

CHRZAN Tadeusz¹

Prognozowanie bezpieczeństwa technicznego budynków położonych w zasięgu drgań parasejsmicznych

WSTĘP

W artykule opisano parametry brane pod uwagę podczas określania szkodliwości drgań gruntu na budynki. Z przeprowadzonej analizy wynika, że parametry zebrane w Polskiej Normie PN-B-02170:1985 najdokładniej określają wielkość powstałych uszkodzeń budynków w czasie drgań gruntu. Przyczynami rozpatrywanych drgań gruntu są: wstrząsy w kopalniach podziemnych, urabianie skał materiałem wybuchowym w kopalniach podziemnych i odkrywkowych, przejazdy ciężkich samochodów po nierównym bruku lub pojazdów szynowych po złączach szyn. Drgania te rozchodzą się w gruncie lecz ich przyczyną nie są wybuchy wulkanów czy trzęsienia ziemi dlatego nazywane są parasejsmicznymi.

1. RODZAJE FAL W CZASIE DRGANIA GRUNTU

1.1. Propagacja fal sprężystych w ciałach stałych [1]

Teoretyczne podstawy propagacji fal sprężystych 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 ośrodek 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 sąsiadnym cząstkom, które same zaczynają drgać i przekazują energię dalej. Dlatego ruch drgający przesuwa się z prędkością C w ośrodku. Drgania ośrodka charakteryzuje się następującymi parametrami: okresem T , częstotliwością f , amplitudą A i prędkością drgań ośrodka V lub jego przyspieszeniem a . 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 $V_{max}=2\pi f A$ 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:

- wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali-jest to fala podłużna
- prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali- jest to fala poprzeczna,
- eliptycznie w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez kierunek propagacji fali, przeciwnie do ruchu wskazówek zegara- fala powierzchniowa Rayleja,
- w poprzek kierunku rozchodzenia się fali w płaszczyźnie równoległej do powierzchni- fala powierzchniowa Love. Jeżeli ośrodek w którym rozchodzą się fale podłużne i poprzeczne jest ograniczony powierzchnią swobodną to na niej powstają fale powierzchniowe,

Prędkość fali podłużnej zależy od wartości modułu Younga E , którego wielkość określa opór ośrodka przeciwko odkształceniom objętościowym. Prędkość fali poprzecznej zależy od modułu sprężystości postaciowej G , którego wielkość określa opór ośrodka przeciwko odkształceniom postaciowym. Fale poprzeczne nie rozchodzą się w cieczach dla nich $G=0$.

1.2. Oddziaływanie drgań na podłoże i zapobieganie uszkodzeniom budowli.

Wstrząsy gruntu powodują deformacje podłoża budowli inżynierskich poprzez nierównomierne jego osiadanie. Nierównomierne osiadania podłoża przenoszą się poprzez fundamenty na budynek, który ulega popękaniu. Drgania dynamiczne zmniejszają kąt tarcia wewnętrznego gruntu przy długotrwałym działaniu nawet dwukrotnie. Moduł ściśliwości zmniejsza się dla gruntów sypkich o $\alpha=0,2$ (pięciokrotnie) a dla gruntów spoistych o $\alpha=0,5$ (dwukrotnie). Ma to wpływ na różne wielkości osiadania różnych gruntów stanowiących podłoże na którym jest posadowiony budynek lub budowla. Uszkodzeniom budowli i budynków można zapobiegać poprzez zmniejszanie i wyrównywanie osiadań gruntów za pomocą stalowych siatek [6] lub geotekstyliów [2].

2. ZAGRANICZNE KRYTERIA OCENY SZKODLIWOŚCI DRGAŃ PARASEJSMICZNYCH

2.1 Skale szkodliwości Langeforsa i Kihlstroma oraz Bureau of Mines [5].

Wielkość dopuszczalnego przyspieszenia, prędkości lub amplitudy działającej na budynek bez widocznych jego uszkodzeń lub powodujący jego ściśle określone uszkodzenia stanowi kryterium szkodliwości drgań parasejsmicznych. 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_p a w USA poprzez określenie częstotliwości drgań f .

