

W tym wydaniu miesięcznika „Materiały Budowlane” Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędne prezentuje artykuły dotyczące tematyki komfortu użytkowania budynków energooszczędnych. W pierwszym artykule przedstawiamy różne aspekty komfortu, a w drugim temat związany z komfortem wizualnym dotyczącym oświetlenia budynków niskoenergetycznych. W kolejnych wydaniach skupiać się będziemy na przybliżeniu pozostałych kryteriów komfortu użytkowania oraz jakości środowiska wewnętrznego obiektów. Zapewnienie komfortu jest niezmiernie ważnym elementem kształtowania budynków energooszczędnych.

dr inż. Małgorzata Fedorczyk-Cisak*
dr inż. Alicja Kowalska*

Komfort użytkowania oraz klimat środowiska wewnętrznego budynków energooszczędnych

The comfort of using rooms and climate of the internal environment of energy efficient buildings

Streszczenie. Użytkownicy obiektów budowlanych coraz wyraźniej domagają się od projektantów, aby w swoich analizach uwzględniali warunki komfortu użytkowania pomieszczeń, oprócz bezpieczeństwa ich użytkowania czy funkcjonalności. Ma to szczególne znaczenie w przypadku budynków niskoenergetycznych i pasywnych, budynków, dla których dopiero wypracowujemy zasady dobrego projektowania. Zapewnienie komfortu użytkowania pomieszczeń to uwzględnienie różnych jego aspektów. W niniejszym artykule autorzy sygnalizują problem zapewnienia komfortu użytkowania pomieszczeń z zamiarem rozwinięcia poszczególnych zagadnień w następnych publikacjach.

Słowa kluczowe: budynki niemal zeroenergetyczne, komfort użytkowania pomieszczeń, jakość środowiska wewnętrznego.

Abstract. Residents of buildings are increasingly calling on designers to take comfort conditions of using rooms into account in their analysis in addition to the safety of use or functionality. This is particularly important in the case of low-energy and passive buildings, buildings for which only we elaborate rules of good design. Ensuring comfort of using rooms includes taking account different aspects of it. In this article, authors indicate the problem of providing comfort of using rooms with the intent to develop individual issues in subsequent publications.

Keywords: nearly zero-energy buildings, comfort of using rooms, indoor environmental quality.

Wdrożenie dyrektywy 2010/31/UE dotyczącej charakterystyki energetycznej budynków wymaga, aby były projektowane tzw. budynki niemal zeroenergetyczne. W tym procesie bardzo ważny będzie dobór rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych oraz systemów instalacyjnych zapewniających z jednej strony bezpieczeństwo konstrukcyjne, a z drugiej spełnienie ostrych wymagań ochrony cieplnej. Ponadto obiekty o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię wymagają specyficznego podejścia do procesu projektowania, realizacji i użytkowania obiektów. Charakteryzują się bardzo szczelną obudową zewnętrzną oraz są wyposażone w specjalistyczne systemy instalacji technicznych, pozyskujące w sposób

maksymalnie możliwy, aktywny bądź pasywny, energię ze źródeł odnawialnych, np. przez otwarcie obiektu na południową stronę i pozyskiwanie energii z promieniowania słonecznego. W efekcie są to obiekty, w których zminimalizowane jest zapotrzebowanie na energię zarówno pierwotną (informującą o zużyciu nieodnawialnych źródeł energii), jak i końcową określającą rzeczywiste potrzeby energetyczne budynku. Projektowanie budynków niskoenergetycznych jest wyzwaniem dla architektów szczególnie w aspekcie zapewnienia odpowiedniej ochrony cieplnej, ale również zapewnienia **komfortu użytkowania budynku**. Budynki energooszczędne muszą zapewniać komfort cieplny oraz komfort akustyczny, na który wpływa m.in. wybór urządzeń mechanicznych, a także nie dopuszczać do przegrzewania pomieszczeń. Rozwiązania materiałowo-

-instalacyjne mają m.in. wpływ na komfort wizualny (oświetleniowy), komfort jakości powietrza wewnętrznego, a także na stabilność budynku i nieodczuwanie drgań konstrukcji. Wszystkie aspekty zapewnienia komfortu dla użytkownika powinny być brane pod uwagę i bardzo dogłębnie analizowane w procesie projektowania budynków energooszczędnych (rysunek 1).



