

ZBIGNIEW ENGEL
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy
Akademia Górniczo-Hutnicza

Wibroakustyka – jedna z dziedzin nauki XXI wieku

Wibroakustyka po długim okresie walki o swoje „obywatelstwo” weszła na stałe do słownika technicznego – i to jako wyodrębniona dyscyplina naukowa. Jest to dziedzina wiedzy wiążąca zagadnienia wielu dyscyplin naukowych, m.in. teorii drgań, akustyki technicznej, dynamiki maszyn, informatyki.

Wibroakustyka zajmuje się wszelkimi procesami drganiowymi i akustycznymi zachodzącymi w przyrodzie, technice, maszynach, urządzeniach, środkach transportu, a więc w środowisku.

Ta nowa dziedzina nauki powstała i została zdefiniowana w Polsce przed blisko czterdziestu laty. A było to możliwe, gdyż w naszym kraju rozwijała się mechanika i akustyka. Znana była polska szkoła drgań rozwijana przez Profesora Stefana Ziembę oraz Jego współpracowników i uczniów, m.in. Władysława Bogusza, Romana Gutowskiego, Zbigniewa Osińskiego, Kazimierza Piszczka, Józefa Więckowskiego. Drugą dyscypliną naukową, która w znaczący sposób przyczyniła się do powstania wibroakustyki była akustyka.

Do rozwoju polskiej akustyki przyczyniły się prace Marka Kwieka, Edmunda Karaśkiewicza, Ignacego Maleckiego, Stefana Czarnieckiego i wielu innych.

Efektom rozwoju polskiej szkoły drganiowej była technika wibracyjna, która w Polsce rozwijała się w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego stulecia.

Celem użytecznym wibroakustyki jest obniżenie zakłóceń drganiowych i akustycznych maszyn, urządzeń, instalacji oraz ich otoczenia do minimum możliwego na danym etapie wiedzy i technologii, a także wykorzystanie informacji zawartych w sygnale wibroakustycznym do oceny jakości maszyn, urządzeń, budowli itp. oraz realizowanych

procesów technologicznych. Do zagadnień wibroakustycznych można podchodzić z dwóch punktów widzenia.

Z jednej strony zjawiska wibroakustyczne stanowią procesy szkodliwe, pasożytnicze, ujemnie wpływające na ludzi oraz na same maszyny i urządzenia.

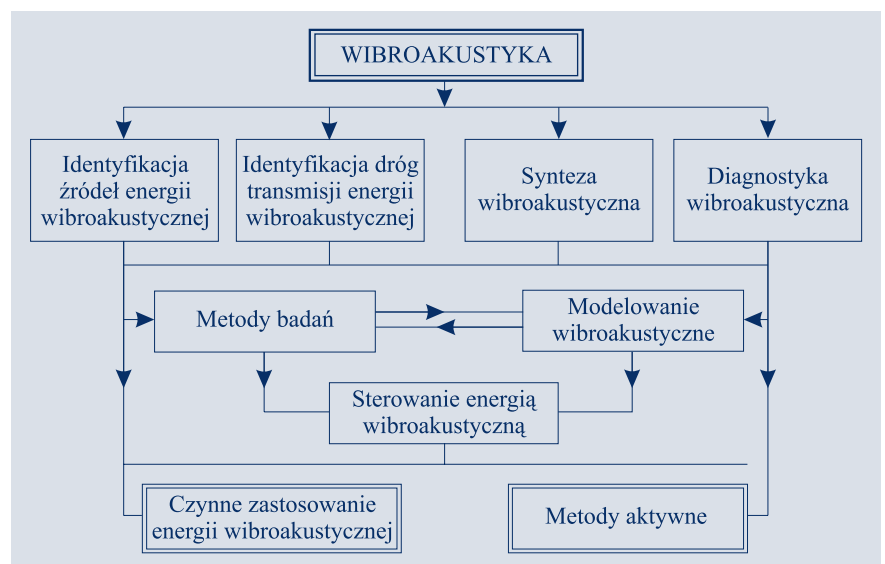
Wpływają one na żywotność i niezawodność maszyn i urządzeń. Z drugiej strony drgania o różnych częstotliwościach od kilku do kilkuset tysięcy Hz mogą być czynnikiem pożytecznym i produkcyjnym, celowo wprowadzanym przez konstruktorów do realizacji zadań postawionych maszynie lub urządzeniu.

Obojętnie czy procesy wibroakustyczne celowo wprowadzamy w celu realizacji różnych procesów, czy występują one samoistnie, należy zawsze pamiętać o użytecznym celu wibroakustyki, tj. o obniżeniu zakłóceń drganiowych i akustycznych przechodzących do środowiska, tak aby one nie wpływały ujemnie na ludzi.

