

BADANIA I POMIARY

Dr inż. GERARD BRZOZKA
Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Pojazdów Szynowych w Poznaniu

Nomogram do określania zalecanych przez ISO granicznych wartości drgań oddziaływujących na człowieka

W oparciu o zalecenia ISO, określające graniczne wartości dla drgań oddziaływujących na człowieka, opracowano bardzo dogodny dla celów praktycznych nomogram do odczytu tych wartości. W opracowaniu omówiono szczegółowo zasadę budowy nomogramu. Na praktycznych przykładach omówiono sposób posługiwania się nim.

Wstęp

Zagadnienie wpływu drgań mechanicznych na organizm ludzki jest od kilku lat tematem wielu prac badawczych, prowadzonych przez szereg ośrodków naukowo-badawczych. Krótki przegląd prac z tego zakresu przytoczono w wykazie literatury. Prace takie zostały podjęte również przez Międzynarodowy Komitet Standaryzacji ISO (International Organization for Standardization) w ramach komitetu ISO/TC 108 i zakończone opracowaniem zaleceń [17], w których określono granice dopuszczalnego narażenia człowieka na drgania.

Przykład konkretnego wykorzystania tych zaleceń w tablicy kolejowym został szeroko omówiony na łamach Biuletynu Informacyjnego CBKPTK przez Gutowskiego [8], [9]. Wspomniany autor oparł się w cytowanych pracach na wcześniejszej redakcji dokumentu ISO [16]. Wyjaśnia się, że oba wspomniane dokumenty różnią się między sobą tylko w bardzo drobnych szczegółach. Natomiast zalecenia dotyczące granic narażenia człowieka na drgania pozostały identyczne.

Odsyłając czytelnika do prac Gutowskiego, pominięto w niniejszej publikacji bliższe omówienie zaleceń ISO. Dla lepszej komunikatywności z tymi opracowaniami [8] [9], dostosowano się do wprowadzonej w nich terminologii.

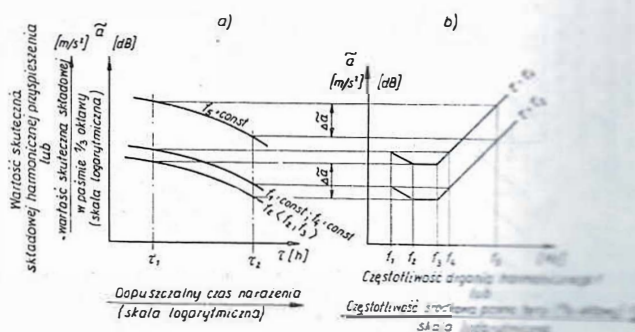
Podane w omawianych zaleceniach wykresy dopuszczalnych ekspozycji granicznych przyspieszeń zostały przedstawione bądź to jako funkcja częstotliwości (lub środkowych częstotliwości pasm tercjowych) dla kilku ustalonych — dopuszczalnych czasów narażenia (jak przykładowo pokazano na rys. 1 i rys. 2 w pracy [8]), bądź też jako funkcja dopuszczalnego czasu narażenia dla ustalonych środkowych częstotliwości pasm tercjowych (jak to zilustrowano na rys. 4 i rys. 5 w opracowaniu [9]). Autorowi niniejszej publikacji udało się opracować nomogram, za pomocą którego omawiane wyżej zależności można znaleźć w bardzo prosty sposób z jednego wykresu. Uzyskane w ten sposób przedstawienie omawianych zaleceń jest dużo prostsze od formy zaproponowanej przez ISO. Szczegóły budowy i zasadę posługiwania się nomogramem przedstawiono w dalszej części niniejszego opracowania.

Zwraca się uwagę, że wykresy przedstawiające dopuszczalne granice narażenia człowieka na drgania dotyczą w zasadzie wartości skutecznych składowych harmonicznych (charakteryzujących się widmem prążkowym) o częstotliwościach mieszczących się w paśmie od 1 Hz do 80 Hz. Natomiast w przypadku drgań o charakterze przypadkowym (charakteryzujących się ciągłym widmem energii drgania), przewiduje się wykonanie pomiarów wartości skutecznych składowych odniesionych do pasma jednej tercji (1/3 oktawy) i porównywanie tych wartości z wartościami odczytanymi z wykresu, dla drgań harmonicznych o częstotliwościach odpowiadających środkowym

częstotliwościom tych tercji. Mając na uwadze fakt, że w pojazdach szynowych praktycznie przeważają drgania przypadkowe, w cytowanych pracach Gutowskiego podano, że prezentowane przebiegi granic narażenia człowieka na drgania dotyczą tylko dla środkowych częstotliwości tercji. Faktycznie obowiązują one również dla dowolnej częstotliwości składowej harmonicznej w paśmie od 1 Hz do 80 Hz.

