziomej radialnej lub stycznej prędkości drgań gruntu może dochodzić do + - 40%. Z takim też błędem określana jest, bezpieczna względem drgań parasejsmicznych, odległość od miejsca strzelania do chronionych obiektów. Duży błąd przy określaniu wartości poziomej radialnej lub stycznej prędkości drgań gruntu jak i bezpiecznej odległości dla chronionych obiektów spowodowany jest nie uwzględnianiem wpływu kąta kierunkowego na ich rozkład kierunkowy. Obecnie prędkość drgań mierzy się tylko na jednym założonym profilu pomiarowym dlatego rozszerzenie badań o dodatkowe profile pomiarowe wymagać będzie jednoczesnego zastosowania większej niż dotychczas ilości czujników drgań. W celu pomiarów prędkości drgań i amplitudy drgań oraz przyśpieszenia drgań przy pierwszym pomiarze czujniki drgań będą usytuowane na profilu pomiarowym prostopadłym do czoła bloku skalnego, a przy drugim wzdłuż linii otworów. Aby określić zależności prędkości, częstotliwości i amplitudy drgań od odległości w polu bliskim i dalekim punkty pomiarowe położone będą w punktach odległych od źródła drgań od 200m co 100 do 400m, a następnie co 200 do 1200 m (8 szt. czujników). Tak wykonane pomiary pozwolą obliczyć współczynniki tłumienia fali podłużnej w polu bliskim i dalekim na kierunku linii otworów i kierunku do niego prostopadłym. W celu określenia charakterystyki kierunkowej drgań w odległości 250m na obwodzie połowy koła /pomiar pierwszy, pole bliskie/ wykonane zostaną pomiary prędkości, częstotliwości i amplitudy drgań co 10 stopni [Stan (2012)] na półokręgu przed czołem bloku skalnego (19 szt. czujników), co także pozwoli określić kierunek głównej szczelinowatości w złożu. Przy kolejnym urabianiu sąsiedniego bloku skalnego w celu określenia charakterystyki kierunkowej drgań, tłumienia drgań, zmian z odległością

częstotliwości i prędkości drgań wykonane zostaną pomiary po półokręgu w odległości 200m, 400m, 600m, 800m i na złożu wzdłuż linii otworów strzałowych. Na bazie wykonanych pomiarów można będzie obliczać prędkość, częstotliwość i amplitudę drgań dla odstrzałów sąsiednich w badanym złożu i można będzie sprawdzać dokładność tych obliczeń. W przypadku dużych różnic można będzie wykonać modyfikację teoretycznej zależności uwzględniając parametry robót wiertniczo-strzałowych i właściwości urabianego ośrodka. Właściwości urabianego ośrodka określać będzie można na kierunku radialnym, stycznym i pionowym na pobranych z odstrzeliwanego bloku skalnego 9 próbkach sześciennych o wymiarach boku a=~10cm. Dodatkowo w celu porównania wartości właściwości urabianego ośrodka określane będą te same właściwości na 9 modelach odstrzeliwanego bloku skalnego w skali 1:500. Porównania otrzymanych parametrów z 9 próbek sześciennych z otrzymanymi na 9 modelach odstrzeliwanego bloku skalnego dokona się na podstawie trzech odstrzałów pod kątem, które z nich są bliższe parametrom bloku skalnego wyznaczonym z pomiarów i z obliczeń sprawdzonych empirycznie zależności. W laboratorium będzie się określać wartości parametrów urabianej skały jak: gęstość objętościową, moduł Younga, odkształcenie względne, wytrzymałość skały na ściskanie, prędkość fali podłużnej i poprzecznej na trzech kierunkach. Po trzech kolejnych pomiarach w badanym złożu, sprawdzi się czy właściwości następnego bloku skalnego można będzie określać na podstawie wyników pomiarów sąsiedniego już odstrzelonego bloku skalnego, ponieważ jego parametry falowe, nie powinny się istotnie różnić od parametrów falowych bloku sąsiedniego. Na podstawie analizy wyników otrzymanych z pomiarów terenowych do wyprowadzonych zależności teoretycznych wprowadzone zostaną parametry górniczych robót strzałowych, co spowoduje ich modernizację, tak aby w następnych kolejnych pomiarach można było określać dokładniej stałe złożowe badanych złóż. Tak opracowany model matematyczny, metodą symulacji komputerowej przyjmując rzeczywiste dane wejściowe, pozwoli badać wpływ zmiany parametrów wejściowych (zmiennych) na wartości otrzymywanych badanych wielkości. W wyniku wykonanych pomiarów na badanych złożach skalnych oraz wykonanych symulacji komputerowych zostanie opracowana bardziej udoskonalona niż podana w monografii obecna wersja teorii pola fali parasejsmicznej. Podane zostaną wyprowadzone i eksperymentalnie wyznaczone zależności ze stałymi złożowymi do obliczania parametrów pola fali parasejsmicznej. Zmodernizowane teoretyczne zależności o górnicze parametry strzelania i stałe złożowe pozwolą przed strzelaniem obliczyć na kierunku X,Y,Z, z błędem +- 10%, przyśpieszenie drgań, prędkość drgań, amplitudę drgań, częstotliwość drgań w źródle drgań i w dowolnym punkcie terenu na kierunku X,Y,Z. Przykładowe nowe rozmieszczenia czujników drgań podczas planowanego pierwszego pomiaru kierunkowości drgań parasejsmicznych rozmieszczonych jak podaje [Stan (2012)] co 10° na półokręgu koła przed czołem urabianego bloku skalnego i prostopadle do czoła urabianego

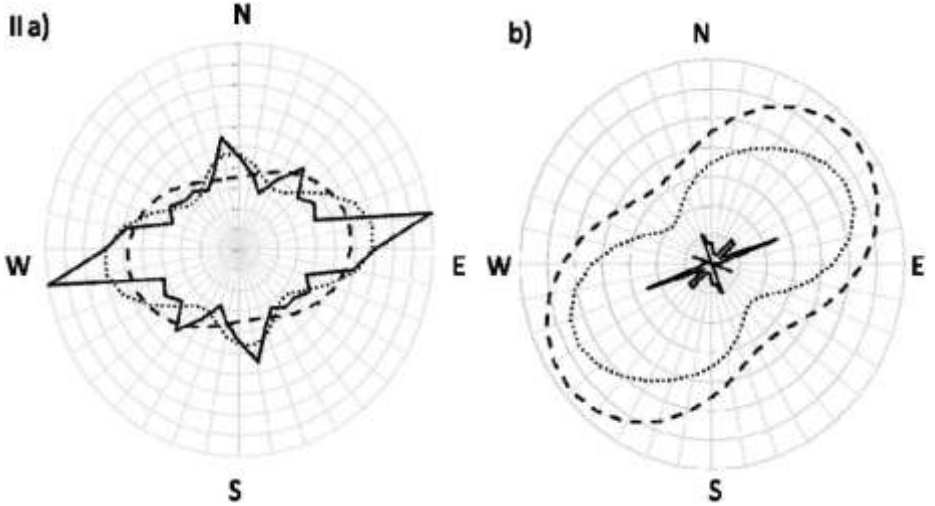
strzelaniem bloku skalnego pokazano na Rys.5.2. Po analizie pomiarów z pierwszego strzelania ukażą się kąty kierunkowe lokalnych minimów i maksimów prędkości drgań, na których dla ich uszczegółowienia należy wykonać pomiary w następnym strzelaniu co spowoduje zmianę dotychczas planowanych miejsc wykonywania pomiarów.



Rys. 5.2 Przykładowe rozmieszczenie czujników według nowej metodyki pomiarów na złożu bazaltu, na półkolu co 10 stopni i prostopadle do czoła bloku skalnego podczas pierwszego planowanego badania rozkładu kierunkowego drgań fali parasejsmicznej /Opracowanie własne/

Powyżej przedstawiono poglądowy Rysunek rozmieszczenia, według nowej metodyki pomiarów, czujników drgań podczas planowanego pierwszego pomiaru kierunkowości drgań parasejsmicznych rozmieszczonych [Stan (2012)] co 10° na półokręgu koła /19 sztuk/ i prostopadle do czoła urabianego strzelaniem bloku skalnego dla złoża bazaltu. Dla złoża bazaltu o długości fali parasejsmicznej w masywie λxm=306 m, punkty pomiarowe są na dystansie od 200m do 930m. Pokazano lokalne minima i maksima prędkości drgań, na których zaznaczono punkty pomiarowe /6 sztuk/. Linie poziome to kierunek szczelinowatości w złożu. Na ćwiartce I zaznaczono przykładowy kąt kierunkowy α. Na górze rysunku przedstawiony jest blok skalny z otworami wypełnionymi MW, które po odpaleniu odrywają go od calizny złoża i dzielą na mniejsze części. Badania należy prowadzić zgodnie z Tabelą 5.1 najpierw na złożach o małej różnicy względnej mierzonych parametrów, czyli na złożach skał magmowych, a następnie na złożach skał osadowych. Gęste ułożenie czujników drgań pozwoli określić czy w danym złożu występuje szczelinowatość powodująca większą prędkość drgań na określonym kierunku, co przedstawiono na Rys 5.3. Jeżeli na danym kierunku występuje główny kierunek szczelinowatości to występuje również większa prędkość fali parasejsmicznej i

większa prędkość drgań ośrodka co wykazały pomiary w złożach dolomitu. Główny kierunek szczelinowatości złoża (Rys.5.3b) należy ująć we wzorze na obliczeniową prędkość drgań bloku skalnego. Jest to zadanie dla przyszłych badaczy zajmujących się akustyką inżynieryjną.