Zadania wibroakustyki

Zadania wibroakustyki zostały sformułowane z chwilą powstania tej nowej dziedziny wiedzy. W niektórych pracach uczonych zagranicznych z ostatnich lat, pojęcie i zakres wibroakustyki, sprowadza się do „akustyki strukturalnej”, która koncentruje się na zależnościach, efektach i charakterystykach zachodzących pomiędzy zjawiskami drganiowymi występującymi w strukturze ciała (materiale) a zjawiskami akustycznymi zachodzącymi w środowisku otaczającym te ciała. W tym przypadku wibroakustyka sprowadza się do badania promieniowania dźwięku przez drgające struktury, badania przenoszenia energii przez elementy struktury oraz wibracyjną odpowiedź struktury na działanie fal akustycznych.

Na rysunku przedstawiono schematycznie zadania wibroakustyki. Można je sformułować w następujący sposób:



Rys. Zadania wibroakustyki

- **Identyfikacja źródeł energii wibroakustycznej**, która polega na zlokalizowaniu źródeł w obrębie obiektu, maszyny, urządzenia. Następnie należy podać charakterystyki źródeł, określić współzależność między poszczególnymi źródłami, określić moc wibroakustyczną poszczególnych źródeł, a także podać charakter generacji drgań i dźwięków.

- **Identyfikacja dróg transmisji energii wibroakustycznej** w określonym środowisku (budowlach, maszynach, obiektach, urządzeniach itp.). Opracowanie teorii transformacji i przenoszenia energii, rozdzielanie sygnałów wibroakustycznych, opracowanie biernych i czynnych metod kontroli zjawisk, opracowanie metod analizy na pograniczu falowego i dyskretnego ujęcia zjawisk.

- **Diagnostyka wibroakustyczna** wykorzystująca sygnały emitowane przez maszyny, urządzenia itp. Sygnały wibroakustyczne zawierają informacje o stanie zdrowia, stanie obiektu, stanie maszyny. Te własności sygnałów są często wykorzystywane zarówno w diagnostyce medycznej, jak również w diagnostyce maszyn i urządzeń oraz badaniach nieniszczących ich elementów. Zasady diagnostyki wibroakustycznej stosowane są w każdej fazie istnienia maszyn i urządzeń: w konstruowaniu, wytwarzaniu i eksploatacji, a także przy sterowaniu procesami wibroakustycznymi.

- **Synteza wibroakustyczna maszyn, obiektów oraz sygnałów.** Zadania syntezy można podzielić na dwie grupy zagadnień: synteza parametrów opisujących pole akustyczne, względnie synteza wielkości stosowanych w metodach aktywnych, synteza dźwięków w akustyce mowy oraz synteza maszyn i obiektów, przez co rozumiemy syntezę strukturalną, kinematyczną i dynamiczną prowadzącą do uzyskania odpowiedniej aktywności wibroakustycznej.

- **Czynne zastosowanie energii wibroakustycznej.** Procesy wibroakustyczne nie zawsze muszą być procesami szkodliwymi. Zastosowane celowo przy użyciu odpowiednich środków zabezpieczających mogą być efektyw-

nym nośnikiem energii, która może być wykorzystana do realizacji różnych procesów technologicznych (np. czyszczenie ultradźwiękowe, transport wibracyjny, wibracyjne zagęszczanie materiałów, gruntów, czyszczenie odlewów). Czynne zastosowanie energii wibroakustycznej jest związane z kontrolowanym wykorzystaniem tej energii pod warunkiem maksymalnej efektywności energetycznej i minimalnych zakłóceń zewnętrznych.

- **Opracowanie metod kontroli emisji, propagacji i imisji energii wibroakustycznej w środowisku**, w tym również maszynach i urządzeniach, a także opracowanie metod sterowania procesami wibroakustycznymi, co się łączy z tzw. metodami aktywnymi. Podstawową cechą układów aktywnych jest to, że zawierają one zewnętrzne źródło energii. Układy te odpowiednio sterowane mogą dostarczać lub absorbować energię wibroakustyczną, w określony sposób z dowolnych miejsc układu. Metody sterowania procesami wibroakustycznymi stanowią nowy dział nauki szybko rozwijający się i mający już szereg praktycznych zastosowań.

Wszystkie maszyny, urządzenia, obiekty znajdujące się w środowisku tworzą złożony układ fizyczny, który pozwala przez zastosowanie odpowiednich uproszczeń przejść do modelu mechanicznego, a następnie do modelu wibroakustycznego. Modelowanie wibroakustyczne należy również do ważnych zagadnień wibroakustyki.

