

### 3.4. WPLYW HAŁASU I DRGAŃ NA KONSTRUKCJE I MASZyny

Z kursu wytrzymałości materiałów lub drgań mechanicznych [49, r.1] wiadomo, że maszyny i urządzenia pracujące w obecności drgań cechują się zmniejszoną trwałością, niezawodnością i dokładnością. Ta ostatnia cecha istotna jest z jednej strony dla maszyn obróbczych, gdzie w obecności drgań maleje dokładność kształtu obrabianego przedmiotu a także jakość powierzchni, z drugiej strony dla urządzeń manipulacyjnych (przenośników, dźwigów, robotów), gdzie drgania zakłócają dokładność pozycjonowania transportowanego przedmiotu. Regułą w obu przypadkach jest, że urządzenia te nie mogą osiągnąć większej dokładności, niż amplitudy zewnętrznych drgań zakłócających.

Z wytrzymałości materiałów wiadomo, że każdy element konstrukcji ulegnie zniszczeniu po przekroczeniu określonego naprężenia niszczącego. Wiadomo również, że zniszczenie może nastąpić przy znacznie mniejszych amplitudach naprężeń aż do , około  $R_m/2$  ( $R_m$  - wytrzymałość na rozzerwanie), jeśli tylko mają one charakter oscylacyjny i działają dostatecznie długo (ilość cykli). Zjawisko to nosi nazwę z m ę c z e n i a m a t e r i a ł o w e g o i należy się z nim prawie zawsze liczyć w drgających elementach maszyn i konstrukcji. Można ogólnie powiedzieć, że efekt zniszczenia zmęczeniowego zależy jest od amplitudy naprężeń zmiennych, naprężeń roboczych - średnich i częstotliwości drgań. I tak przy danej wartości naprężeń średnich  $\sigma_m$  i amplitudzie naprężeń zmiennych  $\sigma_a$ , zniszczenie elementu nastąpi tym szybciej, im większa jest częstotliwość zmian naprężeń, czyli drgań [50]. Amplitudy naprężeń dynamicznych w konstrukcji są współliniowe z amplitudami prędkości drgań, stąd też można napisać wzór na oszacowanie od góry bezpiecznych drgań konstrukcji jako [51]

$$\hat{V}_e = \left(1 - \frac{\sigma_m}{R_m}\right) \frac{Z_{go}}{\rho_{ck_d}}, \quad (3.8)$$

gdzie  $\hat{V}_e$  - wartość dopuszczalna szczytowej amplitudy prędkości drgań,  $\sigma_m$  - średnie naprężenie robocze,  $R_m$  - wytrzymałość doraźna materiału,  $\rho, c$  - gęstość i prędkość dźwięku w materiale,  $Z_{go}$  - granica zmęczenia materiału przy prostym zginaniu obrotowym,  $K_d$  - współczynnik dynamiczny rzędu 1-3.

Dla przekonania się czy zmierzone drgania konstrukcji  $\hat{V}_z$  leżą w przedziale

bezpiecznym, tzn.  $\hat{V}_z < \hat{V}_e$ , zmierzona prędkość musi być maksymalna na obszarze

konstrukcji i być mierzona względem nieruchomych punktów podparcia tej konstrukcji.

Znaczy to, że należy odliczyć drgania układu jako całości, co ma np. miejsce przy amortyzacji różnych urządzeń. I tak przykładowa przy uwzględnieniu współczynnika bezpieczeństwa  $X = 5$  (którego nie ma we wzorze (3.8)) zmęczeniowo bezpieczna granica drgań wynosi

dla stali 200 mm/s, przy  $\sigma_m/R_m = 1/2$ ,

- dla żelbetu 100 mm/s, przy  $\sigma_m/R_m = -1/2$ ,

szczytowej amplitudy prędkości drgań.

Zjawisko zmęczenia materiału może również wystąpić jako skutek dużego poziomu hałasu rzędu 140÷180 dB i więcej, jaki notujemy w pobliżu wylotu silników odrzutowych i

rakietowych. Zachodzi wtedy akustyczne zmęczenie materiału, szczególnie niebezpieczne dla metalowego poszycia statków powietrznych, obwodów drukowanych, części kontrolno-sterujących [52]. Przy niższych poziomach hałasu zmęczenie akustyczne jest rzadziej spotykane. Przy pobudzeniu szerokopasmowym, z jakim mamy do czynienia w pobliżu strugi gazów wylotowych, gdzie liczące się składowe widma występują również w zakresie ultradźwiękowym ( $f > 16$  kHz) mogą nastąpić zmiany własności materiałów typu wzmocnienia lub osłabienia [52]. W eksperymentach notuje się zmniejszenie granicy plastyczności materiałów nawet o 80%. Warto o tych faktach pamiętać rozpatrując możliwe skutki działania drgań i hałasu na materiał maszyn i konstrukcji.