Rys. 5.3 Wpływ azymutu kierunków szczelinowatości w złożu II na prędkość fali podłużnej a) po lewej linia ciągła, kwadrat prędkości fali podłużnej, b) po prawej linia ciągła główne kierunki szczelinowatości w złożu określone na podstawie róży spękań. Tensor rzędu drugiego linia przerywana, tensor rzędu czwartego linia kropkowana [Stan (2012)]

5.4.3 Szczegółowe cele badawcze monografii

Do szczegółowych celów badawczych należy zaliczyć:

1) Doświadczalną weryfikację poddanych w monografii teoretycznych i empirycznych zależności dla: określania odległości pola bliskiego i dalekiego, określania tłumienia prędkości fali w polu bliskim, prędkości drgań w źródle drgań i w polu bliskim i dalekim, teoretyczne określenie amplitudy przemieszczenia cząsteczek w czasie drgań na kierunku X,Y,Z w źródle drgań.
2) Doświadczalną weryfikację warunków górniczych i falowych dla występowania kołowego i elipsoidalnego rozkładu kierunkowego drgań fali parasejsmicznej.
3) Przeprowadzenie doświadczalnej weryfikacji trzech równań dotyczących kształtu charakterystyki kierunkowej fali podłużnej i wybranie najdokładniejszej.
4) Przeprowadzenie doświadczalnej weryfikacji częstotliwości drgań fali parasejsmicznej jako częstotliwości drgań własnych odstrzelonego bloku skalnego na kierunku X, Y, Z.

5) Sprawdzenie czy kierunkowość elipsoidalna prędkości drgań jest związana z częstotliwością wywołaną odpaleniem bloczka skalnego, pierwszego rzędu otworów czy całego bloku skalnego.
6) Doświadczalna weryfikacja przebiegu i charakteru częstotliwości drgań w polu bliskim.

Celem badawczym było też określenie, na podstawie monografii i literatury, wymiarów: średnicy otworów, zabioru, odległości między otworami, których stosowanie powoduje najmniejsze drgania ośrodka. Stosunek parametrów obliczonych do stosowanych będzie użyty w modernizowanych zależnościach w celu zmniejszenia wartości stałych złożowych, których wartość określa wpływ nieujętych w zależnościach parametrów.

5.4.4 Stosowane i proponowane metody i narzędzia badawcze

W monografii zastosowano i proponuje się stosować przyszłym badaczom następujące metody i narzędzia badawcze:

1) Metodę analizy i konstrukcji logicznej opierającej się na analizie i syntezie. Analiza służy do rozłożenia całości problemu naukowego na części, elementy składowe i badanie każdego z nich oddzielnie. Jest to więc ujęcie redukcjonistyczne. Natomiast synteza służy do łączenia różnych elementów w nową całość (ujęcie holistyczne). Mając dane wyjściowe i warunki ograniczające oraz znając w zarysie cel, analizuje się zależności i związki zachodzące między danymi wejściowymi w granicach określonych warunkami brzegowymi i konstruuje się ciąg logiczny w celu rozwiązania danego problemu.
2) Metodę symulacji komputerowej. Na podstawie podanego modelu badanego obiektu opracowuje się program symulacyjny oraz dane wejściowe, to jest wartości zmiennych wielkości, których wpływ na badany obiekt chcemy badać. Wykorzystuje się ją, gdy badanie zjawiska rzeczywistego byłoby zbyt kosztowne, a badania wymagałyby zbyt długiego czasu.
3) Metodę heurystyczną, która jest sposobem dochodzenia do nowych rozwiązań. Dzięki ustalaniu nowych faktów i relacji między nimi podejmuje się określone decyzje. Istotą metody heurystycznej jest dochodzenie do nowych rozwiązań przez formułowanie hipotez.
4) Metodę badania dokumentów. Technika badań dokumentów polega na analizie ilościowej i jakościowej zawartej w dokumentach treści.

Omówione w monografii nowe sposoby określania:

1) odległości pola bliskiego i dalekiego,
2) prędkości drgań bloczka i bloku skalnego na kierunku X,
3) prędkości drgań bloczka i bloku skalnego na kierunku Y,
4) prędkości drgań bloczka i bloku skalnego na kierunku Z,

5) amplitudy przemieszczenia bloczka i bloku skalnego na kierunku X,
6) amplitudy przemieszczenia bloczka i bloku skalnego na kierunku Y,
7) amplitudy przemieszczenia bloczka i bloku skalnego na kierunku Z
8) częstotliwości drgań bloczka i bloku skalnego na kierunku X,
9) częstotliwości drgań bloczka i bloku skalnego na kierunku Y,
10) częstotliwości drgań bloczka i bloku skalnego na kierunku Z,
11) prędkości drgań cząsteczki ośrodka w polu bliskim,
12) prędkości drgań cząsteczki ośrodka w polu dalekim,
13) średnicy otworu strzałowego,
14) stosunku odległości między otworami do zabioru,
15) określanie czasu odpalenia drugiego otworu,
16) określanie głównego kierunku szczelinowatości złoża,

po udoskonaleniu na podstawie wykonanych następnych badań mogą być zgłoszone jako wnioski Patentowe do Urzędu Patentowego.

5.5 Literatura do rozdziału 5

Chrzan T.(2019) Opracowanie koncepcji określania rozkładu kierunkowego drgań parasejsmicznych gruntu w czasie urabiania skał materiałem wybuchowym.Poltegor Instytut, Prace statutowe, Opracowanie,wrzesień 2019 .

Koeaslan (2013)A.,Górgulii K,Arpaz E, Demirci A, Dilmaę MK, Investigation of blastinduced ground vibrations in the TüIü boron open pit mine Bull.of Eng.Geol.and the Environ 72: 555.

Markowicz M(2010). Zmiana sposobu wykorzystania kopaliny. Kopaliny podstawowe i pospolite górnictwa skalnego. Nr 2/2010

Opracowanie(2015).Opracowanie promienia strefy bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych dla złoża bazaltu. Instyt. Górnictwa Odkryw. Poltegor Instytut, Wrocław

Stan D.(2012),Sutkowska K.,Stan-Kleczek,Zolich M J (2012)The study of relationship beetwim cracks and sejsmic parameters of rocks.Acta Geodyn.Geomater.Vol.9 Nr.2/1GG/,137-142, 2012

6 Praktyczne przykłady zastosowania opisanych w monografii patentów i zgłoszeń patentowych

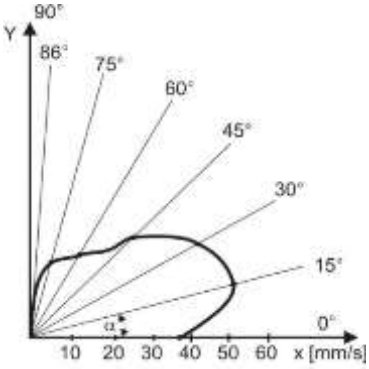
6.1 Przykład zastosowania opatentowanego wynalazku [Pat.P.420146]

Aby stwierdzić czy przy stałych parametrach strzelania w danym złożu występuje rozkład kołowy drgań gruntu należy wykonać pomiary poziomej radialnej wektora prędkości Vx drgań w stałej odległości od źródła drgań, przed czołem urabianej ściany lub przodka ścianowego dla różnych kątów kierunkowych α z przedziału od 0° do 90°, w co najmniej kilku punktach pomiarowych. Na powierzchni gruntu znajdującego się w sąsiedztwie skał urabianych za pomocą MW trudno jest dokonać pomiarów w stałej odległości od źródła drgań przy różnych kątach kierunkowych α ze względu na różnorodne ukształtowanie terenu oraz znajdujące się na nim zbiorniki wodne, roślinność czy konstrukcje i zabudowania. Powoduje to, że otrzymujemy różne wartości poziomej radialnej wektora prędkości Vx drgań spowodowane nie tylko wartością kąta kierunkowego α lecz także różną odległością od źródła drgań. Duże zróżnicowania wartości poziomej radialnej wektora prędkości Vx drgań umieszczone na wykresie mogą sugerować, iż jest to rozkład odbiegający od rozkładu kołowego, gdy w rzeczywistości będzie to rozkład kołowy. Przy występowaniu kołowego pola drgań aby zapewnić bezpieczeństwo techniczne budynkom, to prędkość działających na nich drgań nie powinna przekraczać granicy B - dolnej granicy powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych w skali szkodliwości drgań. Dla skali SWD I jest to prędkość drgań nie większa niż 3mm/s przy częstotliwości 5 Hz i nie większa niż 6,5 mm/s przy 25 Hz. Przez kołowy rozkład prędkości drgań parasejsmicznych należy rozumieć rozkład wyników pomiarów, który ze względu na anizotropię ośrodka układa się po obwodzie połówki koła z odchyłką + /- 15% od znanego kołowego rozkładu teoretycznego. Przykładowe rozwiązanie uwzględnienia wpływu odległości od źródła drgań na mierzoną wartość poziomej stycznej Vy prędkości drgań podano w opisie patentowym [Pat.P.420146].

