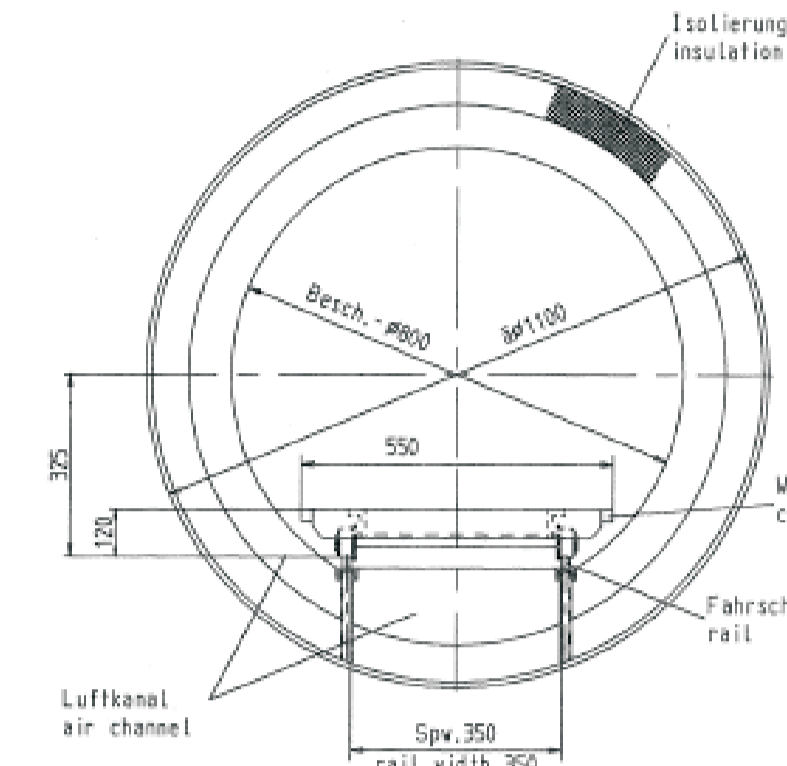


Materiały inteligentne - oraz bazujące na nich systemy zespolone (ang. smart embedded systems) do zastosowania w lotnictwie

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

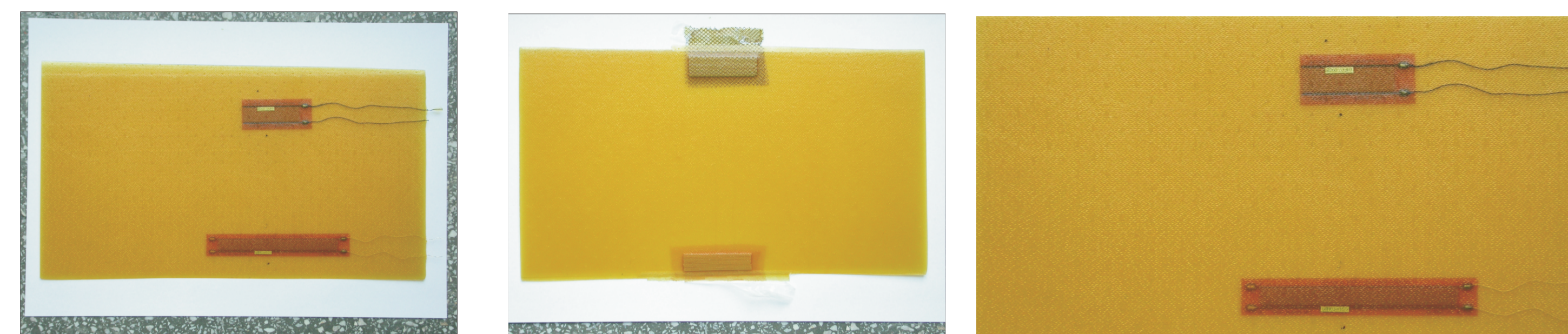
Wyniki badań



Autoklaw z wyposażeniem (stanowisko w realizacji)

Specyfikacja techniczna: średnica robocza: 800 mm, długość robocza: 1500 mm, ciśnienie robocze: 0-12 bar, temperatura robocza max. 300°C, pełna automatyczna kontrola i sterowanie autoklawu.