Tab. 1. Skala szkodliwości Langeforsa i Kihlstroma [5]

Rodzaj uszkodzeń	Dopuszczalna prędkość drgań w [mm/s] dla:		
	Piasek, żwir, glina $C_p = 1000-1500$ m/s	Utwory morenowe miękkie, łupki wapienie $C_p = 2000-3000$ m/s	Granit, gnejs, piaskowce, twarde wapienie $C_p = 4500-6000$ 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

Tab. 2. Skala szkodliwości wg. Bureau of Mines, USA [5]

Rodzaj budynku	Maksymalna dopuszczalna prędkość [mm/s].	
	$f < 40$ Hz	$f > 40$ Hz
Nowoczesne budynki, ściany wewnętrzne z suchymi tynkami	19,1	50,8
Stare domy, tynki na drewnianych listwach	12,7	50,8

2.2 Skala MSK (Miedwiediewa, Sponheuera, Karnika)[4].

Skalę tą 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 jako wielkość przyspieszenia drgań A_{xyz} .

Przyspieszenie wypadkowe jest sumą wektorów trzech drgań składowych, dwóch poziomych i wektora pionowego.

$$A^2_{xyz} = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2,$$

gdzie:

x – kierunek NS

y – kierunek EW ,

z – drgania pionowe

W oddziaływaniu drgań na obiekty wyróżnia się tu trzy grupy budowli;

1. grupa A (słabej trwałości) – budynki z kamienia łamanego, z cegły niewypalanej [trzeci świat].

Tab.3 Skala MSK [4]

Przyspieszenie drgań „a” 10^{-3} m/s^2	Stopień intensywności	Charakterystyka drgań
5 – 12	1	Niezauważalne
12 – 25	2	bardzo słabe
25 – 50	3	słabe
50 – 120	4	średnie
120 – 250	5	dość silne
250 – 500	6	silne
500 – 1000	7	bardzo silne
1000 – 2000	8	burzące

2. grupa B (średniej trwałości) – zwykle budynki z cegły, kamienia ciosanego, z elementów prefabrykowanych.

3. grupa C (wysokiej trwałości) – budowle o konstrukcji monolitycznej, żelbetowe, betonowe oraz domy drewniane wzmocnione.

Uszkodzenia budynków w zależności od stopnia intensywności drgań podane w tabeli 4 wg MSK klasyfikuje się następująco:

- Stopień I – uszkodzenia małe, drobne rysy w wyprawie i odpadanie ich małych kawałków
- Stopień II – uszkodzenia średnie, niewielkie pęknięcia murów, odpadanie większych płatów wyprawy, spadanie dachówek, zarysowanie kominów dymowych
- Stopień III – uszkodzenia duże, głębokie i szerokie pęknięcia murów, zawalenie się kominów wolnostojących
- Stopień IV – zniszczenia lokalne, duże pęknięcia murów, zawalenie się poszczególnych części budynków
- Stopień V – zniszczenia całkowite, zawalenie się całej konstrukcji budynku.

W tabeli 4. podane są skutki przejawów oddziaływania na obiekty budowlane drgań w zależności od stopnia ich intensywności.

Tab. 4 .Skutki oddziaływania na obiekty budowlane drgań [4]

Stopień intensywności drgań	Grupa budowli		
	A	B	C
1 ÷ 4	brak uszkodzeń		
5	*) p- I stopnia		
6	*) p – II stop. li – I stop.	*)p– I stop.	
7	*) p – IV stop. li – III stop.	li – II stop.	li – I stop.

*) p – oznacza pojedyncze uszkodzenia

li – oznacza liczne uszkodzenia

W zwykłych budynkach (grupa B) pierwsze uszkodzenia pojawiają się dopiero przy 6 stopniu intensywności drgań, to jest przy przyspieszeniach od 250 ÷ 500 mm/s^2 .

Skala ta dopuszcza znacznie większe przyśpieszenie drgań jako nieszkodliwe dla budynków, niż opisana poniżej w Polskiej Normie Skala Wpływów Dynamicznych.

3. KRAJOWE KRYTERIA OCENY SZKODLIWOŚCI DRGAŃ PARASEJSMICZNYCH

3.1. Kryteria szkodliwości drgań parasejsmicznych wg PN-B-02170:1985 [7].

Skala wpływów dynamicznych SWD na budynki została opracowana jako Polska Norma i obowiązuje od 1985 roku. Skala SWD-I dotyczy budynków jednokondygnacyjnych a skala SWD-II budynków piętrowych, do 5 kondygnacji. Skalę stanowi rysunek z naniesionymi liniami które określają poszczególne strefy szkodliwości amplitudy lub przyśpieszenia drgań. Jest to wielkość największych składowych poziomych pomierzonych na budynkach na wysokości terenu. Skale SWD mają pięć stref I, II, III, IV, V, oddzielonych czterema liniami granicznymi A, B, C, D. Linie te podano na rys. 1, 2 i 3. W układzie współrzędnych oznaczono na osiach: oś pionowa – przyśpieszenie „a” (mm/s^2) lub prędkość (mm/s), a na osi poziomej - częstotliwość drgań” f” (Hz).

