

OKREŚLANIE WARTOŚCI MAKSYMALNEJ POZIOMEJ RADIALNEJ PRĘDKOŚCI DRGAŃ GRUNTU PRZY KOŁOWYM ROZKŁADZIE PRĘDKOŚCI DRGAŃ, W CZASIE WYBUCHOWEGO URABIANIA SKAŁ

DETERMINATION OF THE MAXIMUM VALUE OF THE HORIZONTAL RADIAL GROUND VIBRATION VELOCITY WITH CIRCULAR DISTRIBUTION OF THE VIBRATION VELOCITY, DURING ROCK BLASTING

Tadeusz Chrzan – „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

(pl)DOI: 10.5604/01.3001.0054.6348

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest sposób określania maksymalnej wartości poziomej radialnej prędkości drgań budynku na poziomie gruntu przy urabianiu skał, przy jednoczesnym milisekundowym odpaleniu ładunków materiałów wybuchowych [MW]. Maksymalna pozioma radialna wartość prędkości drgań budynku stosowana jest w górnictwie odkrywkowym w celu określenia bezpieczeństwa sejsmicznego obiektów znajdujących się w pobliżu urabianego złoża. Ochrona sejsmiczna obiektu osiągana jest przez wyznaczenie bezpiecznej odległości, obliczonej z uwzględnieniem maksymalnej wartości poziomej radialnej prędkości drgań działającej na budynek na poziomie gruntu. Zaprezentowany sposób ma zastosowanie przy kołowym rozkładzie prędkości drgań gruntu powstałych wskutek odpalenia ładunków materiałów wybuchowych.

Słowa kluczowe: urabianie skał, drgania parasejsmiczne

Abstract

The subject of this article is how to determine the maximum value of the horizontal radial vibration velocity of a building at ground level when mining rock by firing charges of explosives [MW] placed in blast holes arranged in a line and fired successively with a millisecond delay with respect to the previous charge. The maximum horizontal radial building vibration velocity value is used in open-pit mining to determine the seismic safety of objects in the vicinity of the excavated deposit. Seismic safety will be ensured by the determined safe distance value calculated taking into account the maximum value of the horizontal radial vibration velocity acting on the building at ground level. The method is applicable to the circular distribution of ground vibration velocities resulting from the firing of explosive charges.

Keywords: rock blasting, seismic vibrations

Wstęp

Skały urabia się w kopalni odkrywkowej strzelaniem za pomocą materiałów wybuchowych, w wyniku czego powstają drgania urabianego ośrodka, a następnie gruntu poza nim. Drgania te przenoszą się poprzez propagacje fal parasejsmicznych w gruncie we wszystkich kierunkach i mogą działać szkodliwie na infrastrukturę drogową i budowlaną. Powszechnie przyjmuje się, że są to drgania o rozkładzie kołowym (Rys.1A).

Z prędkości drgań kołowych pokazanych na Rysunku 1A wynika, że są one składowymi prędkości drgań radialnych i stycznych. Kształt i przebieg wartości prędkości radialnej w zależności od kąta kierunkowego α pokazano na Rysunku 2. Wektor V_x dla kąta $\alpha=90^\circ$ ma wartość maksymalną.

Wielkość szkodliwego oddziaływania drgań zależy w danym terenie od masy odpalanego ładunku MW oraz odległości "r" między kopalnią [1], a danym obiektem [2]. Na Rysunku 1B pokazano kąt kierunkowy α , jest to kąt pomiędzy linią otworów strzałowych, a linią łączącą punkt pomiarowy ze źródłem drgań, które stanowi środkowy otwór strzałowy lub środek linii otworów strzałowych.

