

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Metaliczne materiały kompozytowe w aplikacjach lotniczych (w tym materiały typu Glare) Composite metallic materials in aviation applications (including Glare-type materials)

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

Wyniki badań Results

Porównanie odpowiedzi kompozytów polimerowych na obciążenia dynamiczne o niskiej prędkości oraz wciskanie statyczne

Analiza zniszczenia w wyniku obciążeń dynamicznych z niską energią.

Przedmiot badań Subject of study

Laminaty metalowo włókniste typu Al/CFRP oraz Al/GFRP wykonane metodą autoklawową oraz klasyczne materiały kompozytowe stosowane w przemyśle lotnym.
Fiber Metal Laminates Al/CFRP and Al/GFRP made using autoclave method and classic composite materials used in aerospace industry.

Metodologia Methodology

Do badania odporności na uderzenia dynamiczne o niskich energiach wykorzystano młot spadowy ze sferycznym wgłębniakiem o średnicy 12.7 mm. Przeprowadzono próby z energią 5 do 25J. Do analizy zniszczenia wykorzystano metody: ultradźwiękową z techniką phased array oraz mikroskopii optycznej.

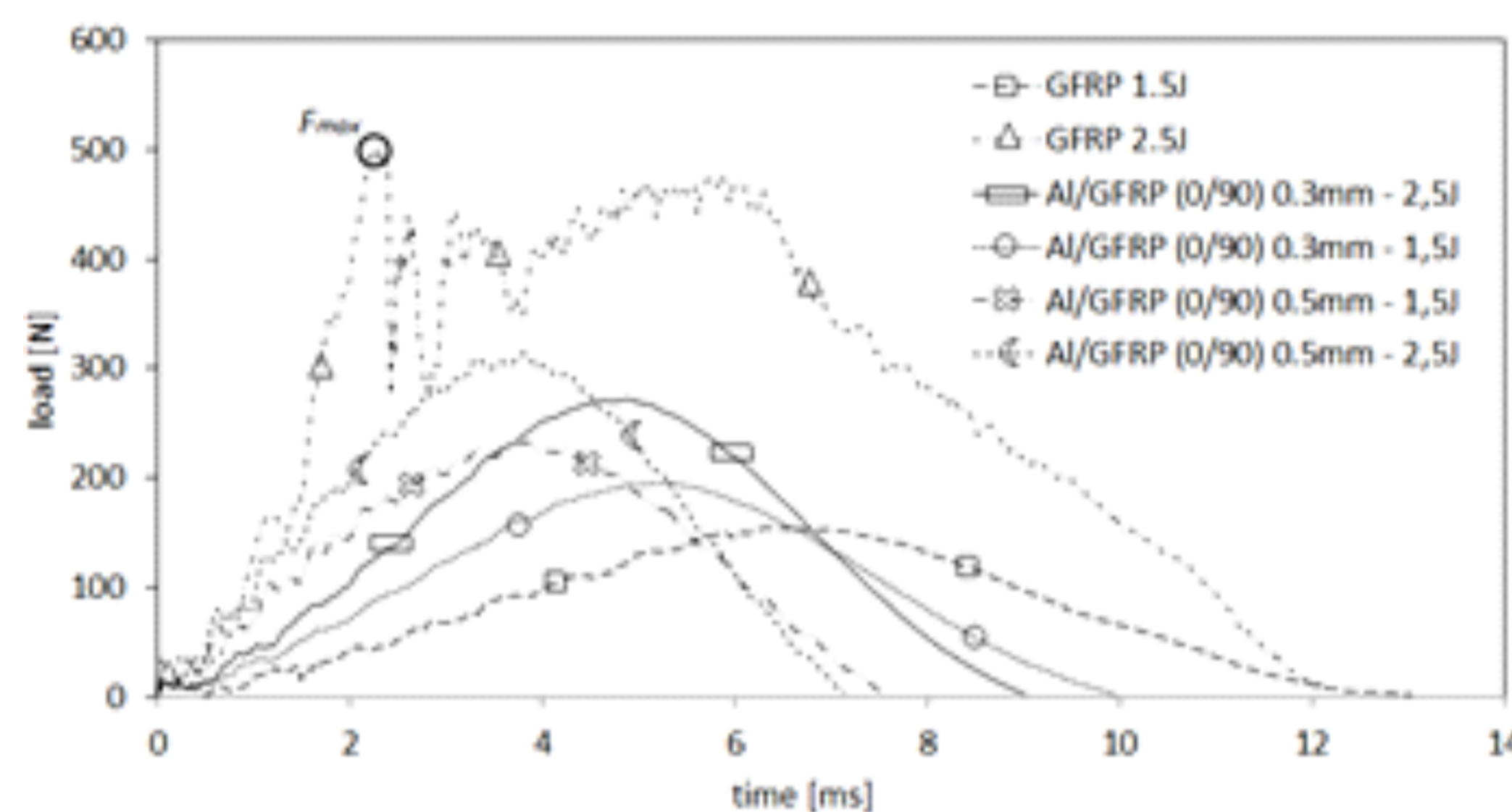


Fig. 1. Experimental load-time curves after impact of Al/GFRP and GFRP laminates.
Rys. 1. Eksperymentalna krzywa siła-czas po uderzeniu laminatów Al/GFRP oraz GFRP.

Ascending of the force is rather smooth in each case of impacted materials (exception is GFRP under 2,5J impact energy). In case of the low-energy impact it is not possible to observe clear incipient force, as it is noted in another research about low-velocity impact. On the basis of I-t curves it can be concluded that low-energy impact in GLARE® laminates has no clearly structure degradation meaning as it is in case of low-energy impact phenomena.

Wykresy charakteryzują się łagodnym przebiegiem. Na podstawie uzyskanych wyników można wywnioskować, że na podstawie analizy zmian siły w czasie uderzenia przy niskich energiach nie występuje wyraźne uszkodzenie struktury laminatu FML. W przypadku klasycznych materiałów kompozytowych występują zjawiska nagłej zmiany siły co świadczy o propagacji zniszczenia.

