

**BEDNARZ Jarosław**

## **PROGNOZOWANIE ODDZIAŁYWAŃ DYNAMICZNYCH OD PLANOWANEJ TRASY KOLEJOWEJ NA OTOCZENIE**

### *Streszczenie*

*W pracy przedstawiono zasady i metodologię postępowania w przypadku szacowania oddziaływań dynamicznych od nowoprojektowanych tras komunikacji szynowej dla kolei dużych prędkości. Tego typu oddziaływania a w szczególności zagrożenia natury drganiowej winny być uwzględniane w każdej opinii środowiskowej dotyczącej nowoprojektowanych szlaków komunikacyjnych. W artykule przedstawiono kolejne etapy oceny zagrożeń dynamicznych, które powinny być stanowić podstawową metodologię przy projektowaniu i budowie tras komunikacji szynowej.*

### **WSTĘP**

Zagrożenie drganiami od transportu szynowego winno być rozpatrywane na każdym etapie przedsięwzięcia (planowania, projektowania, budowy, utrzymania oraz eksploatacji dróg transportu szynowego). Należy więc dążyć do unikania błędów mogących wpływać negatywnie na środowisko naturalne i w miarę możliwości minimalizować niekorzystne skutki wpływu transportu szynowego w szerokim tego słowa znaczeniu.

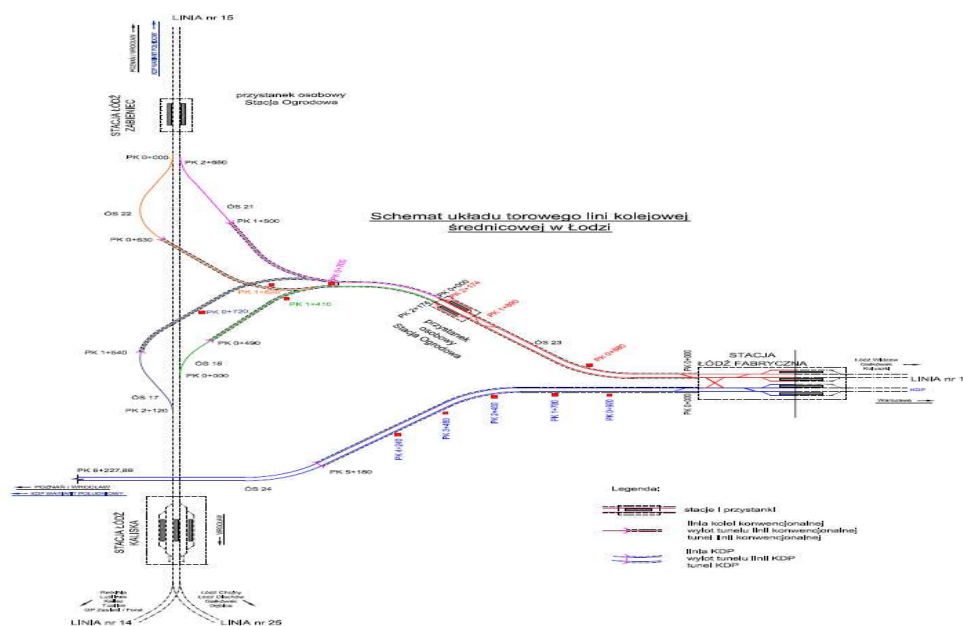
Zakładając a priori, że zajmujemy się oddziaływaniami wpływającymi niekorzystnie na otoczenie człowieka, to niezbędnym jest stwierdzenie, że jednym z najbardziej negatywnych skutków transportu kolejowego w ogromny sposób zaśmiecającym środowisko naturalne są drgania. W tym miejscu należy zaznaczyć, że transport szynowy, pod warunkiem prawidłowo wykonanego podtorza i utrzymywanej nawierzchni, może stanowić stosunkowo małe zagrożenie dla otoczenia. Szczególnie niebezpieczne są drgania wywołane przez komunikację dla obiektów zabytkowych zlokalizowanych głównie w historycznych centrach miast, przy wąskich uliczkach, na gruntach o niekorzystnych własnościach wytrzymałościowych.

Analizę taką przeprowadzono na przykładzie nowoprojektowanej trasy komunikacji kolejowej przebiegającej od stacji Łódź Fabryczna do stacji Łódź Kaliska w tunelu pod zabytkowym centrum Łodzi. Założenie podstawowe to dążenie do minimalizacji szkodliwego oddziaływania transportu kolejowego na infrastrukturę budowlaną zlokalizowaną nad tunelem, co powinno doprowadzić do powstania nowych rozwiązań podtorzy pojazdów szynowych o ograniczonej emisji wibroakustycznej jak i zastosowanie złożonych układów wibroizolacji podtorzy szynowych, stanowiących przeszkodę w rozprzestrzenianiu się drgań do otoczenia. Wszystko to jednakże wymaga opracowanie opinii środowiskowej z punktu widzenia oddziaływań dynamicznych na otoczenie nowoprojektowanej trasy komunikacji szynowej.