Firma realizująca: MASCHINENBAU SCHOLZ GmbH. & Co.KG (Germany)



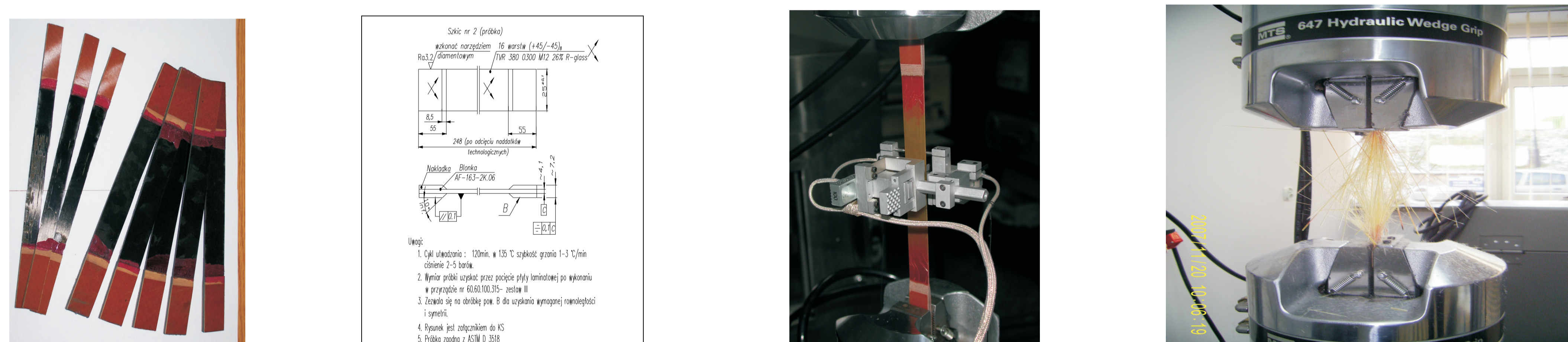
Rys.2 Płytki kompozytowe szklano-epoksydowe z wbudowanymi elementami piezoelektrycznymi

Wykonano:

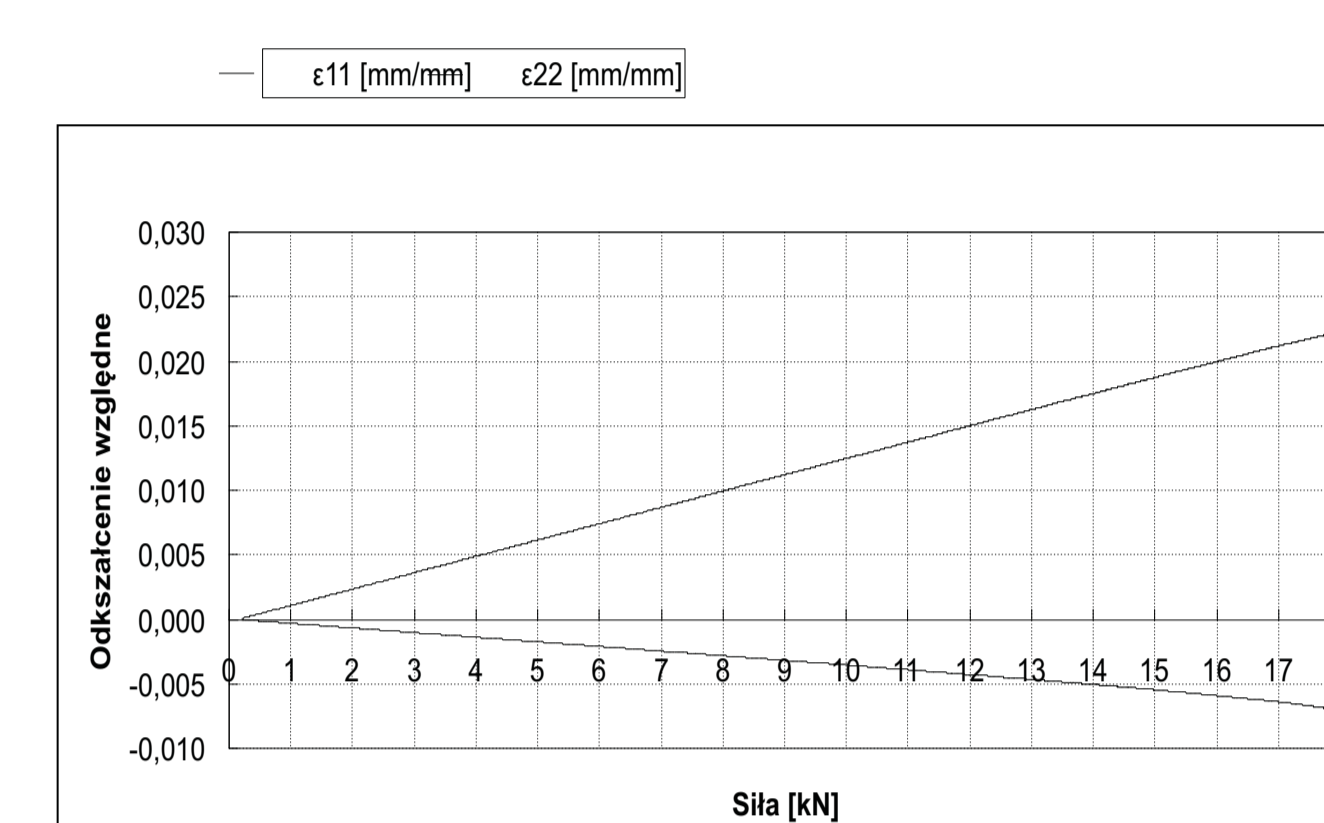
- płyty i próbki kompozytowe szklano-epoksydowe (wytwarzanie w warunkach przemysłowych zgodnie z procedurami stosowanymi w lotnictwie) o określonych konfiguracjach: [0/(±45)]_n, [+45/0/-45]_n, [(±45)]_n, [(±45)/0]_n, [(±45)/0]_{2n},
- kompozyty szklano-epoksydowe z wbudowanymi elementami aktywnymi MFC- Macro Fiber Composite (licensed by NASA),
- kompozyty szklano-epoksydowe z wkładkami teflonowymi symulującymi delaminacje: układ [(±45)/0]