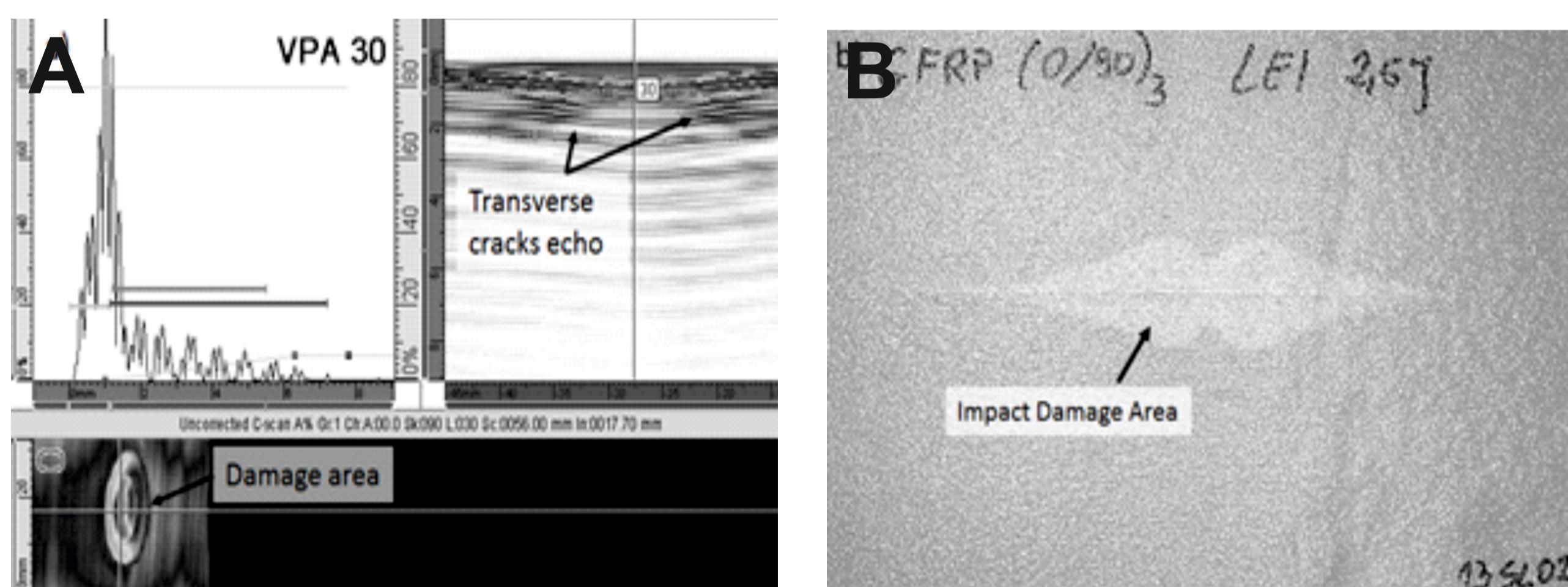


Fig. 2. Damage area of Al/GFRP (ultrasonic view) and GFRP (macroscopic image) after 2.5J energy impact.
Rys. 2. Obszar uszkodzenia laminatów Al/GFRP (widok ultradźwiękowy) oraz GFRP (obraz makroskopowy) po uderzeniu z energią 2.5J.

Comparison of polymer composites behavior on low-velocity impact and quasi-static indentation

