

Materiały inteligentne oraz bazujące na nich systemy zespolone do zastosowania w lotnictwie

Smart Materials & smart embedded systems in aerospace applications

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Wykorzystanie fal ultradźwiękowych do usuwania nieporządanych warstw osadzających się na strukturze - systemy odśnieżeniowe

Investigation of the feasibility of the ultrasonic de-icing concept

Cel prowadzonych badań:

- analiza możliwości wykorzystania fal ultradźwiękowych do usuwania niepożądanych warstw osadzających się na strukturze (np. oblodzenia),
- opracowanie narzędzi do modelowania fal i drgań w strukturach z aktywnymi elementami piezoelektrycznymi wzbudzanych dużą mocą.

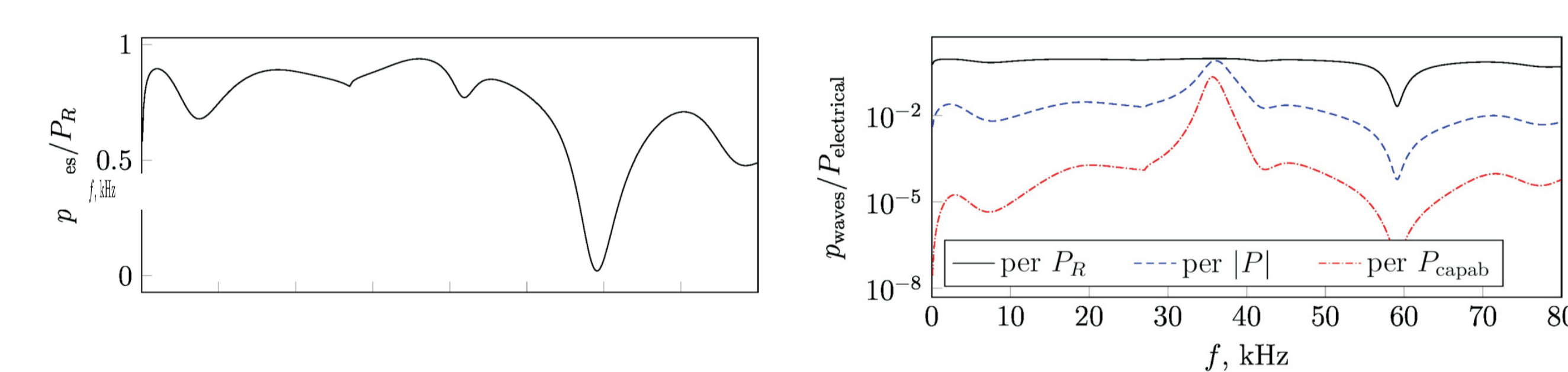
Research aim:

The general research aim is to investigate the feasibility of the ultrasonic de-icing concept. Piezo-actuated structural waves are assessed for capability of generating such interface shear stress that can shed the accreted icing. This is a basis on which modern ultrasonic de-icing systems could possibly be developed. Along with that wave modelling tools for structures with high power PZT active elements are developed. The novelty of the models lies in the description that includes the dynamic interaction between active elements and the structure.

1. Analiza transferu i konwersji mocy w strukturach wzbudzanych aktywnymi elementami piezoelektrycznymi przy pomocy opracowanego modelu falowego

Power transduction and conversion in piezo-actuated structural waveguides

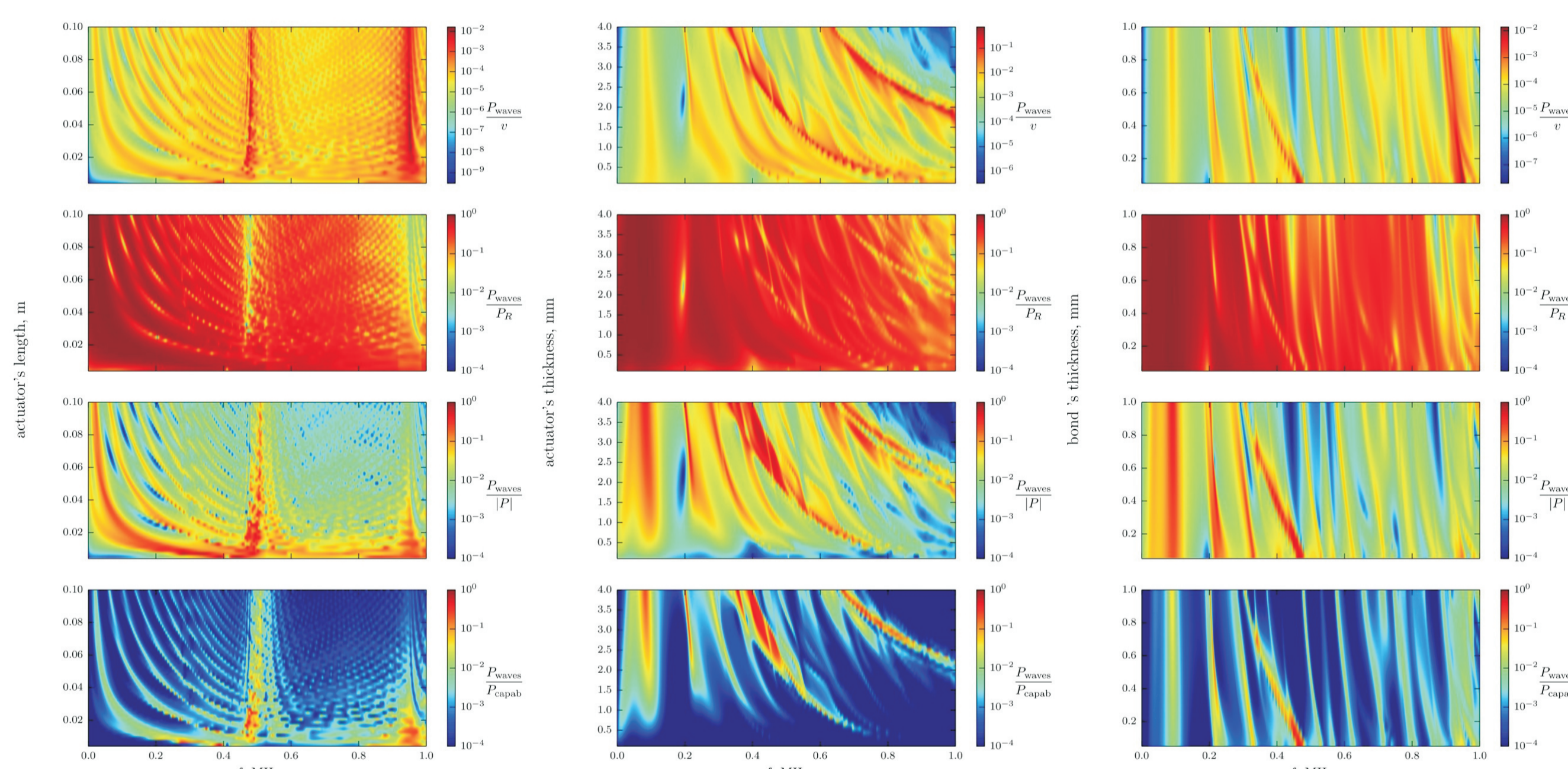
Wykorzystanie fal strukturalnych do usuwania warstw niepożądanych (np. oblodzenia) wymaga wysokiej mocy wzbudzenia. W takim wypadku istotną rolę odgrywa struktura elektrycznego układu wymuszającego, w najprostszym przypadku złożonego tylko ze źródła (wzmacniacz) i odbiornika. Impedancja aktuatora zamocowanego na strukturze jako funkcja częstotliwości wyznacza m.in. efektywność transferu mocy. W pracach badano konwersję mocy elektrycznej na moc mechaniczną propagowaną przez fale strukturalne, w odniesieniu do mocy aktywnej P_R , mocy zespolonej $|P|$ (pozornej), oraz wymaganej mocy źródła P_{capab} .