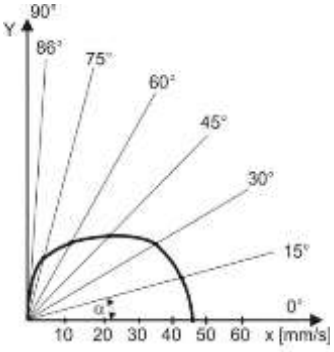
Tytuł patentu. S*posób określania wartości poziomego* st*ycznego wektora prędkości Vy drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań*

Sposób określania wartości poziomej stycznej prędkości Vy drgań gruntu dla różnych odległości R od źródła drgań wytworzonych przy odpaleniu ładunku materiału wybuchowego ułożonego w linii w wielu otworach strzałowych polega na tym, że wybieramy od kilku do kilkunastu punktów pomiarowych i przy użyciu dalmierza mierzymy ich odległość R od źródła drgań, a następnie określamy wartość średnią tych odległości S. Otwory strzałowe ułożone są w jednej linii, kolejno w jednakowych odstępach od siebie, a umieszczone w nich ładunki wybuchowe są tej samej mocy. Punkty pomiarowe wybrane są z zakresu kąta kierunkowego α wynoszącego od 0° do 90°. Kąt kierunkowy α stanowi kąt pomiędzy linią otworów strzałowych, a linią łączącą punkt pomiarowy ze

źródłem drgań. Kolejno, w wybranych punktach pomiarowych, dla których kąt kierunkowy α mieści się w zakresie od 0° do 90°, przy użyciu czujników drgań dokonujemy pomiarów wartości poziomej stycznej wektora prędkości Vy drgań gruntu dla rzeczywistej odległości R każdego z tych punktów od źródła drgań. Następnie dzielimy rzeczywistą odległość R każdego punktu pomiarowego od źródła drgań przez obliczoną wartość średnią odległości S. W wyniku przeprowadzonego działania, dla każdego punktu pomiarowego otrzymujemy wskaźnik wpływu odległości R_D. Pomierzone w danych punktach pomiarowych wartości poziomej stycznej wektora prędkości Vy drgań mnożymy przez wartość wskaźnika wpływu odległości R_D odpowiadający danemu punktowi pomiarowemu, a otrzymane wyniki umieszczamy na wykresie zależności Vy =f(α) - poziomej stycznej wektora prędkości drgań w funkcji kąta kierunkowego.



Rys. 6.1 Wykres Vy w funkcji kąta α –pomierzony



Rys. 6.2 Wykres Vy w funkcji kąta α – skorygowany wskaźnikiem odległości[P.420146]

Z porównania teoretycznego rozkładu kołowego z wykresem rzeczywistym, otrzymanym z pomiarów, oceniamy czy rozkład drgań jest kołowy. Sposób określania rozkładu kołowego drgań parasejsmicznych został pokazany za

pomocą sporządzonych wykresów Rys.6.1 i 6.2 a wyniki pomiarów zestawiono w Tabeli 6.1.

Na rysunku Rys.6.1pokazano wykres poziomego stycznego wektora prędkości Vy drgań dla rzeczywistych, pomierzonych odległości. Zaprezentowany na wykresie rozkład nie pozwala na jednoznaczne określenie czy rozkład wartości rejestrowanych drgań ma charakter kołowy. Na rysunku Rys.6.2 pokazano wykres, uzyskany według opisanego powyżej sposobu oraz kształt poziomego stycznego wektora prędkości Vy drgań po uwzględnieniu wskaźnika odległości R_D dla średniej odległości pomiarowej S=322m. Zaprezentowany na wykresie rozkład przedstawia, że rozkład stycznej prędkości drgańparasejsmicznych Vy układa się wzdłuż linii tworzącej połowę obwodu okręgu przy osi X , co jest zgodne z teoretycznym kołowym rozkładem stycznej prędkości drgań /Rys.4.10/. Z opisanego sposobu wynikają następujące wnioski:

-zaletą sposobu jest to, iż po przemnożeniu pomierzonych wartości poziomej stycznej wektora prędkości Vy drgań przez wskaźnik wpływu odległości R_D właściwy dla danej rzeczywistej odległości R punktu pomiarowego od źródła drgań można dokonać wiarygodnej oceny rozkładu drgań parasejsmicznych.

-korygując odległością wielkość poziomej stycznej wektora prędkości Vy drgań otrzymujemy bardziej czytelny obraz rozkładu prędkości, co wpływa na właściwą interpretację otrzymanych wyników i właściwą ocenę rozkładu drgań.

Tabela 6.1 Zestawienie odległości i wartości wektora prędkości drgań Vy

Lp.	Kąt kierunkowy	Rzeczywista odległość punktu pomiarowego od źródła drgań r [m]	Wartość średnia odległości punktów pomiarowych od źródła drgań S [m]	Wskaźnik odległości R_D	Wartość poziomej stycznej wektora prędkości Vy drgań dla rzeczywistej odległości r [mm/s]	Pozioma styczna wektora prędkości Vy drgań pomnożona przez wskaźnik odległości R_D dla średniej (stałej dla wykresu i tabeli) odległości pomiarowej S [mm/s]
1	2	3	4	5=3/4	6	7=5x6
2	0	400	332	1,2	37	44
3	15	275		0,83	49	41
4	30	320		0.96	38	36
5	45	347		1,05	29	30
6	60	373		1,12	18	20
7	75	275		0,83	15	12
8	86	332		1,0	6	6

Szybka i poprawna interpretacja wyników przeprowadzonych pomiarów, możliwa do uzyskania dzięki zastosowaniu opisanego sposobu, umożliwia takie usytuowanie linii otworów strzałowych względem znajdujących na terenie objętym drganiami budynków lub chronionych budowli, aby propagacja drgań parasejsmicznych w miejscu ich zabudowy była jak najmniejsza. Sposób według patentu [Pat. P.420146] zastosowano w obliczeniach zawartych w rozdziale 4.4.4. Zastosowanie opisanego sposobu pozwala określić zgodnie z otrzymanymi patentami [P.420146, P.420168, P.420152] dla mierzonych parametrów jak: prędkości i amplitudy przemieszczenia oraz przyspieszenia drgań gruntu czy ich rozkład jest kołowy już po jednym odstrzale i pomiarach przeprowadzonych w kilku lub kilkunastu różnych punktach terenu.

6.2 Opis przykładu do wykorzystania w praktyce opracowanych zgłoszeń patentowych [Z.P.: P.432959, P.432964, P.432966-P.432969]

Tytuł wynalazku. Sposób określania typu rozkładu kierunkowego, wektora poziomej stycznej i radialnej prędkości drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej.

Przedmiot wynalazku jest realizowany poprzez sporządzenie wykresu, na podstawie pomiarów terenowych, wartości wektora poziomej radialnej i stycznej prędkości drgań gruntu. Pomiary są wykonywane w wybranych punktach położonych na kątach kierunkowych „α”, znajdujących się w trzech przedziałach kąta kierunkowego na połowie obwodu koła, przed czołem urabianego bloku skalnego. Pomiary wykonuje się po odpaleniu ładunku materiału wybuchowego umieszczonego w otworach strzałowych urabianego strzelaniem bloku skalnego. Sposób ten znajdzie zastosowanie w górnictwie odkrywkowym przy określaniu typu rozkładu kierunkowego, wektora poziomej radialnej i stycznej prędkości drgań gruntu. Może on być stosowany przy wybuchowym urabianiu zamarzniętych gruntów i skał pod trasy kolejowe, gazociągi i drogi.

Stan techniki –obecny stan techniki opisano w Rozdziale 4. Polska Norma PN-B-02170:2016-12 w zależności od wartości wektora poziomej stycznej i radialnej prędkości drgań oraz ich częstotliwości drgań po ich tercjowaniu w przedziałach 1/3 oktawowych, określa stopień szkodliwego oddziaływania drgań na budynki. Uwzględnienie typu rozkładu kierunkowego wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań i wyników analizy ich wartości w procesach wybuchowego urabiania skał jest istotnym czynnikiem prowadzącym do poprawy efektywności urabiania skały i bezpieczeństwa sejsmicznego przyległych do kopalni odkrywkowej obiektów inżynierskich. Znany jest z polskiego opisu patentowego patent numer P.420146 (szczegółowo opisany w Rozdziale 6.1) rozkład kołowy prędkości drgań. Rozkład elipsoidalny prędkości drgań opisano w monografii w Rozdziale 4.4.4. Wektor poziomej stycznej prędkości Vy drgań gruntu jest to max. wartość prędkości, jaką mają w punkcie pomiarowym cząsteczki gruntu drgające prostopadle do kierunku jaki tworzy