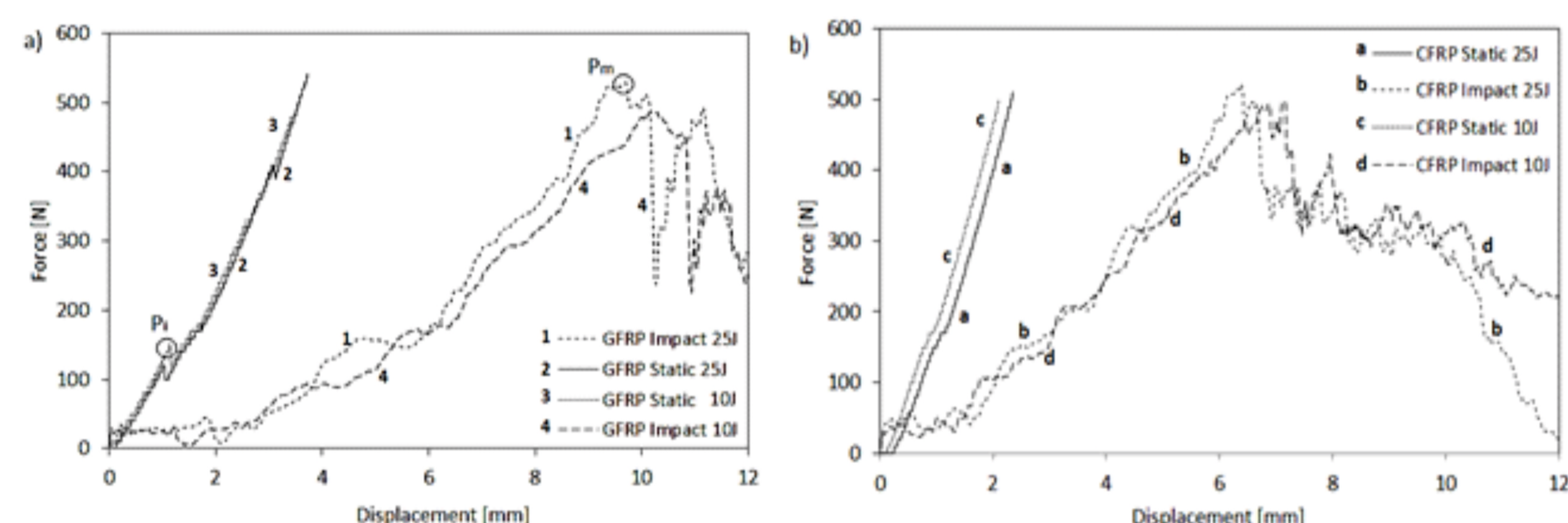
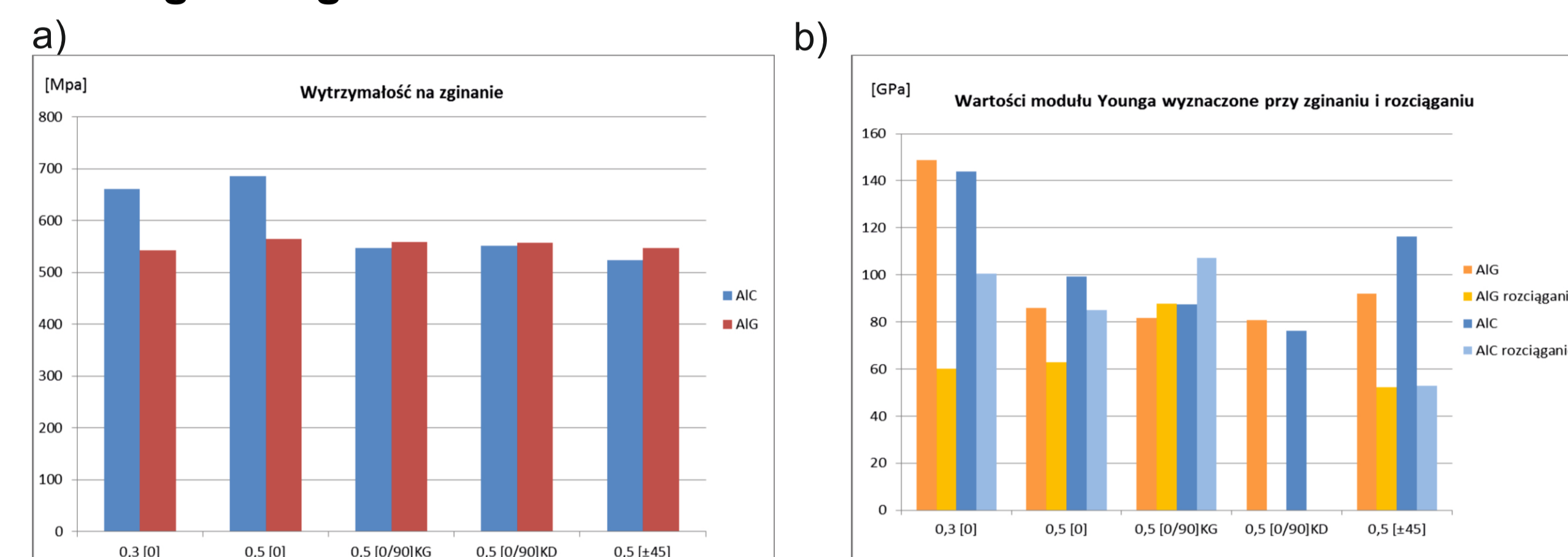


Fig. 3. Typical F-d curves of GFRP (a) and CFRP (b) after low-velocity impact and quasi-static indentation.
Rys. 3. Typowe wykresy siła-czas kompozytów GFRP (a) oraz CFRP (b) po obciążeniu dynamicznym z niską prędkością oraz statycznym o tej samej wartości siły.

Force-displacement curves which are representation of low-velocity impact are characterized by section of increasing of loading until maximum force (Pm) and next sharp decline in force. Pm is the point where composites lose their stiffness and continued ability to carry loads such impact. In the case of quasi-static indentation the F-d curves are smooth and much more progressive (to obtain the same force value as in the case of low-velocity impact). The F-d curves obtain from quasi-static indentation are similar to classic tensile curves in the elastic range of it.

Przebieg linii zmian siły w czasie w przypadku obciążeń dynamicznych charakteryzuje się występowaniem nagłego spadku sił. Świadczy to o lawinowej propagacji zniszczenia. W przypadku obciążeń statycznych o tej samej sile nie obserwuje się tożsamego zjawiska.