Wytwarzanie i badanie materiałów kompozytowych z osadzonymi elementami aktywnymi - etap I

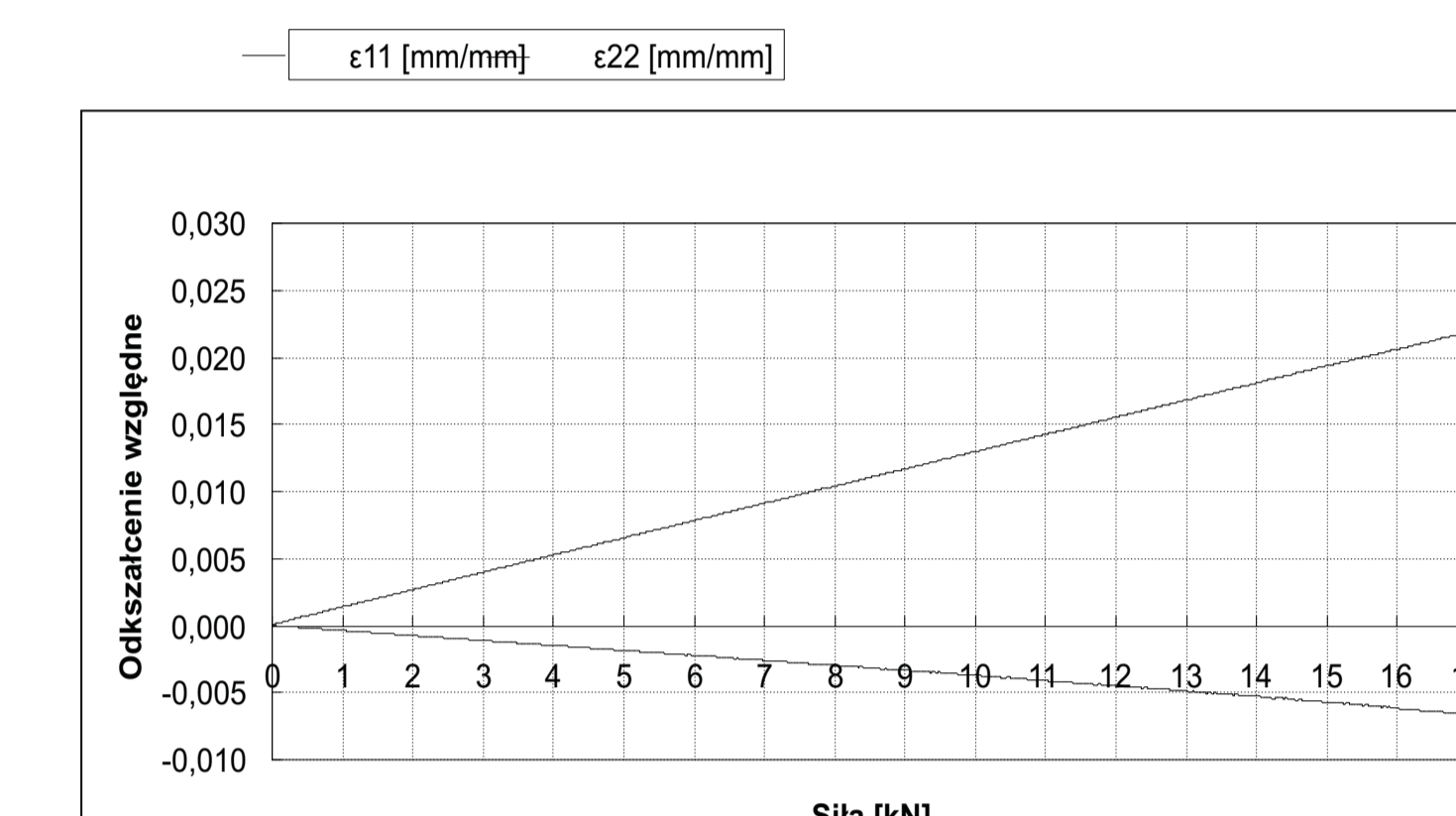
Opracowano koncepcję stanowiska badawczego do wytwarzania kompozytów wraz z infrastrukturą. Przeprowadzono procedurę przetargową zakupu autoklawu oraz przygotowano do wykonania instalację przyłączeniową oraz budowę i wyposażenie pomieszczenia *clean room*.