Zasada budowy nomogramu

Z cytowanych na wstępie wykresów dopuszczalnych ekspozycji granicznych przyspieszeń łatwo zauważyć, że dwa wymienione przedstawienia w funkcji częstotliwości (lub środkowych częstotliwości pasm tercjowych) i w



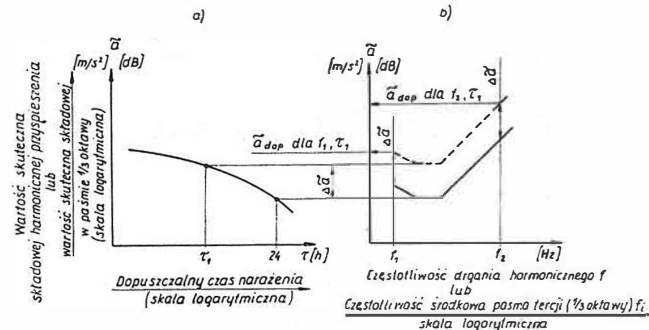
Rys. 1. Przykład wyznaczenia przebiegu $\bar{a}(f)$ z przedziału ISO.

funkcji dopuszczalnego czasu narażenia można uzyskać jedno z drugiego i na odwrót. Sposób postępowania przedstawiono na rys. 1.

Z przedstawionej ilustracji jest widoczne, że przebiegi $\bar{a}(f)$ po przesunięciu pionowo o wartość Δa będą identyczne. Wartości przesunięć są determinowane przez narażenie konkretnych wartości dla czasów dopuszczalnego narażenia τ_1 i τ_2 , przy czym odczyt Δa można dokonać na dowolnej z krzywych $\bar{a}(\tau)$. Wykorzystując powyższe uproszczenia, zamiast rysowania szeregu krzywych, można odczytać wszystkie wartości graniczne wg ISO posługując się dwoma wykresami, na których przedstawione tylko po jednej krzywej, sporządzonych dla wybranych dopuszczalnego czasu narażenia (np. 24 [h]) i dla wybranych częstotliwości (najlepiej dla jednej z wartości w paśmie częstotliwości odpowiadającym maksymalnej wartości drgania). Sposób postępowania przedstawiono na rys. 2. Z krzywej $\bar{a}(\tau)$ odczytuje się poprawkę Δa , którą należy dodać do odczytu dla ekspozycji granicznej na krzywej $\bar{a}(f)$. Poprawkę tę można dodać również w opo-

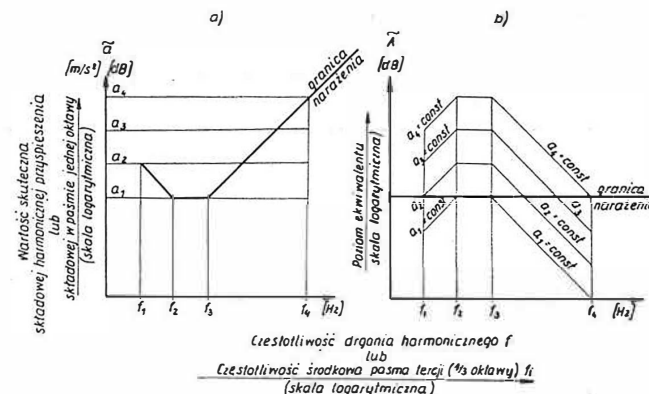
sób graficzny, jak to pokazano na rysunku. Uzyskany w ten sposób rezultat określa dopuszczalną wartość skuteczną przyspieszenia dla zadanej częstotliwości f i dla zadanego czasu narażenia τ .