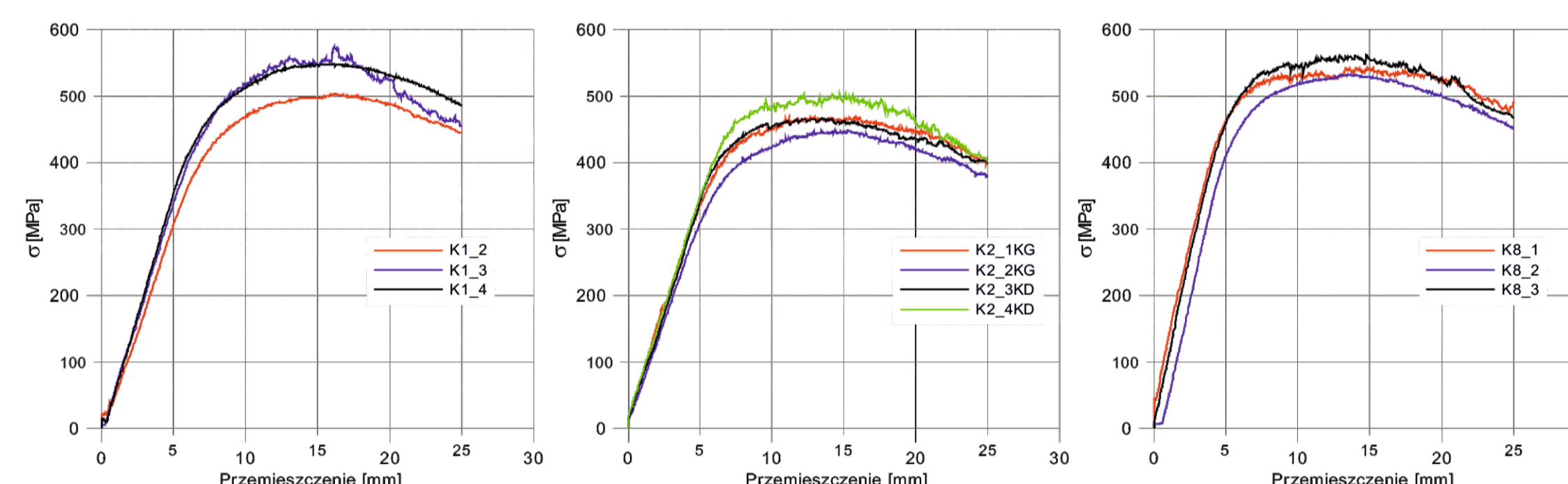
Charakterystyka właściwości i struktury laminatów metalowo-włóknistych - badanie wytrzymałości na zginanie Mechanical properties and structure characterization in FML laminates - bending strength test



