

# BADANIA NAUKOWE W INSTYTUCIE DRÓG I MOSTÓW

SCIENTIFIC RESEARCH OF THE  
INSTITUTE OF ROADS AND BRIDGES

---

Praca zbiorowa pod redakcją  
Piotra Olszewskiego

Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechniki Warszawskiej



Monografia jubileuszowa  
Instytutu Dróg i Mostów

---

ISBN 978-83-8156-018-4

Warszawa 2019  
Oficina Wydawnicza Politechniki Warszawskiej

# MECHANIKA TEORETYCZNA I JEJ ROZWINIĘCIE W 50-LECIU INSTYTUTU DRÓG I MOSTÓW

*Roman NAGÓRSKI, Artur ZBICIAK*

Po roku 1915, tj. roku odnowienia polskojęzycznej Politechniki Warszawskiej, mechanika teoretyczna stanowiła na bardzo wielu wydziałach Uczelni ważny fragment działalności dydaktycznej i badawczej. Również na wydziałach budowlanych, mimo niedługich okresów względnego kryzysu (co zrozumiałe) i kilkukrotnych zakusów ze strony różnych szczebli władzy pomniejszenia jej roli nauki podstawowej w wykształceniu technicznym (co jest niezrozumiałe). W tym okresie wyróżnić należy „trzy filary” w obszarze budownictwa: Profesora Henryka Czopowskiego, pierwszego Rektora PW, Profesora Kazimierza Zarankiewicza, wybitnego matematyka i mechanika, uczonego światowej sławy w dziedzinie astronautyki oraz współdziałających ze sobą Profesorów Romana Nagórskiego i Wacława Szcześniaka, którzy mechanikę teoretyczną na Wydziale Inżynierii Lądowej wzniesli na najwyższy poziom w obszarze budownictwa.

W okresie 50-lecia istnienia Instytutu Dróg i Mostów mechanika teoretyczna na Wydziale Inżynierii Lądowej była głównie usytuowana w Instytucie Mechaniki Konstrukcji Inżynierskich (IMKI) – w Zespole Mechaniki Teoretycznej, kierowanym kolejno przez dra inż. Stefana Zerycha, doc. dra hab. inż. Romana Nagórskiego i prof. dra hab. inż. Wacława Szcześniaka (z inicjatywy tego drugiego Zespół został w roku 1998 przekształcony, wraz z pozostałymi zespołami w Instytucie, w Zakład, a więc w jednostkę o większej randze w strukturze PW).

Po rozwiązaniu IMKI w roku 2009, mechanika teoretyczna została zaimplementowana w Instytucie Dróg i Mostów, w nowopowstałym – z inicjatywy prof. Romana Nagórskiego i dzięki poparciu ówczesnego dziekana, prof. Henryka Zobla oraz dyrektora Instytutu, prof. Wojciecha Radomskiego – Zakładzie Mechaniki Teoretycznej i Mechaniki Nawierzchni Komunikacyjnych (ZMTMNK). W ten sposób, niejako „przy okazji”, ten ważny dział mechaniki

konstrukcji, jakim jest mechanika nawierzchni drogowych, szynowych i lotniskowych, znalazł się pierwszy raz w Polsce w nazwie jednostki statutowej wyższej akademickiej uczelni technicznej. Oprócz profesorów Romana Nagórskiego i Waclawa Szcześniaka w Zakładzie znaleźli zatrudnienie, między innymi młodzi i zdolni doktorzy habilitowani Lesław Kwaśniewski i Artur Zbiciak, doktorzy Magdalena Ataman, Marek Rudnicki i Piotr Wiśniakowski oraz kilku młodych zdolnych absolwentów Wydziału Inżynierii Lądowej (specjalizacji Teoria Konstrukcji), w kolejności Rafał Michalczyk, Magdalena Złotowska i Paweł Tutka (ten pierwszy od października 2018 doktor nauk technicznych).

Pierwszym kierownikiem ZMTMNK został prof. Waclaw Szcześniak (specjalista także w zakresie mechaniki nawierzchni szynowych i obciążeń ruchomych w budownictwie komunikacyjnym), kolejnym dr hab. inż. Lesław Kwaśniewski, prof. PW (niestety przedwcześnie zmarły w r. 2014), a następnie dr hab. inż. Artur Zbiciak, prof. PW.