Znaczne ułatwienie w graficznym dodawaniu poprawek można uzyskać przez wprowadzenie takiego układu odniesienia, w którym krzywą graniczną na rys. 2b można by przedstawić jako prostą równoległą do osi odciętych. Pozostawiając bez zmian — równoległą do osi odciętych — odcinki prostych przebiegu granic narażenia,



Rys. 2. Przykład odczytu wartości $\bar{a}$ z wykresów dla pojedynczych przebiegów $\bar{a}(\tau)$ oraz $\bar{a}(f)$.

można przez obrót pozostałych odcinków prostych granic narażenia do poziomu, uzyskać poszukiwane przedstawienie. W tak przetransformowanym układzie, granice narażenia stanowią proste równoległe do osi odciętych a skuteczne wartości przyspieszenia $\bar{a} = \text{constans}$ przedstawiają szereg linii łamanych, stanowiących siatkę nomogramu. Omawianą transformację zilustrowano na rys. 3. Pokazano na nim również sposób dokonywania



Rys. 3. Ilustracja transformacji układu $\bar{a}(f)$ do układu ekwiwalentnych wartości $A(f)$, w którym granice narażenia przedstawione są w postaci prostych równoległych do osi odciętych.

odczytów w układzie według ISO (rys. 3a) oraz przy wykorzystaniu układu przetransformowanego (rys. 3b). Przez naniesienie na przetransformowany układ (rys. 3b) dodatkowej skali czasu dopuszczalnego narażenia τ na osi odciętych, można wprowadzić przedstawienie wartości skutecznej przyspieszeń jako funkcji dopuszczalnego czasu narażenia $\bar{a}(\tau)$. Można tego dokonać dla częstotliwości f przedziału, który dla nieprzetworzonego układu charakteryzował się równoległym przebiegiem granicy dopuszczalnego narażenia do osi odciętych. Wtedy zachodzi $A(\tau) = \bar{a}(\tau)$. Po naniesieniu powyższego przebiegu uzyskuje się nomogram do określania wartości dopuszczalnego narażenia człowieka na drgania według zaleceń ISO.

Nomogramy takie, oddzielnie dla drgań pionowych i poziomych, przedstawiono na rys. 4 i rys. 5. Niezależnie od granic określonych w zaleceniach ISO [17], tj.:

- granicy zmęczenia — „fatigue-decreased proficiency boundary” (przedstawionej linią ciągłą — grubą),
- granicy minimalnego komfortu — „reduced comfort boundary” (przedstawionej linią przerywaną),

— granicy zagrożenia zdrowia — „exposure limit” (przedstawionej linią przerywaną),

na wymienionych wyżej rysunkach naniesiono dodatkowo (liniami osiowymi) przebiegi, stanowiące odpowiedniki granic podanych w pracy Gutowskiego (rys. 1 i rys. 2 opracowania [9]).

Sposób posługiwania się nomogramem

Zasady posługiwania się nomogramami, przedstawiono na rys. 4 i na rys. 5. Sposób przeprowadzenia odczytu dopuszczalnego czasu narażenia człowieka na drgania τ przedstawiono na rys. 4. Natomiast na rys. 5 zilustrowano kolejność postępowania przy określaniu dopuszczalnej wartości skutecznej przyspieszenia działającego na organizm ludzki.

Wyznaczenie dopuszczalnego czasu narażenia na drgania (rys. 4)

Zadanie: Pomierzono, że na człowieka działa w kierunku pionowym drganie harmoniczne o częstotliwości $f = 1,6$ Hz, którego skuteczna wartość przyspieszenia wynosi $\bar{a} = 1,5$ m/s^2 . Należy określić dopuszczalny czas narażenia człowieka na to drganie odpowiadający „granicy zmęczenia”.

Postępowanie: Na wykresie dopuszczalnych granic narażenia człowieka na argania pionowe (rys. 4) znajduje się odcięta dla $f = 1,6$ [Hz] i prowadzi się ją (krok 1) do przecięcia z przebiegiem na siatce krzywych wartości skutecznych przyspieszeń dla $\bar{a} = 1,5$ m/s^2 (krok 2), wyznaczając w ten sposób punkt A. Następnie przez ten punkt prowadzi się prostą równoległą do osi odciętych, aż do przecięcia z krzywą przedstawiającą interesującą granicę oporności człowieka na argania. W niniejszym przykładzie będzie to „granica zmęczenia” (krok 3). Przecięcie tych krzywych w punkcie B, pozwala na odczytanie odciętej (na skali u góry wykresu), określającej dopuszczalny czas narażenia człowieka na drgania (krok 4) $\tau = 1,7$ [h], odpowiadającej parametrom $\bar{a} = 1,5$ m/s^2 oraz $f = 1,6$ [Hz].

Wyznaczenie dopuszczalnych wartości skutecznych przyspieszenia drgania działającego na człowieka (rys. 5).