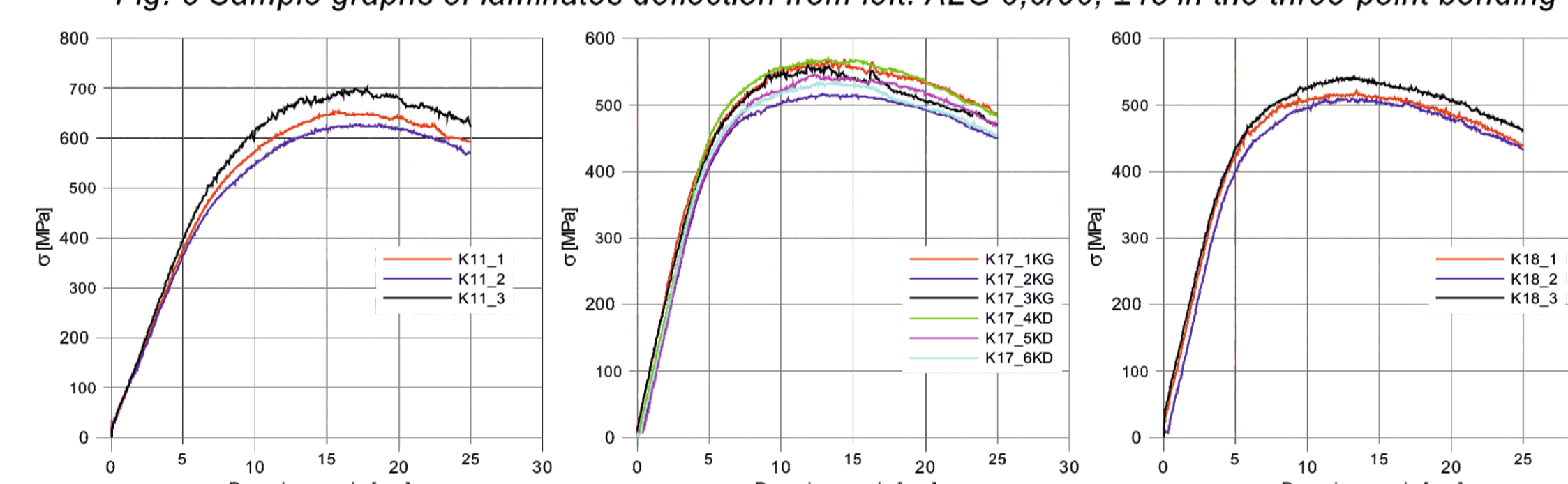
Rys. 4. Wytrzymałość na rozciąganie oraz wartość modułu Younga wybranych laminatów metalowo-włóknistych.
Fig. 4. Tensile strength and Young modulus of selected fiber-metal laminates.

Wytrzymałość na zginanie laminatów metalowo-włóknistych wykazuje zależność względem: ilości warstw laminatu, rodzaju włókien zbrojących, kierunku ułożenia włókien w warstwach kompozytowych, oraz grubości okładzin metalowych.

Bending strength of fiber-metal laminates shows the dependence of: the number of laminate layers, the type of reinforcement fibers, orientation of fibers in the composite layers and the thickness of the metal sheets.



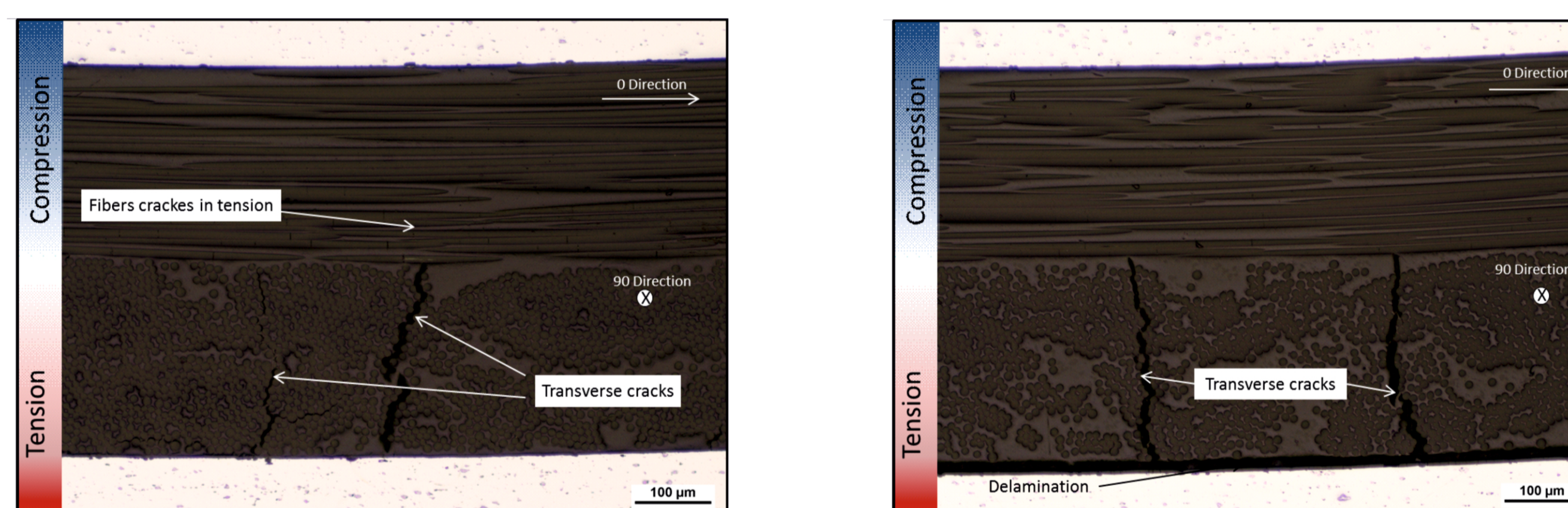
Rys. 5. Przykładowe wykresy ugięcia laminatów kolejno od lewej: ALG 0,0/90, ±45 w próbie 3-punktowego zginania.
Fig. 5. Sample graphs of laminates deflection from left: ALG 0,0/90, ±45 in the three-point bending tests