Rys. 1. Efektywność konwersji mocy elektrycznej na moc fal mechanicznych
Fig. 1. Power conversion efficiency. Structural wave power vs electrical power quantities.

2. Wpływ wymiarów aktuatora PZT oraz warstwy wiążącej na efektywność konwersji mocy.

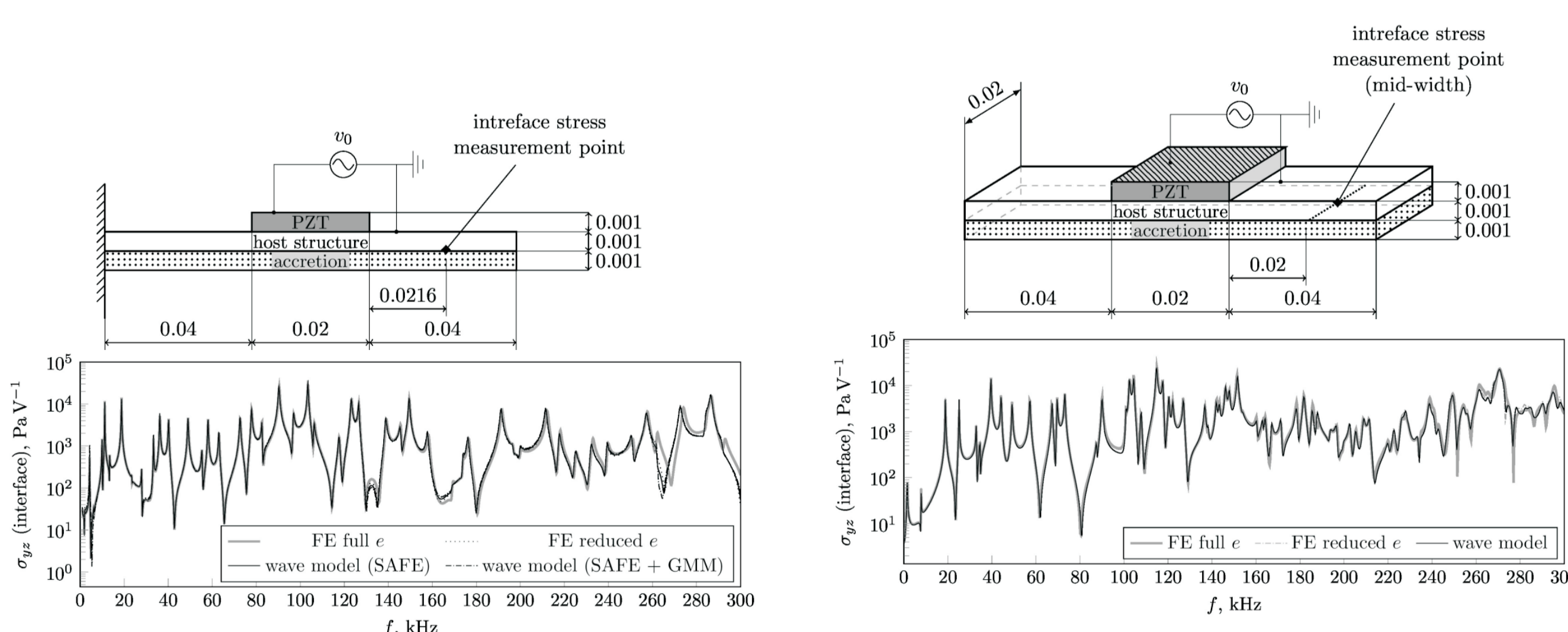
Power transduction efficiency with respect to the actuator's dimensions and bonding layer thickness.



Rys. 2. Wpływ wymiarów aktuatora PZT i grubości warstwy wiążącej na efektywność konwersji mocy elektrycznej na moc mechaniczną fal strukturalnych. Ostatni wykres w każdej kolumnie uwzględnia transmisję mocy w układzie elektrycznym.
Fig. 2. The influence of the actuator's dimensions and bonding layer thickness on the power conversion efficiency. Last plots in each column account for the electrical power transfer in the electrical transmission line.