# 1. WSTĘPNE ANALIZY TECHNICZNE MOŻLIWOŚCI REALIZACJI INWESTYCJI

Na wstępnym etapie należy uzyskać w miarę dokładne dane co jest przedmiotem przedsięwzięcia. Czy budowa ma być prowadzona w terenie otwartym czy aglomeracji miejskiej. I tak w przypadku nowoprojektowanej łódzkiej linii średnicowej mającej łączyć stację Łódź Fabryczna z rejonem stacji Łódź Kaliska, zakres rozwiązań projektowych dotyczących możliwości poprowadzenia w rejonie Łodzi linii średnicowej wynika w dużym stopniu z uwarunkowań technicznych, przestrzennych oraz specyficznym usytuowaniu stacji Łódź Fabryczna powstałych w wyniku historycznej rozbudowy infrastruktury Łodzi na przełomie XIX i XX w. Musiały one w istotny sposób wpływać na prace projektowe. dotyczące przebudowy linii kolejowej Łódź Fabryczna – Koluszki na odcinku Łódź Widzew – Łódź Fabryczna. Przyjęte rozwiązania dotyczące układu przestrzennego i funkcjonalnego stacji zdeterminowały możliwości przebiegu linii kolei dużych prędkości (KDP) oraz linii średnicowej w obrębie Łódzkiego Węzła Kolejowego, jak również pozwoliły na uzyskanie nowych jakościowo konwencjonalnych pasażerskich połączeń kolejowych przechodzących przez węzeł łódzki obsługujących ruch międzyregionalny, regionalny i aglomeracyjny. Istotnym elementem jest możliwość uzyskania połączeń z dowolnymi elementami infrastruktury kolejowej węzła łódzkiego w celu umożliwienia obsługi technicznej pociągów KDP oraz pociągów konwencjonalnych kończących i rozpoczynających bieg w Łodzi a co z tym się wiąże poprawienie jakości usług dla pasażerów.

Na etapie wstępnych analiz technicznych należało zdefiniować kilka wariantów przebiegu linii średnicowej oraz linii KDP. Dla wszystkich tych wariantów należało i przeprowadzono analizy techniczne i analizy porównawcze związane z oceną wad i zalet poszczególnych prezentowanych rozwiązań. W oparciu o opracowanie „Studium wykonalności linii kolejowej na odcinku od dworca Łódź Fabryczna w kierunku dworca Łódź Kaliska”, której głównym elementem był tunel średnicowy z podziemnymi przystankami oraz tunel KDP. Trasy tuneli KDP stanowiły rozwinięcie propozycji przedstawionych we wspomnianym opracowaniu z których do dalszych opracowań przyjęto wariant 14 przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat wybranego rozwiązania trasy linii KDP i linii kolei konwencjonalnych

Źródło: [1]

W wyniku szczegółowej analizy określono wady i zalety tej koncepcji trasy. Do zalet tego rozwiązania zaliczono:

1. przebieg na znacznym odcinku przez obszary o małym stopniu urbanizacji w stosunku do innych rozwiązań,
2. najmniejsza długość nowoprojektowanych tuneli,
3. uniknięcie skrzyżowań z trasami tuneli kolei konwencjonalnych,.
4. dosyć dogodna lokalizacja skrzyżowania w rejonie granicy miasta z linią kolejową i projektowaną drogą szybkiego ruchu nr S14,
5. przebieg trasy na znacznym odcinku w korytarzu już obecnie zajęтым na cele transportowe,
6. minimalizacja liczby i stopnia trudności kolizji z drogami kołowymi,
7. mała kolizyjność z urbanizacją podmiejską,
8. stosunkowo niskie prawdopodobieństwo generowania potencjalnych konfliktów społecznych.

Wadami tego rozwiązania są:

1. kolizje z ciekami skanalizowanych rzek i z kanalizacją głęboką,
2. trudności przy lokalizacji potencjalnych przystanków KDP, Konieczność dwukrotnego krzyżowania z istniejącą linią kolejową nr 14.
3. w przypadku budowy tunelu metodą odkrywkową konieczność zapewnienia odpowiedniej komunikacji zastępczej (autobusowej) lub ułożenia fragmentu tymczasowej trasy tramwajowej,
4. przejścia przez obszary leśne,
5. konieczność przekroczenia doliny rzeki Neru,
6. kolizyjność w stosunku do przewidywanej wstępnie lokalizacji punktu spustowego dla zaopatrzenia lotniska Lublinek w paliwa lotnicze i budowy bocznicy kolejowej,
7. konieczność budowy dużego układu torowo – drogowego na granicy miasta,