Rys. 1. Kryteria brane pod uwagę w procesie projektowania budynków niemal zeroenergetycznych

* Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Łądowej

Jakość środowiska wewnętrznego w świetle dyrektywy EPBD

Jakość środowiska wewnętrznego bezpośrednio wpływa na efektywność pracy, samopoczucie czy zdrowie użytkowników budynków. Położenie nacisku na energooszczędność budynku oraz ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających środowisko zewnętrzne powinno zatem iść w parze z zapewnieniem maksymalnego komfortu użytkownika budynków. Właściwości środowiska wewnętrznego, wpływające na mikroklimat wnętrza oraz zapewniające dobre samopoczucie i zdrowie użytkowników reguluje norma PN-EN 15251:2012 [1], która zawiera m.in. zasady projektowania instalacji wentylacyjnych, klimatyzacyjnych, grzewczych oraz oświetleniowych. Norma określa też parametry środowiska wewnętrznego mające wpływ na: jakość powietrza wewnętrznego; warunki termiczne; oświetlenie czy warunki akustyczne. Właściwy klimat wnętrza jest końcowym rezultatem procesu projektowania, realizacji i eksploatacji budynku. Środowisko wewnętrzne powinno w sposób optymalny zaspokajać potrzeby fizyczne i psychiczne użytkowników.

Artykuł 4 dyrektywy EPBD formułuje zasady, jak uniknąć negatywnego wpływu środowiska wewnętrznego przy zapewnieniu odpowiedniej efektywności energetycznej budynku. Natomiast w PN-EN 15251:2012 [1] zostały podane wartości obliczeniowe wymiarowania i wyposażenia technicznego, a przede wszystkim:

- kryteria ciepłe wykorzystywane jako dane wejściowe do obliczeń obciążeń grzewczych i chłodniczych oraz do wymiarowania urządzeń;
- wielkości strumienia wentylacyjnego do wymiarowania systemów wentylacyjnych;
- poziomy oświetlenia do projektowania systemu oświetlenia i wykorzystania światła dziennego.

W przypadku budynków istniejących norma odnosi się do zmierzonych parametrów środowiska wewnętrznego, które umożliwiają ocenę efektywności oraz wartości czynników klimatycznych środowiska wewnętrznego. **Jakość środowiska wewnętrznego sklasyfikowano na 4 kategorie:**

■ **kategoria I** – warunki na wysokim poziomie, kategoria zalecana w pomieszczeniach, w których przebywać będą osoby bardzo wrażliwe na warunki środowiska i mało odporne na wystąpienie dyskomfortu (osoby niepełnosprawne, chorzy, niemowlęta, ludzie w podeszłym wieku itp.);

■ **kategoria II** – poziom normalny, kategoria zalecana w budynkach nowo wznoszonych lub remontowanych;

■ **kategoria III** – warunki na średnim, ale jeszcze akceptowalnym poziomie oczekiwań; kategoria może być przyjmowana w istniejących budynkach;

■ **kategoria IV** – warunki nie spełniają kryteriów kategorii I – III; takie odstępstwo może być akceptowane jedynie wówczas, gdy będzie występować w ciągu roku tylko w ograniczonym czasie.

Komfort cieplny

Komfort cieplny (termiczny) to stan, w którym użytkownik czuje, że jego organizm znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego, tzn. nie odczuwa ani uczucia ciepła, ani zimna. Środowisko wewnętrzne budynków zapewniające odpowiedni komfort cieplny użytkownikom, to przede wszystkim zapewnienie temperatury odczuwalnej, wilgotności powietrza wewnętrznego, na odpowiednim poziomie, unikanie przeciągów i nierównomiernego promieniowania cieplnego od otaczających elementów budynku. Na równowagę termiczną organizmu wpływają także aktywność fizyczna człowieka i rodzaj (izolacyjność) odzieży.