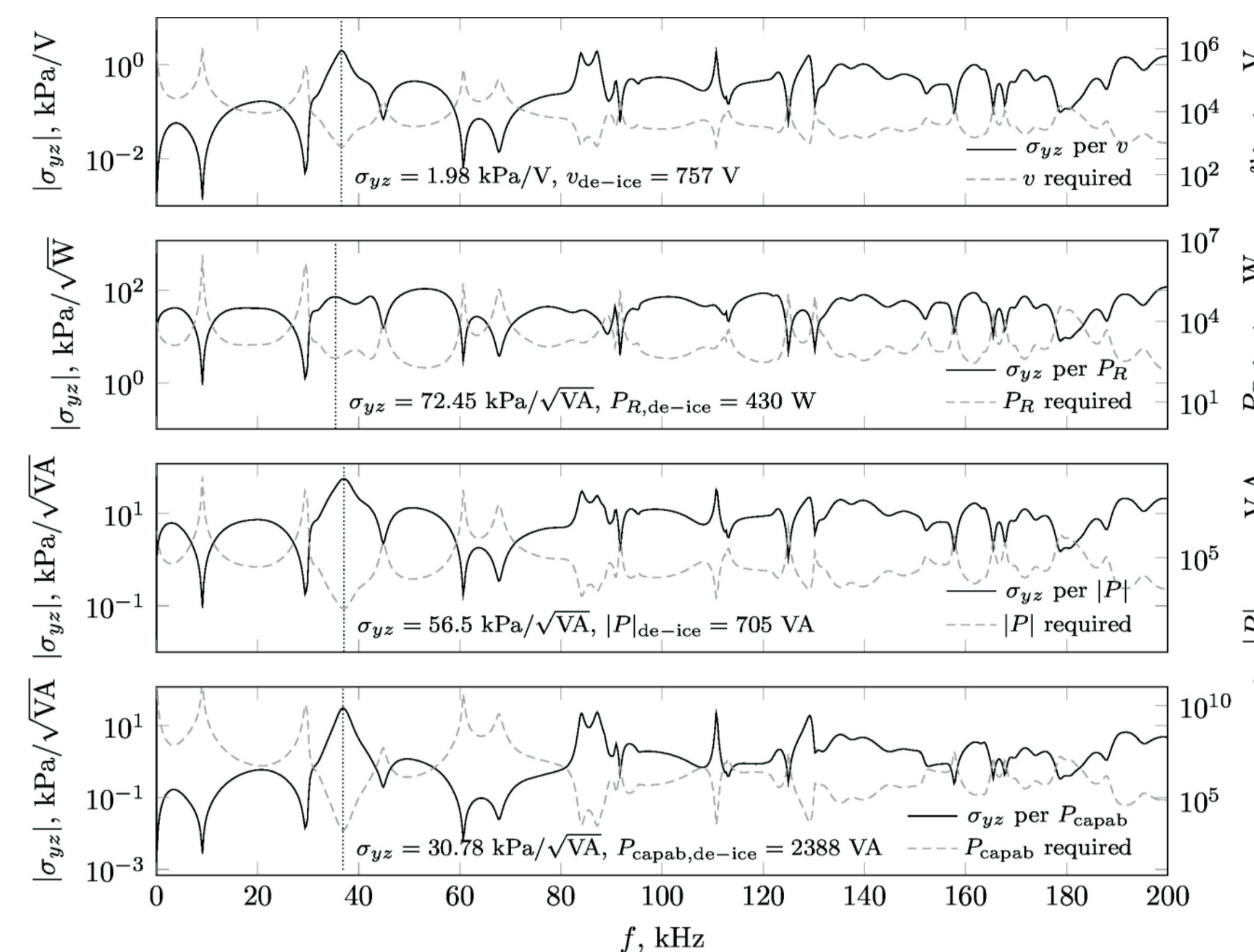
3. Aplikacja opracowanego sprzężonego modelu falowego do predykcji naprężeń międzywarstwowych w strukturach z warstwą niepożądaną jako funkcji mocy elektrycznej

Application of the developed model to the interface shear stress prediction in piezo-actuated structural waveguides with unwanted accretions