### 3.4.1. NORMOWANIE DRGAŃ MASZYN

Z punktu widzenia drgań maszyny i urządzenia należy traktować dwojako: jako odbiorniki, zewnętrznych drgań zakłócających oraz jako źródła drgań w przypadku maszyn o dużej dynamiczności. Weźmy pod uwagę wprawdzie drgania zewnętrzne, które mogą być przyczyną

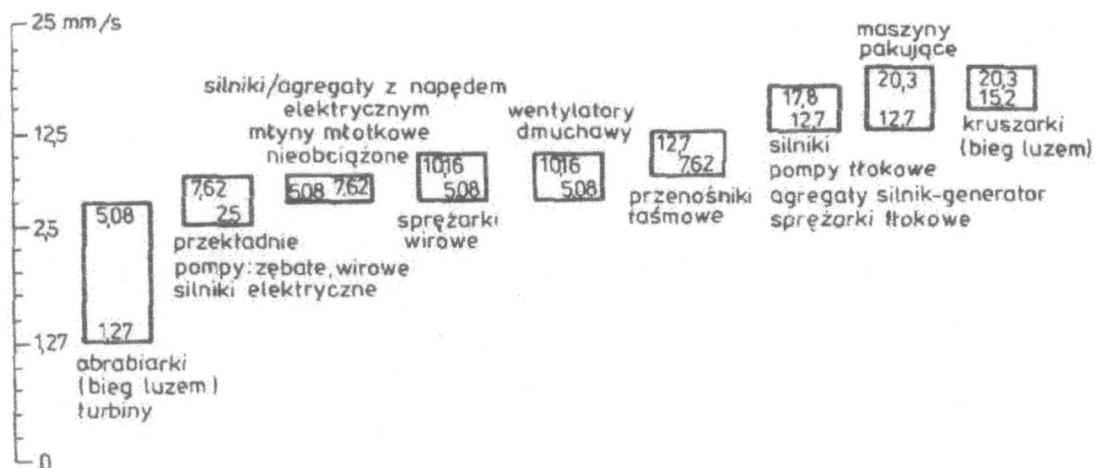
Tabela 3.5

Wrażliwość maszyn i urządzeń na drgania zewnętrzne wg PN-85/B-02170

Klasa wrażliwości	Opis wrażliwości	Nazwa maszyny, urządzenia	Dopuszczalna prędkość $V_d$ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
I	bardzo wrażliwe	urządzenia do wyważania i regulacji przyrządów, mikroskopy, interferometry i inne dokładne przyrządy, komputery, obrabiarki precyzyjne	0,1
II	średnio wrażliwe	szlifierki do gwintów, kół zębatach, łożysk, dokładne frezarki, tokarki	1
III	mało wrażliwe	zwykłe tokarki, frezarki, wiertarki, szlifierki, maszyny włókiennicze i tkackie, typograficzne	3
IV	prawie niewrażliwe	silniki, dłutownice, maszyny do szycia, obrabiarki do metali i drewna, prasy, przycinarki	6
V	zupełnie niewrażliwe	wentylatory, kruszarki, młynki, wstrząsarki, stoły i sита wibracyjne, przesiewacze, młoty	$V_d > 6$

obniżenia ich trwałości, niezawodności i dokładności. Ocenę takich drgań zgodnie z normą PN-85/B-02170 wykonuje się przez pomiar amplitudy skutecznej prędkości drgań w miejscu montażu maszyny (urządzenia) podczas jej postoju i porównanie z wartościami dopuszczalnymi zamieszczonymi w tab. 3.5. Dla pierwszej klasy wrażliwości amplitudę dopuszczalną porównuje się z modułem wektora prędkości:  $V_d = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$  o składowych w kierunku x, y, z. Pozostałe klasy wrażliwości dotyczą kierunku drgań maksymalnych.

Ogół maszyn i urządzeń mechanicznych to również źródła drgań. Amplitudy drgań maszyn w tych samych warunkach obciążenia procesem technologicznym silnie zależą od ich stanu technicznego. To zachowanie się maszyn jest domeną drganiowej diagnostyki maszyn [19].



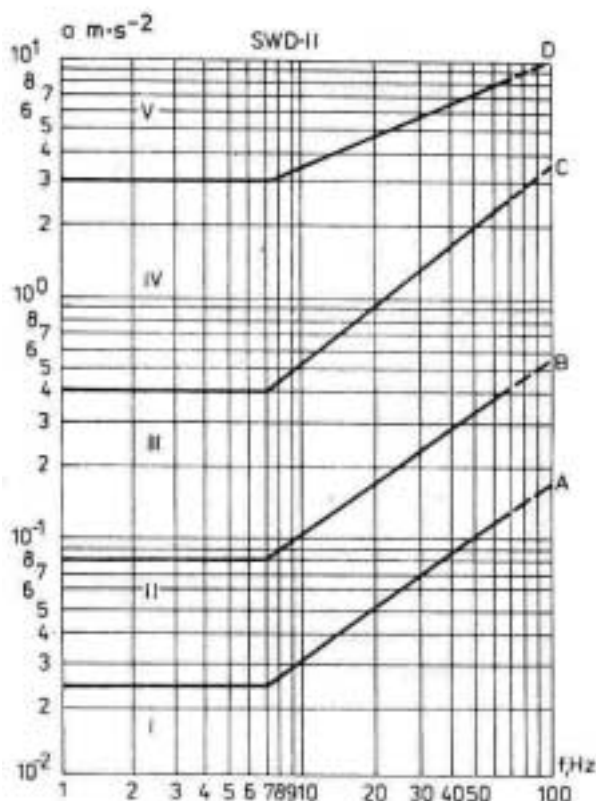
Rys. 3.13. Diagnostyczne zakresy drgań eksploatacyjnie bezpiecznych dla różnych maszyn [26]