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 przyspieszone zużycie budynku wyrażające się poprzez rysy w wyprawach, tynkach

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 sufitu.

Granica D - dolna granica awarii całego budynku, objawy jak w/w.

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

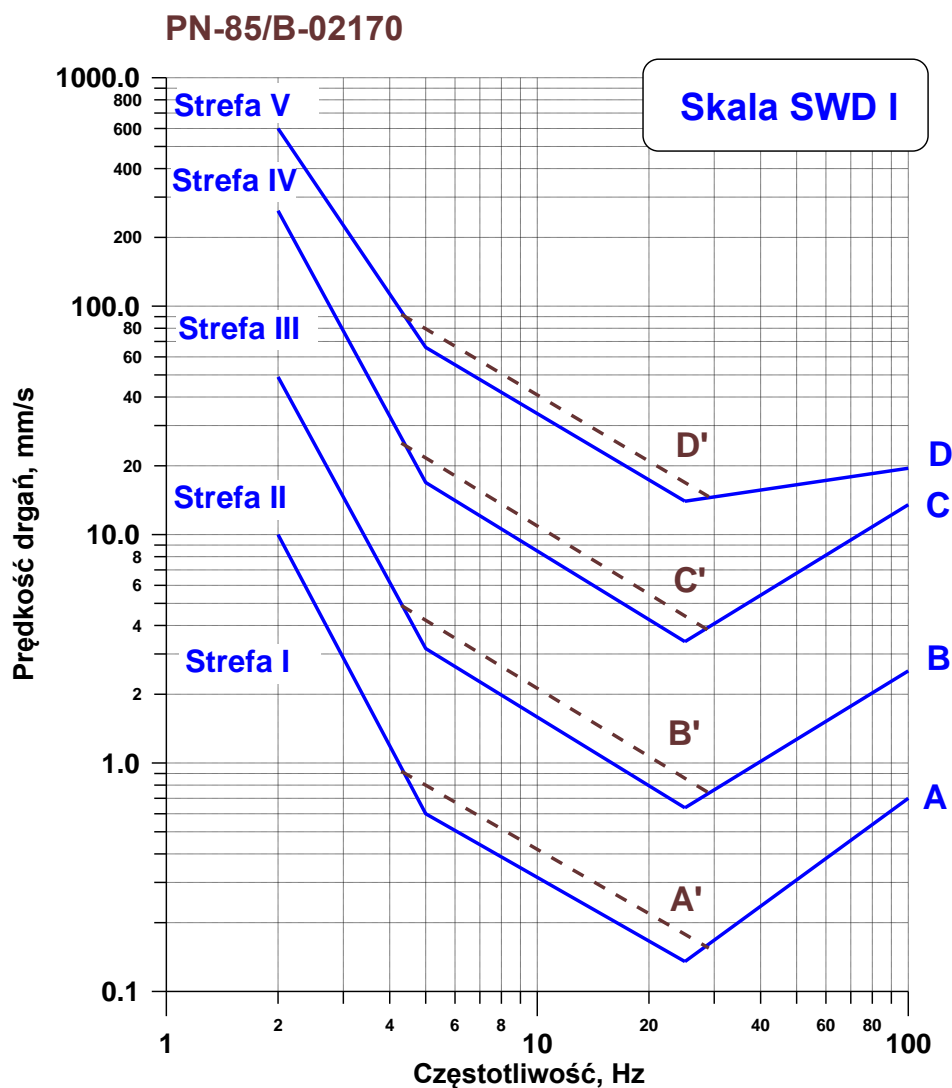
Granice stref podano w dwóch wariantach linia ciągła A, B, C, D oraz linia przerywana A', B', C', D' według oceny odporności budynku poprzez stan budynku, typu podłoża i rodzaj drgań. Zaliczenie do odpowiedniego wariantu następuje wg. przeważającej liczby odpowiednich cech zestawionych w tabeli 5. W przypadku drgań krótkotrwałych lub spełnienia wszystkich warunków wymienionych w kolumnie 3 tabeli 5 dopuszcza się podniesienie granicy szkodliwości o jedną strefę. W tym przypadku drganiom o wielkości strefy wyższej przypisuje się skutki strefy niższej.