Zadanie: Czas narażenia człowieka na pewne poziome drgania harmoniczne wynosi $\tau = 1,1$ [h]. Określić dopuszczalną wartość skuteczną tego drgania $\bar{a}$ dla „granicy zmęczenia” przy częstotliwości $f = 2$ [Hz].

Postępowanie: Na wykresie dopuszczalnych granic narażenia człowieka na argania poziome (rys. 5) odczytuje się odciętą dla $\tau = 1,1$ [h] i dla tej odciętej (krok 1) znajduje się wartość rzędnej na interesującej granicy oporności człowieka na drgania. W rozpatrywanym przykładzie na „granicy zmęczenia”. Prowadząc tą rzędną aż do przecięcia z odciętą interesującej częstotliwości drgania, tj. $f = 2$ [Hz] (kroki 2 oraz 3), znajduje się punkt, dla którego na siatce skutecznych wartości przyspieszeń odczytuje się $\bar{a} = 0,81$ m/s^2 (krok 4).

Zakończenie

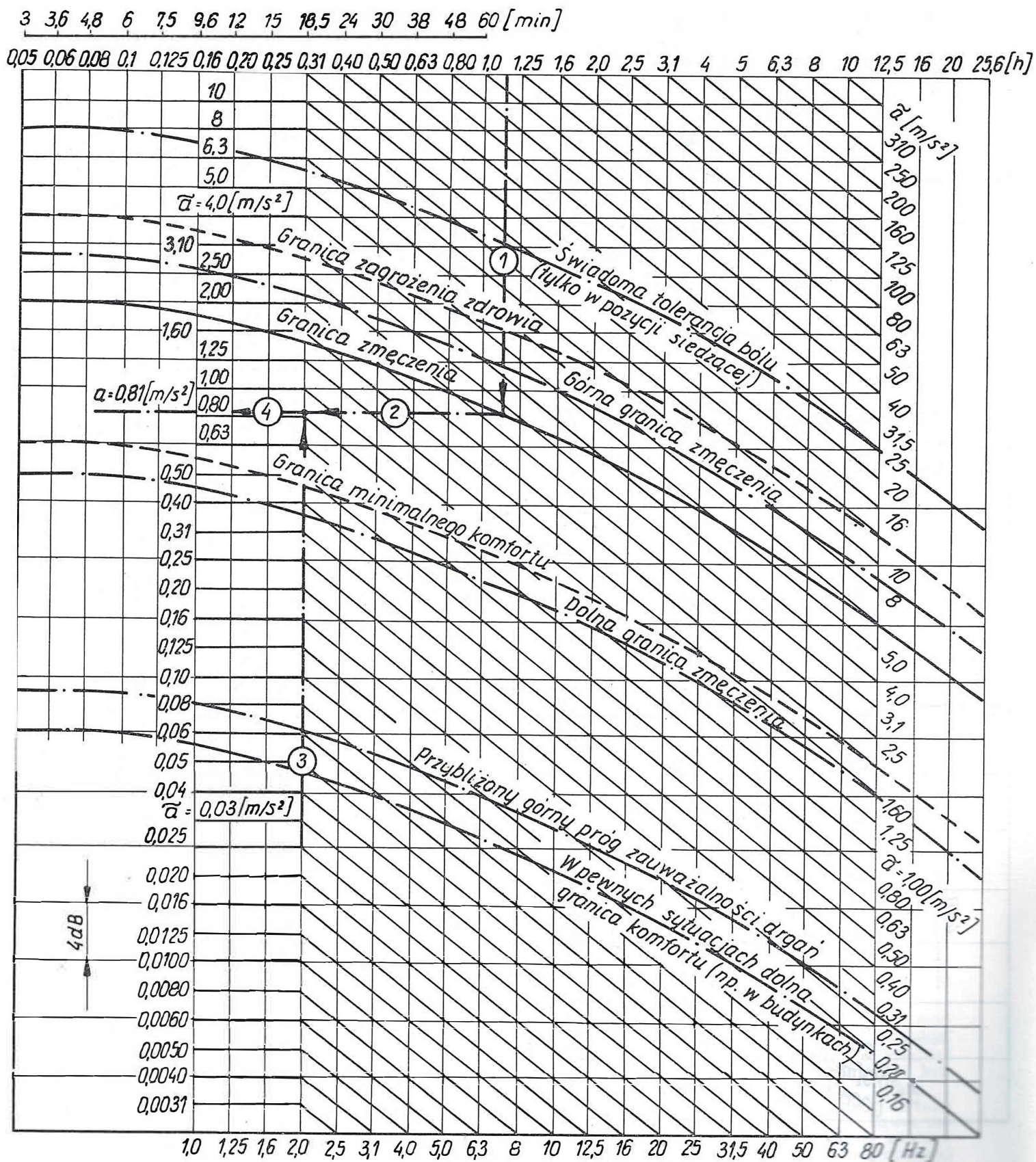
Niezależnie od dużego uproszczenia, graficznego przedstawienia zaleceń ISO za pomocą przytoczonego nomogramu, jest on również bardzo dogodny przy określaniu dopuszczalnych czasów narażenia człowieka na drgania w przypadkach drgań złożonych z kilku składowych harmonicznym, bądź też dla drgań przypadkowych o widmie ciągłym w szerokim paśmie częstotliwości.

