

KORZEB Jarosław¹

DOBÓR KRYTERIÓW OCENY DYNAMICZNYCH ODDZIAŁYWAŃ TRANSPORTOWYCH W OBSZARACH AGLOMERACJI MIEJSKICH

W pracy przedstawiono obowiązujące kryteria oceny oddziaływań dynamicznych na ludzi przebywających w strefach oddziaływania elementów infrastruktury transportowej. Wskazano na niedogodności związane ze stosowaniem istniejących kryteriów, z punktu widzenia odbiorców wyników badań, dla których wielokrotnie zachodzi konieczność wykonywania dodatkowych raportów badawczych w języku niespecjalistycznym. Wprowadzono własne wielkości kryterialne oraz zaproponowano zastosowanie czytelnej skali ocen, opartej o obowiązujące akty normatywne. Przedstawiono wybrane wyniki badań, uzyskane dzięki oprogramowaniu opartemu o środowisko obliczeniowe Matlab.

CRITERIA SELECTION FOR EVALUATION OF DYNAMIC TRANSPORTATION IMPACTS IN URBAN AGGLOMERATION AREAS

The paper presents the current criteria for validation the dynamic impacts on people living in influence zones of transport infrastructure. As well the disadvantages associated with the use of existing criteria, from the perspective of research results recipients, for which it is necessary to perform many times additional research reports in non-technical language were pointed. Additionally individual criteria were introduced as well as the proposition of using a legible validation scale, based on the normative acts. Selected results obtained with the software based on Matlab computing environment were presented.

1. WSTĘP

Oddziaływania dynamiczne generowane przez środki transportu stanowią znaczący problem nie tylko dla aglomeracji miejskich[1,2]. Remonty i modernizacje elementów infrastruktury transportowej, czy wprowadzanie nowego medium transportowego niosą szereg niekorzystnych zmian dla środowiska. Wprowadzenie takiej jednostkowej modyfikacji powoduje zmiany w „klimacie drganiowym” (def. autora [3]) obejmujące obszary, w których zlokalizowane są miejsca pracy i wypoczynku setek osób. Z punktu widzenia liczby osób narażonych na takie zmiany problem jest istotny zwłaszcza dla mieszkańców terenów zurbanizowanych. W każdym z takich przypadków przepisy krajowe nakazują konieczność wykonywania raportów oddziaływania inwestycji na środowisko,

¹Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75,
tel.+48 22 234 7707, E-mail: korzeb@it.pw.edu.pl

obejmujących kontekstem zanieczyszczeń również takie wielkości fizyczne jak hałas i drgania. Przeprowadzenie oceny drgań zgodnie z wytycznymi sugerowanymi przez krajowe i międzynarodowe akty normatywne wiąże się z wykonaniem pomiarów, a następnie przygotowaniem raportów dla każdego punktu, czy przekroju pomiarowego.

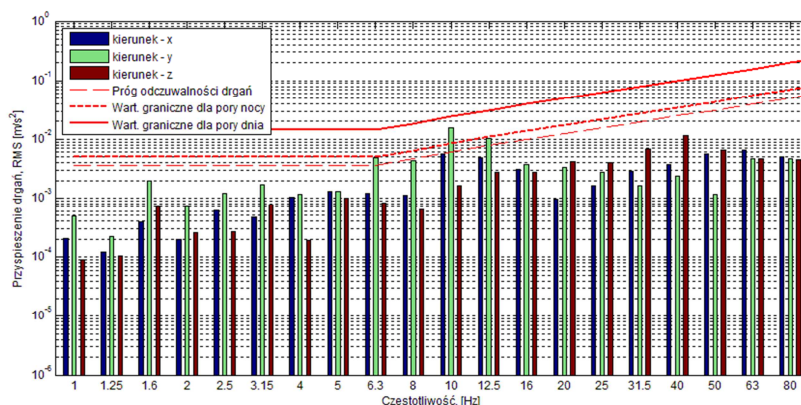
W przypadku wystąpienia jakichkolwiek przekroczeń, badania powinny zakończyć się wykonaniem analizy widmowej połączonej z identyfikacją źródeł generujących zbyt wysoki poziom drgań, w celu wprowadzenia odpowiednich systemów wibroizolacji[7].