Tab. 5 Warunki stosowania granic stref dla SWD [7].

Ocena Według	Cechy umożliwiające zastosowanie granicy	
	Niższej – linia ciągła	Wyższej – linia przerywana
Stan 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 sklezione, 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 nieciągle różne wysokości	Podłoże sztywne - ropy i gliny twardoplastyczne, posadowienie płaskie
Rodzaju drgań	Drgania długotrwałe lub stałe	Drgania krótkotrwałe

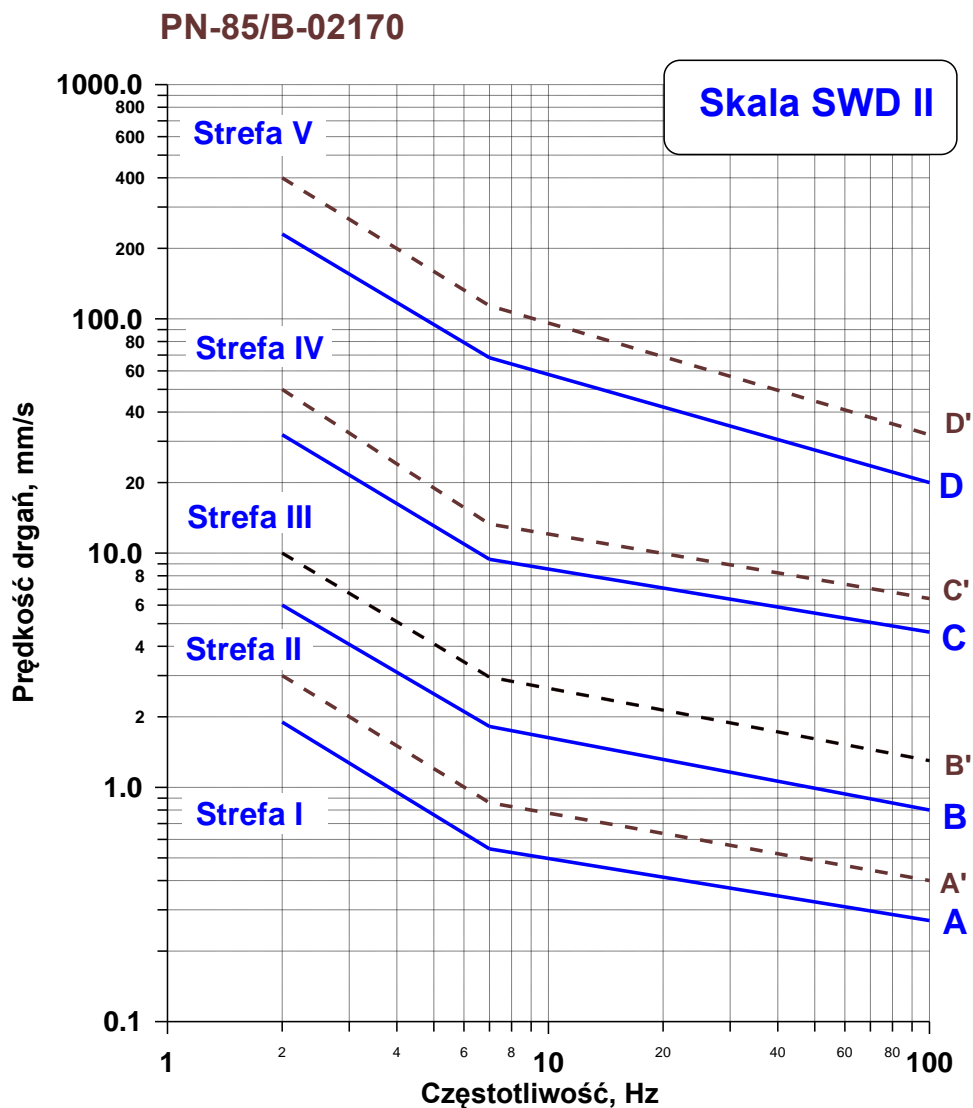
3.2. Porównanie szkodliwości drgań parasejsmicznych określonych wg PN-B-02170:1985 a rzeczywistym uszkodzeniem budynku [3,7].