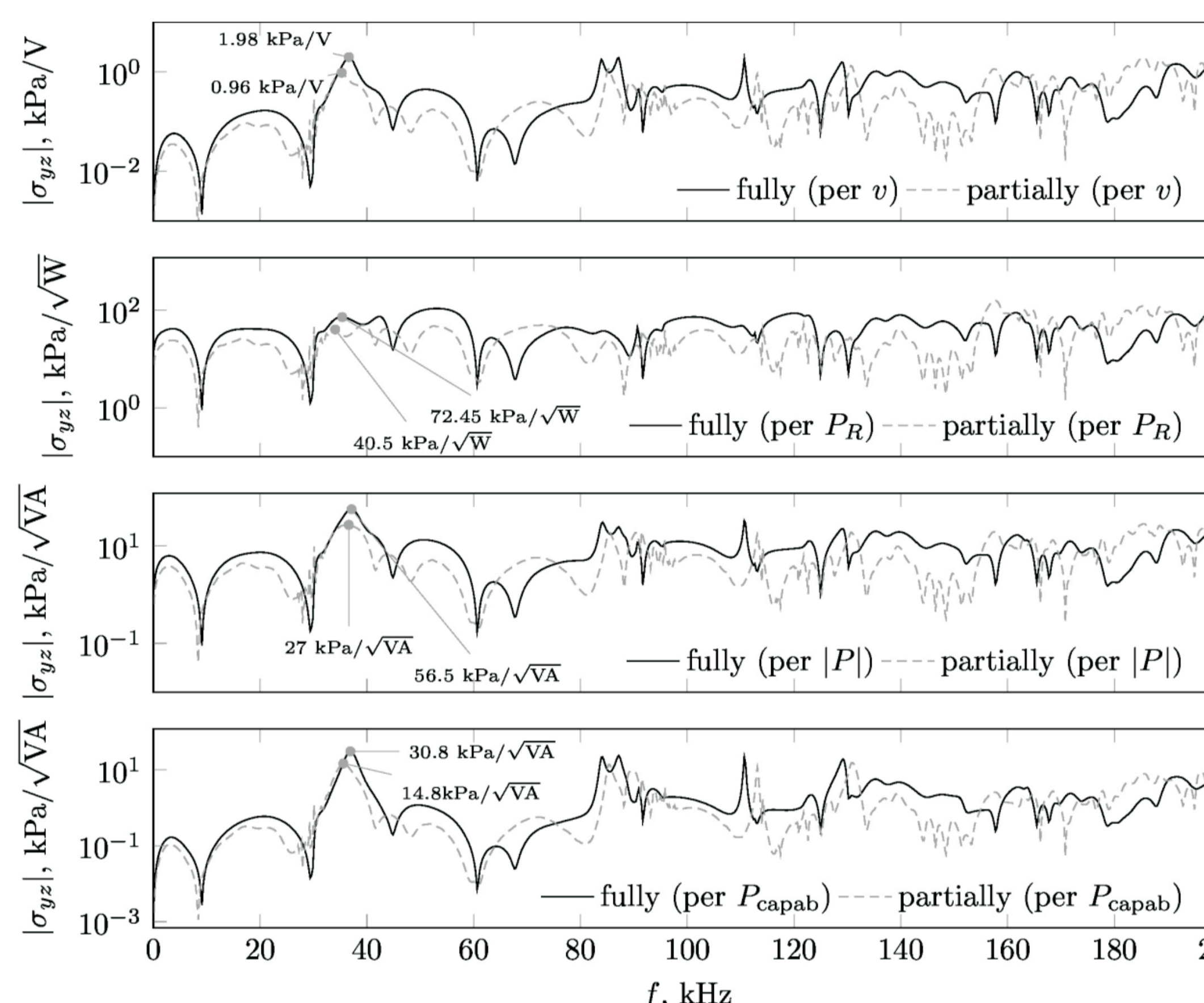


Rys. 3. Walidacja naprężeń międzywarstwowych uzyskanych z opracowanego modelu falowego w oparciu o konwencjonalną analizę FE (ABAQUS) - wariant 2D (plane strain) oraz wariant 3D.
Fig. 3. Validation of the interface shear stress predictions from the developed wave model with conventional FE (ABAQUS) - 2d plane strain variant and full 3D variant.

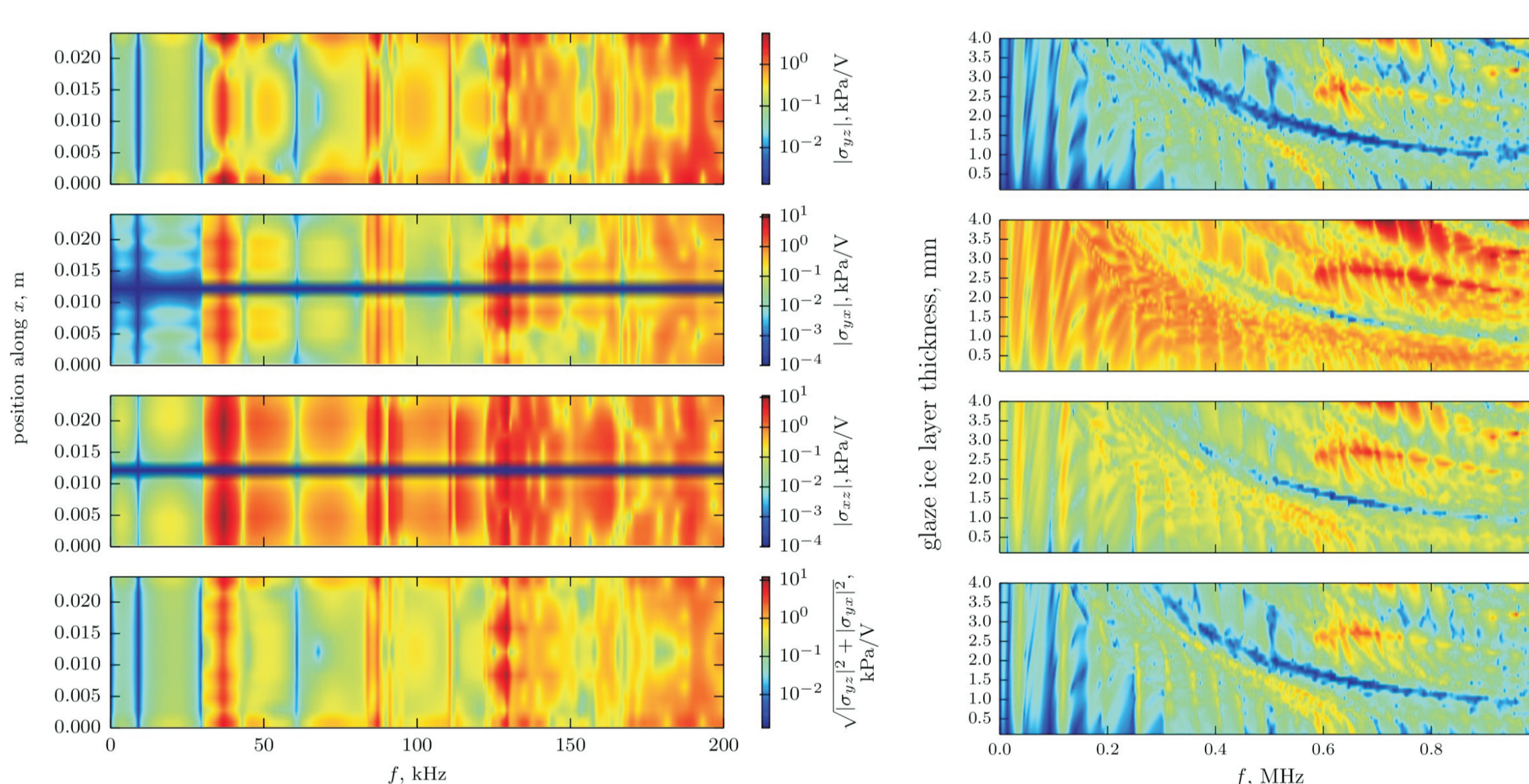
Opracowany model falowy został wykorzystany do analizy naprężeń międzywarstwowych. Uzyskane wyniki zweryfikowano za pomocą konwencjonalnej analizy FE (Abaqus) pokazując bardzo dobrą zgodność. Dla przykładu przedstawiono naprężenia w strukturze z emulowanymi absorbującymi warunkami brzegowymi użytej do eksperymentów pokrytej oblodzeniem. Wyniki są silnie uzależnione od własności elektrycznego układu sterującego. Z uwagi na brak danych o dynamicznej wytrzymałości wiązania tworzonego przez oblodzenie wykorzystano wartość statyczną, która jest prawdopodobnie znacznie większa. Dlatego też, wskazane zapotrzebowanie mocy jest przypuszczalnie przewymiarowane.