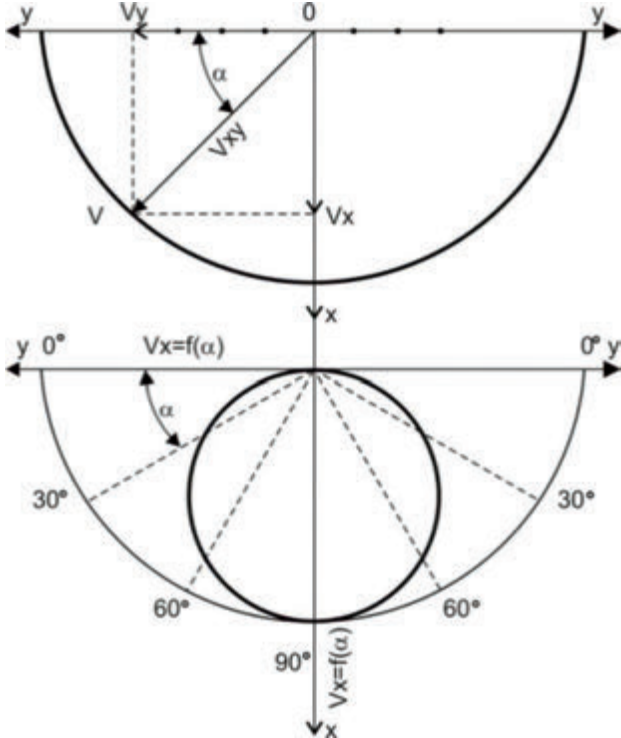
Parametrem pozwalającym na porównywanie szkodliwości poszczególnych drgań powodowanych strzelaniem może być prędkość drgań i ich częstotliwość. Parametr ten związany jest z warunkami geologiczno-tektonicznymi falowodu, a w konsekwencji z miejscem wykonywania robót strzałowych wynikającym z frontu wydobywania. Wpływa to na warunki przewodnictwa parasejsmicznego w obrębie eksploatowanego złoża i poza nim. W przypadku prowadzenia robót strzałowych w pobliżu obiektów chronionych konieczne jest prowadzenie

A)



Rys.1A. Prędkość drgań kołowa fali sejsmicznej.

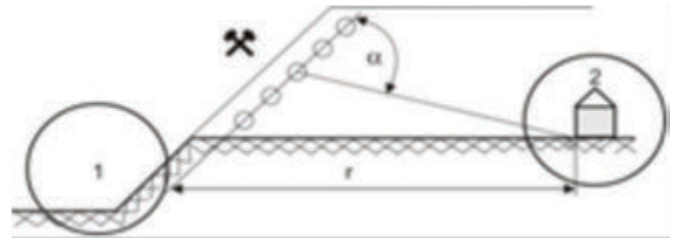
pomiarów kontrolnych propagacji parasejsmicznej. Jedną z metod oceny wpływu drgań powierzchni gruntu na budynki jest bezpośredni pomiar parametrów drgań budynku na poziomie gruntu, przykładowo wymienionej wcześniej prędkości drgań i ich częstotliwości. Pomiar wpływu drgań na budynki określa norma PN-B-02170:2016. Pomierzone wyniki odpowiednio zinterpretowane umożliwiają zastosowanie skali

Rys. 2. Jednostkowy teoretyczny rozkład prędkości radialnej V_x dla kołowej prędkości drgań

empirycznej, stworzonej w oparciu o rzeczywiste, stwierdzone skutki oddziaływania drgań o określonych parametrach na budynki. Wstępną analizę intensywności drgań górotworu dokonuje się w oparciu o wyznaczone maksymalne wartości, przykładowo wartości poziomej radialnej prędkości drgań budynku, mierzone na poziomie gruntu dla dowolnego kąta kierunkowego pomiaru α . Uwzględnienie wyników analizy drgań parasejsmicznych w procesach wybuchowego urabiania skał, z uwzględnieniem kąta kierunkowego pomiaru α , jest istotnym czynnikiem poprawy bezpieczeństwa sejsmicznego przyległych obiektów.