linia łącząca punkt pomiarowy ze źródłem drgań. Wektor poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu jest to max. wartość prędkości, jaką mają w punkcie pomiarowym cząsteczki gruntu drgające na kierunku jaki tworzy linia łącząca punkt pomiarowy ze źródłem drgań. Źródłem drgań określa się środkowy otwór strzałowy pierwszego szeregu otworów. **Wadą znanych** i stosowanych podczas eksploatacji złoża rozwiązań mających na celu analizę drgań gruntu, jest konieczność określania wartości wektora poziomej stycznej i radialnej prędkości drgań gruntu na podstawie korelacyjnego równania ujmującego odległość punktu pomiarowego od źródła drgań i ilości masy [kg] użytego ładunku [Qz] materiału wybuchowego [MW] odpalanego na jedno opóźnienie milisekundowe. Na podstawie korelacyjnego równania określa się, przy stałej masie ładunku materiału wybuchowego [Qz] dla przyjętej wartości odległości od źródła drgań z dokładnością dochodzącą do + - 40 %, wartość wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań. Z korelacyjnego równania określa się też z taką dokładnością skutki oddziaływania drgań, dla promienia równego przyjętej wartości odległości, na całym obszarze przyległym do eksploatowanego złoża. Z takim też błędem określana jest bezpieczna dla chronionych obiektów względem drgań parasejsmicznych odległość od miejsca strzelania. W obliczeniach tych nie uwzględnia się, zmiany wartości wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań ze zmianą kąta kierunkowego. Ponieważ w czasie pomiarów parametrów drgań nie mierzy się kątów kierunkowych, więc i nie analizuje się czy otrzymane wyniki pomiarów wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań, przy urabianiu strzelaniem badanego złoża wskazują rodzaj rozkładu kierunkowego. Rozkład kierunkowy wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań gruntu, jako rozkład kołowy czy rozkład elipsoidalny, ma znaczący wpływ na wielkość określanego promienia bezpiecznej strefy drgań gruntu. Dotychczas stosowany sposób postępowania uniemożliwia wyznaczenie stref lub kierunków, na których występują znacznie mniejsze wartości wektora poziomej stycznej i radialnej prędkości drgań. Na kierunkach tych wskutek mniejszych drgań spowodowanych urabianiem skał MW występuje też mniejsze zagrożenie uszkodzenia budynków wskutek tych drgań. Przy urabianiu złoża poprzez strzelanie w blokach skalnych, aby prawidłowo zinterpretować otrzymane wyniki pomiarów i ocenić czy w danym złożu w czasie strzelania występuje kołowy czy elipsoidalny rozkład drgań wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań, należy wykonać ich pomiary. Pomiary i ich analizę wykonuje się nie tylko dla jednego profilu pomiarowego o zakresie kilku stopni kąta kierunkowego, lecz na wybranych co kilkanaście stopni kątach kierunkowych, znajdujących się na całej połowie obwodu koła, w stałej odległości przed czołem urabianego bloku skalnego i frontem urabianej ściany, Tabela 6.2. Wymaga to dodatkowej ilości czujników drgań dodatkowego nakładu pracy, więc łatwiej przyjąć tak jak to dotychczas przyjmuje się, że obliczona z korelacyjnego równania wartość wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań gruntu dla jednakowej odległości

i jednakowej masy ładunku MW nie zależy od kąta i jest stała. **Celem rozwiązania** przy powtarzalnym produkcyjnym urabianiu złoża poprzez strzelanie w blokach skalnych o zbliżonych wymiarach według wynalazku jest:

- określenie na podstawie jednego odstrzału, typu rozkładu kierunkowego wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej;
- dokładniejsze, bo z błędem + - 10%, określenie promienia strefy bezpiecznej dla chronionych obiektów z uwzględnieniem wielkości drgań gruntu;
- określenie obszarów o mniejszych drganiach oraz zmniejszenie negatywnych skutków wybuchu na otoczenie kopalni odkrywkowej, poprzez zoptymalizowany wybór miejsc i kątów linii rozmieszczenia otworów strzałowych a tym samym zmniejszenie wielkości uszkodzeń oraz kosztów remontu uszkodzonych podczas strzelania obiektów.

Korzystne skutki wynalazku to możliwość dokładnego określenia, dla powtarzalnych produkcyjnych odstrzałów bloków skalnych o zbliżonych wymiarach, za pomocą jednego strzelania typu występującej w kopalnianym wyrobisku kierunkowości drgań. W przypadku rozkładu elipsoidalnego wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań następuje:

- określenie obszarów o zmniejszonej wartości drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej;
- dokładniejsze, bo z błędem + -10%, określenie promienia strefy bezpiecznej dla chronionych obiektów z uwzględnieniem wielkości drgań gruntu;
- ustalenie obszaru bezpiecznego dla obiektów inżynierskich znajdujących się na terenie, przed czołem urabianych strzelaniem bloków skalnych.

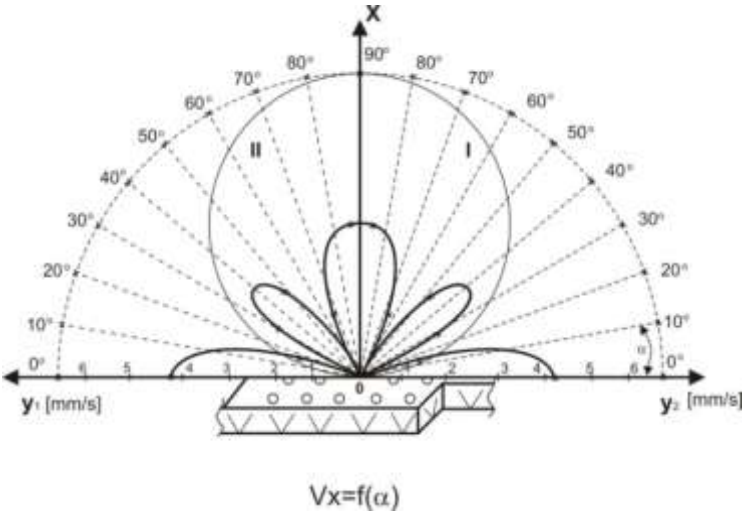
Poprawna interpretacja wyników przeprowadzonych pomiarów, umożliwia takie usytuowanie linii otworów strzałowych na kolejno urabianych strzelaniem blokach skalnych w wyrobisku kopalni względem znajdujących się na terenie objętym drganiami chronionych budowli, aby propagacja drgań parasejsmicznych na ich kierunku i w miejscu ich zabudowy była jak najmniejsza.

Istotę wynalazku omówiono poniżej oraz na podstawie załączonego Rysunku 6.3, na którym przedstawia się graficznie, przy pomocy wykresu wykonanego linią ciągłą, funkcję rozkładu kierunkowego wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu, dla zmiennych wartości kąta kierunkowego ”α” w kształcie elipsoid, Vx=f (α). Na rysunku Rys.6.3 linią przerywaną przedstawiono też zależność powiększonego jednostkowego kołowego rozkładu wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań gruntu dla zmiennych wartości kąta kierunkowego, w kształcie dwóch połówek obwodu koła na Ćwiartce I i II przy osi X. Sposób określania typu rozkładu kierunkowego, wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych

drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej jest realizowany poprzez sporządzenie wykresu z pomiarów terenowych wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu i kątów kierunkowych. Pomiary są wykonywane w wybranych punktach położonych na kątach kierunkowych „α" znajdujących się w trzech przedziałach kąta kierunkowego rozłożonych na połowie obwodu koła w stałej odległości przed czołem urabianego bloku skalnego. Pomiary wykonuje się po odpaleniu ładunku materiału wybuchowego, umieszczonego w otworach strzałowych, urabianego strzelaniem bloku skalnego. Sposób określania typu rozkładu kierunkowego w przykładzie wykonania według wynalazku, opisano przy urabianiu bloku skalnego ładunkiem całkowitym 2772 kg [MW] po 84 kg w jednym otworze i 84 kg na jedno 25 milisekundowe opóźnienie-zwłokę [Qz] w odpalanych kolejno otworach. W bloku skalnym załadowano MW jedenaście otworów strzałowych o długości 19,3 m w trzech szeregach i zwłoce między szeregami 42 ms. Wymiary bloku to: szerokość 10,45 m, długość 41,8 m, wysokość 18,5 m. Na minimum 12 punktach pomiarowych wykonuje się 12 pomiarów wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu i ich kątów kierunkowych "α" z zakresu od 0° do 90°, na dwóch ćwiartkach półokręgu w trzech przedziałach kątowych, w stałej odległości przed czołem urabianego strzelaniem bloku skalnego. Ilość punktów pomiarowych wynosi minimum cztery punkty w jednym przedziale kątowym. Przy użyciu czujników drgań wykonuje się pomiary wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu w punktach pomiarowych umieszczonych w jednakowej odległości (S=413 m) od szóstego środkowego otworu strzałowego pierwszego szeregu. Przy pomocy tachimetru z dalmierzem laserowym, po ustawieniu przyrządu nad środkowym otworem strzałowym a tyczki geodezyjnej nad ostatnim otworem strzałowym, odczytuje się wartość kątową linii otworów równą kątowi kierunkowemu α=0°. Przenosząc tyczkę i pryzmat do punktów pomiarowych skierowuje się na nie lunetę przyrządu i odczytuje się odległość pryzmatu oraz wartości kątowe tyczki, od których odejmuje się wartość kątową linii otworów otrzymując wartości kolejnych kątów kierunkowych mierzonych punktów pomiarowych. Każdy mierzony kąt kierunkowy „α", stanowi kąt pomiędzy linią otworów strzałowych a linią łączącą punkt pomiarowy ze środkowym otworem strzałowym pierwszego szeregu otworów. Pomierzone w terenie (Tabela 6.2), na ćwiartce I i II, przed czołem urabianego bloku skalnego wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań i kąta kierunkowego „α" nanosi się na odpowiadające im Ćwiartki I i II oraz kąty kierunkowe opracowanego na potrzeby wynalazku układu współrzędnych. Opracowany układ współrzędnych to układ o trzech osiach Y**1**-X-Y**2** położonych na płaszczyźnie poziomej, z siatką kątów kierunkowych przedstawiony jest na Rys. 6.3, na którym przedstawiono graficznie linią ciągłą na Ćwiartce I i II, wykres funkcji Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, dla zmiennych wartości kąta kierunkowego„α". Opracowany na potrzeby wynalazku Rys.6.3 trójosiowy układ współrzędnych o osiach Y**1**-X-Y**2** leżących na płaszczyźnie poziomej,