Rys. 4. Naprężenia międzywarstwowe generowane przez propagujące fale wzbudzone przez prostokątny aktuator PZT oraz wymagana moc do usunięcia oblodzenia przyjmując wytrzymałość wiązania $\sigma_b = 1.5$ MPa
Fig. 4. Interface shear stress associated with superimposed propagating waves generated by a rectangular PZT actuator; power requirements for shedding ice assuming the bond strength (static) to be $\sigma_b = 1.5$ MPa



Rys. 5. Porównanie naprężeń uzyskanych w strukturze całkowicie pokrytej oblodzeniem i w strukturze częściowo oblodzonej.
Fig. 5. Comparison between the interface shear stress achieved in waveguides fully and partially covered with accretion.



Rys. 6. Rozkład naprężeń międzywarstwowych wzdłuż szerokości struktury.
Fig. 6. Through-width interface stress distribution

Rys. 7. Wpływ grubości oblodzenia na wartość naprężeń międzywarstwowych w strukturze całkowicie pokrytej oblodzeniem.
Fig. 7. The influence of accretion thickness on the interface shear stress generated in a fully covered structural waveguide.

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Examples of application in aviation

- modelling smart-structures for SHM/NDT
- design of ultrasonic de-icing systems for aircraft structures

Wnioski

Conclusions

- wykonano analizę transferu mocy w sprzężonym elektromechanicznym układzie aktuator-struktura w oparciu o moc aktywną, moc zespoloną oraz wymaganą moc źródła. Ta ostatnia wielkość zawiera informację o relacji pomiędzy impedancjami źródła i aktuatora, która określa efektywność wzbudzenia. Dlatego jest najbardziej praktycznym wskaźnikiem wymagań wysokomocowych układów do odladzania.
- opracowany model falowy wykorzystano do predykcji naprężeń międzywarstwowych w oblodzonej strukturze. Wskazano wymaganą moc elektryczną w oparciu o wspomniane wyżej wielkości. Z uwagi na brak danych dotyczących dynamicznej wytrzymałości wiązania tworzonego przez oblodzenie, wykorzystano wartość statyczną, która prawdopodobnie jest wyższa niż dynamiczna.
- porównano przypadki struktury całkowicie pokrytej oblodzeniem ze strukturą częściowo pokrytą oblodzeniem oraz wskazano wpływ grubości oblodzenia na generowane naprężenia międzywarstwowe

- power transfer and conversion in a coupled electromechanical system was analysed. A few power quantities, i.e. active power, apparent power and source capability, were employed. The last quantity accounts for the effectiveness of the electrical power transfer in the electrical transmission line and hence is the most practical indicator of power requirements in high power PZT systems.
- the wave model was used for predicting interface shear stress in structural waveguides with accretion. The results were scaled with respect to the discussed power quantities. As no data on the dynamic ice bond strength is available, the static value was used. Therefore, the theoretical power requirements are probably higher than the actual ones.
- the interface shear stress in waveguides fully and partially covered with accretion was compared and the influence of the growing ice layer was identified.

Wyniki badań Results

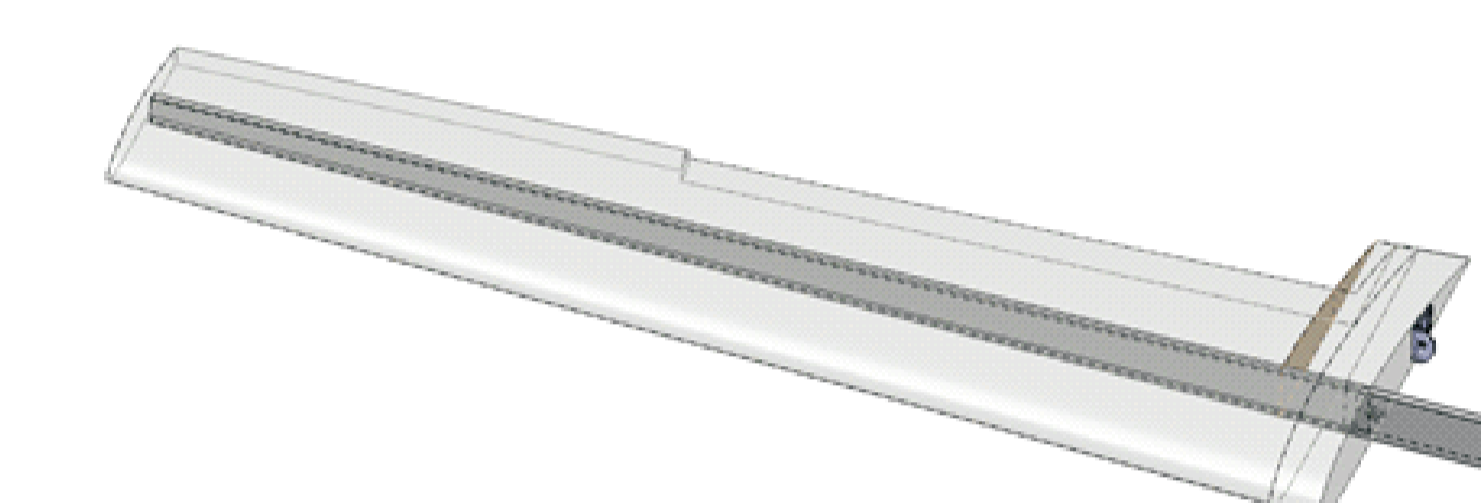
Pomiary deformacji kompozytowego skrzydła samolotu bezzałogowego w trakcie badań zmęczeniowych kompozytowego skrzydła samolotu bezzałogowego

Experimental measurements of deformation of the composite wing structure designed for UAV

1. Cel i zakres badań
(Target and range of experimental examinations)

Przedmiot badań stanowiły eksperymentalne pomiary deformacji struktury skrzydła kompozytowego przeznaczonego do bezzałogowego aparatu latającego. Do pomiarów wykorzystano system pomiarowy oparty o potencjometry linkowe. Dodatkowo przygotowano model numeryczny struktury w ujęciu MES.