W przypadku drgania złożonego, o ocenie czasu narażenia będzie bowiem decydowała ta składowa harmoniczna, która na nomogramie będzie miała największą wartość na osi rzędnych. Podobna zależność będzie obowiązywała dla składowych drgania przypadkowego w pasmach tercjowych.

Literatura

1. Bobbert G. — Schwingungseinwirkung auf den Menschen — VDI — Berichte 113 (1967), s. 95—100.
2. Coermann R. Okada A., Frieling J. — Vegetative Reaktionen des Menschen bei niederfrequenter Schwingungsbelastung. Arbeitsphysiol., 21 (1965), s. 150—168.
3. Dieckmann D. — Einfluss horizontaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Arbeitsphysiol., 17, (1958), s. 83—100.

Dopuszczalny czas narażenia (ekspozycja) τ



Częstotliwość drgania harmonicznego f
lub

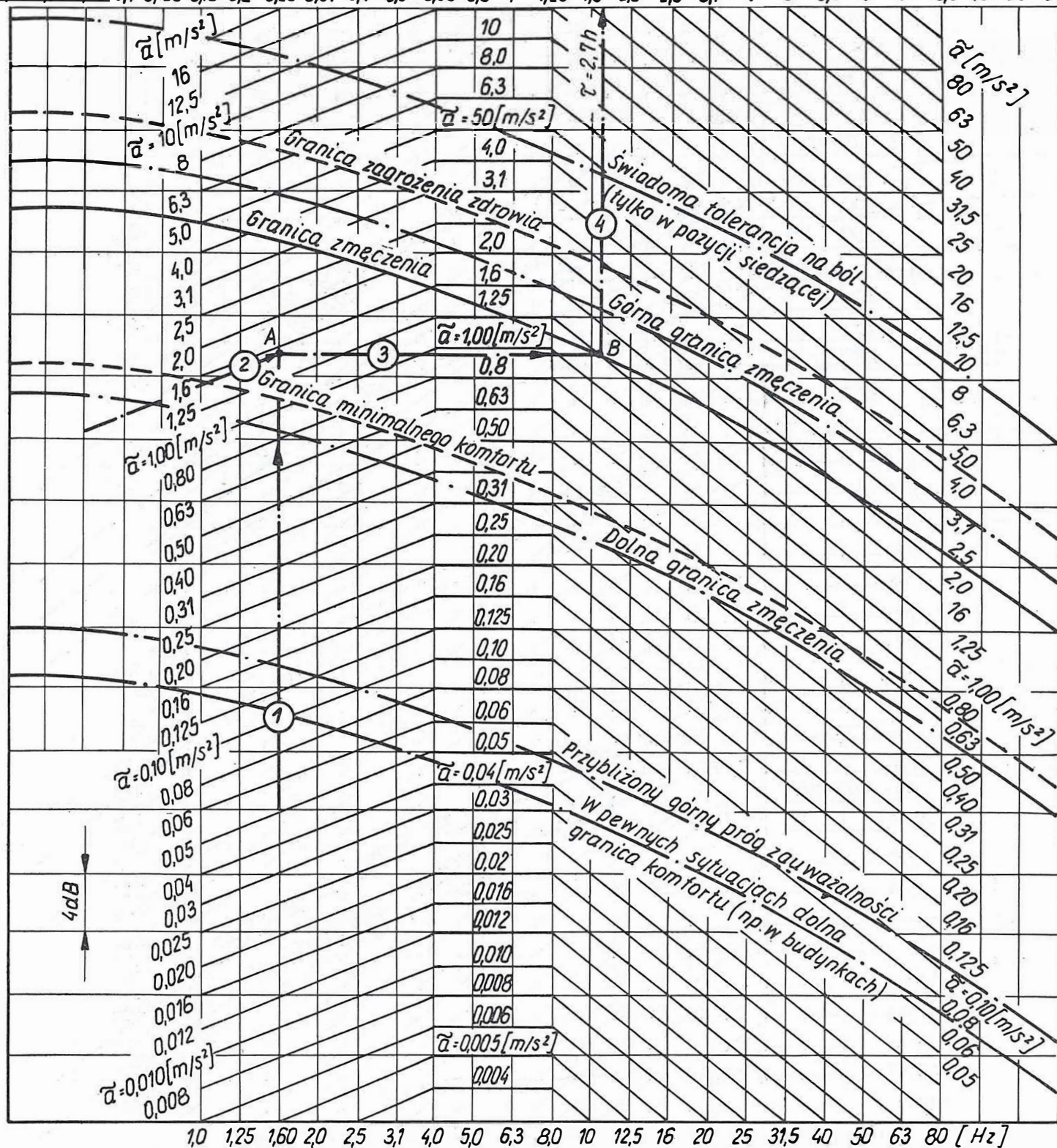
Częstotliwość środkowa pasma tercji ($1/3$ oktawy) f_i