Rys.3 Próbkę do wyznaczenia modułu Young'a oraz liczby Poissona wykonane zgodnie z normą ASTM D 3039 oraz do wyznaczenia modułu Kirchhoffa G wg normy ASTM D 3518, widok próbki przed zerwaniem (wraz z ekstensometrem) oraz po zerwaniu.

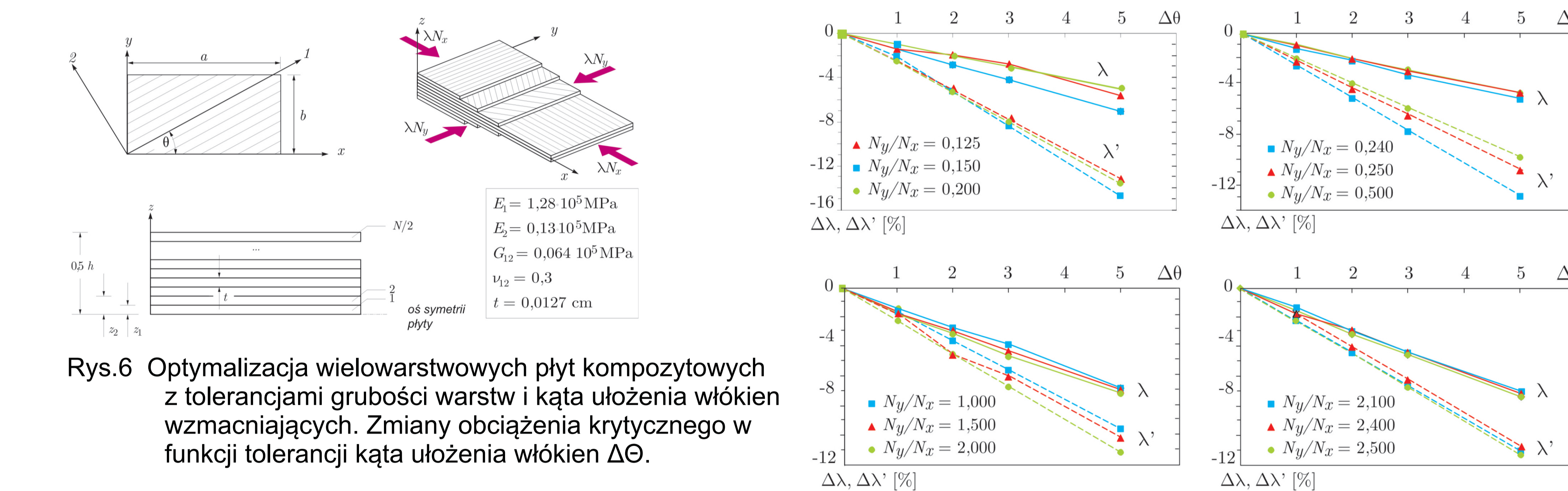


Rys.4 Wykres rozciągania dla próbki nr 1/5-2009. (Wymiary próbki: szerokość: $b=14,93\text{mm}, 15,10\text{mm}, 15,08\text{mm}$, grubość: $h=1,04\text{mm}, 1,05\text{mm}, 1,10\text{mm}$, średnie pole przekroju $A=16,00\text{mm}^2$)

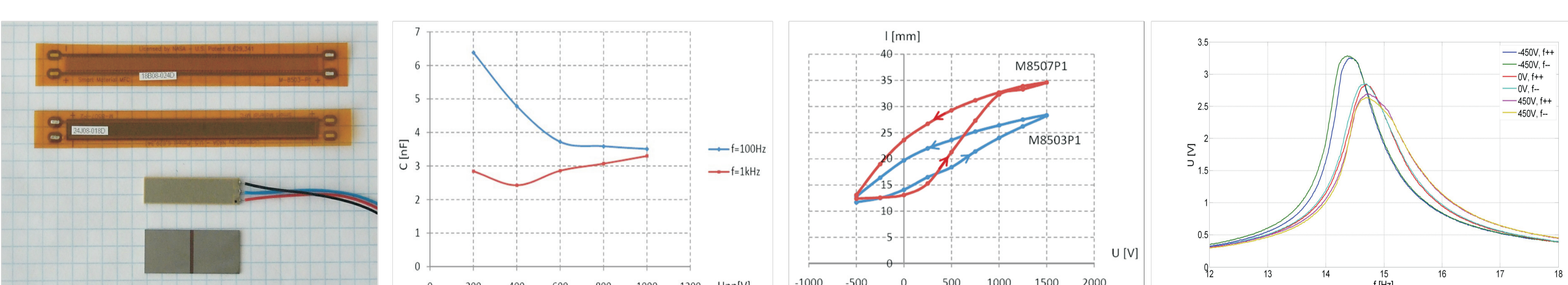


Rys.5 Wykres rozciągania dla próbki nr 2/5-2009. (Wymiary próbki: szerokość: $b=14,95\text{mm}, 14,93\text{mm}, 14,99\text{mm}$, grubość: $h=1,05\text{mm}, 1,05\text{mm}, 1,05\text{mm}$, średnie pole przekroju $A=16,00\text{mm}^2$)