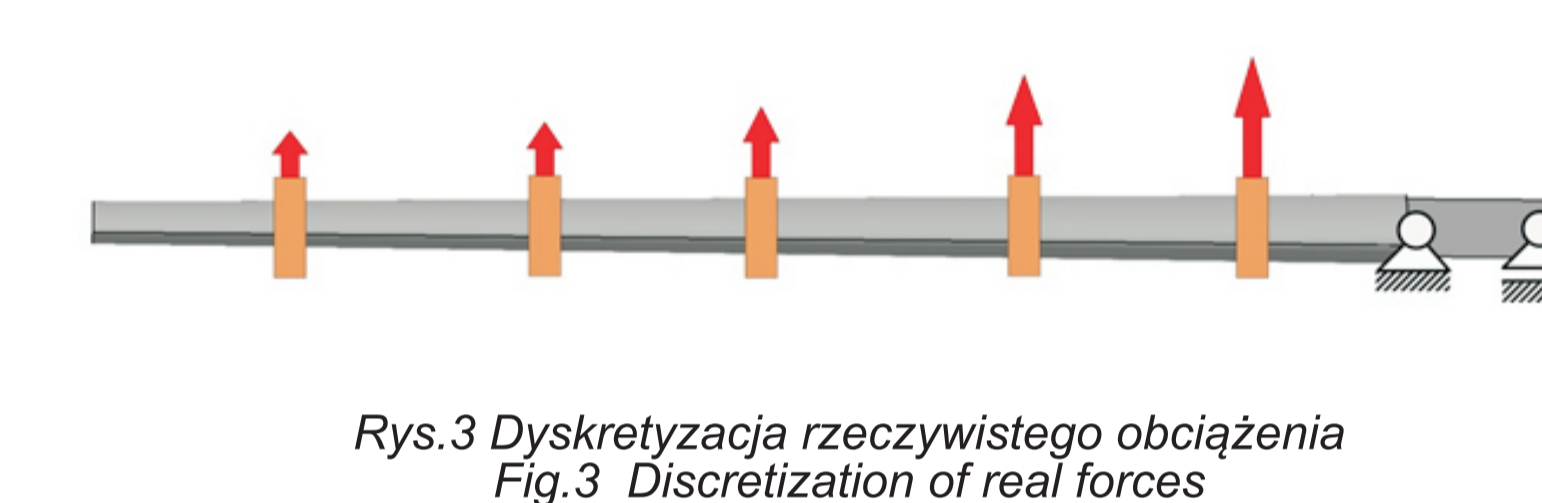
Objective of the study were experimental measurements of deformation of the composite wing structure designed for UAV. Measurements were conducted with use of measuring system based on wire potentiometers. In addition, the numerical model of structure was prepared in terms of the Finite Element Method.



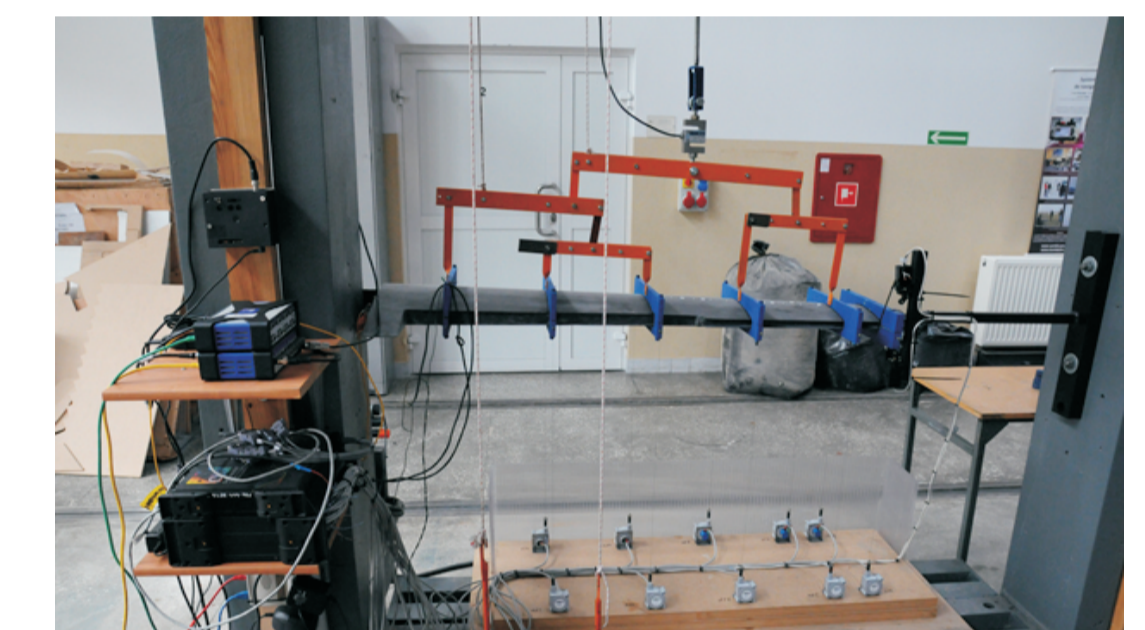
Rys. 1 Kompozytowe skrzydło BSL
Fig. 1 Composite wing of UAV

2. Stanowisko badawcze - układ obciążający

Na potrzeby badań wykonano układ obciążający oraz układ mocowania skrzydła (rys.2). Rzeczywiste obciążenie wywołane siłami aerodynamicznymi zastąpiono, zgodnie z metodą Shrenka na dyskretny układ sił (rys.3). Obciążenie przenoszono na powierzchnię struktury przy wykorzystaniu tzw. choinki obciążającej poprzez obejmę zamocowaną w pięciu kolejnych przekrojach skrzydła.