odwzorowuje terenowe warunki pomiarów. Osie Y**1,** Y**2** rozchodzą się w przeciwnych kierunkach i odwzorowują pierwszy szereg otworów strzałowych. Otwory te, rozmieszczone są wzdłuż bloku skalnego a po napełnieniu ich materiałem wybuchowym i odpaleniu urabiają opisany powyżej blok skalny. Oś X jest prostopadła do osi Y**1** - Y**2** w punkcie zerowym, gdzie Y**1**= Y**2**=X=0. Punkt 0-zerowy na układzie współrzędnych odwzorowuje środkowy otwór strzałowy pierwszego szeregu linii otworów. Oś X wskazuje kierunek czoła urabianego bloku i czoło kolejno urabianych strzelaniem bloków skalnych oraz kierunek postępu urabianej strzelaniem ściany. Oś X na rysunku jak i w terenie dzieli półpłaszczyznę przy osiach Y**1**-Y**2** przed frontem urabianego bloku skalnego na dwie ćwiartki. Aby otrzymać siatkę kątów kierunkowych, na rysunku Rys.6.3 trójosiowego układu współrzędnych, z punktu 0 według wynalazku, wykreśla się linią przerywaną półokrąg, który ograniczony jest osiami Y1 i Y2, a oś X dzieli ten półokrąg na dwie ćwiartki. Linię półokręgu dzieli się na odcinki o wartości kątowej α=10°, a łącząc je linią przerywaną z punktem 0-zerowym, otrzymuje się siatkę kątów kierunkowych"α„ o podziałce 10°. Określa się, że kąt kierunkowy α, wynosi α=0°- dla osi Y**1** i Y**2** a dla osi X, α=90°. Na rysunku 6.3, podobnie jak w terenie każdy mierzony kąt„α", stanowi kąt pomiędzy linią pierwszego szeregu otworów strzałowych /osie Y1 i Y2/ a linią łączącą punkt pomiarowy ze środkowym otworem strzałowym pierwszego szeregu /punktem 0-zerowym/. Na rysunku 6.3, na układ współrzędnych o trzech osiach Y**1**-X-Y**2** i na siatkę kątów kierunkowych, linią przerywaną nanosi się w celu porównania otrzymanego z pomiarów rozkładu punktów pomiarowych, punkty 7-krotnie powiększonego kołowego jednostkowego rozkładu wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań gruntu. Dla zmiennych wartości kąta kierunkowego„α" ma ona postać dwóch stykających się ze sobą na osi X połówek obwodu koła. Jednostkowy rozkład kołowy wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań w Ćwiartce I i II to rozkład punktów pomiarowych przy osi X wzdłuż połowy obwodu koła o średnicy i środku znajdującym się na osi X. Zaczyna się gdy kąt α =0° i Vxk=0, a kończący się gdy kąt α=90° a Vxk ma wartość największą. Na tak sporządzonym na rysunku Rys.6.3 układzie współrzędnych, z siatką kątów kierunkowych na Ćwiartce I i II oraz jednostkowym kołowym rozkładem wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań gruntu, zaznacza się punktami na kątach kierunkowych „α" położonych na Ćwiartce I i II rysunku odpowiadającym uprzednio pomierzonym na Ćwiartce I i II w terenie kątom kierunkowym „α", pomierzone wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań. Wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, mierzy się w terenie na kątach kierunkowych „α", w stałej odległości od środkowego otworu pierwszego szeregu otworów strzałowych. Pomierzone w terenie na Ćwiartce I i II wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, nanosi się w takiej samej skali na osie układu współrzędnych Y**1**-X-Y**2** jak i na znajdujące się na rysunku na Ćwiartce I i II kąty kierunkowe "α", odpowiadające kątom kierunkowym"α" w terenie. Punkty pomiarowe wartości wektora poziomej

radialnej prędkości Vx drgań, w zależności od kierunku grupuje się w trzy przedziały kątowe.



Rys. 6.3 Zależność Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań w funkcji zmiennych wartości kąta kierunkowego„α”

Pierwszy przedział kąta kierunkowego Rys.6.3 to: α=0°-15°, Ćwiartka I i II. Zaczynając od kąta kierunkowego α=0°, na Ćwiartce I i II łączymy ze sobą liniami ciągłymi, stanowiącymi odcinki obwodu elipsy, dwa odłożone na kącie kierunkowym α=0° i α=13°, zaznaczone punktami wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań. Otrzymaną krzywą w zaznaczonych punktach, na podanych powyżej kątach kierunkowych, linią ciągłą łączy się wzdłuż linii kątów kierunkowych z punktem 0. Otrzymuje przez to dwie półelipsy o dłuższych osiach położonych na osi Y**1** i Y**2. Przedział drugi** kąta kierunkowego Rys. 6.3 to: α=16°-59° Ćwiartka I i II. Na Ćwiartce I i II linią ciągłą łączymy ze sobą odcinkami obwodu elipsy, dwa odłożone na kącie kierunkowym α=29° i α=49° zaznaczone punktami, wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań. Otrzymaną krzywą w zaznaczonych punktach na podanych powyżej kątach kierunkowych, łączymy linią ciągłą wzdłuż linii kątów kierunkowych z punktem 0, otrzymując dwie ukośne elipsy o dłuższych osiach położonych na Ćwiartce I i II. **Trzeci przedział** kąta kierunkowego Rys.6.3 to: α=60° Ćwiartka I - przez kąt α=90° do kąta α=60° - na Ćwiartce II. Linią ciągłą odcinkami obwodu elipsy łączy się w krzywą zaznaczone punktami cztery wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań. Dwa punkty pomiarowe są odłożone na kątach kierunkowych α=67°i α=86° Ćwiartki I i dwa odłożone na kątach kierunkowych α=67°i α=86° Ćwiartki II. Otrzymaną krzywą w bocznych punktach pomiarowych przedziału, dla kąta kierunkowego α=67° na Ćwiartce I i II, łączymy linią ciągłą wzdłuż linii kątów kierunkowych z punktem 0, otrzymując największą elipsę o dłuższej osi położonej na osi X. Łącząc wykresy z trzech

przedziałów kątowych otrzymuje się graficznie przedstawiony linią ciągłą, na trójosiowym układzie współrzędnych i siatce kątów kierunkowych, wykres funkcji Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań dla zmiennych wartości kąta kierunkowego „α”. Wykres ten dotyczy całego półokręgu przed czołem urabianego bloku skalnego. Porównując ze sobą otrzymany według wynalazku przebieg wykresu funkcji Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań / linia ciągła średnia/ z kołowym jednostkowym rozkładem wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań /linia cieńka/ określa się typ rozkładu kierunkowego drgań. Określanie typu rozkładu kierunkowego drgań, polega na sprawdzeniu jak układają się punkty pomiarowe, to jest czy punkty pomiarowe układają wzdłuż obwodu półokręgów kół, czy wzdłuż obwodu elips. W zależności od rozkładu punktów pomiarowych stwierdza się, że otrzymano rozkład kierunkowy drgań, kołowy lub elipsoidalny. Dla rozkładu elipsoidalnego wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań odczytuje się kąty kierunkowe i określa obszary o zmniejszonej wartości drgań. Obszary o zmniejszonej wartości drgań są ważne dla sytuowania obiektów chronionych na terenie, przed czołem urabianego strzelaniem bloku skalnego. Wynalazek został objaśniony za pomocą zestawionych w Tabeli 6.2 pomiarów wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, dla stałej odległości S od źródła drgań i sporządzonego na jej podstawie graficznego wykresu funkcji Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, dla zmiennych wartości kąta kierunkowego„α” na Ćwiartce I i II oraz w przedziale kątowym 1,2,3.

Tabela 6.2 Przykladowe wartości radialnej prędkości drgań

Lp	Ćwiartka – I, kąt kierunkowy „α” + -numer przedziału kątowego	Odległości punktów pomiarowych od źródła drgań sprowadzone do wartości średniej wg Rozdz.6.1 S [m]	Ćwiartka II – kąt kierunkowy „α”+ – numer przedziału kątowego	Wartość prędkości drgań poziomej radialnej Vx – dla średniej odległości [mm/s]
1	2	4	5	10
2	I-0°-1	413 m	II-0°-1	4,17
3	I-13°-1	413 m	II-13°-1	1,34
4	I-29°-2	413 m	II-29°-2	2,1
5	I-49°-2	413 m	II-49°-2	2,3
6	I-67°-3	413 m	II-67°-3	1,73
7	I-86°-3	413 m	II-86°-3	3,27

Opis rysunku 6.3. Rysunek 6.3 to sporządzona linią ciągłą, na podstawie pomiarów zestawionych w Tabeli 6.2, graficznie przedstawiona funkcja Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań dla wybranych zmiennych wartości kąta kierunkowego„α" na układzie współrzędnych o trzech osiach z siatką kątów kierunkowych i kołowym jednostkowym rozkładem wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań gruntu, który przedstawia:

a) osie Y**1**,Y**2**,Y z kątami kierunkowymi i zaznaczonymi „x" punktami pomierzonych wartości wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań [mm/s] na osiach i na kątach kierunkowych w takiej samej skali,
b) V V V-skarpę czyli czoło urabianego strzelaniem bloku skalnego,
c) linią cieńką zaznaczono znany jednostkowy 7 krotnie powiększony kołowy rozkład wektora poziomej radialnej prędkości Vxk drgań gruntu;
   1) Ćwiartka I- półokrąg od 0 do 7,0 [mm/s] przy osi X,
   2) Ćwiartka II-półokrąg od 0 do 7,0 [mm/s] przy osi X**,**
   3)średnice półokręgu i ich środki na osi X,
   4) punkty półokręgu na półpłaszczyźnie osi Y**1**-Y**2** ,
d) linia przerywana;- to półkole z siatką kątów kierunkowych od 0°do 90° dzielących co 10°ćwiartkę I i II, dla osi Y**1** i Y**2**-kąt α=0°, dla osi X-kąt α=90°,
e) ćwiartka I, α- zaznaczono przykładowy kąt ostry kierunkowy „α".