W praktyce, raporty oddziaływania drgań kończą się komentarzem dotyczącym potencjalnego występowania przekroczeń. W wielu przypadkach zleceniodawcy żądają dodatkowego raportu napisanego językiem nietechnicznym, z jawnym wskazaniem zmian. Brak jest jednoznacznego sposobu określania w przypadku drgań przedziałów wartości dopuszczalnych, niepokojących, czy niedopuszczalnych.

W ramach pracy badawczej obejmującej budowę systemu oceny transportowych oddziaływań dynamicznych, autor podjął próbę sprecyzowania nowych kryteriów informacyjnych i odpowiednich skal ocen dla drgań mechanicznych generowanych przez środki transportu. Zasady oceny oraz skale przyjętych wskaźników przytoczono poniżej.

2. METODY OCENY ODDZIAŁYWAŃ

Ocena według wytycznych normatywnych oparta jest zwykle o wykonanie bezpośrednich pomiarów lub symulacji. Wyniki pomierzonych przyspieszeń lub prędkości drgań porównywane są z wartościami dopuszczalnymi. Dla przypadku oceny drgań o charakterze parasejsmicznym, wyniki pomierzonych r.m.s. przyspieszeń drgań w trzech kierunkach x,y,z porównywane są z progiem odczuwalności drgań przez człowieka, a następnie utworzone są sztucznie przedziały wartości granicznych dla pory nocy oraz pory dnia[4]. Wartości dopuszczalne różnią się dla budynków użyteczności publicznej i budynków mieszkalnych, pomieszczeń w których wykonywane są precyzyjne czynności, sal szpitalnych, czy zakładów przemysłowych. Przykład takiej analizy przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Efekt analizy przyspieszeń drgań w pasmach tercjowych dla wybranego przypadku badań symulacyjnych

Dla każdej częstotliwości środkowej pasm tercjowych z przedziału 1-80[Hz] i dla każdego kierunku oddziaływania drgań przewidziane są wartości progów oddziaływania oraz odpowiednia wielokrotność tej wartości w zależności od funkcji użytkowej obiektu oraz pory doby.

W przedstawionej na rys.1 analizie był to obiekt o charakterze mieszkalnym, więc drgania porównywane były z progiem percepcji drgań ($n=1$), wartością dopuszczalną dla nocy ($n=1,4$) oraz wartością dopuszczalną dla pory dnia ($n=4$), przy założeniu nieokreślonego kierunku oddziaływania drgań[4]. Przeprowadzenie tak detalicznej analizy niesie niejednokrotnie informacje o zbyt wysokim stopniu uszczegółowienia dla odbiorców ekspertyzy. W przypadku jakiegokolwiek przekroczenia pojawia się natychmiast podejrzenie tragicznych w skutkach następstw i pojawia się zapotrzebowanie na ponowne przygotowanie podsumowania ekspertyzy w języku niespecjalistycznym.

Znacznie lepszym w tym wypadku wydaje się podejście oparte na wyznaczeniu wskaźników obciążenia drganiami. W trakcie prowadzenia prac naukowych zespół badawczy z udziałem autora po raz pierwszy w 2007 roku zastosował ocenę opartą o te wskaźniki. Dla potrzeb obiektu pod którym przebiegać miała linia metra wyznaczono wówczas:

- współczynnik obciążenia drganiami,
- udział obciążenia wywołanego przejazdami pociągów metra w całkowitym obciążeniu dynamicznym obiektu,
- przyrost względny obciążenia dynamicznego budynku przejazdami pociągów metra, w stosunku do obecnego obciążenia dynamicznego.

Najbardziej wymierny był współczynnik obciążenia drganiami liczony wg zależności dla wybranego kierunku oddziaływania drgań:

$$VLF_{ax} = \frac{a_x}{a_{xdop}} \quad (1)$$

gdzie dla określania wpływu drgań na ludzi:

- a_x - wartość prognozowanego lub pomierzonego przyspieszenia drgań r.m.s. w kierunku x [m/s^2],
- a_{xdop} - wartość dopuszczalna przyspieszenia drgań (próg odczuwalności drgań przez człowieka) r.m.s. w kierunku x [m/s^2].