Profesor Roman Nagórski pełnił w latach 2011-2016 funkcję dyrektora Instytutu Dróg i Mostów (będąc także specjalistą w zakresie mechaniki nawierzchni drogowych, m.in., głównym współautorem i redaktorem naukowym pierwszej w kraju monografii w tej dziedzinie [1]). W roku 2019 Zakład MTMNK został przekształcony w Zakład Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych (ZMTNDS), a jego kierownikiem został dr hab. inż. Artur Zbiciak, prof. uczelni (specjalista w zakresie modelowania konstytutywnych właściwości materiałów, teorii plastyczności i mechaniki nawierzchni komunikacyjnych). W efekcie tego, w Zakładzie znaleźli się dodatkowo pracownicy: doktorzy (adiunkci) Wojciech Oleksiewicz i Marek Pawlik oraz młodzi zdolni absolwenci Wydziału – Karol Brzeziński i Cezary Kraśkiewicz (ten pierwszy od lipca 2017 r. jest doktorem nauk technicznych).

W 50-leciu Instytutu Dróg i Mostów, w tym w okresie ostatniego 10-lecia w jego jednostce organizacyjnej, mechanika teoretyczna budowała, a następnie ugruntowywała swoją wysoką pozycję nauki podstawowej w drzewie nauk inżynierii lądowej (tj. budownictwa kubaturowego i budownictwa komunikacyjnego) – zarówno w obszarze dydaktyki jak też badań naukowych – głównie począwszy od lat 80-tych za sprawą działalności Profesorów Romana Nagórskiego i Waclawa Szcześniaka, ale nie tylko. Powstał podręcznik autorstwa R. Nagórskiego „Zarys mechaniki teoretycznej” [2], rozbudowany następnie do pozycji dwutomowej „Mechanika teoretyczna” [3], przy współautorstwie W. Szcześniaka, z oryginalnym ujęciem przedmiotu mechaniki teoretycznej w skali wydziałów budownictwa. Pozycje te zainicjowały powstanie serii kolejnych, podręczników, monografii i zbiorów zadań, głównie autorstwa W. Szcześniaka – łącznie 11 pozycji książkowych, stanowiących zestaw bez precedensu w skali kraju, o różnym charakterze, w tym o charakterze naukowym, adresowany do różnych grup czytelników, zawierający oryginalny wykład treści teoretycznych i niezwykle bogaty zbiór zagadnień i zadań praktycznych, w większości oryginalnych i nietrywialnych (patrz np. [4, 5]). Warstwa nauko-

wo-badawcza omawianego rozwoju mechaniki teoretycznej obejmuje ogólne zagadnienia matematycznego modelowania w mechanice (np. teorii modelowania, modelowania przeliczalnego, nierówności wariacyjnych, inkluzji różniczkowych i in.) jak też praktyczne zagadnienia dynamiki układów o skończonej liczbie stopni swobody, prezentowane w pozycjach monograficznych, artykułach naukowych i referatach na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Włączenie Zakładu Mechaniki Teoretycznej w struktury Instytutu Dróg i Mostów oraz towarzyszące temu procesowi przekształcenie – najpierw w Zakład Mechaniki Teoretycznej i Mechaniki Nawierzchni Komunikacyjnych (2009), a następnie w Zakład Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni w Dróg Szynowych (2019) – przyniosło wiele korzyści. Przede wszystkim umożliwiło rozwinięcie tematyki badawczej o praktyczne zagadnienia w zakresie konstrukcji mostowych, drogowych i kolejowych, szczególnie takich obszarach wymienionych dziedzin, w których niezbędna jest praca w interdyscyplinarnych zespołach badawczych. Nie bez znaczenia była i jest bardzo dobra atmosfera do podejmowania takiej współpracy, panująca w Instytucie. Ponadto, w wyniku przekształceń Zakładu Mechaniki Teoretycznej, w jednej jednostce organizacyjnej znaleźli się pracownicy badawczo-dydaktyczni reprezentujący nie tylko różne dziedziny szeroko pojętej mechaniki konstrukcji inżynierskich, ale także specjaliści w zakresie projektowania, technologii i utrzymania konstrukcji drogowo-lotniskowych i szynowych.