Rys. 3 Dyskretyzacja rzeczywistego obciążenia
Fig. 3 Discretization of real forces



Rys. 2 Stanowisko badawcze
Fig. 2 Test stand

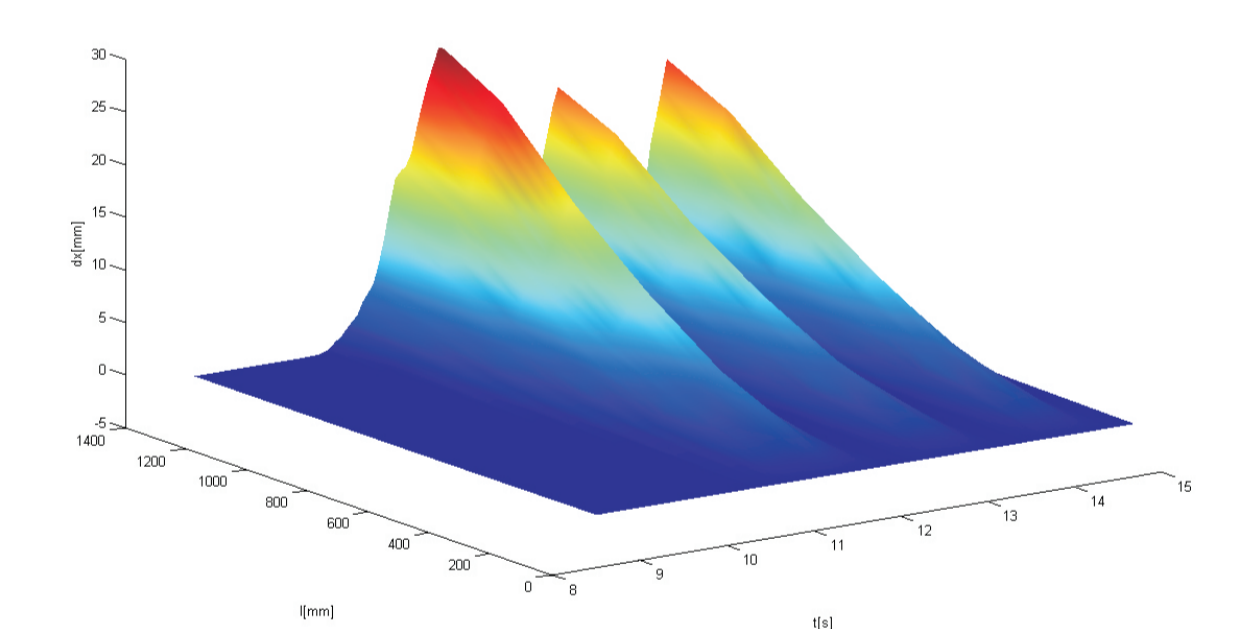
3. Potencjometryczny system pomiarowy

Do eksperymentalnych pomiarów ugięcia i kąta skręcenia skrzydła wykorzystano system pomiarowy składający się z dziesięciu potencjometrów linkowych (rys.2). Czujniki połączone w pary umożliwiają dokonywanie pomiarów w pięciu przekrojach skrzydła. Do obsługi systemu pomiarowego oraz w celu wizualizacji wyników stworzono autorski program komputerowy (rys.4).

Rys.5 prezentuje przykładowy wynik pomiaru przeprowadzony w trakcie trzech kolejnych cykli obciążenia. Wykres prezentuje ugięcie punktów wzdłuż rozpiętości skrzydła uzależnione dodatkowo od czasu badania.



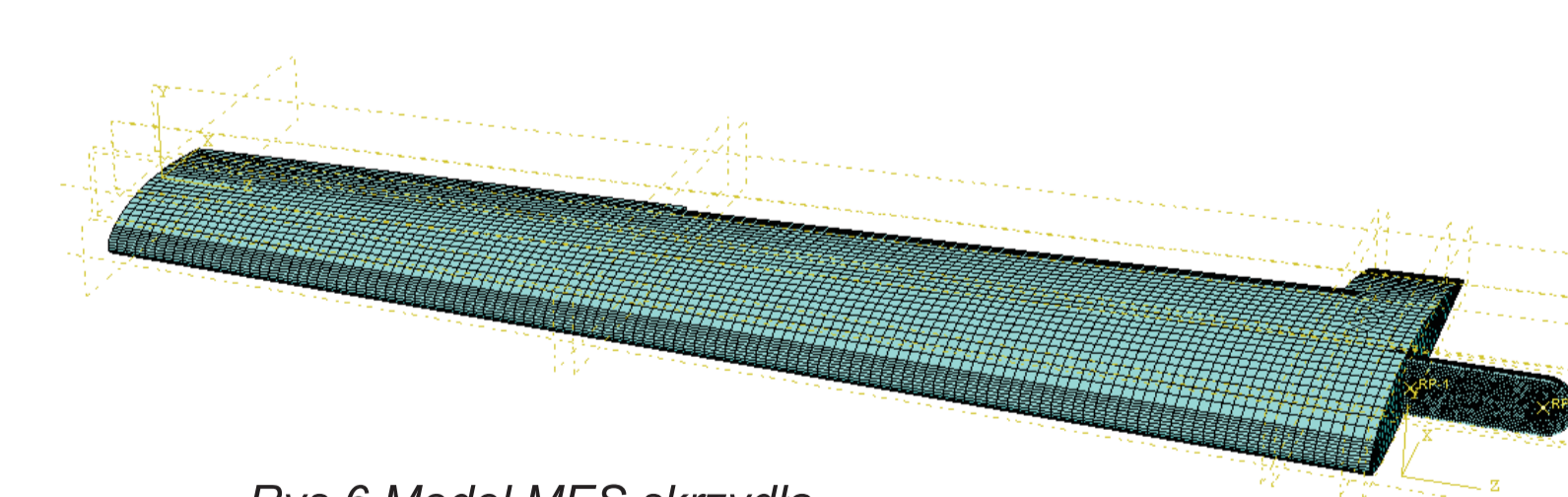
Rys. 4 Okno programu Static test measurement system