Parametry komfortu cieplnego można określić kilkoma sposobami, np. na podstawie kryteriów stosowanych do obliczeń energetycznych, symulacji komputerowych, a w przypadku budynków istniejących na podstawie pomiarów parametrów środowiska wewnętrznego. Najważniejsze są oczywiście subiektywne odczucia użytkowników. Przy projektowaniu kryteriów środowiska wewnętrznego, które odzwierciedlają odczucia subiektywne, można bazować na wskaźnikach komfortu cieplnego: PMV określonym w PN-EN ISO 7730 [2] oraz PPD wg PN-EN ISO 7730. PMV (*predicted mean vote*), czyli statystyczny wskaźnik odczuwania ciepła, przewiduje średnią ocenę dużej grupy osób określających swe wrażenia cieplne w siedmiostopniowej skali ocen. Wskaźnik PMV oparty jest na równowadze ciep-

nej ciała ludzkiego. PMV od -0,5 do +0,5 zapewnia odpowiednie warunki komfortu cieplnego użytkownikom (tabela 1).

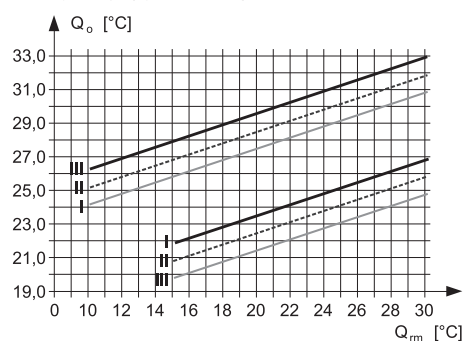
Tabela 1. Przykłady zalecanych kategorii dotyczących projektowania ogrzewania i chłodzenia budynków z zastosowaniem wentylacji mechanicznej [3]

Kategoria	Wskaźniki komfortu cieplnego	
	PPD [%]	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7, PMV > +0,7

Wskaźnik PPD (*predicted percentage of dissatisfied*) określa przewidywany odsetek niezadowolonych jako procentowy udział ludzi oceniających zdecydowanie negatywnie badane środowisko termiczne.

Projektowanie systemów instalacji technicznej powinno uwzględniać takie parametry, jak rodzaj odzieży zgodnie z PN-EN ISO 9920 [3] oraz sposób użytkowania pomieszczeń zgodnie z PN-EN ISO 8996 [4]. Wartości do wymiarowania systemów grzewczych i chłodniczych są określone przez górną i dolną granicę zakresu komfortu wynikającą ze wskaźnika PMV. Ponadto należy brać pod uwagę minimalizację tzw. miejscowego dyskomfortu cieplnego, na który wpływają np. przeciągi, asymetria temperatury, pionowa różnica temperatury, czy odczuwalna temperatura podłogi, również określone w PN-EN ISO 7730 lub przepisach krajowych.

Norma PN-EN 15251:2012 zawiera również przykłady wartości obliczeniowych temperatury wewnętrznej do projektowania budynków i systemów klimatyzacji (rysunek 2).



Rys. 2. Wartości obliczeniowej wewnętrznej temperatury operatywnej dotyczącej budynków bez systemów mechanicznego chłodzenia. Q_o – temperatura operatywna Q_m – średnia temperatura zewnętrzna [1]

Jakość powietrza wewnętrznego

Komfort związany z jakością powietrza wewnętrznego określany jest na podstawie odczuwalnej jakości powietrza. Zazwyczaj są to odczucia zapachowe czy występowanie podrażnień na skutek zbyt dużego stężenia substancji szkodliwych. Jakość powietrza wewnętrznego zależy od bardzo wielu parametrów. Ma na nią wpływ użytkowanie pomieszczeń, liczba użytkowników, emisja zanieczyszczeń z materiałów budowlanych i wykończeniowych, emisja zanieczyszczeń z systemów wentylacji i klimatyzacji, emisja zanieczyszczeń od ludzi i ich działalności (np. dym papierosowy), poziom wilgotności, wpływającej na rozwój grzybów i pleśni.