Określenia szkód wynikłych wskutek drgań parasejsmicznych wg PN-B-02170:1985 a rzeczywistym uszkodzeniem budynku dokonano na podstawie [3] badań i pomiarów. Porównania dokonano dla parterowego podpiwniczego domku jednorodzinnego z poddaszem użytkowym o wymiarach 10,41x10,41x3,5m. położonym w Polkowicach Dolnych i zakładu Górniczego Rudna. Analizowany budynek to budynek nowy, ławy fundamentowe na jednym poziomie jeden metr poniżej poziomu terenu, zazbrojone żelbetowe. Dom posadowiony na piaskach i ilach 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.



Rys. 1. Skala SWD I

Skala ta odnosi się do budynków zwartych o małych wymiarach rzutu poziomego (do 15 m) o jednej lub dwóch kondygnacjach i wysokości takiej aby nie przekraczała żadnego z wymiarów rzutu poziomego. Na rysunku podano strefy uszkodzeń jako funkcje prędkości i częstotliwości drgań.

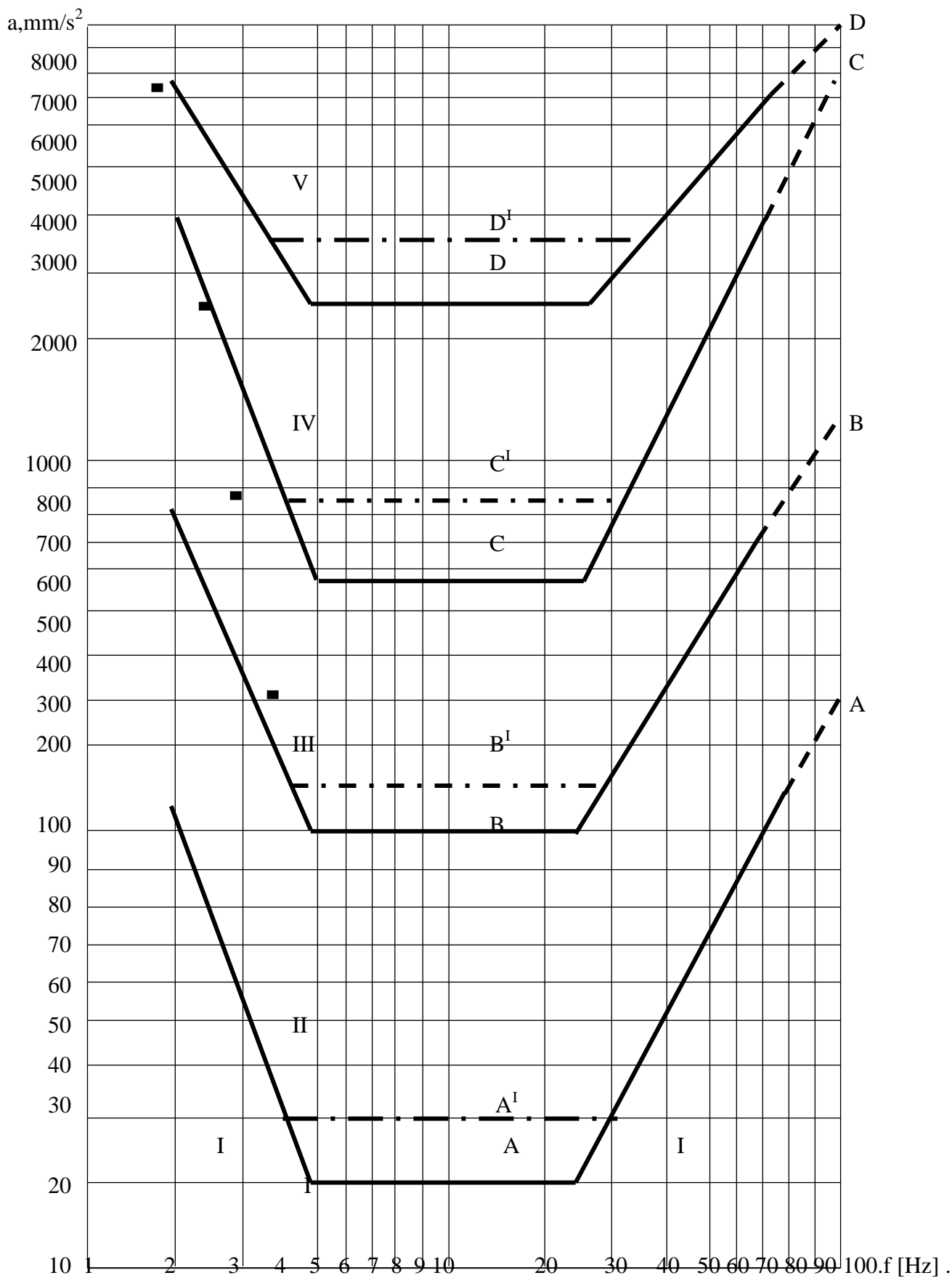


Rys 2 Skala SWD II

Skala SWD II dotyczy budynków kilkukondygnacyjnych (do pięciu) o konstrukcji murowanej lub mieszanej spełniającej warunek, że:

- $h/b < 2$,
- h - wysokość budynku,
- b - najmniejsza jego szerokość,

a także budynków niskich do 2 kondygnacji, lecz nie spełniających warunków podanych dla SWD-I. Na rysunku podano strefy uszkodzeń jako funkcje prędkości i częstotliwości drgań.



Rys. 3. Skala wpływów dynamicznych SWD-I /zaznaczone przykładowe punkty pomiarowe/. [7].

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. 3,0m. 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 Rudna określono, że w dniu 01.11 1993 r. miał miejsce wstrząs o przyspieszeniu $a = 656,7 \text{ mm/s}^2$ [37,5mm/s] i częstotliwości $f = 2,30 \text{ Hz}$ a w dniu 30.04 1994r. miał miejsce wstrząs o $a = 717,9 \text{ mm/s}^2$ [41mm/s] i $f = 2,24 \text{ Hz}$. Przy tej częstotliwości nie można uwzględnić odporności budynku na wstrząsy - na wykresie tylko linia ciągła. Mając pomierzone wartości przyspieszenia drgań i częstotliwości punkty te nanosimy na wykres i z niego określamy rodzaje uszkodzeń budynku. Przy tych w/w wartościach „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 nastąpić odpadanie wypraw i tynków. Uszkodzenia opisane w Skali SWD-I pokrywają się w 100% ze stanem faktycznym.