Zgodnie ze Skalą Wpływów Dynamicznych [3], ściśle określone wartości poziomej radialnej prędkości drgań budynku

B)

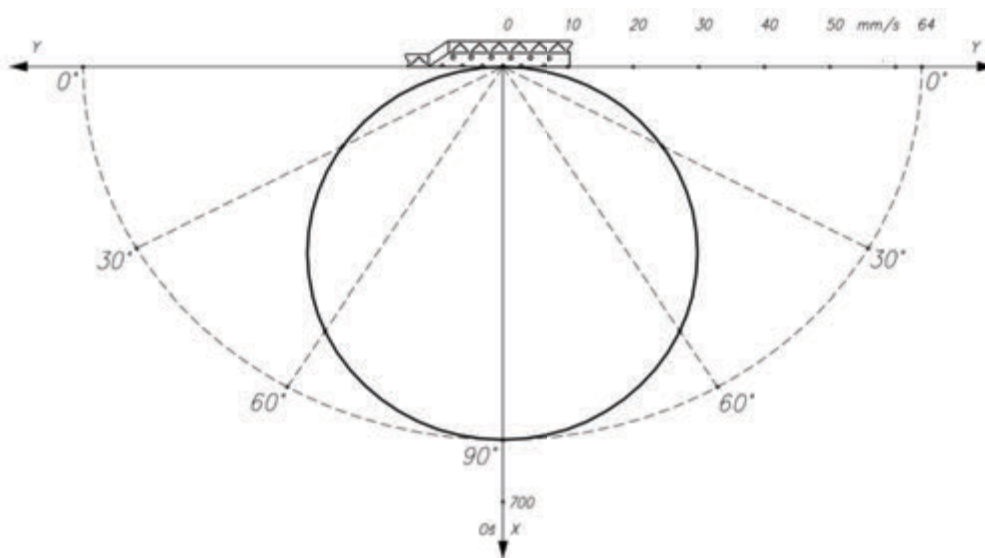
Rys.1B. Kąt kierunkowy α

na poziomie gruntu wywołują odpowiadające tym prędkościom uszkodzenia budynków. Dlatego podejmuje się kroki mające na celu zmniejszenie niekorzystnych skutków oddziaływania detonacji MW na otoczenie, poprzez zastosowanie do oceny szkodliwego oddziaływania drgań na budynki największej wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu. Znając rzeczywistą największą wartość poziomej radialnej prędkości drgań gruntu ze znanego stanu techniki można obliczyć bezpieczną wartość ładunku MW na opóźnienie lub bezpieczną odległość, które nie powodują niekorzystnego oddziaływania prędkości drgań na budynki. Określenia typu rozkładu kierunkowego poziomej radialnej prędkości drgań gruntu przy urabianiu skał poprzez odpalenie ładunków materiałów wybuchowych, można dokonać dla rozkładu kołowego zgodnie z artykułem [1] lub poprzez zastosowanie zgłoszenia patentowego nr P.444981 dla rozkładu eliptycznego. Patent ten określa [2] "Sposób określania typu rozkładu kierunkowego, wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań, w otoczeniu kopalni odkrywkowej". Następuje to poprzez sporządzenie wykresu z pomiarów terenowych, wartości wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu, wykonanych pod kątami kierunkowymi „ α ”, a pomierzonych podczas urabiania strzelaniem (zabierki) bloku skalnego. Sposób ten charakteryzuje się tym, że dla wybranych punktów pomiarowych położonych na kątach kierunkowych znajdujących się w trzech przedziałach kątowych zawierających minimum po cztery punkty pomiarowe na przedział, rozłożonych na półokręgu przed czołem serii strzałowej w stałej odległości od środkowego otworu strzałowego pierwszego szeregu, mierzy się w tych punktach wartości wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu oraz wartości ich kątów kierunkowych. Otrzymane wyniki wartości pomiarów nanosi się na układ współrzędnych o osiach X_1, X_2, Y , leżących na płaszczyźnie poziomej, a oś Y jest prostopadła do osi X_1-X_2 gdzie $X_1=X_2=Y=0$ z siatką kątów kierunkowych. Siatkę kątów kierunkowych, sporządza się poprzez wykreślenie na Rysunku 2 z punktu 0 linią przerywaną półokręgu, który ograniczony jest osiami X_1 i X_2 , a oś Y dzieli ten półokrąg na Ćwiartkę I i II, następnie linię półokręgu dzieli się na odcinki, a łącząc je linią prostą przerywaną z punktem 0-zerowym układu współrzędnych otrzymuje się siatkę kątów kierunkowych „ α ” o podziałce kątowej równej wielkości kątowej odcinka, przy czym określa się, że kąt kierunkowy $\alpha=0^\circ$ - dla osi X_1 i X_2 a dla osi Y - kąt $\alpha=90^\circ$. Następnie na Ćwiartce I i II w trzech przedziałach kąta kierunkowego;-1) $\alpha=0^\circ-15^\circ$, -2) $\alpha=16^\circ-59^\circ$ -3) $\alpha=60^\circ$ /Ćwiartka I/- przez kąt 90°