Uwzględniając wady i zalety i przeprowadzeniu analiz wszystkich wariantów przebiegu nowoprojektowanej trasy KDP, można było stwierdzić, że niezależnie od koncepcji problem, rozprzestrzeniania się oddziaływań dynamicznych jest prawie identyczny dla wszystkich wariantów, gdy chodzi o ograniczenie ich wpływu na budynki i ludzi w nich przebywających. Jest to o tyle istotne, że w pierwszym okresie użytkowania, kiedy linia jest oddana do użytku, oddziaływania typu parasejsmicznego, mogą być niezauważalne. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że po okresie kilku lub kilkunastu lat mogą doprowadzić do znacznego uszkodzenia infrastruktury historycznej zabudowy. Stąd niezbędna jest wibroizolacja i jej prawidłowy dobór a następnie konserwacja.

## **2. CHARAKTERYSTYKA ODDZIAŁYWANIA PLANOWANEGO PRZEDSIĘWZIĘCIA NA ŚRODOWISKO**

Zagrożenie drganiami winno być rozpatrywane na każdym etapie (planowania, projektowania, budowy, utrzymania oraz eksploatacji dróg transportu szynowego) należy więc dążyć do unikania błędów mogących wpływać negatywnie na środowisko naturalne i w miarę możliwości minimalizować niekorzystne skutki wpływu transportu szynowego w szerokim tego słowa znaczeniu. Zakładając a priori, że zajmujemy się oddziaływaniami wpływającymi niekorzystnie na otoczenie człowieka, to niezbędnym jest stwierdzenie, że jednym z najbardziej negatywnych skutków transportu kolejowego w ogromny sposób zaśmiecającym środowisko naturalne są drgania. Drgania są uciążliwością o powszechnym zasięgu społecznym i występują we wszystkich dziedzinach działalności człowieka, dotyczą wszystkich obywateli, wpływają niekorzystnie na ich zdrowie, utrudniają ich wypoczynek i regenerację sił, pomniejszając efekty ich pracy oraz zwiększając prawdopodobieństwo wystąpienia wypadków w trakcie pracy. Z przeprowadzonych badań i analiz literaturowych

wynika, że dotyczą one około 30 - 40 % populacji naszego społeczeństwa i ich źródłem w głównej mierze jest komunikacja (kolejowa, tramwajowa, samochodowa, lotnicza, morska). Szczególnie narażeni na drgania są mieszkańcy dużych aglomeracji miejskich oraz miast o charakterze przemysłowym, w których występuje duże natężenie ruchu środków transportu realizujących dowóz surowców i wywóz wytworzonych produktów. Te same miasta są dodatkowo obciążone drganiami pochodzącymi od środków transportu publicznego i pojazdów indywidualnych. W tym miejscu należy zaznaczyć, że transport szynowy, pod warunkiem prawidłowo wykonanego podtorza i utrzymywanej nawierzchni, może stanowić stosunkowo małe zagrożenie dla otoczenia. Drgania mają istotny wpływ na konstrukcję budynków, powodując ich uszkodzenia, których konsekwencją są częstsze remonty, a w drastycznych przypadkach w wyniku zaniedbania ze strony służb publicznych, mogą doprowadzić do katastrofy budowlanej. Szczególnie niebezpieczne są drgania wywołane przez komunikację dla obiektów zabytkowych zlokalizowanych głównie w historycznych centrach miast, przy wąskich uliczkach, na gruntach o niekorzystnych własnościach wytrzymałościowych. Na skutek propagacji drgań w gruncie następuje też pogorszenie się przydatności funkcjonalnej takich obiektów użyteczności publicznej jak szpitale, szkół, budynków mieszkalnych ( drgania przekazywane na organizm mieszkańców ). Należy również wspomnieć, że drgania są źródłem emisji hałasu wpływającego szkodliwie na organizm ludzki lub wywołującego niekorzystne odczucia z punktu widzenia komfortu psychicznego. Ponieważ szeroko rozumianemu transportowi nieodłącznie towarzyszy oddziaływanie dynamiczne, w szczególności na obszarach zajętych przez drogi samochodowe i kolejowe, wywołujące drgania różnego typu konstrukcji inżynierskich [6], dążenie do minimalizacji ich szkodliwego działania jest koniecznością i musi prowadzić do powstania nowych rozwiązań urządzeń i obiektów biorących udział w transporcie samochodowo – kolejowym o ograniczonej emisji wibroakustycznej jak i złożonych układów wibroizolacji stanowiących przeszkodę w rozprzestrzenianiu się drgań do otoczenia. Stąd też w pierwszej kolejności analizę potencjalnego zagrożenia drganiami należy rozpocząć od określenia źródeł drgań stanowiących składniki tła dynamicznego występującego niezależnie czy projekt budowlany zostanie zrealizowany czy nie.