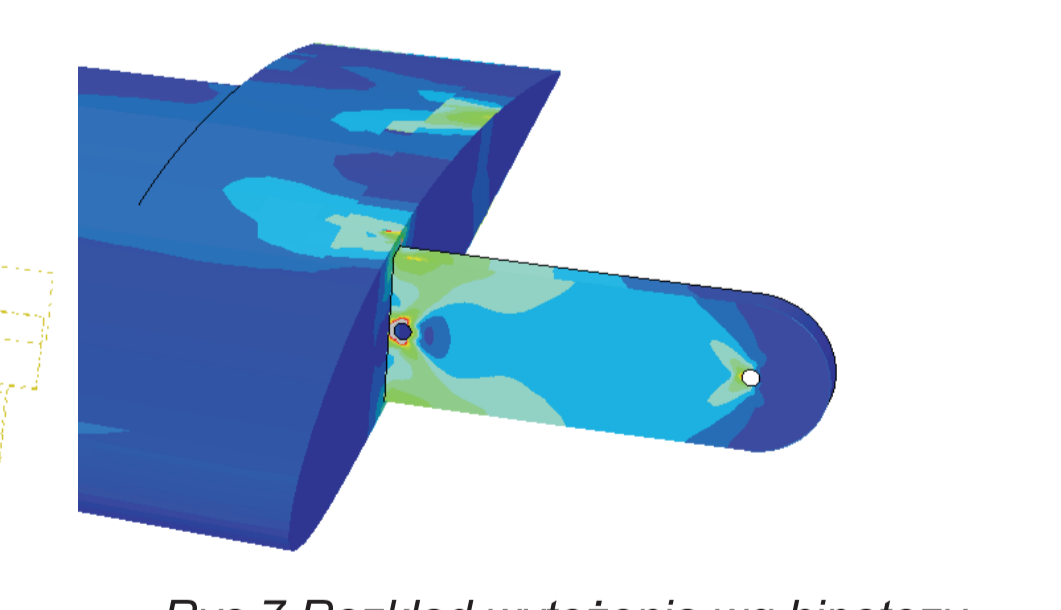
Rys. 5 Przykładowy rezultat badań
Fig. 5 Exemplary test result

4. Obliczenia numeryczne w ujęciu MES

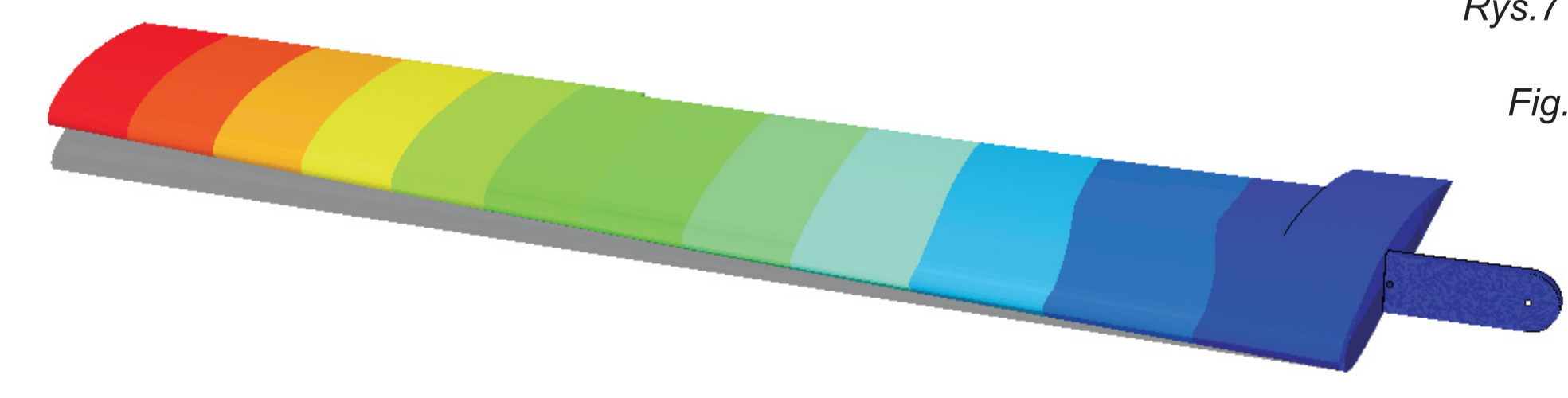
Cyfrową reprezentację badanego obiektu stworzono w ujęciu Metody Elementów Skończonych (rys.6). Właściwie przygotowany model strukturalny pozwala na numeryczną weryfikację założeń konstrukcyjnych poprzez dokładne obliczenie pól naprężeń (rys.7). Poprawne symulowanie sztywności analizowanej struktury daje również odpowiedź w postaci pól deformacji identyfikowanych, w przypadku skrzydła samolotu jako ugięcia (rys.8) oraz kąty skręcenia.



Rys. 6 Model MES skrzydła
Fig. 6 FEM model of wing



Rys. 7 Rozkład wygięcia wg hipotezy Treski-Coulomba
Fig. 7 Stress distribution (Tresca)



Rys. 8 Ugięcie skrzydła - wynik MES
Fig. 8 Deflection of wing - FEM result

Wnioski

Conclusions

Przeprowadzone badania doświadczalne wskazują na poprawność funkcjonowania zastosowanego systemu pomiaru deformacji skrzydła kompozytowego. System pomiarowy oparty o czujniki potencjometryczne umożliwiają stosunkowo proste i niezawodne pomiary. Uzyskiwane na tej drodze wyniki pozwalają również na weryfikację poprawności modeli numerycznych analizowanych Metodą Elementów Skończonych.

Conducted experimental studies indicate on the correct functioning of the measurement system of composite wing's deformation. The measuring system based on potentiometric sensors allows to relatively simple and reliable measurements. Results obtained in this way allow to validate of numerical models analyzed by the Finite Element Method.