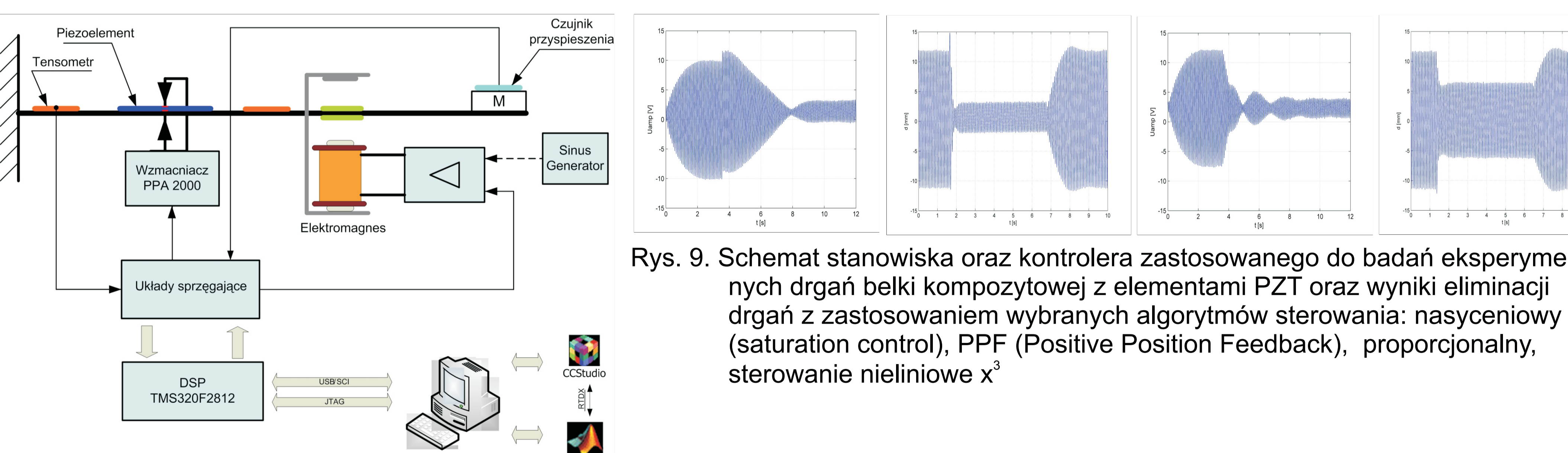
Badanie właściwości: W pierwszej fazie prac mających na celu dobór materiałów kompozytowych do wytwarzania struktur kompozytowych z elementami PZT w porozumieniu z partnerem przemysłowym PZL Świdnik SA przygotowano dokumentację oraz wykonano partię 20 próbek do podstawowych badań wytrzymałościowych z dwóch różnych taśm rovingowych. Próbkę (10 sztuk) do wyznaczenia modułu Young'a E oraz liczby Poissona ν (Rys.3) wykonano zgodnie z normą ASTM D 3039 (kierunek włókien 0°) oraz 10 próbek do wyznaczenia modułu Kirchhoffa G (Rys.3) wg normy ASTM D 3518 (kierunek włókien ±45°). Próbkę wykonano z taśm rovingowych produkowanych przez firmę HEXCEL: (a) HexPly® M12, TVR 380 0 300 M12 26% R-glass, (b)



Redukcja drgań z zastosowaniem elementów aktywnych



Rys.8. Przykładowe rodzaje używanych elementów aktywnych PZT oraz doświadczalne charakterystyki: wpływ napięcia i częstotliwości na pojemność elementu MFC, Pętla histerezy, charakterystyki amplitudowo - częstotliwościowe przy stałym napięciu zasilania elementu aktywnego.



$$\ddot{u} + 2\frac{m}{W_c}\dot{u} + \frac{W_c}{m}u + \frac{b}{m}u^3 - \frac{d}{m}(uu^2 + u^2\dot{u}) = f \cos(\Omega t) + g v^2$$

$$\ddot{v} + 2\frac{Z}{W_c}\dot{v} + \frac{W_c}{Z}v = a uv$$

Przykłady zastosowań

Planowane jest zastosowanie wytwarzanych elementów kompozytowych do monitorowania stanu konstrukcji lotniczych, redukcji drgań i identyfikacji obciążeń. Po konsultacjach z PZL Świdnik SA jako możliwą aplikację wytypowano trymer łopaty wirnika nośnego śmigłowca.



Rys.10. Konstrukcja łopaty z aktywnie sterowanym trymerem.

Przykłady współpracy