Na przykładzie nowoprojektowanego tunelu trasy kolei KDP od stacji Łódź Fabryczna do Łódź Kaliska stwierdzono, że podstawowym źródłem drgań są występujące na całej długości trasy są następujące grupy transportu:

1. drgania samochodów osobowych i dostawczych,
2. drgania autobusów komunikacji miejskiej,
3. drgania samochodów ciężarowych – trasy wylotowe na Katowice, Gdańsk, Warszawę,
4. transport szynowy - tramwaje.

Kolejnym etapem jest określenie oddziaływań dynamicznych w fazie budowy i eksploatacji.

W fazie realizacji inwestycji – podczas wykonywania prac metodą tunelową należy przewidzieć występowanie znaczących źródeł drgań, mogących mieć wpływ na konstrukcję budynków. Źródłem takich drgań mogą być:

1. prowadzone prace budowlane w postaci odwiertowe
2. wbijania w grunt ścianek szczelnych (stalowych grodziec lub pali),
3. zagęszczania gruntu lub drogowych warstw nawierzchniowych walcami wibracyjnymi, itp.

Prace te mogą powodować uszkodzenia w budynkach i powinny być monitorowane (pomiary drgań) pod kątem wpływu drgań na konstrukcję najbliższych położonych budynków. Na podstawie tych pomiarów drgań należy ustalić odległości i parametry pracy poszczególnych urządzeń (wibromłoty, walce wibracyjne) tak aby wykluczyć możliwość wystąpienia uszkodzeń w najbliższych sąsiadujących budynkach. Należy założyć przy tym, że -

ze względu na ograniczony ( który należy koordynować zgodnie z normą) czas występowania tych drgań - można będzie w odniesieniu do wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach dopuszczać okresowe przekroczenia granicy komfortu w ciągu dnia (prace te nie powinny być prowadzone w żadnym wypadku porze nocnej).

Przejsiowo może wystąpić pogorszenie warunków w zakresie wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach (naruszenie wymagań w zakresie zapewnienia wymaganego komfortu) usytuowanych przy trasach dojazdowych do placów budów, zwłaszcza podczas przejazdów pojazdów ciężarowych z wywożoną ziemią oraz dowożących beton. Wskazane jest przy lokalizacji placów budów i określaniu tras dojazdów pojazdów ciężarowych uwzględnienie zagadnień zarówno ochrony przed drganiami jak i poziomem emitowanego hałasu.

W trakcie eksploatacji tunelu KDP głównym źródłem drgań przekazywanych do otoczenia są przejazdy pociągów kolei. Ponadto, w znacznie mniejszym zakresie, drgania mogą być wywołane pracą urządzeń takich jak: wentylatory (drgania w otoczeniu wentylatorów klimatyzacji), pomp w przepompowniach, agregatów itp. Intensywność drgań przekazywanych na sąsiednie budynki i związanych z ruchem pociągów KDP jest zależna od:

1. konstrukcji i stanu taboru (zwłaszcza stanu zestawów kołowych, np. zbyt duże bicie promieniowe kół może spowodować wielokrotny wzrost poziomu drgań),
2. konstrukcji i stanu nawierzchni szynowej (liczby i konstrukcji styków szyn, powierzchni szyn, zamocowania szyn do podtorza, tolerancji wymiarów toków szyn w planie i w profilu),
3. sposobu poruszania się pociągu (prędkość, tor ruchu – prosta lub łuk, zatrzymywanie się i ruszanie),
4. konstrukcji podtorza,
5. konstrukcji obudowy tunelu (typu konstrukcji, rodzaju materiału, masy, tłumienia), przez którą drgania propagują się na zewnątrz i która wchodzi w interakcję z przylegającym do niej gruntem,
6. zagłębienia tunelu, w tym także od relacji pomiędzy zagłębieniem tunelu a poziomem posadowienia budynków,
7. rodzaju i stanu podłoża, przez które propagują się drgania: budowa geotechniczna podłoża, warunki wodne w podłożu, występowanie przegród w gruncie, szczelin, infrastruktury podziemnej itp.,
8. odległości i usytuowania budynków odbierających drgania w stosunku do tunelu KDP,
9. rodzaju i stanu budynku odbierającego drgania: typ budynku, jego konstrukcja i geometria, sposób posadowienia, stan zachowania obiektu, cechy dynamiczne konstrukcji (częstotliwości drgań własnych, tłumienie).

W związku z tym proponowana metodyka oceniania wpływu drgań oparta być powinna na:

1. ocenie wpływu drgań na konstrukcję budynku znajdującego się w pobliżu tras przejazdu wagonów linii kolejowe KDP,
2. ocenie wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach,
3. ocenie wpływu drgań na urządzenia wrażliwe na drgania, jeżeli takie urządzenia znajdują się lub będą się znajdować w budynku,
4. ocenie rozchodzenia się fali drgań.