Budynek o niskiej emisji zanieczyszczeń powinien być zrealizowany z materiałów spełniających wymagania podane w tabeli 2.

Tabela 2. Przykłady zalecanych parametrów dotyczących budynków o niskiej i bardzo niskiej emisji zanieczyszczeń [1]

Cechy	Budynek o niskiej emisji zanieczyszczeń	Budynek o BARDZO niskiej emisji zanieczyszczeń
Emisja lotnych związków organicznych	< 0,2 [mg/m ³ h]	< 0,1 [mg/m ³ h]
Emisja formaldehydu	< 0,05 [mg/m ³ h]	< 0,02 [mg/m ³ h]
Emisja amoniaku	< 0,03 [mg/m ³ h]	< 0,01 [mg/m ³ h]
Emisja związków rakotwórczych	< 0,005 [mg/m ³ h]	< 0,002 [mg/m ³ h]
Materiał jest bezwonny (niezadowolone spowodowane zapachem jest mniejsze niż)	15%	10%

Ilość powietrza doprowadzanego do pomieszczenia zależy od sposobu użytkowania, liczby użytkowników, zanieczyszczenia powietrza, np. od materiałów budowlanych. Jakość powietrza wewnętrznego wyraża się jako wymagany poziom wentylacji lub stężenia CO₂. Systemy wentylacyjne zapewniające jakość powietrza środowiska wewnętrznego powinny być wymiarowane wg przepisów krajowych. Systemy wentylacyjne często regulowane są przez pomiary stężenia CO₂. Projektowanie tego typu instalacji oparte jest na maksymalnych stężeniach emisji zanieczyszczeń podanych w PN-EN 13779 [5].

Ważnym elementem jakości wewnętrznego powietrza jest utrzymanie systemów wentylacyjnych w czystości na wymaganym poziomie, co zapewnia filtracja i oczyszczanie powietrza

doprowadzanego. Zapewnienie jakości powietrza wewnętrznego to usuwanie zanieczyszczeń substancjami szkodliwymi, zapachów oraz doprowadzenie odpowiednio uzdatnionego powietrza zewnętrznego z uwzględnieniem wnikania pyłów z zewnątrz. Na dobre samopoczucie użytkowników mają wpływ również odczucia związane z wilgotnością względną powietrza. Zbyt wysoka (ponad 80%) inicjuje rozwój pleśni i zagrzybienie przegród. Wymagania wynikające z norm można osiągnąć, uwzględniając systemy osuszania czy nawilżania w instalacjach technicznych budynku. PN-EN 15251:2012 podaje sposób obliczania wymaganego strumienia wentylacji na podstawie wentylacji związanej z pobytem ludzi, np. palenie tytoniu (tabela 3), wentylacji przypadającej na osobę na 1 m² powierzchni podłogi, wentylacji na podstawie bilansu masowego i wymaganych kryteriów dotyczących poziomu CO₂.

Tabela 3. Podstawowy strumień objętości powietrza wentylacyjnego wynikający z rozcięcia zanieczyszczeń pochodzących od ludzi [1]

Kategoria	Oczekiwany odsetek niezadowolonych	Strumień objętości powietrza na osobę [l/(s, osoba)]
I	15	10
II	20	7
III	30	
IV	> 30	< 4

Komfort oświetlenia sztucznego i dziennego

Na komfort związany z oświetleniem mają wpływ takie czynniki, jak natężenie oświetlenia, oślnienie, oślepienie. Kryteria projektowania systemów oświetleniowych regulowane są w normie PN-EN 12464-1 [6]. Odpowiednie

oświetlenie można uzyskać przez wykorzystanie naturalnego oświetlenia, światła sztucznego lub ich kombinacji.

Oświetlenie zapewniające komfort wizualny użytkowników (nieprzemęczenie wzroku), ale też mające wpływ na zużycie energii elektrycznej to oświetlenie dzienne. Jest ono uwarunkowane wieloma czynnikami, np. lokalizacją czy orientacją budynku. Szczegółowe wymagania dotyczące możliwości wykorzystania oświetlenia dziennego reguluje norma PN-EN 15193 [7], która podaje również przykłady oświetleniowych poziomów natężenia oświetlenia. Z oświetleniem dziennym nierozdzielnie związany jest problem nadmiernego przegrzewania pomieszczeń w przypadku zaprojektowania zbyt dużych okien.