Linią ciągłą średnią (Rys.6.3) sposobem według wynalazku, sporządzono wykres kierunkowy funkcji Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań gruntu na Ćwiartce I i II dla zmiennych wartości kąta kierunkowego „α". Wykres kierunkowy wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań, w pierwszej i drugiej ćwiartce półokręgu, przedstawia się jako połączony obwód trzech elips i dwóch półelips. Pierwsza największa elipsa fali podłużnej, której dłuższa oś znajduje się na osi X, zaczyna się gdy kąt α=0° a wartość Vx=0. Maksymalna wartość wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań jest przy kącie 90°. Elipsa ta, na Ćwiartce I i II poprzez dwie ukośne pełne elipsy fali poprzecznej o kącie kierunkowym dłuższej osi około α=38°, przechodzi w dwie półelipsy fali powierzchniowej o dłuższych osiach leżących na osi wykresu Y**1** i Y**2** i ich kącie kierunkowym α=0º. Elipsy i półelipsy na Ćwiartce I i II są sobie podobne. Przy elipsoidalnym rozkładzie kierunkowym wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań zaobserwować można kierunki, na których wektor poziomej radialnej prędkości Vx jest nawet do kilka razy mniejszy niż na innych kierunkach. Obszary o zmniejszonej wartości drgań wywołanych wektorem poziomej radialnej prędkości Vx drgań, dla sytuowania chronionych obiektów inżynierskich, to zakres kątów kierunkowych wynoszących od 18° do 25°oraz od 54°do 68° na Ćwiartce I i II.

Postępując podobnie otrzymano wykres elipsoidalny stycznej prędkości drgań. Sposób dotyczący rozkładu kierunkowego Px=f(α) i Py=f(α) wektora poziomego i radialnego przyśpieszenia oraz amplitudy radialnej Ax i stycznej Ay drgań gruntu, dla zmiennych wartości kąta kierunkowego ”α„, opracowano podobnie jak dla prędkości poziomej radialnej drgań i otrzymano taki sam elipsoidalny rozkład kierunkowy drgań parasejsmicznych. (Zgłoszenie Patentowe P.432959, P.432964, P.432966-P.432969).

6.3 Literatura do rozdziału 6

Chrzan T. (2019). Opracowanie koncepcji określania rozkładu kierunkowego drgań parasejsmicznych gruntuw czasie urabiania skał materiałem wybuchowym.

Praca statutowa Poltegor Instytut , Wrocław , Wrzesień, 2019r.

Patent. P.420146. Chrzan T. Sposób określania wartości poziomej radialnej wektora prędkości drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań

Patent. P. 420148.Chrzan T. Sposób określania wartości poziomej stycznej wektora prędkości drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań

Patent. P. 420149.Chrzan T. Sposób określania wartości poziomej radialnej amplitudy drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań

Patent. P. 420150.Chrzan T. Sposób określania wartości poziomej stycznej amplitudy drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań

Patent. P. 420151 Chrzan T. Grześkowiak A, Rogosz Sposób określania wartości poziomej radialnej wektora przyśpieszenia drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań

Patent. P. 420152 Chrzan T. Grześkowiak A, Rogosz.Sposób określania wartości pozio-mej stycznej wektora przyspieszenia drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań

Z.G. P. 432959 Chrzan T., Grześkowiak A, Rogosz Sposób określania typu rozkładu kierunkowego wektora poziomego radialnego przyspieszenia drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej

Z.G.P. 432964 Chrzan T., Chrzan B. Sposób określania typu rozkładu kierunkowego wektora poziomej stycznej prędkości drgań gruntu i obszarów o zmniejszonejwartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej

Z.G.P.432966 Chrzan T., Chrzan B. Sposób określania typu rozkładu kierunkowego wektora poziomej radialnej prędkości drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej

Z.G.P.432967 Chrzan T., Grześkowiak A, Rogosz Sposób określania typu rozkładu kierunkowego poziomej stycznej amplitudy drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej

Z.G.P.432968 Chrzan T., Chrzan B. Sposób określania typu rozkładu kierunkowego wektora poziomego stycznego przyspieszenia drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej

Z.G.P.432969 [13] Chrzan T., Grześkowiak A, Rogosz Sposób określania typu rozkładu kierunkowego poziomej radialnej amplitudy drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań w otoczeniu kopalni odkrywkowej

7 Podsumowanie osiągniętych w monografii celów

Przeprowadzono badania mające na celu ustalić związki przyczynowe, jak i uzyskać informacje ilościowe. Metodą indukcji, na podstawie analizy wykonanych badań, sformułowano nowe prawa, które zapisano w postaci równań matematycznych. W większości przypadków prawa te poprzedzone są wyprowadzeniem, którego celem jest podkreślenie logicznej struktury wnioskowania. Prawa te zostały zastosowane w monografii do badań innych naukowców, a otrzymane na ich podstawie wyniki obliczeń potwierdziły słuszność wyprowadzonych i otrzymanych w monografii zależności. Podane zależności wymagają w większości dalszych empirycznych badań w celu potwierdzenia ich słuszności. Podjęta w monografii problematyka akustyki inżynieryjnej w ochronie środowiska ze względu na brak publikacji krajowych i zagranicznych w tym zakresie ogranicza zakres monografii jedynie do omówienia podstawowych i dotychczas przebadanych zagadnień. Pozwoliło to jednak na opracowanie założeń wstępnych do rozwiązania spodziewanych problemów w następnych badaniach. Publikacja w zakresie akustyki inżynieryjnej ujmuje szeroki obszar problematyki, potraktowanej na poziomie podstaw. W naukowej literaturze krajowej i światowej brak informacji nt. teorii pola fali parasejsmicznej. Teoria pola fali parasejsmicznej wskutek swojej złożoności i braku pomiarów z uwzględnieniem kątów kierunkowych do tej pory nie została opracowana. Na podstawie wykonanych w USA i w kraju badań /Rozdział 4.4/ dotyczących prędkości drgań ośrodka w polu bliskim oraz dostępnej literatury opracowano wstępnie teorię pola fali parasejsmicznej. Ze względu na największą szkodliwość drgań wywoływanych falą podłużną, stanowiącą główną składową część fali parasejsmicznej, opracowana teoria pola fali parasejsmicznej dotyczy w zasadzie fali podłużnej. Teorię pola fali parasejsmicznej opracowano poprzez adaptację znanych teoretycznych i literaturowych zależności dotyczących rozchodzenia się fali podłużnej (akustycznej) w powietrzu i fali podłużnej (ultradźwiękowej) /Rozdział 4.2/ w ciałach stałych do warunków rozchodzenia się fali podłużnej w skale. Taką adaptację przyjęto przy założeniu, że stosunki a/λ wymiarów źródła i długość wytworzonych przez źródło fal podłużnych w skałach są takie same, a ośrodek jest jednorodny. Sprawdzono że literaturowe warunki falowe iloczynu ”ka” oraz opracowany w monografii wskaźnik rozkładu kierunkowego „Wrk”, dotyczące podłużnych fal akustycznych i ultradźwiękowych, mogą być stosowane do określania typu rozkładu kierunkowego parasejsmicznej fali podłużnej. Opracowano definicję kierunkowości parasejsmicznej fali podłużnej dotyczącej kierunkowego rozkładu drgań: kołowego i elipsoidalnego. Źródłem drgań jest urabiany MW blok skalny, którego wymiary w stosunku do długości fali sejsmicznej decydują o powstawaniu kołowego lub elipsoidalnego kierunkowego rozkładu drgań w skałach i w otaczającym je podłożu. Kształt charakterystyki kierunkowej fali podłużnej najbliższy rzeczywistości sprawdzony został na podstawie 4 równań

(4.55-4.58) w tym 2 dotyczących prostokątnego źródła drgań. W badaniach przedstawiono rzeczywiste zależności prędkości drgań radialnych i stycznych w funkcji kąta kierunkowego i porównano ich przebieg z teoretycznym radialnym i stycznym rozkładem kołowym. Na podstawie analizy wytrzymałościowej opracowano nowe zależności do określania stosunku zabioru „z" do odległości między otworami "a", który dotąd nie był obliczany, a jest on wynikiem anizotropii właściwości wytrzymałościowych urabianego masywu skalnego na kierunku X („z"zabioru) i kierunku Y („a" odległości między otworami). Z analizy wyników obliczeń wynika, że stosunek odległości między otworami do zabioru powinien dążyć do stosunku anizotropii otworowej Dx/Dy. Do obliczania średnicy otworu opracowano nowe zależności uwzględniające właściwości wytrzymałościowe urabianego masywu skalnego na kierunku X i Y. Udowodniono główny cel przedstawiony w monografii, że częstotliwość drgań fali parasejsmicznej jest częstotliwością drgań własnych odstrzelonego bloku skalnego na kierunku X,Y,Z. W wyprowadzonych zależnościach teoretycznych zastosowano parametry dynamiczne oraz wymiary urabianego bloczka i bloku skalnego. Do wykonanych w monografii szczegółowych celów badawczych należy zaliczyć:

1) poddanie teoretycznych i empirycznych zależności i ich doświadczalnej weryfikacji dla:
   a) odległości początku pola bliskiego i dalekiego,
   b) określania tłumienia prędkości drgań fali w polu bliskim,
   c) określania prędkości drgań w źródle drgań, w bloku skalnym, w masywie pola bliskiego,d)- amplitudy wychylenia drgań na kierunku X,Y,Z w źródle drgań,
2) określenie warunków górniczych i falowych dla występowania rozkładu kierunkowego drgań; kołowego i elipsoidalnego fali parasejsmicznej,
3) przeprowadzenie doświadczalnej weryfikacji trzech równań dotyczącymi kształtu charakterystyki kierunkowej fali podłużnej w tym 2 dla prostokątnego źródła drgań,
4) poddanie teoretycznej zależności podstawowej częstotliwości drgań fali parasejsmicznej jako częstotliwości drgań własnych odstrzelonego bloku skalnego na kierunku X, Y, Z.
5) doświadczalna weryfikacja przebiegu i charakteru wartości częstotliwości i prędkości drgań w polu bliskim.