Ocenę taką można przeprowadzić w opierając się na pomiarach drgań istniejących obiektów i określenie ich stanu zagrożenia wg. normatywów oraz metodami teoretycznymi prognozując stan po zakończeniu realizacji. Do normatywów zaliczyć należy podstawy prawne oraz szczegółowe uregulowania w zakresie wykonywania ocen wpływu drgań w powyższych przypadkach zawarte są w polskich normach:

1. PN-85/B-02170. pt. „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”,

2. PN-88/B-02171 pt. „Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach”,
3. PN-80/B-03040 pt. „Fundamenty, konstrukcje wsporcze pod maszyny. Obliczanie i projektowanie”.

Norma PN-85/B-02170 przewiduje dwa sposoby oceny wpływu drgań na konstrukcję budynku:

4. ocenę pełną – mającą zastosowanie w odniesieniu do budynku każdego typu,
5. ocenę przybliżoną (za pomocą skal wpływów dynamicznych SWD-I i SWD-II) - można ją stosować jedynie w przypadku dwóch, określonych w normie klas budynków.

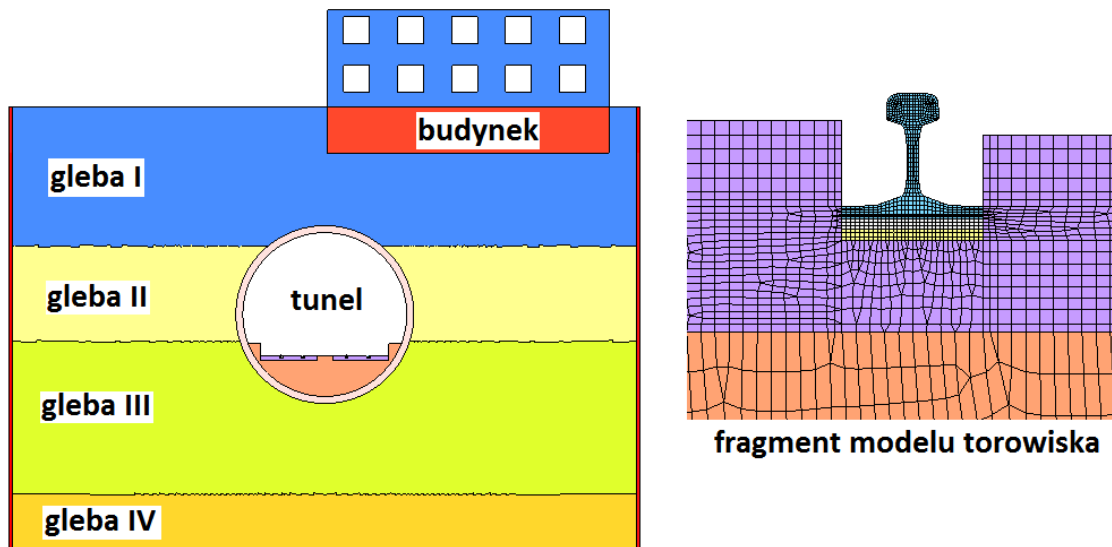
Ocena ta winna być uzupełniona o analizę wpływu drgań na konstrukcje budynków wykonaną zgodnie z zasadami dynamiki budowli. Szczegółowe zasady obliczeń dynamicznych konstrukcji podane są w normie PN-85/B-02170 oraz w normatywach i podręcznikach z zakresu dynamiki budowli.

W przypadku opracowania prognozy oddziaływania dynamicznego od nowoprojektowanych szlaków komunikacji szynowej czy samochodowej wymaga wykorzystania modelu uproszczonego lub modelu opracowanego w oparciu o metodę elementów skończonych MES podłoża lub konstrukcji budynku w oparciu o które prowadzone są symulacje dynamiczne rozprzestrzeniania się fali w gruncie i odpowiedzi konstrukcji inżynierskich na wymuszenie [3, 4, 7]. Wymuszenie może być uwzględnione albo przez przyłożenie w punktach kontaktu fundamentu z podłożem wymuszenia kinematycznego opisanego przebiegami czasowymi drgań (zmierzonych lub prognozowanych drgań) fundamentów, albo za pomocą tzw. zagadnienia odwrotnego. Ocena polega na wyznaczeniu możliwych częstotliwości drgań własnych konstrukcji inżynierskich i sprawdzeniu możliwości wystąpienia rezonansu, wyznaczeniu sił bezwładności działających dodatkowo na konstrukcję pod wpływem drgań, obciążeniu modelu obliczeniowego konstrukcji wszystkimi obciążeniami statycznymi i dynamicznymi (siłami bezwładności, parciem wiatru itd.) i sprawdzeniu tak obciążonej konstrukcji pod względem wytrzymałościowym.