Współczynniki liczone są analogicznie dla pozostałych kierunków oddziaływania drgań, lub oceny wpływu drgań na konstrukcję obiektu, z wyłączeniem r.m.s. w drugim przypadku.

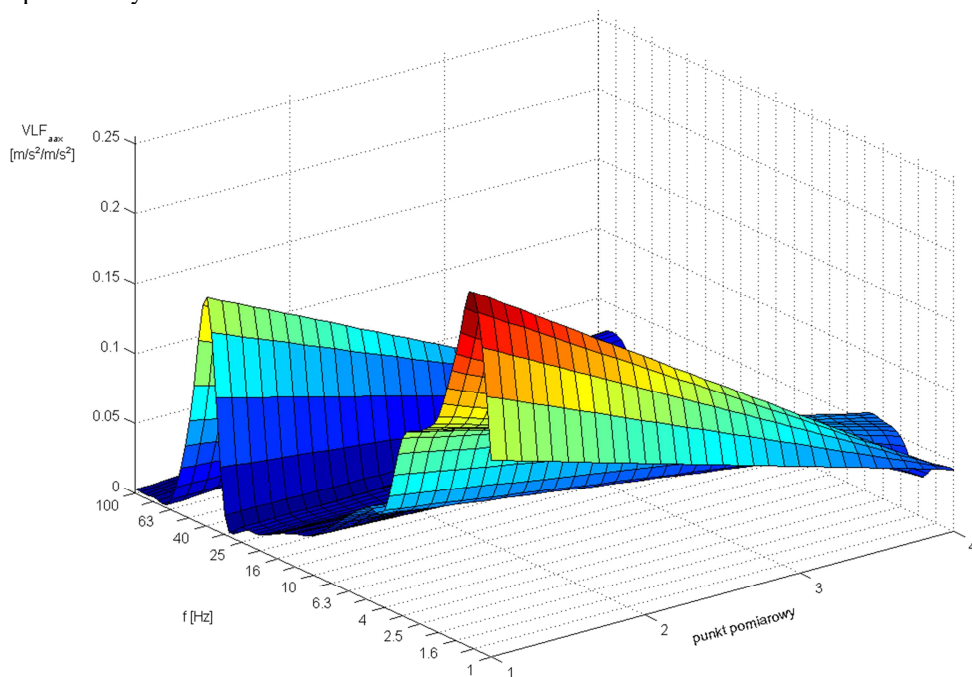
Obowiązujące akty normatywne, w tym Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011, również uwzględniają ocenę opartą o wskaźniki[6]. W tym przypadku są to wskaźniki odczuwalności drgań. Zapisy rozporządzenia, dla warunków technicznych jakim powinny odpowiadać linie metra i ich usytuowanie, nakazują nieprzekraczanie granicy poziomu 0,95 dla wpływu drgań na ludzi oraz wartości 0,7 w przypadku wpływu drgań na konstrukcję obiektu, zgodnie z normą[5].

3. PROPOZYCJE NOWYCH KRYTERIÓW

W związku z prowadzonymi pracami badawczymi i problemem dodatkowych interpretacji wyników powstała idea wprowadzenia nowych wskaźników, opartych na standardowo mierzonych wielkościach fizycznych, lecz uwzględniających kompleksowe podejście i czytelniejszą prezentację wyników. W niniejszym rozdziale przedstawiono propozycje autora w tym zakresie, niewykorzystywane dla analizy drgań. Ukierunkowanie na takie podejście zrodziło się jako odpowiedź na sposoby analizy znane z metod badania zjawisk akustycznych.

3.1 Dobór wielkości podlegających ocenie i nowe kryteria

Podstawowym kryterium doboru mierzonych wielkości fizycznych było zachowanie nawyków pomiarowych i pozostanie przy pomiarze przyspieszeń drgań. Pierwszą z wprowadzonych zmian była próba zmiany podejścia do wyników analizy na bardziej kompleksowe, polegająca na wprowadzeniu jednoczesnej analizy dla wielu punktów pomiarowych.