Wykonanym celem badawczym było też określenie, na podstawie literatury i analizy metryk robót wiertniczo-strzałowych, bazowych wymiarów: średnicy otworów, zabioru, odległości między otworami, których stosowanie powoduje najmniejsze drgania ośrodka. Opracowano empiryczno-teoretyczne zależności do obliczania wymiarów średnicy otworów, zabioru i odległości między

otworami Stosunek parametrów obliczonych do stosowanych będzie użyty w modernizowanych zależnościach w celu zmniejszenia wartości stałych złożowych, których wartość określa wpływ nieujętych w zależnościach parametrów. Rozdziały zawierają treści dotyczące odrębnych problemów, wykazują one cechy autonomii, dlatego na zakończeniu każdego rozdziału znajduje się bibliografia.

Podany w monografii wybór cytowanej literatury zawiera 128 pozycji, a liczba rysunków i tabel wynosi 81 . Monografia zawiera liczne elementy nowatorskie i pomaga w edukacji ekologicznej w zakresie ochrony zasobów środowiska. Podano w niej praktyczne przykłady zastosowania opisanych w monografii 6 patentów i 6 zgłoszeń patentowych w celu ich wprowadzenia do praktyki górniczej.

STRESZCZENIE

AKUSTYKA INŻYNIERYJNA W OCHRONIE ŚRODOWISKA PRZY URABIANIU SUROWCÓW SKALNYCH MATERIAŁEM WYBUCHOWYM

Monografia porusza obecnie bardzo istotne zagadnienie ochrony środowiska i zasobów środowiska przy urabianiu materiałem wybuchowym surowców skalnych. Monografia składa się z sześciu rozdziałów, które zawierają szerokie omówienie poniższej tematyki. Rozdział 1 to opis sposobu nieniszczącego określania włściwości wytrzymałościowych i technologicznych skał stosowanych w akustyce inżynieryjnej. Rozdział 2 zawiera opis dotychczasowego stosowania obliczeń zapewniających bezpieczeństwo techniczne budynków na terenach górniczych i stosowane krajowe i zagraniczne skale szkodliwości drgań. Rozdział 3 to podany sposób określania procentowego zużycia budynku mieszkalnego położonego przy kopalni odkrywkowej surowców skalnych urabianych materiałem wybuchowym. W monografii zawarto opracowane podstawy akustyki inżynieryjnej, które są zawarte w: Rozdział 4.1-Podstawowe wiadomości o falach sprężystych, Rozdział 4.2-Teoria pola fali sejsmicznej, Rozdział 4.3-Nowe zależności do określania częstotliwości drgań bloczka i bloku skalnego. Rozdział 4.4 to doświadczalna weryfikacja teorii pola fali sejsmicznej oparta na pomiarach krajowych i zagranicznych dotycząca kierunkowości drgań parasejsmicznych kołowych i elipsoidalnych. Rozdział 5- Przegląd literatury światowej i krajowej pod kątem badań nad rozwiązaniem istotnych dla rozwoju kierunku akustyka inżynieryjna problemów. Rozdział 6 - Praktyczne przykłady zastosowania opisanych w monografii patentów i zgłoszeń patentowych.

Celem monografii jest też opublikowanie nowych światowych rozwiązań w postaci patentów i zgłoszeń patentowych jako wiedzy znanej do stosowania przez inżynierów praktyków. W monografii podano zależności teoretyczne i empiryczne dotyczące ruchu harmonicznego fali podłużnej i poprzecznej oraz ich związku z falą parasejsmiczną. Monografia zawiera najnowsze jeszcze nie dostatecznie udokumentowane odkrycie, że wartość częstotliwość drgań nie zależy od odległości od źródła drgań i zmienia się po sinusoidzie i można ją obliczać w źródle drgań i w polu bliskim. Wiedza na temat ww. zagadnień jest nowa, a opracowane na światowym poziomie patenty i zgłoszenia patentowe związane z drganiami fali parasejsmicznej pozwalają na nowe bardziej racjonalne i efektywne gospodarowanie zasobami kopalin urabianych MW. Efektywniejsze urabianie skał i zmniejszanie stref ochronnych budynków to większy procent wykorzystanie złoża znajdującego się w dotychczasowej strefie ochronnej, poprzez tanie urabianie go materiałem wybuchowym. Podany w monografii wybór cytowanej literatury zawiera 128 pozycji, a liczba rysunków i tabel wynosi 81 . Monografia zawiera liczne elementy nowatorskie. Podano praktyczne przykłady zastosowania opisanych w monografii 6 patentów i 6

zgłoszeń patentowych w celu wprowadzenia ich do praktyki górniczej Opracowanie po raz pierwszy treści zawartych w monografii będą stanowić istotną pomoc dydaktyczną i projektową dla instytutów naukowych, badaczy i studentów uczelni technicznych na kierunkach: -górnictwo,-geoinżynieria,-geofizyka, -inżynieria bezpieczeństwa,-geologia inżynieryjna i inżynieria środowiska. Zakres wiedzy przedstawiony w monografii z czasem wymagać będzie aktualizacji z powodu nowych wyników badań, zmieniających się i nowelizowanych aktów prawnych i norm.

Słowa kluczowe: ochrona środowiska, teoria pola fali sejsmicznej, strefy ochronne budynków, skale szkodliwości drgań parasejsmicznych, akustyka inżynieryjna.

SUMMARY

ENGINEERING ACOUSTICS IN ENVIRONMENTAL PROTECTION WHEN MINING ROCK MATERIALS WITH EXPLOSIVES

The monograph deals with the currently very important issue of protection of the environment and environmental resources in explosive mining of rock materials. The monograph consists of six chapters, which provide a broad overview of the following topics. Chapter 1 is a description of a method of non-destructive determination of strength and technological properties of rocks used in engineering acoustics. Chapter 2 describes the current application of calculations ensuring the technical safety of buil-dings in mining areas and the national and international scales of vibration severity used. Chapter 3 provides a method for determining the percentage of wear and tear of a residential building situated next to an opencast rock mine excavated with explosive material.The monograph contains the fundamentals of engineering acoustics which includes:- Chapter 4.1- Basic knowledge of elastic waves, Chapter 4.2-Theory of the seismic wave field,- Chapter 4.3- New relations for determining the frequency of vibrations of a block and a rock block. Chapter 4.4 is an experimental verification of the seismic wave field theory based on national and international measurements on the directionality of circular and ellipsoidal seismic vibrations.Chapter 5.0 - Review of world and national literature in terms of research on the solution of problems significant for the development of engineering acoustics problems. Chapter 6 are practical examples of patents used and planned patents. The purpose of the monograph is also to publish new global solutions in the form of patents and patent applications as knowledge known to be used by practical engineers. The monograph presents theoretical and correlation relations regarding the harmonic motion of acoustic waves and their relationship with the paraseismic wave. The monograph contains the latest not yet sufficiently documented finding that the frequency of vibrations changes after a sinusoidal relationship and the images of the vibration speed distributions in the near zone depend on the distance from the source of the vibration expressed by the wavelength. Knowledge about the above issues is new and patents developed and planned patent applications at world level associated with vibration of the paraseismic wave allow for new, more rational and effective management of mineral resources. The more effective rock mining and the reduction of the protective zones of buildings is the greater the percentage of use of the deposit in the existing protection zone, by cheap mining with explosives. . The selection of literature cited in the monograph is aptly selected and contains 128 items and the number of drawings and tables is 81 . For the first time in Poland, a chapter in the monograph on engineering acoustics necessary for researchers and students has been prepared and published. In the Summary it was emphasized that the scope of knowledge presented in the mono-graph needs to be updated due to new research results, changing and amended legal acts, norms and ordinances. Keywords: environmental protection, theory of the seismic wave field,building protection zones, harmful scales and paraseismic vibrations, engineering acoustics..

Spis rysunków

Rys.2.0 W pływ średnicy otworu ma prędkość detonacji MW

Rys.2.1 Parametry geometryczne urabianego strzelaniem bloku skalnego mające wpływ na wielkość drgań parasejsmicznych masywu skalnego i gruntu za złożem

Rys.2.2 . Orientacyjny schemat kierunków pomiaru prędkości drgań

Rys.2.3 Przykładowy schemat graficznego przedstawiania stref ograniczeń,

Rys 2.4. Schemat oddziaływania drgań na obiekt.