Przedstawione w skrócie zadania wibroakustyki są przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych, nie tylko polskich, lecz całego świata. Do ośrodków tych należy zaliczyć Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Od wielu lat w tym instytucie prowadzone są badania w ramach różnych projektów badawczych węzłowych, strategicznych, wieloletnich, a także w ramach zadań statutowych.

Prace naukowo-badawcze dotyczą metod obniżania zagrożeń wibroakustycznych na stanowiskach pracy, identyfikacji źródeł energii wibroakustycz-

nej oraz identyfikacji dróg przenoszenia energii wibroakustycznej. Na specjalne podkreślenie zasługują prace CIOP-PIB dotyczące metod aktywnych redukcji hałasu w maszynach i urządzeniach.

Z szeroko pojętej wibroakustyki w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym przygotowano kilka rozpraw doktorskich i opracowywane są dalsze, a także powstają prace habilitacyjne.

Czynne zastosowanie energii wibroakustycznej (technika wibracyjna)

Zarówno drgania mechaniczne jak i akustyczne, o różnych częstotliwościach, mogą być wykorzystywane do realizacji różnych procesów, w tym procesów technologicznych. Wśród tych procesów można wymienić: transport wibracyjny; wibropograżanie, wibrowyciąganie, wibrowiercenie; rozdrabnianie wibracyjne; wibroseparację i segregację materiałów; mielenie wibracyjne; wibracyjne zagęszczanie materiałów, obróbkę wibracyjną, wibracyjne przecinanie, wibracyjne wykańczanie powierzchni; oczyszczanie wibracyjne odlewów i innych wyrobów, ubijanie mas formierskich; odprężanie wibracyjne; wibracyjne przesiewanie zboża, wibracyjne młócenie; zastosowanie drgań o częstotliwościach ultradźwiękowych do obróbki skrawaniem, przeciągania drutu, oczyszczania, drażenia, przecinania; zastosowanie czynne drgań w lecznictwie; wibracyjne narzędzia ręczne – ubijaki, młotki, przecinaki; brykietowanie wibracyjne.

Historycy nauki i techniki nie określili do tej pory początków zastosowania drgań do realizacji wielu czynności, które człowiek od zarania swojej działalności wykonywał. Na pewną genezę techniki wibracyjnej należy szukać w starożytności. Dla przykładu można podać, że Marek Witruwiusz Pollio (I w. p.n.e.), w swoim dziele pt. „O architekturze ksiąg dziesięć” opisuje kafary do wbijania pali i do rozbijania przeskód.

Współczesne kafary pracujące w sposób cykliczny są obecnie powszechnie stosowane, a są to urządzenia wibrouderzeniowe, które zaliczamy do maszyn i urządzeń wibracyjnych. Prace wielu uczonych i wynalazców, począwszy od Sigismunda von Maltiza, Christiana Huygensa, Adama Kochańskiego, aż do prac H. Markusa, H. Heymanna, W. A. Baumana z początków XX wieku przyczyniły się do rozwoju techniki wibracyjnej.

Czynne zastosowanie drgań do realizacji różnych procesów technologicznych było przedmiotem wielu prac naukowych i technicznych wykonywanych w różnych ośrodkach naukowych w Polsce, wśród których należy wymienić: Akademię Górniczo-Hutniczą, Politechnikę – Śląską, Gdańską, Poznańską, Wojskową Akademię Techniczną, Główny Instytut Górnictwa oraz Politechnikę Warszawską.

Przed 40 laty, w 1963 roku z inicjatywy profesora Stefana Ziemby powstał Ogólnopolski Zespół Techniki Wibracyjnej, który organizował dyskusje naukowe, zebrania oraz Ogólnopolskie Sympozja Techniki Wibracyjnej. Niektóre maszyny i urządzenia wibracyjne wykonane na podstawie polskich projektów, wytworzone w kraju cieszyły się uznaniem nie tylko w Polsce.

Musimy pamiętać o tym, iż drgania wprowadzone w celu realizacji zadane-go procesu technologicznego są szkodliwe dla środowiska, a przede wszystkim dla człowieka-operatora. Z tego powodu muszą być wcześniej przewidziane odpowiednie zabezpieczenia antywibracyjne i przeciwhałasowe.

Metody badań procesów wibroakustycznych

Przez procesy wibroakustyczne rozumiemy wszelkie przebiegi drganiowe i akustyczne powiązane ze sobą przyczynowo. Proces wibroakustyczny może być przedstawiony przez:

- analizę generacji zmiennych w czasie sił działających na struktury maszyn i urządzeń oraz otaczające środowisko

- propagację i transformację energii wibroakustycznej

- promieniowanie dźwięków poprzez elementy maszyn, urządzeń, budowli itp.