do kąta $\alpha=60^\circ$ - na Ćwiartce II, łączy się linią ciągłą, odcinkami elipsy, naniesione na kolejnych kątach kierunkowych w danym przedziale zaznaczone punktami, wartości wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu. Następnie łącząc punkt pierwszy i ostatni przedziału z punktem 0 - zerowym otrzymuje się elipsy i półelipsy, które połączone razem linią ciągłą przedstawiają wykres funkcji $V_x=f(\alpha)$ wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu. Otrzymany wykres porównuje się z wykresem kołowym jednostkowego wektora poziomej radialnej prędkości V_{xk} drgań gruntu zaznaczonego na wykresie linią przerywaną. Z porównania wykresów widać jak układają się punkty pomiarowe, co pozwala określić, typ badanego rozkładu kierunkowego prędkości V_{xk} drgań gruntu kołowy lub eliptyczny, a dla rozkładu eliptycznego, obszary o zmniejszonej wartości wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu. Powszechnie przyjmuje się, że rozkład kierunkowy prędkości drgań jest kołowy, czyli prędkość pozioma radialna drgań gruntu jest taka sama na każdym kierunku i nie zależy od wartości kąta kierunkowego

wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu jest niezbędne do określenia bezpiecznej, względem drgań parasejsmicznych, odległości źródła drgań od chronionego przed drganiami obiektu. Uwzględnienie wartości kąta kierunkowego α , pomiaru oraz jego wykorzystanie do określenia bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych odległości źródła drgań od chronionego obiektu, wpływa na zmniejszenie negatywnych skutków wybuchu na przyległe obiekty.

Sposób określania maksymalnej poziomej radialnej prędkości drgań gruntu przy urabianiu skał za pomocą MW, dla dowolnego kąta kierunkowego α i kołowego rozkładu prędkości drgań, charakteryzuje się tym, iż pomiarów poziomej radialnej prędkości drgań gruntu dokonuje się za pomocą czujników prędkości drgań na jednym przyjętym kącie kierunkowym α . Kąt kierunkowy α stanowi kąt pomiędzy linią otworów strzałowych, a linią łączącą punkt pomiarowy ze źródłem drgań, które stanowi środkowy otwór strzałowy lub środek linii otworów strzałowych, przy czym kąt kierunkowy α wyznacza się na połowie obwodu koła, przed czołem urabianego bloku



Rys. 3. Kołowy rozkład prędkości radialnej V_x przed urabianiem MW przodkiem skalnym. Widoczne wartości $V_{x\alpha}$ na kątach kierunkowych $\alpha=0^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$, $\alpha=90^\circ$

pomiaru α . Nie analizując dokładnie rozkładu kołowego prędkości radialnej (Rys. 2) w praktyce, dla rozkładu kołowego, pomiarów poziomej radialnej prędkości drgań gruntu dokonuje się dla dowolnej wartości kąta kierunkowego α przyjmując, że pomierzona wartość jest dla dowolnego kąta α taka sama. Kąt kierunkowy α , (Rys. 1B) stanowi kąt utworzony pomiędzy linią biegnącą wzdłuż otworów strzałowych wywierconych w bloku skalnym, który ma być urobiony strzelaniem, a linią łączącą punkt pomiarowy ze środkowym otworem strzałowym lub środkiem linii otworów. Nie uwzględnianie wpływu wartości kąta kierunkowego α na wartość poziomej radialnej prędkości drgań gruntu powoduje określenie dowolnej wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu, używanej następnie do określenia bezpiecznej względem drgań parasejsmicznych odległości źródła drgań od chronionego przed drganiami budynku.