Rys. 6. Morfologia zniszczenia laminatów FML wzmocnionych włóknami węglowymi.
Fig. 6. Fracture morphology of carbon/epoxy based FML laminates

Pęknięcia poprzeczne (rys. 7 a i b) obserwowane w warstwach kompozytowych o orientacji 90 są konsekwencją anizotropii właściwości mechanicznych warstwy oraz małych odkształceń niszczących. Przyczyną powstania delaminacji widocznej na granicy faz metal-kompozyt (rys. 7 b) była niższa wytrzymałość połączenia adhezyjnego otrzymanego dla technologii anodowania w kwasie siarkowym na tego rodzaju obciążenia

-Transverse cracks observed in 90 plies are consequence of stress concentrations induced by the embedded fibers and small failure strain in perpendicular direction.
-Delamination apparent in figure 7b is caused by the shear stress provides a lower resistance of the SAA coating, for this type of load.

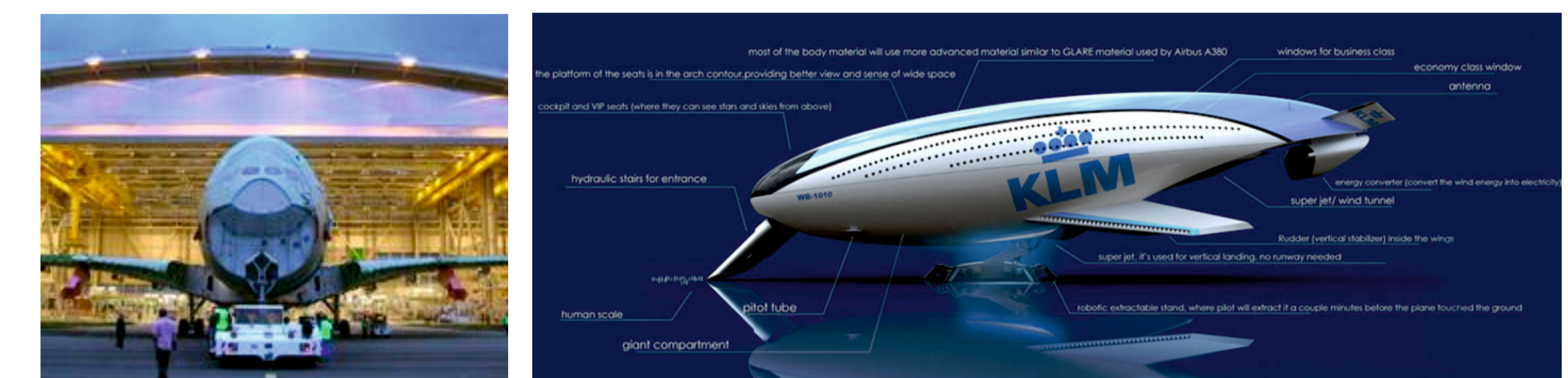


Rys. 7. Mikrostruktura laminatu aluminium a) (anodowanie w kwasie chromowym), b) (anodowanie w kwasie siarkowym) - kompozyt epoksydowo/szklany w układzie [0,90] po teście zginania.
Fig.7. Microstructure of aluminum a) (CAA), b) (SAA) - epoxy/glass laminate in [0,90] configuration after bending test