Rys. 4. Nomogram do określenia dopuszczalnych wielkości dla drgań pionowych odpowiadających granicom: — wartość skuteczna składowej harmonicznego przyspieszenia lub składowej drgania przypadkowego odniesionej do przesłania jednej tercji).

Dopuszczalny czas narażenia (ekspozycja) τ

3 3,6 4,8 6 7,5 9,6 12 15 18,5 24 30 38 48 60 [min]

0,05 0,06 0,08 0,1 0,125 0,16 0,2 0,25 0,31 0,4 0,5 0,63 0,8 1 1,25 1,6 2,0 2,5 3,1 4 5 6,3 8 10 12,5 16 20 25,6 [h]



Częstotliwość drgania harmonicznego f
lub

Częstotliwość środkowa pasma tercji ($1/3$ oktawy) f_i

Rys. 5. Nomogram do określenia dopuszczalnych wielkości dla drgań w płaszczyźnie poziomej odpowiadających granicom narażenia (a — wartość skuteczna składowej harmonicznego przyspieszenia lub składowej drgania przypadkowego odniesionej do przedziału jednej tercji).

4. *Dieckmann D.* — Einfluss vertikaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen. *Arbeitsphysiol.*, 16, (1957), s. 519—564.
5. *Gierke H.E.* — On Noise and Vibration Criteria. *Archiv of Environmental Health*, 11, (1965), s. 327—339.
6. *Goldman D.E., Gierke H.E.* — The Effect of Shock and Vibration on Man. Nr 60—3, Lecture and Review Series. Naval Medical Research Institute, Bethesda, Maryland U.S.A., (1960).
7. *Grzegorzczak L., Walaszek M.* — Drgania i ich oddziaływanie na organizm ludzki. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa, (1972).
8. *Gutowski J.* — Drgania a człowiek. *Biuletyn Informacyjny CBKPTK*, 2, (1973), s. 44—51.
9. *Gutowski J.* — Drgania lokomotywy spalinowej typu 6D o mocy 800 KM, na tle zaleceń ISO. *Biuletyn Informacyjny CBKPTK*, 3, (1973), s. 35—52.
10. *Harris C.M., Crede C.E.* — Shock and Vibration Handbook. Mc Graw-Hill Book Company, New York, (1961), rozdział 44.
11. *Loach J.C.* — A new Method of Assessing the Riding of Vehicles and some Results. *Journal of the Inst. of Locomotive Engining*, 48, (1959), s. 183—223.
12. *Pradka F., Lee R.A.* — Vibration Comfort Criteria. SAE-Paper 660139, (1966).
13. *Sperling E., Betzhold Ch.* — Beitrag zur Beurteilung des Fahrkomforts in Schienenfahrzeugen. *Glasers Annalen*, 30, (1956), s. 314—317.
14. *Splittgerber H.* — Die Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen in Gebäuden. *Technische Überwachung*, Bd. 10, 9, (1969), s. 325—330.
15. VDI 2057 — Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Richtlinien des Vereins Deutscher Ing., Dusseldorf, (Oktober 1963).
16. ISO/TC 108 (WG 7) Secretariat — 19/36 — Mechanical Vibration and Shock, (June 1970).
17. ISO/DIS 2631 — Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, (28 April 1972).