Jak już wspomniano wyżej do oceny prognostycznej niezbędne jest zastosowanie narzędzia jakim metoda elementów skończonych. Zastosowanie metody elementów skończonych pozwala na analizę zachowania się budynków przy przejeździe pociągów [2, 5]. Analiza taka obejmuje określenie szeregu wartości fizycznych, które mogą posłużyć do oceny wpływu drgań na dowolny obiekt budowlany. Do takich wielkości możemy zaliczyć przede wszystkim przyspieszenia w dowolnym punkcie pomiarowym na budynku jak również prędkości, przemieszczenia lub naprężenia. Porównanie tych wartości z ogólnie dostępnymi kryteriami oraz standardami pozwala na etapie projektowania tunelu na odpowiednie modyfikacje konstrukcje celem obniżenia wartości występujących na budynkach. Takie modyfikacje dotyczą przede wszystkim zastosowania odpowiedniej wibroizolacji w postaci np. mat układanych w warstwie torowiska lub podkładek podszytowych. Takie podejście do procesu projektowania jest ważne ze względu na ogromną złożoność takich konstrukcji w dużej mierze uniemożliwiającej dodatkowe modyfikacje po zakończeniu prac ze względu m.in. na koszty oraz czas.

Poprawne wykonanie symulacji wymaga dokładnego przygotowania modelu numerycznego jak i szeregu danych wejściowych. Przygotowania modelu obejmuje odpowiednie dobranie wielkości elementów skończonych, określenie wielkości modelu (głównie obszar gleb), zastosowanie odpowiednich warunków brzegowych uniemożliwiających odbijanie się drgań od krańcowych węzłów. Dane wejściowe dotyczą przede wszystkim dokładnych danych materiałowych dotyczących zarówno budynków, tunelu jak i gleby. W skład gleby mogą wchodzić zarówno różnego typu piaski (piaski drobne, pylaste, gliniaste), gliny (piaszczyste, zwałowe), żwiry, lessy itd. Każda z tych warstw charakteryzuje się innymi własnościami wytrzymałościowymi oraz różnym poziomem tłumienia.

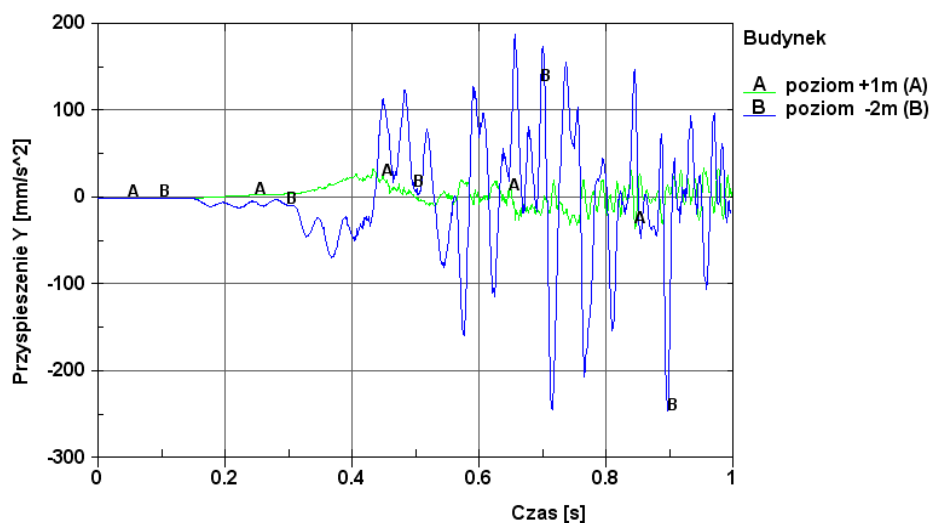
Symulacja przejazdu pociągu wymaga dokładnej znajomości podstawowych parametrów taboru takich jak maksymalna prędkość przejazdu, maksymalny nacisk na oś, ilość wagonów w taborze oraz podstawowe wymiary geometryczne (baza wózków, długość wagonów itd.) pozwalające szczegółowo określić moment przejazdu danego zestawu kołowego przez tory. Takie dane pozwalają przygotować widmo sił obciążających symulowany odcinek torów. Dodatkowo istnieje możliwość uwzględnienia nierówności torów na bazie innych torowisk co jest przyczyną największych drgań wymuszanych przez przejeżdżający pociąg. Na rysunku 2 pokazano przykładową konfigurację modelu dla planowanego tunelu w mieście Łódź, uwzględniającą takie parametry jak: głębokość posadowienia tunelu, wymiary geometryczne tunelu, głębokość budynku pod oraz nad poziomem gruntu oraz układ ścian budynku.



**Rys. 2.** Przykładowy model numeryczny wraz z powiększonym fragmentem siatki elementów skończonych torowiska.

Źródło: [1]

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy wynik symulacji przyspieszenia dla dwóch punktów pomiarowych na budynku umiejscowionych pod i nad poziomem gruntu.