W artykule przedstawiono rozwiązanie umożliwiające dokładne wyznaczenie maksymalnej wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu dla kołowego rozkładu prędkości drgań. Prawidłowe wyznaczenie maksymalnej

skalnego, w stałej odległości równej odległości obiektu chronionego od źródła drgań. Następnie mając odczytane wyniki pomiarów poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ dla przyjętego kąta kierunkowego α wyznacza się wartość maksymalnej poziomej radialnej prędkości drgań gruntu V_x max z zależności, którą stanowi stosunek iloczynu wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ i sinusa kąta 90° do sinusa kąta pomiarowego α ($V_x \text{ max} = V_{x\alpha} \sin 90^\circ / \sin \alpha$). Kierunek radialny pomiaru poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ oznacza, iż pomiar jest dokonywany na kierunku

Tab. 1. Pomierzone wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ na odpowiadających im kątach kierunkowych α

L.p.	1	2	3	4
Wartość poziomej radialnej prędkości drgań, $V_{x\alpha}$ [mm/s]	0	32,0	55,0	64,0
Kąt kierunkowy α pomiaru	0	30	60	90

prostopadłym do linii otworów strzałowych. Sposób został objaśniony za pomocą Rysunku 3, na którym przedstawiono wykres rozmieszczenia kątów kierunkowych α i punktów pomiarowych co 30° oraz wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu.

Sposób określania maksymalnej poziomej radialnej prędkości drgań gruntu przy urabianiu skał opisano na poniższym przykładzie. Polega on na tym, iż ładunki materiałów wybuchowych umieszcza się w bloku skalnym (zabierce), w otworach strzałowych rozmieszczonych jednoszeregowo. Przed czołem urabianego bloku skalnego, na półkolu dla kątów kierunkowych α wybranych z zakresu od 0° do 90° i wynoszących $\alpha=0^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$, $\alpha=90^\circ$. W równej odległości punktów pomiarowych od źródła drgań (na przykład wynoszącej 300 m), rozmieszcza się czujniki prędkości drgań i dokonuje się pomiarów dla kolejno odpalanych ładunków materiałów wybuchowych [MW] na kolejnym kącie kierunkowym. Kąt kierunkowy α stanowi kąt pomiędzy linią otworów strzałowych, a linią łączącą punkt pomiarowy ze środkowym otworem strzałowym lub środkiem linii otworów strzałowych.

Pomiarów wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu V_x dokonuje się na kierunku prostopadłym do czoła bloku skalnego (zabierki). Opisany sposób został objaśniony za pomocą Rysunku 3, na którym przedstawiono wykres rozmieszczenia kątów kierunkowych punktów pomiarowych α co 30° i wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$, aby zobrazować wpływ kąta kierunkowego na błąd określania bezpiecznej dla budynków odległości od źródła drgań. Zgodnie z rozkładem teoretycznym jednostkowej radialnej prędkości drgań przedstawionej na Rysunku 3, przyjęto, że maksymalna wartość V_x dla kąta $\alpha=90^\circ$ wynosi 64 mm/s. Dla tej wartości zgodnie z Rysunkiem 3, wykreślono okrąg i zaznaczono cztery kąty kierunkowe α wynoszące 0° , 30° , 60° , 90° . Z rysunku odczytano wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ dla kolejnych kątów kierunkowych. Pomierzone wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ dla poszczególnych kątów kierunkowych α zestawiono w Tabeli 1.