Rys.2.5 Skala SWD I. do budynków do dwóch kondygnacji [2]

Rys.2.6. Skala wpływów dynamicznych SWD II, budynki do 4 piętra

Rys.4.1 Spectrum drgań fal sprężystych

Rys.4.2 Drgania kołowe ośrodka od punktowego źródła drgań,

Rys.4.3 Rodzaje fal tworzących falę sejsmiczną i kierunki ich pomiaru

Rys.4.4 Wykres przekazywania energii fali udarowej wywołanej wybuchem 6 kg Trój Nitro Toulenu [TNT]

Rys.4.5 Teoretyczny kształt fali udarowej,fali pośredniej i fali sejsmicznej w funkcji promienia otworu .

Rys.4.6 Sinusoidalne sejsmogramy prędkości drgań wywołane odpaleniem ładunków MW w odległości 50 m dla odpalania pół sekundowego i milisekundowego

Rys.4.7 Sejsmogram prędkości drgań wywołane milisekundowym odpaleniem 12 ładunków MW w odległości ok 300 m..

Rys.4.8 Wykres przemieszczenia ,prędkości i przyśpieszenia w ruchu harmonicznym

Rys.4.9. Schemat do wykreślnego przedstawienia kształtu i wartości wektora jednostkowego wypadkowej prędkości drgań Vxy oraz radialnej Vx drgań fali podłużnej w funkcji kąta kierunkowego "α"/rozkład kołowy/.

Rys.4.10. Schemat do wykreślnego przedstawienia kształtu i wartości wektora jednostkowego wypadkowej prędkości drgań Vxy oraz stycznej Vy drgań fali sejsmicznej w funkcji kąta kierunkowego "α"/. rozkład kołowy/.

Rys.4.11 Wykres drgań tłumionych maxym.aplitud wzdłuż krzywej wykładniczej

Rys.4.12 Pole bliskie i pole dalekie

Rys.4.13 Sinusoidalne drgania cząsteczki ośrodka i taka sama zmiana częstotliwości drgań na osi czasu od źródła drgań dla fali podłużnej

Rys 4.14 Model układu o 1 stopniu swobody bez strat dla obliczenia częstotliwościami drgań własnych urabianego strzelaniem bloku skalnego

Rys.4.15 Rekomendowany oparty na praktyce strzelań czas zwłoki milisekundow

Rys.4.16 Przedstawia 100% wygaszanie drgań spowodowanych odpaleniem pierwszego otworu gdy czas t zwłoki milisekundowej czyli odpalenia drugiego otworu/pierwszego ze zwłoką czasową/ tz=T/2 oraz dla kolejnych „n" otworów

Rys.4.17 Kierunkowość drgań fali podłużnej podczas ruchu tłoka w nieskończenie sztywnej płycie odgrody dla różnych wartości " ka"

Rys.4.18 Pola kierunkowe propagacji drgań fali podłużnej / akustycznej / fali w powietrzu we współrzędnych biegunowych w zależności od stosunku a/λ

Rys. 4.19 Schemat eliptycznego promieniowania przetwornika ultradźwiękowego według modelu membrany tłokowej dla różnych częstotliwości w funkcji wykreślnego kąta kierunkowości " θ "

Rys.4.20 Kierunkowość drgającego tłoka w odgrodzie sztywnej [Heutschi 2013] i kierunkowość drgającej membrany w ścianie nieskończenie długiej dla iloczynu ka= 1, ka= 2, ka= 5, ka=10

Rys.4.21 Eliptyczny kształt powierzchni drgań kierunkowych/przekrój bryły/ drgającego okrągłego tłoka dla ka=10 i nadajnika ultradźwiękowego

Rys.4.22. Odbite fale podłużne (linie pełne) i poprzeczne (linie przerywane) z małego okrągłego odbłyśnika tarczowego umieszczonego w polu fal podłużnych

Rys.4.23 Biegunowe wykresy we współrzędnych kierunkowych przetworników tłokowych okrągłych dla dwóch wartości ka. Pole dalekie a) ka=2,5, b) ka=5

Rys.4.24 Kierunkowe pole propagacji promieniowej fali podłużnej L, poprzecznej T i powierzchniowej R przetwornika ultradźwiękowego drgającego o śre-dnicy "2a" rozchodzące się w stali w zależności od stosunku "λ / a"

Rys.4.25 Kierunkowość powstająca przy jednoczesnych drganiach 7 ultradzwiękowych żródeł drgań

Rys.4.26 Trójwymiarowy widok charakterystyki kierunkowej prostokątnego nadajnika ultradzwiekowego bez bocznych elipsoid /listków/

Rys.4.27 Promieniowanie ultradźwiękowe w polu dalekim od źródła liniowego

Rys.4.28.Charakterystyka kierunkowa we współrzędnych biegunowych prędkości drgań fali podłużnej /listek gówny/ dla odstrzału w złożu bazaltu

Rys.4.29 Charakterystyka kierunkowa „K” źródła prostokatnego

Rys.4.30 Pola kierunkowe fali podłużnej w powietrzu

Rys.4.31 Charakterystyka kierunkowa poziomej składowej radialnej predkosci Vx drgań w funkcji kąta kierunkowego "α", dla złoża bazaltu

Rys.4.32 Złoże bazaltu przed i po strzelaniu

Rys.4.33 Charakterystyka kierunkowa poziomej składowej stycznej predkosci Vy drgań w funkcji kąta kierunkowego "α", dla złoża bazaltu

Rys.4.34 Elipsoidalna zależnośći wartości Vy prędkości drgań stycznych w funkcji kąta kierunkowego "α"" dla złoża bazaltu

Rys.4.35 Charakterystyka kierunkowa we współrzędnych biegunowych kierunkowego elipsoidalnego pola prędkości drgań Vx dla złoża bazaltu

Rys.4.35a Charakterystyka kierunkowa we współrzędnych biegunowych kierunkowego elipsoidalnego pola prędkości drgań Vy dla złoża bazaltu

Rys.4.36 Kołowy kierunkowy rozkład prędkości poziomej radialnej Vx i stycznej Vy drgań w nadkładzie złoża węgla brunatnego w funkcji kąta kierunkowego α.

Rys.5.1 Dotychczasowy sposób określania linii pomiarowych 1-I1 ,A-IA , punktów pomiarowych 1.1,1.2,1.3,1.4 w celu określenia bezpiecznej wielkości ładunku MW

Rys.5.2 Przykładowe rozmieszczenie czujników według nowej metodyki pomiarów na złożu bazaltu, na półkolu co 10 stopni i prostopadle do bloku skalnego

Rys 5.3 Wpływ kierunków szczelinowatości w złożu II na prędkość fali podłużnej

Rys.6.1. Wykres Vx w funkcji kąta α –pomierzony,

Rys.6.2 Wykres Vx w funkcji kata α –. skorygowany wskaźnikiem odległości

Rys.6.3 Zależność Vx=f(α) wektora poziomej radialnej prędkości Vx drgań w funkcji zmiennych wartości kąta kierunkowego„α”

Spis tabel

Tabela.1.1 Cechy fizyczne skał na potrzeby ich urabiania

Tabela 1.2 Stałe regresji M i N dla wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie złóż:

Tabela 1.3 Stałe regresji A i B dla określania zwięzłości Zu

Tabela 1.4 Wyniki mrozoodpornosci dla próbki o Ha=31,5*10^{-9} Pa

Tabela 1.5 Stałe regresji dla ścieralności objętościowej w bębnie Devala

Tabela.2.1 Zależności korelacyjne predkości drgań dla złóż skalnych

Tabela.2.2 Zestawienie obliczonych wartości strefy szkodliwych drgań dla złóż

Tabela 2.3 Prędkości fali podłużnej w złożach i skałąch

Tabela 2.4 Warunki stosowania granic stref dla SWD

Tabela 2.5 Skala szkodliwości według British Standard BS 7385-2:1993

Tabela 2.6 Skala szkodliwości Langeforsa i Kihlstroma

Tabela 2.7 Skala szkodliwości wg. Bureau of Mines, USA

Tabela 2.8 Portugalska skala szkodliwości NP 2074:1983

Tabela 2.9 Dopuszczalne wartości prędkości drgań, w zależności od ilości wstrząsów, według normy szwajcarskiej SN 640312a

Tabela 2.10 Dopuszczalna prędkość drgań wg normy austriackiej ÓNORM S 9020

Tabela 2.11 Niemiecka skala szkodliwości (DIN 4150-3) [6]

Tabela 3.1 Wartości drgań podczas urabiania glin zwałowych w kopalni Adamów

Tabela 3.2 Pomiary wartości drgań podczas urabiania w złożu bazaltu

Tabela 3.3 Wyniki pomiarów dla pola bliskiego

Tabela 3.4 Zestawienie wyników obliczeń stycznej prędkości drgań.

Tabela 4.1 Wyniki pomiarów i obliczeń częstotliwości z zależności sinusoidalnej

Tabela 4.2 Pomiary wartości drgań podczas urabiania w złożu bazaltu

Tabela 4.3 Wyniki pomiarów dla pola bliskiego badanie T.7

Tabela 4.5 Zestawienie wyników prędkości drgań badanie T7

Tabela 4.6 Zestawienie wyników prędkości drgań badanie T12

Tabela 4.7 Wartości drgań podczas urabiania glin zwałowych w kopalni Adamów

Tabela 5.1 Wartości średnie i odchylenia % od wartości średniej prędkości fali podłużnej Coś i poprzecznej Ctś

Tabela 6.1 Zestawienie odległości i wartości wektora Vx prędkości drgań

Tabela 6.2 Przykładowe wartości radialnej prędkości drgań.

ISBN 978-83-60905-10-4