W ramach projektu regularnie odbywają się spotkania robocze z konstruktorami i technologami PZL Świdnik SA w celu uzgodnienia kierunków badań i ich możliwych zastosowań. Współpraca prowadzona jest dwutorowo:

- (a) w zakresie technologii wytwarzania kompozytowych struktur lotniczych — w tym celu zorganizowano długoterminowe staże przemysłowe. Korzystając z wyposażenia PZL Świdnik wykonano wstępną partię szerokiej gamy próbek kompozytowych do dalszych badań;
- (b) w zakresie konstrukcji — prowadzone są intensywne prace nad zastosowaniem aktywnego trymera do modelu łopaty wirnika nośnego śmigłowca.

Wnioski

- wstępne udane próby wytwarzania elementów kompozytowych z osadzonymi elementami aktywnymi pozytywnie weryfikują zaproponowaną technologię wytwarzania struktur aktywnych;
- konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań właściwości mechanicznych „inteligentnego kompozytu” pod kątem wytrzymałości i delaminacji oraz oceny jakości elementu aktywnego po procesie autoklawizacji oraz optymalizacji parametrów technologicznych i mechanicznych;
- przeprowadzona ocena efektywności liniowych i nieliniowych algorytmów sterowania z zastosowaniem elementów PZT wskazuje, że w celu poprawnej realizacji sterowania w czasie rzeczywistym konieczny jest zakup szybszych elementów przetwarzania sygnałów i realizacji zadanych algorytmów. Pozwoli to w dalszych pracach na zastosowanie algorytmów adaptacyjnych;
- badania płyt z elementami aktywnymi wskazują na możliwość symulacji dynamiki trymera łopaty wirnika nośnego śmigłowca. Testowany jest wpływ położenia elementów aktywnych i przyjętych algorytmów sterowania na eliminację drgań wymuszonych;
- na podstawie badań teoretycznych i eksperymentalnych m.in. eksperymentalnej analizy modalnej badanych struktur budowany jest model numeryczny w systemie Abaqus.