Tutaj więc, odsyłając zainteresowanych do literatury i norm diagnostycznych (np. ISO-2372; 3945), przytoczymy dla zorientowania w zagadnieniu dane firmy diagnostycznej PMC BETA z USA, podające bezpieczne zakresy drgań maszyn [19, r. 3] (rys. 3.13). Jak widać z rysunku wytyczne diagnostyczne sformułowane są w kategoriach szczytowej prędkości drgań i generalnie mieszczą się w zakresie od 1,3 mm/s dla turbin w stanie dobrym do 20,5 mm/s dla kruszarek w stanie przedawaryjnym. W ramach zaś jednego typu maszyny różnica między stanem dobrym a przedawaryjnym jest dwu- i trzykrotna. Są to jednak dane przykładowe i dla innych typów maszyn różnice amplitud mogą być znacznie większe, np. wg przytoczonych już norm ISO różnice te wynoszą 16 dB, czyli są sześciokrotne.

### 3.4.2. NORMOWANIE DRGAŃ KONSTRUKCJI INŻYNIERSKICH

Przez konstrukcje inżynierskie będziemy rozumieli tutaj wszystkie wytwory sztuki inżynierskiej poza maszynami. W pierwszym rzędzie będą więc to budynki, mosty, tamy, instalacje wielkiej chemii itd. We wszystkich tych przypadkach drgania przychodzą z zewnątrz do konstrukcji, nawet jeśli drgająca maszyna stoi na stropie hali, to jest ona zewnętrzna w stosunku do samej konstrukcji. Oczywiście nie będziemy tu przytaczali norm, bo sprawom tym poświęcone są oddzielne monografie [53].

Wymuszenia drgań konstrukcji mogą być jedynie zewnętrzne. Może to być ruch podłoża, na którym wzniesiono budowlę lub instalację; mogą to być drgania wymuszone od zainstalowanych maszyn w hali lub przepływu medium w rurociągu. Wreszcie drgania te mogą być wymuszone aerodynamicznie przez ruch mas powietrza bądź wybuchy lub udary dźwiękowe. Ten ostatni sposób wymuszenia drgań jest najmniej zbadany [5, r. 5.11].



Rys. 3.14. Dopuszczalne drgania podłoża budynków wg normy PN-85/B-02170

Jako przykład normowania drgań budowli warto przeanalizować normę PN-85/B-02170, która stwierdza między innymi, że drgania gruntu o przyspieszeniu  $a \leq 0,005g$  ( $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) są dla budynku niezauważalne, zaś o przyspieszeniu  $a > 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  powodują destrukcję budynku. Jako przykład można przeanalizować skalę SWD-II słuszną dla podłoża budynków wyższych niż pięć kondygnacji, których wysokość jest mniejsza od podwójnej najmniejszej szerokości budynku. Z normy tej i rysunku 3.14 można generalnie powiedzieć, że w zakresie częstotliwości niskich budowle są wrażliwe przyspieszeniowo, zaś dla wyższych częstotliwości wielkością kryterialną jest prędkość drgań.

Zalecenia dopuszczalnej ekspozycji na drgania i inne oddziaływania dynamiczne (wiatry, trzęsienia ziemi itp.) konstrukcji inżynierskich nie są jeszcze w pełni sformułowane. Dobrym podręcznikiem i przewodnikiem w tym względzie jest, czterotomowa monografia Majora [53].

W odniesieniu do drgań elementów konstrukcji instalacji chemicznych warto wspomnieć o zaleceniach bezpiecznych drgań rurociągów. Dopuszczalna amplituda drgań ze względów zmęzeniowych zależy tu od długości i średnicy rurociągu, a także technologii wykonywania kołnierzy [54, r. 5]. W każdym jednak przypadku [55, r. 6] amplituda ta nie może przekroczyć 0,25mm. Generalnie jednak dopuszczalnych drgań rurociągów nie da się ująć w proste normy ze względu na duży wpływ konfiguracji i warunków podparcia na dynamikę całego układu. Świadczą o tym dostępne obecnie informacje o opracowaniach programów komputerowych produkujących firm w inżynierii chemicznej [56].