Komfort wibracyjny i akustyczny

Zapewnienie akustyki w budynkach na komfortowym poziomie jest regulowane przez wymagania krajowe dotyczące zapewnienia określonych wartości izolacyjności akustycznej. Hałas w środowisku wewnętrznym może pochodzić zarówno od źródeł zewnętrznych, jak i wewnętrznych, np. systemów technicznych budynku. Odczuwalność drgań przez człowieka jest jednym z najbardziej subiektywnych czynników. W pracach [8, 9, 10] pokazano wyniki laboratoryjnych testów wpływu drgań na ludzi znajdujących się w różnych pozycjach zgodnych z kierunkami odbioru drgań przez człowieka [11]. Z badań tych i z testów przeprowadzanych w obiektach rzeczywistych (np. [12, 13, 14]) wynika, że odczuwalność drgań przez ludzi zależy od wielu czynników. Najważniejsze z nich (por. np. [11, 15, 16, 17, 18]), to: częstotliwość drgań; amplituda ruchu drgającego; kierunek i warunki odbioru drgań.

Na wartość częstotliwości drgań oraz wielkość amplitudy ma wpływ przede wszystkim charakterystyka źródła drgań, ale także ośrodek, przez który drgania są przekazywane na budynki, konstrukcja budynku, w tym głównie rozpiętość i konstrukcja stropu, przez który drgania są odbierane przez człowieka. Nie bez znaczenia dla oznaczenia wartości progów komfortu wibracyjnego jest przeznaczenie pomieszczenia, pora występowania

drgań oraz ich charakter. Czynniki te uwzględnia się przez wprowadzenie współczynnika korekcyjnego „n”, który przemnożony przez rzędne linii wyznaczającej próg odczuwalności drgań wyznacza położenie progu komfortu wibracyjnego. W tabeli 4 pokazano

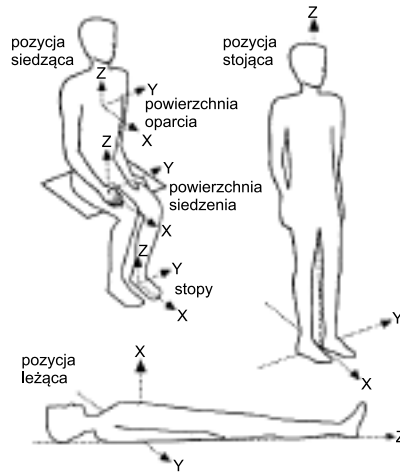
Tabela 4. Wartości współczynnika „n” za [13]

Miejsce występowania drgań	Pora dnia	Drgania o charakterze ciągłym lub drganiami o charakterze okresowym (trwające dłużej czas)	Drgania o charakterze sporadycznym mogące występować kilka razy dziennie
Pomieszczenia specjalnego przeznaczenia (szpitale, sale operacyjne, precyzyjne laboratoria)	dzień noc	1	1
Pomieszczenia mieszkalne	dzień	2 – 4	30 – 90
	noc	1,4	1,4 – 20
Biura	dzień	4	60 – 128
	noc		
Fabryki, zakłady pracy	dzień	8	90 – 128
	noc		

przykładowe wartości współczynnika „n” za [13]. Ostatnim istotnym czynnikiem, który wpływa na odczuwalność drgań, jest pozycja odbioru drgań przez człowieka. W normach pozycja stojąca i siedząca traktowana jest jako jedna, ponieważ oś „z”, która przebiega wzdłuż kręgosłupa, jest w obu pozycjach pionowa, podczas gdy osie „x” i „y” są osiami poziomymi. W pozycji leżącej natomiast oś „z” staje się osią poziomą, oś „x” jest osią w kierunku plecy-klatka piersiowa, natomiast oś „y” przyjmuje kierunek bok do boku (rysunek 3).