Do badań procesów wibroakustycznych stosowane są różne metody, któ-

re można podzielić na metody analityczne i dyskretyzacyjne. Stosowane metody są związane z zastosowaniem różnych modeli przy łącznym rozważeniu zagadnień drganiowych i akustycznych. Szerokie możliwości pomiarów wielkości wibroakustycznych, w tym wielkości energetycznych, w istotny sposób rozszerzyły zagadnienia badań promieniowania dźwięku przez różne struktury. Rozwinęły się metody badania ilościowej i jakościowej propagacji energii wibroakustycznej w przestrzeni ze złożonymi obszarami granicznymi. Było to związane z oceną ilościową energii drganiowej zgromadzonej w elementach maszyn, konstrukcji i urządzeń oraz oceną ilościową energii wypromieniowanej przez te elementy. Stąd w ostatnich latach widać dążenie do coraz szerszego zastosowania metod energetycznych w analizie procesów wibroakustycznych.

Stosowane są następujące metody: *Statystycznej analizy energii*, *Metoda elementów skończonych*, *Analiza przepływu mocy akustycznej przy użyciu elementów brzegowych* i *Metoda elementów brzegowych*. Stosowane są również metody natężeniowe.

W ostatnich latach, do badania procesów wibroakustycznych stosuje się tzw. *metody wzajemnościowe* i *metody inwersji*. Bazując na klasycznych sformułowaniach zasady wzajemności, autor sformułował wibroakustyczną zasadę wzajemności: *Proces wibroakustyczny w układzie liniowym, będący odpowiedzią na harmoniczne w czasie wymuszenie, wywołany w pewnym punkcie przez czynnik zewnętrzny jest niezmienny w wyniku zamiany punktów wymuszenia i punktów obserwacji*.

Wibroakustyczna zasada wzajemności została zastosowana do wyznaczenia wibroakustycznej funkcji przejścia, do badania promieniowania dźwięku przez elementy maszyn, okrętów, samolotów itp. Metody inwersyjne są stosowane również do badania procesów wibroakustycznych. Metody te pozwalają na ocenę akustyczną maszyn na podstawie analizy parametrów pola akustycznego w otoczeniu tych maszyn.

Wspomniane metody były stosowane w badaniach prowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w ramach programów wieloletnich, a wyniki badań zostały opublikowane.

* * *

Powstała przed kilkudziesięciami laty nowa dziedzina wiedzy – wibroakustyka zdobyła sobie odpowiednią pozycję i rozwija się w wielu ośrodkach naukowych i technicznych na świecie. Z określeniem „wibroakustyka” spotykamy się na każdym kroku – istnieją instytucje naukowe i firmy z „wibroakustyką” w nazwie, występuje ona w tytułach wielu publikacji, organizowane są seminaria i sympozja naukowe na ten temat oraz odrębne sesje poświęcone wibroakustyce podczas Kongresów Akustyki, Kongresów INTERNOISE, Kongresów Dźwięku i Wibracji. Wiele uczelni technicznych kształci specjalistów w tej dziedzinie.

Wibroakustyka, jako jedna z dziedzin nauki, która powinna być rozwijana w XXI wieku, nie jest nauką zamkniętą. Jej zakres i metody są i powinny być rozwijane. Badania powinny dotyczyć takich m.in. problemów, jak:

- podstawy fizyczne procesów wibroakustycznych

- dalsze badania związane z transformacją i przenoszeniem energii, zastosowanie sieci neuronowych i genetycznych w badaniach procesów wibroakustycznych

- szukanie nowych modeli i metod do badania zjawisk wibroakustycznych.

Powinny być czynione poszukiwania możliwości dalszych zastosowań metod wibroakustycznych w różnych dziedzinach nauki i życia, a przede wszystkim zastosowanie metod wibroakustycznych w medycynie i biologii (systemy antropologiczne).

PIŚMIENNICTWO

[1] Cempel Cz. *Wibroakustyka stosowana*. PWN, Warszawa 1978

[2] Engel Z. Cempel Cz. *Vibroacoustics and its Place in Science*. Bulletin of the Polish Academy Sciences. Tch. Sc. Vol. 49, nr 2, 2001, s. 185 – 198

[3] Engel Z. *Wibroakustyka – polska specjalność naukowa*. Wyd. okolicznościowe AGH, Kraków 2001, s. 25 – 59

[4] Engel Z. *Zasada wzajemności*. Wyd. AGH, Kraków 2000

[5] Engel Z. *Geneza techniki wibracyjnej i wibroakustycznej*. X Konferencja Naukowa WIBROTECH 2003, Kraków 2003

[6] Fahy F.J. *The Role of Experimentation in Vibroacoustics*. Proc. EURONOISE 98, Munich 1998, s. 3 – 14