**Rys 3.** Przykładowy przebieg przyspieszenia dla budynku

Źródło: [1]

Takie podejście cechowało realizowanie prac badawczych prowadzonych w latach 1980-2009 w których przeprowadzono pomiary drgań torowisk i rozchodzenia się fali drganiowej od między innymi na następujących liniach kolejowych i tramwajowych:

1. Centralna Magistrala Kolejowa na odcinku Psary Tunel,
2. trasa E20 Warszawa-Kunowice,
3. pomiary drgań w Krakowie, Łodzi, Bydgoszczy oraz ocena i prognoza wpływu oddziaływań dynamicznych od pojazdów tramwajowych,
4. przejazdy kolejowo-drogowe w Trzebini i Lubinie.

W celu wykonania pełnej oceny środowiskowej wpływu drgań od pojazdów szynowych i samochodowych winien być prowadzony ciągły monitoring na budowanej a następnie eksploatowanej inwestycji.

### **3. MONITORING ODDZIAŁYWANIA PLANOWANEGO PRZEDSIĘWZIĘCIA NA ETAPIE BUDOWY I EKSPLOATACJI**

Ze względu na bezpieczeństwo budynków mieszkalnych i mieszkańców zlokalizowanych Łodzi w okolicy planowanej linii kolejowej KDP przedstawiono następujące koncepcje monitorowania drgań budynków. Założono, że ma ona spełniać normy bezpieczeństwa zawarte w normatywach PN-85/B-02170 oraz PN-88/B-02171. Zaproponowano się dwa alternatywne rozwiązania monitorowania drgań budynków:

1. bezpośrednie monitorowanie drgań budynków poprzez instalację czujników drganiowych na każdym budynku znajdujących się nad lub w bezpośrednim sąsiedztwie linii tunelu KDP na całym odcinku,
2. pośrednie monitorowanie drgań budynków poprzez instalację czujników drganiowych wzdłuż linii tunelu KDP.

Pierwsze rozwiązanie pozwala na stworzenie kompletnej mapy drgań budynków bezpośrednio z pomiarów dokonanych na budynkach. W takim podejściu na koszt instalacji czujników, których liczba byłaby wielokrotnością ilości monitorowanych budynków, jest poza ceną odpowiednich układów elektronicznych uzależniony od pozwoleń budowlanych na możliwość instalacji systemu do monitorowania drgań.

W drugim rozwiązaniu uzyskuje się prognozę drgań budynków na podstawie drgań podtorza metra. Rozwiązanie zakładałoby instalację czujników wzdłuż torów linii tunelu KDP w miejscach znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu budynków, których drgania będą mierzone. Pomiar drgań byłby dokonywany na podstawie modeli matematycznych gruntów znajdujących się wokół metra. Modele takie są stworzone i przetestowane.

Szacowanie oddziaływań dynamicznych powinno być przeprowadzone na każdym z etapów realizacji inwestycji czyli na etapie planowania, realizacji oraz eksploatacji.

#### **3.1. Szacowanie oddziaływań dynamicznych na etapie planowania**

W przypadku planowania budowy tras KDP w terenach o gęstej zabudowie zaleca się wykonanie szczegółowych analiz i ekspertyz w zakresie odporności obiektów budowlanych na oddziaływania dynamiczne mogące powstać w trakcie budowy trasy. Zakres tych prac powinien obejmować:

1. inwentaryzację źródeł drgań maszyn i urządzeń budowlanych i określenie zasięgu stref ich wpływów,
2. ocenę wpływu tych drgań na obiekty budowlane znajdujące się w strefie wpływów dynamicznych,
3. wykonanie (przed rozpoczęciem prac budowlanych) inwentaryzacji uszkodzeń obiektów budowlanych położonych w strefie wpływów poszczególnych źródeł drgań od maszyn i urządzeń budowlanych,



4. określenie tych przypadków, w których konieczne jest wykonanie pomiarów drgań na obiektach budowlanych i określenie na tej podstawie możliwości wykonania robót budowlanych oraz ewentualnych sposobów ochrony obiektów budowlanych przed drganiami wywołanymi tymi robotami (np. dobór parametrów pracy urządzeń, aby zminimalizować wpływ drgań na konstrukcję),
5. zaprojektowanie wibroizolacji podtorza szynowego na podstawie przeprowadzonych prognoz,
6. szczegółowe projekty zabezpieczenia tych zagrożonych obiektów budowlanych
7. opracowanie i zrealizowanie systemu monitorowania wpływu drgań na obiekty budowlane znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie inwestycji

### **3.2. Monitorowanie drgań na etapie realizacji**

W trakcie realizacji inwestycji koniecznym jest:

1. okresowe badanie tła dynamicznego tj. wpływów dynamicznych na istniejącą zabudowę pochodzących z prowadzonych prac budowlanych,
2. w przypadku pojawiających się zagrożeń dla istniejącej infrastruktury budowlanej zabezpieczanie ich konstrukcji przed uszkodzeniami.