Rys.2. Amplitudowy współczynnik obciążenia drganiami, dla 4 punktów pomiarowych zlokalizowanych na kolejnych kondygnacjach obiektu

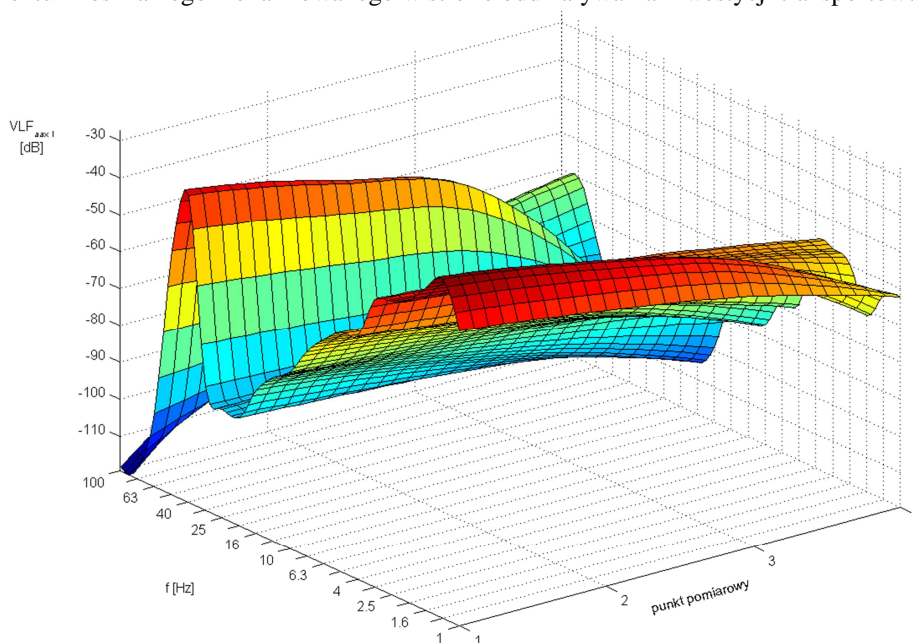
Takie podejście pozwala na bardziej kompleksowe spojrzenie, przy którym po wprowadzeniu poziomów dopuszczalnych, możliwe jest błyskawiczne wykonanie oceny dla mieszkańców całego obiektu mieszkalnego przyjętego do analizy. Operowanie na wartościach bezwzględnych pozwala na przechodzenie pomiędzy kompleksowymi wynikami, a wspomnianymi wcześniej kryteriami wskaźnikowymi.

Przeprowadzone testy potwierdziły przewidywane wcześniej stanowisko dotyczące zastosowania zależności znanej z metody obliczania wzmocnienia. Takie podejście pozwala na uzyskanie znacznie „szybszej reakcji” współczynnika w stosunku do tradycyjnej metody wyznaczania współczynnika obciążenia drganiami - na niewielkie zmiany leżące w otoczeniu wartości „1,0”. Wprowadzono nową zależność na logarytmiczny amplitudowy współczynnik obciążenia drganiami:

$$VLF_{axl} = 20 \log \frac{a_x}{a_{xdop}} \quad (2)$$

gdzie zmienne a_x i a_{xdop} przyjęto analogicznie jak w zależności 1.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki takiej analizy dla wybranego, czterokondygnacyjnego obiektu mieszkalnego zlokalizowanego w strefie oddziaływania inwestycji transportowej.



Rys.3. Logarytmiczny amplitudowy współczynnik obciążenia drganiami, dla 4 punktów pomiarowych zlokalizowanych na kolejnych kondygnacjach obiektu