Główny nurt prac badawczych Zakładu Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych obejmuje zagadnienia dynamiki konstrukcji inżynierskich oraz mechaniki i projektowania nawierzchni drogowo-lotniskowych i kolejowych, zagadnienia mechaniki gruntów oraz interakcji podłoża z konstrukcją. Szczególne miejsce w tych zagadnieniach zajmuje problematyka drgań konstrukcji wywołanych ruchomymi obciążeniami oraz niegładkie zagadnienia mechaniki analitycznej (więzy jednostronne, tarcie i zderzenia w układach mechanicznych). Zainteresowania naukowe i aplikacyjne pracowników Zakładu dotyczą również modelowania konstytutywnych właściwości materiałów inżynierskich (mieszanki mineralno-asfaltowe, beton cementowy, grunty, materiały z pamięcią kształtu) oraz metod numerycznej analizy konstrukcji z wykorzystaniem zaawansowanego oprogramowania MES (ABAQUS, LS-DYNA, COMSOL, ANSYS).

W zakresie dróg szynowych, zainteresowania badawcze i aplikacyjne pracowników ZMTNDS dotyczą zagadnień analizy konstrukcji i oceny stanu nawierzchni szynowych (kolej, tramwaj, metro, koleje przemysłowe); badań izolatorów wibroakustycznych stosowanych w konstrukcjach nawierzchni szynowych i ich doboru w celu redukcji oddziaływań ruchu pojazdów szynowych w postaci hałasu i wibracji; ekspertyz dotyczących jakości dokumentacji technicznych (SIWZ, projekty budowlane, wykonawcze, STWiORB) w projektach budowy i modernizacji linii kolejowych, tras tramwajowych i układów torowych bocznic przemysłowych; opinii w zakresie oceny przyczyn awarii oraz ocen

stanu eksploatacyjnego lub powykonawczego konstrukcji i układu geometrycznego nawierzchni dróg szynowych, przejazdów kolejowo-drogowych i bocznic przemysłowych.

Pracownicy Zakładu Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych wykazują dużą aktywność w pozyskiwaniu ekspertyz, opracowań naukowo-badawczych i innych prac zleczanych przez podmioty gospodarcze i jednostki administracji. Wśród tematów realizowanych w ostatnich latach znajdują się m. in.: (i) zagadnienia dotyczące oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynki, obiekty i urządzenia infrastruktury technicznej oraz na ludzi w budynkach; (ii) wymiarowanie konstrukcji nawierzchni betonowych na odcinkach dróg krajowych i autostrad (w tym wzmacnianie istniejących konstrukcji); (iii) analizy projektowe w zakresie optymalizacji układu warstw konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych; (iv) badania laboratoryjne elementów składowych konstrukcji nawierzchni szynowych; (v) opinie techniczne i sądowe dotyczące infrastruktury dróg szynowych (poprawność dokumentacji projektowej, przyczyny usterek i awarii); (vi) oceny i wyceny ryzyka (infrastruktura i tabor).

Obecnie, aktywność naukowo-badawcza pracowników ZMTNDS koncentruje się głównie wokół zagadnień związanych z redukcją hałasu i wibracji emitowanych przez kolej. Od czerwca 2018 r., na Wydziale Inżynierii Lądowej PW są realizowane dwa granty badawcze BRIK (*Badania i Rozwój w Infrastrukturze Kolejowej*) związane z tą tematyką, przy udziale konsorcjantów: Instytut Kolejnictwa, Instytut Ochrony Środowiska, Budimex S.A. i Tines S.A. Granty są finansowane ze środków NCBiR i PKP PLK.

Przedmiotem pierwszego projektu (kierownik dr hab. inż. A. Zbiciak) jest opracowanie innowacyjnych rozwiązań w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego. W ramach prac przewiduje się opracowanie kilku wyrobów, przeznaczonych do podsypkowych konstrukcji nawierzchni kolejowej (maty wibroizolacyjne podtłuczniowe i podkładki podpodkładowe) oraz bezpodsypkowych (maty wibroizolacyjne podpłytkowe i system blokowych podpór szynowych w otulinie). Dodatkowym celem jest opracowanie wytycznych stosowania urządzeń ograniczających drgania od ruchu kolejowego, określających ich skuteczność oraz zakres stosowania. W trakcie projektu, składającego się z dziesięciu etapów, prototypowe urządzenia zostaną opracowane i kompleksowo przebadane w warunkach laboratoryjnych oraz przetestowane w warunkach operacyjnych. W początkowych etapach zostały opracowane innowacyjne rozwiązania będące wynikiem optymalizacji materiałowej, geometrycznej i symulacji komputerowych. Są one obecnie badane w warunkach laboratoryjnych pod kątem skuteczności tłumienia drgań, trwałości i odporności na warunki atmosferyczne. Następnie, urządzenia zostaną wyprodukowane oraz zabudowane na poligonie badawczym toru doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Badania wyrobów prowadzone w ramach grantu mają na celu ocenę ich skuteczności w ograniczeniu drgań o niskiej częstotliwości, które