3.2 Porównanie szkodliwości drgań parasejsmicznych określonych wg PN-B-02170:1985 a zachodnimi skalami szkodliwości.

Biorąc pod uwagę skale MSK dla budowli grupy B i stopnia intensywności 7 - występuje drugi stopień uszkodzeń czyli – uszkodzenia średnie, niewielkie pęknięcia murów, odpadanie większych płatów wyprawy, spadanie dachówek, zarysowanie kominów dymowych. Uszkodzenia określone na podstawie tej skali są mniejsze od faktycznie zaistniałych uszkodzeń domku. Następna Skala szkodliwości Langeforsa i Kihlstroma podaje, że dla domów posadowionych na piaskach i glinach drobne pęknięcia i odpadanie tynków występuje przy prędkości drgań od 18-30mm/s a zauważalne pęknięcia przy prędkości od 30 do 40mm/s, powyżej 40mm/s występują ciężkie uszkodzenia domu. Wstrząs w dniu 30.04 1994r o prędkości 41mm/s nie spowodował ciężkiego uszkodzenia domu a raczej spękania murów czyli skala ta niezbyt precyzyjnie określa prawdopodobne uszkodzenia domów/większe niż rzeczywiste / przy danej wartości prędkości drgań.. Skala szkodliwości Bureau of Mines stosowana w USA dla częstotliwości mniejszej niż 40Hz podaje, że dla nowych domów uszkodzenia nie powinny powstać poniżej 19.1mm/s co według skali SWD odpowiada Strefie III i strefie IV. Strefa IV – to drgania stanowiące zagrożenie dla ludzi, powstają liczne spękania, lokalne zniszczenie murów i pojedynczych elementów, spadanie przedmiotów zawieszonych i części wypraw sufitu.

Według skali szkodliwości Bureau of Mines budynki stare nie powinny ulegać uszkodzeniom poniżej prędkości 12,7mm/s co z kolei odpowiada strefie II i III w skali SWD I

Wynika stąd wniosek, że także skala amerykańska prognozuje uszkodzenia mniejsze niż występują w rzeczywistości. Z przeprowadzonej analizy wynika, że skala SWD jest to 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 stan budynku, rodzaj zastosowanych materiałów jak i jego konstrukcję czego nie ma w szwedzkiej i amerykańskiej skali szkodliwości drgań. Dla danej wielkości przyspieszenia lub prędkości drgań gruntu z największym prawdopodobieństwem a zatem bezpiecznie można prognozować możliwe uszkodzenia budynku tylko na podstawie skali SWD.