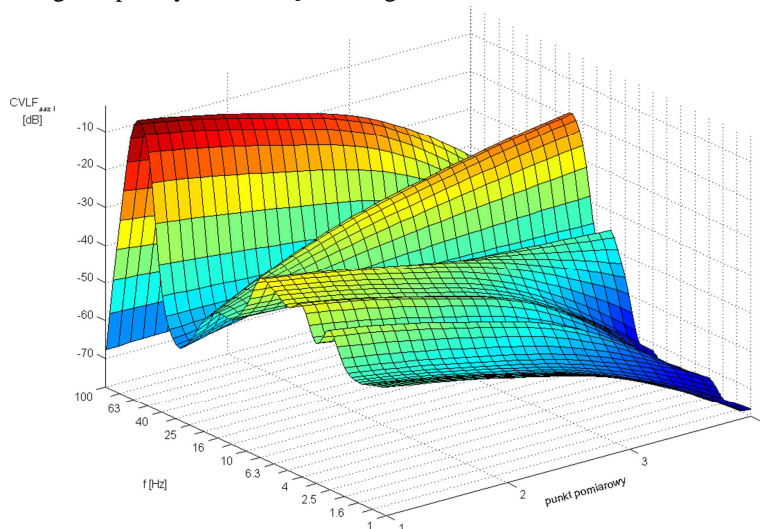
Na powyższym rysunku przedstawiono tylko jeden kierunek oddziaływania drgań. W celu rozbudowania zestawu kryteriów wprowadzono nową wielkość kryterialną – skorygowany logarytmiczny współczynnik obciążenia drganiami dla sumy geometrycznej trzech kierunków: x,y,z.

$$CVLF_{aal} = 20 \log \frac{\sqrt{k_x^2 a_{kx}^2 + k_y^2 a_{ky}^2 + k_z^2 a_{kz}^2}}{\sqrt{k_x^2 a_{kx-p}^2 + k_y^2 a_{ky-p}^2 + k_z^2 a_{kz-p}^2}} \quad (3)$$

gdzie:

- k_x, k_y, k_z - współczynniki kierunkowe, $k_x=k_y=1,4, k_z=1$;
- a_{kx}, a_{ky}, a_{kz} - skorygowane wartości przyspieszenia drgań wyznaczone odpowiednio w kierunkach x, y i z,
- $a_{kx-p}, a_{ky-p}, a_{kz-p}$ - skorygowane dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań w kierunkach x, y i z.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń skorygowanego logarytmicznego współczynnika obciążenia drganiami.



Rys.4. Logarytmiczny amplitudowy współczynnik obciążenia drganiami, dla 4 punktów pomiarowych zlokalizowanych na kolejnych kondygnacjach obiektu

Kolejnym krokiem w prowadzeniu analiz było wprowadzenie wielkości charakteryzujących energię drgań niesioną przez fale parasejsmiczne:

$$VLF_{ve} = 10 \log \frac{E_m}{E_p} \quad (4)$$

gdzie E_m - wyznaczona z pomiarów lub badań symulacyjnych i E_p - dopuszczalna energia drgań wynikająca z progu percepcji drgań przez człowieka.

Następnym etapem było wprowadzenie wskaźnika opartego na wielkości ważonej przyspieszenia drgań. Bardziej zaawansowaną formę wskaźnika opartego o wartość ważoną

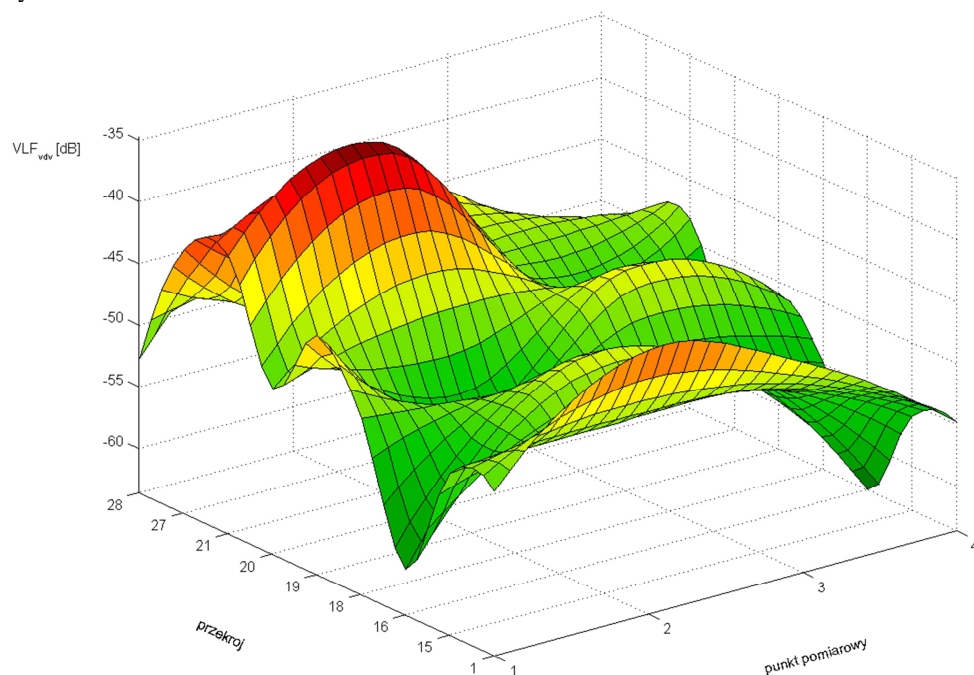
wykorzystaną w celu wyznaczenia logarytmicznego współczynnika obciążenia energetyczną dawką drgań dla znanego przedziału czasu T przedstawiono poniżej.