Wskaźniki realizacji celów projektu

Konferencje

- W. Jarzyna, M. Augustyniak, J. Warmański, M. Bocheński: **Characteristics and Implementation of Piezoelectric Structures in Active Composite Systems**. 6th International Conference "New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation" NEET 2009, Zakopane, Poland, June 23-26, 2009.
- P. Filipek, M. Augustyniak, M. Bocheński: **Control of Active Piezoelectric Beam System Applying DSP-based Controller**. 6th International Conference "New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation" NEET 2009, Zakopane, Poland, June 23-26, 2009.
- W. Jarzyna, M. Augustyniak, M. Bocheński: **Aktywne struktury piezoelektryczne w układach regulacji**. IX Seminarium PTETIS - Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki, Poznań 2009.
- W. Jarzyna, M. Augustyniak, J. Warmański, M. Bocheński: **Modelowanie i tłumienie drgań piezoelektrycznych kompozytowych układów wykonawczych (Modeling and Vibration Suppressing of Piezoelectric Composite Actuator Systems)** IX Conference - Control in Power Electronics and Electrical Drives (Konferencja Naukowa Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym) "SENE 2009", 18-20 November 2009, Łódź.
- M. Bocheński, J. Warmański, W. Jarzyna, P. Filipek, M. Augustyniak, **Active Suppression of nonlinear composite beam vibrations by various control algorithms application**. 10th CONFERENCE ON DYNAMICAL SYSTEMS THEORY AND APPLICATIONS 7-10 December, 2009. Łódź, Poland.
- J. Warmański, **Nonlinear Vibration Modes of Parametrically and Self-Excited Systems, Recent Advances of Nonlinear Mechanics**, RANM 2009 Kuala Lumpur, 24-27 August 2009.
- J. Warmański, **NONLINEAR NORMAL MODES OF COUPLED SELF-EXCITED OSCILLATORS UNDER PARAMETRIC RESONANCE CONDITION**, in Nonlinear Normal Modes, Dimension Reduction and Localization in Vibrating Systems, Euromech Colloquium 503, Frascati (Rome), September 27 - October 2, 2009.
- B. Surowska, J. Warmański, H. Dębski, J. Latalski, **Selected Aspects of Design and Use of Smart Composite Structures**, 4th International Conference „Supply on the wings”, Aerospace - Innovation through international cooperation in conjunction with the International Aerospace Supply Fair, AIRTEC 2009, NOVEMBER 03 - 05, 2009, Frankfurt, Germany.
- A. Teter, **Zastosowanie różnych kryteriów do oceny krytycznego obciążenia dynamicznego dla interakcyjnego wyboczenia słupów wzmocnionych żebrami pośrednimi**, XII Sympozjum Stateczności Konstrukcji, Zakopane, 7-11. IX. 2009, str.419-426.
- A. Teter, T. Kubiak, **Ocena krytycznych obciążeń dynamicznych dla cienkościennych słupów z żebrami pośrednimi z wykorzystaniem metody elementów skończonych**. XII Sympozjum Stateczności Konstrukcji, Zakopane, 7-11. IX. 2009, str.427-434.

Publikacje

- W. Jarzyna, M. Augustyniak, M. Charlak: **Application of Piezoelectric Active Systems in Control and Diagnosis of Wind Power Station**. Proceedings of the Union of Scientists. Rouse. Fourth Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering. ISSN 1311-9974. 2009, str: 511-518

Prace mgr, dr, hab.

- Praca doktorska mgr inż. Marcin Bocheński, „Drgania nieliniowe oraz sterowanie autoparametrycznego układu belkowego”, data otwarcia przewodu 29.10.2008, promotor dr hab. inż. J. Warmański, prof. PL