Wnioski

Wieloaspektowy komfort użytkownika pomieszczeń jest istotny z punktu widzenia zagadnień projektowych. Opisane formy komfortu mogą być zapewnione przez dobór rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych oraz instalacyjnych. Ważne jest, aby projektanci oprócz wymuszonego prawodawstwem poziomu energooszczędności kładli nacisk na zapewnienie w jak najwyższym stopniu poziomu komfortu



Rys. 3. Kierunki odbioru drgań przez człowieka [8]

i jakości środowiska wewnętrznego. Wiąże się to ze znajomością zasad projektowania komfortowych budynków oraz umiejętnie dobranymi rozwiązaniami materiałowymi. Informacja na temat jakości środowiska wewnętrznego powinna, zgodnie z zaleceniami dyrektywy EPBD (art. 7), być ujęta w certyfikacie energetycznym budynku. Nieodowne jest zatem wprowadzenie klasyfikacji jakości środowiska wewnętrznego, bazującej na kryteriach cieplnych dotyczących miesięcy zimowych i letnich, jakości powietrza, kryteriach oświetleniowych, kryteriach akustycznych oraz dotyczących komfortu wibracyjnego. Próbę takiej klasyfikacji pokazano w tabeli 5.

Tabela 5. Klasyfikacja na podstawie kryteriów do obliczeń energetycznych [3]

Kryteria środowiska wewnętrznego	Kategoria rozpatrywanego budynku	Kryteria projektowe
Warunki cieplne w zimie	II	20 – 24 °C
Warunki cieplne w lecie	III	22 – 27 °C
Wskaźnik jakości powietrza CO ₂	II	500 ppm powyżej warunków zewnętrznych
Strumień powietrza wentylacyjnego	II	1 l/s, m ²
Oświetlenie		Em > 500 lx UGR < 19: 80 < Ra
Środowisko akustyczne		hałas wewnętrzny < 35 dB (A) hałas zewnętrzny < 55 dB (A)

Literatura

[1] PN-EN 15251:2012 Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas (oryg.).

[2] PN-EN ISO 7730 Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.

[3] PN-EN ISO 9920 Ergonomia środowiska termicznego – Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży.

[4] PN-EN ISO 8996 Ergonomia środowiska termicznego – Określanie tempa metabolizmu.

[5] PN-EN 13779 Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji.

[6] PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.

[7] PN-EN 15193:2010 Charakterystyka energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia.

[8] Tamura Y. Kawana S., Nakamura O., Kanda J & Nakata S.: Evaluation perception of wind-induced vibration in buildings. Structures & Buildings, 159, 2006, pp. 1 – 11.

[9] Blume J.: Motion perception in the low-frequency range. Contract report AT (26-I)-99. US Atomic Energy Commission, Nevada Operations Office. July 1969.

[10] Benson A. J., Diaz E. & Farrugia P.: The perception of body orientation relative to a rotating linear acceleration vector. Fortschr. zool., 23, 1975, pp. 264 – 274.

[11] PN-88/B-02170, 1988, Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach, norma polska.

[12] Goto T.: Studies of wind-induced motion of tall buildings based on occupant's reactions. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 13, 1983, pp. 241 – 252.

[13] Jeary A. P., Morris R. G. & Tomlinson R. W.: Perception of vibration-tests in tall buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 28, 1988, pp. 361 – 370.

[14] Hansen R. T., Read J. W. & Vanmarcke E. H.: Human response to wind-induced motion of buildings. Proc. ASCE, ST7, 1973.

[15] BS 6472-1, 2008: Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings, Part 1: Vibration sources other than blasting. British Standard.

[16] ISO 10137, 2007: Bases for design of structures- Serviceability of buildings and walkways against vibration. International Organization for Standardization.

[17] DIN 4150-2, 1999: Structural vibration, Part 2: Human exposure vibration in buildings., German Standard.

[18] ISO 2631-2, 2003: Guide to the evaluation of human exposure to whole body vibration. Part 2- vibration in buildings. International Organization for Standardization.