$$VLF_{v_{dv}} = 20 \log \frac{VDV_m}{VDV_p} = 20 \log \frac{\sqrt[4]{\int_0^T \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i a_i(t))^2} \right)^4 dt}}{\sqrt[4]{\int_0^T \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i a_{i-p}(t))^2} \right)^4 dt}} \quad (5)$$

gdzie:

- VDV_m, VDV_p - pomierzona, symulowana i dopuszczalna dawka drgań,
- W_i - współczynnik wagowy dla i -tej częstotliwości środkowej pasma tercjowego,
- a_i, a_{i-p} - pomierzone, symulowane i dopuszczalne przyspieszenie drgań dla i -tej częstotliwości środkowej pasma tercjowego.

Przykład tak przeprowadzonej analizy dla 28 przekrojów pomiarowych przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Logarytmicznego współczynnika obciążenia energetyczną dawką drgań, dla 4 punktów pomiarowych zlokalizowanych na kolejnych kondygnacjach 28 przekrojów

Przeprowadzenie analizy zgodnie z powyższą zależnością wprowadza nową jakość w dziedzinę rozwiązań – analizę dla wielu przekrojów pomiarowych. Może więc obejmować wiele obiektów jednocześnie, a wyniki można prezentować dla całego odcinka objętego badaniami.