są źródłem wibracji. Ich miarą będzie tłumienie dodane – tzn. stosunek poziomu drgań układu konstrukcji nawierzchni kolejowej z wibroizolatorem względem układu referencyjnego (bez wibroizolatora). Dodatkowo, wyroby zostaną przebadane przez Instytut Ochrony Środowiska pod kątem skuteczności ograniczania drgań o wysokich częstotliwościach.

Drugi z przedmiotowych projektów BRIK (kierownik mgr inż. C. Kraśkiewicz), dotyczy ochrony ludzi i środowiska przed hałasem od ruchu kolejowego. W ramach prac przewiduje się opracowanie dwóch typów urządzeń (tłumiki przyszynowe i tłumiki torowe). Dodatkowym celem będzie opracowanie wytycznych stosowania urządzeń ograniczających hałas na liniach kolejowych. Urządzenia te są projektowane, opracowywane i testowane w warunkach operacyjnych w trakcie projektu składającego się z siedmiu etapów. Na obecnym etapie, są opracowywane innowacyjne rozwiązania, dzięki analizie mechanizmów powstawania i ograniczania hałasu oraz symulacjom komputerowym odwzorowującym działanie projektowanych urządzeń. Rozwiązania zostaną dopracowane pod względem technicznym i zabudowane na poligonie doświadczalnym. Wstępne badanie tłumików przyszynowych ma na celu ocenę ich skuteczności w ograniczeniu drgań szyn o wysokiej częstotliwości, które są źródłem hałasu. Miarą skuteczności ograniczenia drgań wysokiej częstotliwości jest zwiększenie dekrementu tłumienia toru (ang. *Track Decay Rate* – *TDR*). Jest to parametr odwzorowujący charakterystykę dynamiczną toru, związany z prędkością zanikania drgań wzdłuż szyny. Następnie, wszystkie typy urządzeń zostaną przebadane pod kątem skuteczności ograniczania hałasu przez Instytut Ochrony Środowiska. Wyniki badań polowych posłużą walidacji modeli numerycznych, poprawieniu prototypów oraz opisów do zgłoszeń patentowych urządzeń, a także do opracowania wytycznych ograniczania hałasu na liniach kolejowych.

Mamy nadzieję, że prace realizowane w ZMTNDS, w ramach wymienionych grup zagadnień, przy współpracy z innymi zakładami Instytutu i Wydziału, przyczynią się do pogłębienia znajomości problematyki projektowania konstrukcji, wibroizolacji i akustyki, mechaniki ośrodków ciągłych i metod numerycznych. Liczymy również, że współpraca w ramach interdyscyplinarnych zespołów badawczych zaowocuje opracowaniem wytycznych i rozwiązań konstrukcyjnych, szczególnie na etapie realizacji grantów, prac zleconych i rozpraw doktorskich. Cele te stawiają sobie pracownicy Zakładu Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych na 50-lecie Instytutu Dróg i Mostów, mając świadomość odpowiedzialności jaką niesie ze sobą kontynuowanie bogatej tradycji związanej z katedrami prowadzącymi badania naukowe i kształcącymi studentów w zakresie mechaniki teoretycznej i dróg szynowych. Tradycji, której korzenie sięgają początków Politechniki Warszawskiej [6].

## Bibliografia

- [1] Nagórski R. [red.]: Mechanika nawierzchni drogowych w zarysie. PWN, Warszawa 2014.
- [2] Nagórski R.: Zarys mechaniki teoretycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [3] Nagórski R., Szcześniak W.: Mechanika teoretyczna. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
- [4] Szcześniak W.: Zbiór zadań z mechaniki teoretycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Kinematyka. Warszawa 2006, Statyka. Warszawa 2010, Dynamika (współautor R. Nagórski). Warszawa 2008
- [5] Szcześniak W.: Dynamika teoretyczna w zadaniach dla dociekliwych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- [6] 100-lecie Odnowienia Tradycji Wydziału Inżynierii Lądowej. Praca zbiorowa, red. G. Borończyk-Płaska i H. Zobel. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.