WNIOSKI

- a) Z przeprowadzonej w artykule analizy wynika, że skala SWD jest to jedną z najnowocześniejszych i najdokładniejszych skal wpływów dynamicznych, gdyż uwzględnia 5 stref uszkodzeń i nie tylko częstotliwość jak skala amerykańska lecz także odporność budynku na drgania poprzez stan

budynku, rodzaj zastosowanych materiałów jak i jego konstrukcję czego nie ma w szwedzkiej i amerykańskiej skali szkodliwości drgań.

- b) Dla danej wielkości przyspieszenia lub prędkości drgań gruntu z największym prawdopodobieństwem można prognozować możliwe uszkodzenia budynku tylko na podstawie skali SWD.

Streszczenie

W artykule opisano przyczyny drgań gruntu, rodzaje fal, które powodują uszkodzenia budynków. Następnie dokonano przeglądu stosowanych za granicą i w kraju skal do oceny szkodliwości drgań gruntu działających na budynki. Uwzględniono wpływ: częstotliwości drgań gruntu, stanu budynku, konstrukcji budynku, rodzaju podłoża, sposobu posadowienia budynku, stosowanych do budowy materiałów na powstałe uszkodzenia budynku. Na podstawie przeprowadzonej analizy parametrów mających wpływ na wielkość uszkodzeń budynku stwierdzono, że Polska Norma PN-B-02170:1985 ze względu na większą ilość ujmowanych do oceny parametrów niż w skalach zagranicznych dokładniej określa rodzaj uszkodzeń występujących w skutek drgań w budynku. Przykładowo podano i porównano odczytane ze skali możliwe uszkodzenia budynku dla danej wielkości przyspieszenia a rzeczywiste uszkodzenia budynku wywołane tym przyspieszeniem. Podano skalę SWD I.

We wnioskach stwierdzono, że Polska Norma PN-B-02170:1985 opisująca skalę SWD ze względu na większą ilość ujmowanych do oceny parametrów niż w skalach zagranicznych i pięciu stref uszkodzeń najdokładniej określa rodzaj uszkodzeń występujących w skutek drgań w budynku.

Predicting the technical safety of buildings located within the paraseismic ground vibration area

Abstract

The article describes the causes of ground vibrations, types of waves, which cause damage to buildings. Next, a review of applicable abroad and at home scales to evaluate the safety of ground vibrations acting on buildings. The influence: Frequencies of ground vibrations condition of the building, building construction, type of substrate, the method of foundation building, used for construction materials caused damage to the building. Based on analysis of the parameters affecting the size of the damage to the building, it was found that the Polish Standard PN-B-02170: 1985 due to the higher amount recognized for the evaluation of parameters than in the foreign scales accurately determines the type of damage occurring as a result of vibrations in the building. For example, are given and compared and read from the scale of possible damage to the building for the size of the acceleration and the actual damage to the building caused by the acceleration. In Figure presents scale SWD I.

It concluded that the Polish Standard PN-B-02170:1985 describing the SWD scale due to the larger amount recognized for the evaluation of parameters than in the foreign scales accurately determines the type of damage occurring due to vibration of the building.

BIBLIOGRAFIA

1. Chrzan T., *Ultradźwiękowe badania właściwości skal i materiałów budowlanych*. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994 r.
2. Chrzan T., *Autostrady i materiały do ich budowy*. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000r.
3. Chrzan T., *Opinia górniczo-geologiczna-budowlana w sprawie K.Horbasa z Polkowic Dolnych przeciwko Z.G Rudna*, Wrocław, styczeń 1998r./Opracowanie dla Sądu Rejonowego w Lubinie/.
4. Chrzan T., *Geologia i hydrogeologia*. Redakcja Wydawnictw Naukowo-Technicznych „Zielona Góra 2001r.
5. Chrzan T., *Kryteria szkodliwości drgań parasejsmicznych*. *Górnictwo Odkrywkowe*, 1998r. nr.2-3
6. Surowiecki A.; *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki, Wrocław 2012.
7. Polska Norma ,PN-B-02170:1985, Skala wpływów dynamicznych