### **3.3. Monitorowanie drgań na etapie eksploatacji**

Zalecany zakres prac przed eksploatacją:

1. monitorowanie stanu technicznego (uszkodzeń) obiektów budowlanych znajdujących się w strefie oddziaływań dynamicznych od trasy KDP,,
2. badanie zmian tła dynamicznego tj. wpływów dynamicznych na istniejącą zabudowę pochodzących z nowego źródła drgań - ruchu kolejowego,
3. analiza wpływu drgań na istniejące obiekty budowlane wywołane eksploatacją inwestycji w następującym zakresie:
  - obliczenia symulacyjne wpływu drgań i określenie przewidywanego poziomu tych wpływów,
  - propozycja zabezpieczeń dla przypadków tego wymagających,
4. wykonanie kontrolnych pomiarów drgań obiektów budowlanych na realizowanych poszczególnych odcinkach inwestycji.

Na podstawie przedstawionych rozważań należy stwierdzić że na trakcie eksploatacji linii KDP zalecane stałe monitorowanie oddziaływań dynamicznych od ruchu kolejowego na obiekty budowlane znajdujące się w bezpośrednim

## **PODSUMOWANIE**

Analizując wyniki przeprowadzonych przez autora badań można stwierdzić, że w związku z tym, że w analizowanej inwestycji tunel będzie przebiegał bezpośrednio pod budynkami konieczne jest opracowanie szczegółowych ekspertyz odnoszących się do tych budynków, zwłaszcza w zakresie ich odporności na drgania zarówno na etapie realizacji jak i eksploatacji. Dla każdego przypadku, w którym zostaną stwierdzone negatywne oddziaływania należy opracować szczegółowy projekt zabezpieczeń tych obiektów przed drganiami. Diagnoza dotycząca oceny wpływu drgań na środowisko nowoprojektowanych inwestycji kolejowych, tramwajowych i samochodowych powinna obejmować:

1. analizę możliwych tras,
2. pomiary drgań na przyjętej do realizacji trasie,
3. przeprowadzenie symulacji wpływu drgań na środowisko i konstrukcje inżynierskie zarówno na etapie budowy jak i eksploatacji,
4. monitoringu w trakcie budowy jak również po jej zakończeniu.

## BIBLIOGRAFIA

1. Adamczyk J., Targosz J., Stryczniewicz L., Brożek G., *Raport o oddziaływaniu na środowisko planowanego przedsięwzięcia dotyczącego budowy linii kolejowej, na odcinku od dworca Łódź Fabryczna w kierunku dworca Łódź Kaliska do linii nr 14 i 25 oraz linii 15, której głównym elementem jest tunel średnicowy z podziemnymi przystankami oraz tunel KDP*, opracowanie firmy Inter-Eko Sp. z o.o. Kraków, listopad 2011.
2. Bednarz J., Targosz J., *Eksperymentalna analiza rozchodzenia się drgań w gruncie wywołanych przejazdem pojazdów szynowych*, Logistyka, nr 6, str. 153-160, 2011.
3. Bednarz J., Targosz J., *Experimental verification of the developed soil model describing the propagation of vibration wave in the ground*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 19, no. 3, str. 31–39, 2012.
4. Bednarz J., Targosz J., *Finite elements methods in analysis of propagations of vibrations wave in the soil*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 18, no. 3, str. 19–25. 2011.
5. Bednarz J., *Zastosowanie metody elementów skończonych w analizie drgań gruntu*, TTS - Technika Transportu Szynowego, nr 9, str. 2215-2222, 2012.
6. Ciesielski R., Maciąg E., *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*, WKŁ, Warszawa 1990.
7. Hassen G, de Buhan P, Abdelkrim M., *Finite element implementation of a homogenized constitutive law for stone column-reinforced foundation soils, with application to the design of structures*, Computers and Geotechnics, vol. 37, str. 40-49, 2010.

## PROGNOSIS OF THE DYNAMIC IMPACTS FROM PLANNED RAILWAY ROUTE ON ENVIRONMENT

### *Abstract*

*The paper presents the principles and methodology for analysing the dynamic impacts from newly designed rail transport routes for high-speed rail. These type of interactions and, in particular, the nature of vibration propagation should be taken into account in any environmental opinion prepared for newly designed rail transport routes. The article presents the steps of assessment of dynamic impacts, which should be a basic methodology in the process of design and construction of rail transport routes.*

### **Autorzy:**

dr inż. **Jarosław Bednarz** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Robotyki i Mechatroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: bednarz@agh.edu.pl