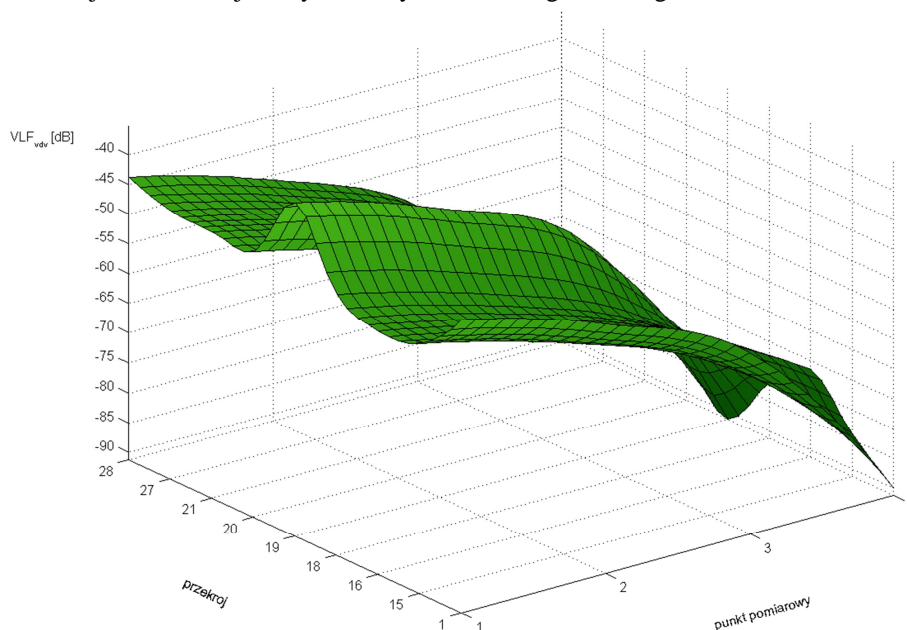
4. PROPOZYCJE SKALI OCEN

Ostatnim zagadnieniem związanym z wprowadzaniem nowych wskaźników do oceny zmian wprowadzanych modyfikacją infrastruktury transportowej jest przyjęcie odpowiedniej skali ocen. W tym celu wprowadzić należało wyskalowany i przejrzysty system oceny. W poniższej tabeli przedstawiono przykład zastosowania skali kryterialnej dla wartości normatywnych uwzględnianych podczas oceny oddziaływania drgań na ludzi przebywających w obiektach.

Tab. 1. Poziomy proponowanych skal kryterialnych

	Poziom wskaźnika, [dB]							
	-20,0	-6,0	-3,0	0,0	3,0	12,0	18,0	20,0
Sale operacyjne								
Sale chorych / dzień								
Mieszkania / dzień								
Mieszkania / noc								
Biura								
Warsztaty								
	0,1	0,5	0,7	1,0	1,4	4,0	8,0	10,0
	Moduł wzmocnienia							

Dla tak przygotowanych skal przygotować należy odpowiedni zestaw mapy kolorów powstających charakterystyk w taki sposób, aby przy pierwszym spojrzeniu możliwe było dokonanie jednoznacznej oceny oddziaływań dla całego badanego odcinka.



Rys.6. Logarytmiczny współczynnik obciążenia energetyczną dawką drgań, dla 4 punktów pomiarowych zlokalizowanych na kolejnych kondygnacjach 28 przekrojów

5. WNIOSKI

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania nowych współczynników służących ocenie oddziaływań transportowych. Tak szerokie spektrum wskaźników wprowadza nową jakość w dziedzinie prowadzenia analizy oddziaływań dynamicznych. Umożliwia prezentację wyników zarówno dla pojedynczego punktu, dla kilku punktów wybranego przekroju pomiarowego, jak również dla całego obszaru objętego analizą jednocześnie.

Wprowadzenie uniwersalnych oznaczeń kolorystycznych jednoznacznie identyfikuje miejsca potencjalnie zagrożone dla dowolnego obszaru poszukiwań, pozwala na podjęcie szybkiej decyzji i co najważniejsze jest czytelne dla potencjalnego odbiorcy wyników analizy, który nie musi posiadać wiedzy eksperckiej.

Nowe współczynniki kryterialne oparto o wartości dopuszczalne zawarte w aktach normatywnych. W trakcie następnych badań poddane one zostaną dalszej weryfikacji, a skale kryterialne ulegną walidacji indywidualnie dla każdego wskaźnika w celu wyselekcjonowania jednego bądź grupy najbardziej miarodajnych współczynników.

Przedstawione materiały stanowią element budowy ogólnego systemu oceny transportowych oddziaływań dynamicznych. Praca finansowana jest ze środków na naukę w latach 2010/2011 jako projekt badawczy nr N N509 501838.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczyk J., Targosz J.: *Ochrona przed drganiami wywołanymi przez transport samochodowy*. Wydawnictwo AGH, Monografie, Agencja KoKo, ISBN 83-913400-5-8, str. 68. Kraków 2000.
- [2] Ciesielski R., Maciąg E.: *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*. Publishing House WKiŁ, Warsaw 1990. pages 248.
- [3] Korzeb J.: *Analiza drgań komunikacyjnych z zastosowaniem teorii falek*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, z. 77, str. 45-58, Warszawa 2011r.
- [4] PN-88/B-02171, 1988. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [5] PN-85/B-02170, 1985. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie. notyfikowane w Komisji Europejskiej, Publikacja Dz.U. Nr 144 poz. 859, 13 lipca 2011.
- [7] Targosz J.: *Układy wibroizolacji w transporcie szynowym i samochodowym*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Seria Rozprawy Monografie AGH, ISSN 0867-6631, str. 238, Kraków 2007r.