Dla kąta kierunkowego $\alpha=30^\circ$ wartość poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ wynosi $V_{x30^\circ}=32$ mm/s. Wartość maksymalnej poziomej radialnej prędkości drgań gruntu V_x max, wyznacza się z zależności, którą stanowi stosunek iloczynu wartości poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ dla określonego kąta kierunkowego α i sinusa kąta 90° do sinusa kąta kierunkowego α . W tym przypadku dla kąta

kierunkowego α wynoszącego 30° i sinusa kąta 90° , V_x max= $V_{x\alpha} \cdot \sin 90^\circ / \sin 30^\circ$. Podstawiając za $V_{x\alpha}=32$ mm/s, za $\sin 30^\circ=0,5$ a za $\sin 90^\circ=1$ otrzymano V_x max= 64 mm/s.

Z pomiaru dla kąta kierunkowego $\alpha=60^\circ$ wartość poziomej radialnej prędkości drgań gruntu $V_{x\alpha}$ wynosi, $V_{x60^\circ}=55$ mm/s. W tym przypadku dla kąta kierunkowego α wynoszącego 60° , V_x max = $V_{x\alpha} \sin 90^\circ / \sin 60^\circ$. Podstawiając za $V_{x\alpha}=55$ mm/s, za $\sin 60^\circ=\sqrt{3}/2$ a za $\sin 90^\circ=1$ otrzymano V_x max= $63,51$ mm/s. Otrzymana dla kąta kierunkowego $\alpha=90^\circ$ wartość maksymalnej poziomej radialnej prędkości drgań gruntu V_x max bliska 64 mm/s potwierdziła wiarygodność obliczonych wyników. Obliczona przy zastosowaniu opisanego sposobu wartość maksymalnej poziomej radialnej prędkości drgań gruntu V_x max pozwoli, przy zastosowaniu znanej i stosowanej techniki, określić bezpieczną odległości źródła drgań od chronionych obiektów oraz zwiększyć, w odniesieniu do obecnie stosowanych rozwiązań, dokładność określania bezpiecznej odległości źródła drgań od chronionych przed drganiami budynków.

Podsumowanie i wnioski

Dla dwóch pomiarów dla kołowego rozkładu prędkości drgań pokazano właściwy sposób obliczania maksymalnej radialnej prędkości drgań. Zgodnie z dotychczas stosowaną metodyką pomiarów dla kołowego rozkładu prędkości drgań gruntu, pomiar prędkości drgań dla dowolnego kąta kierunkowego α° jest adekwatny dla całego obwodu koła. Pomiar prędkości drgań dla kąta kierunkowego $\alpha=30^\circ$ w stosunku do prędkości maksymalnej jest obciążony dużym błędem względnym B_w . B_w jest to stosunek wartości pomiaru poziomej radialnej prędkości drgań dla kąta $\alpha=30^\circ$ do wartości pomiaru poziomej radialnej prędkości drgań dla kąta $\alpha=90^\circ$ i przy dotychczas stosowanej metodyce pomiarów wynosi on $B_w=P_{30^\circ}/P_{90^\circ}$, $B_w=32/64=0,50=50\%$. Z taką też dokładnością obliczana jest obecnie, przy pomiarach dla tego kąta, wartość bezpiecznej odległości źródła drgań od chronionych przed drganiami budynków. Opisany sposób obliczeń może być stosowany także do strzelania wieloszeregowego.

Z artykułu wnika, iż pomiar prędkości drgań, nieuwzględniający kąta kierunkowego pomiarów, stosowany do obliczenia bezpiecznej odległości źródła drgań od chronionych przed wstrząsami budynków, nie może wpływać na prawidłowość wyników obliczeń.

Literatura

- [1] Chrzan T., *Identyfikacja kołowego rozkładu poziomej radialnej wektora prędkości drgań gruntu przy inicjowaniu ładunków materiałów wybuchowych o różnej masie*. Górnictwo Odkrywkowe nr 1/2023
- [2] Chrzan T., *Sposób określania typu rozkładu kierunkowego, wektora poziomej radialnej prędkości V_x drgań gruntu i obszarów o zmniejszonej wartości tych drgań, w otoczeniu kopalni odkrywkowej*. Zgłoszenie Patentowe P.444981.23.05.2022
- [3] Skala Wpływów Dynamicznych, PN-B-02170:2016-12