Wnioski Conclusions

1. The low-velocity impact causes significant degradation of composite structures. Even small impact energy level (10J) is the reason of perforation or extensive delamination in composite.
2. Quasi-static indentation under the same as in impact force level causes some internal degradation of laminates structure. However, the size of it is much lower as in case of low-velocity impact.
3. The low-energy impact is serious and complex phenomenon in conventional polymer composite and fibre metal laminates such as GLARE® used in aerospace.
4. The impact energy and thickness of metal layer has significant influence on size of degradation area. It is connected with possibility of energy absorption by laminate-metal-composite interface degradation.
5. Orientacja włókien zbrojących w warstwie kompozytowej ma znaczący wpływ na właściwości mechaniczne i charakter zniszczenia badanych laminatów metalowo-włóknistych
6. Kluczowym zagadnieniem w projektowaniu laminatów metalowo-włóknistych jest zapewnienie wysokich właściwości mechanicznych połączenia na granicy rozdziału metal-kompozyt, szczególnie w kontekście możliwości formowania plastycznego laminatów.
5. Orientacja reinforcing fibers have an influence on the size of the destruction of the laminate structure which may have a decisive effect on the ability of forming laminates
6. An important factor influencing the properties of the laminate as a whole, is to provide high adhesive properties of the composite-metal connections.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Rys. 8. Laminaty FML w strukturach lotniczych.
Fig. 8. FML laminates in aircraft structures

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

- WSK PZL Świdnik S.A. - konsultacje metod oceny jakości w przemyśle lotniczym; anodowanie w warunkach przemysłowych; konsultacje naukowe dla pracowników zakładu
- PZL Mielec - nawiązanie współpracy w obszarze technologii kompozytowych
- WSK PZL Świdnik S.A. - consultation methods of quality assurance in aircraft industry, anodizing process; transfer of knowledge to factory employers
- PZL Mielec - establishing cooperation in the area of composites technology.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

1. Bienias J., Majerski K., Surowska B., Jakubczak P.: **Wybrane właściwości mechaniczne oraz analiza zniszczenia laminatów metalowo-włóknistych** Polska, Poraj.: XVII Seminarium "KOMPOZYTY 2012 - Teoria i praktyka",
2. J., Jakubczak P., Surowska B.: **Problematyka obciążeń dynamicznych o niskiej energii laminatów typu GLARE**. Polska, Poraj.: XVII Seminarium "KOMPOZYTY 2012 - Teoria i praktyka", udział czynny - Bienias
3. Ostapiuk M., Surowska B., Bienias J.: **Charakterystyka granicy rozdziału w laminatach FML i jej technologiczne uwarunkowania**. Polska, Poraj.: XVII Seminarium "KOMPOZYTY 2012 - Teoria i praktyka",
4. Polska, Poraj.: XVII Seminarium "KOMPOZYTY 2012 - Teoria i praktyka", udział czynny - Surowska B., Jakubczak P., Bienias J.: Identyfikacja mechanizmów zniszczenia w wybranych laminatach poddanych uderzeniom dynamicznym o niskiej prędkości.

Publikacje

1. Jakubczak Patryk, Bienias Jarosław, Dragan Krzysztof. **Odporność kompozytów epoksydowo-węglowych na uderzenia udarowe przy niskich prędkościach** II PRZETWORSTWO TWORZYW - 2012, nr 3, s. 205-209
2. Bienias J., Jakubczak P., Majerski K., Ostapiuk M., Surowska B. **Methods of ultrasonic testing, as an effective way of estimating durability and diagnosing operational capability of composite laminates used in aerospace industry** Eksploatacja i Niezawodność 2013 Vol. 15, no. 3 284-289
3. Bienias J., Jakubczak P., Surowska B.: **Comparison of polymer composites behavior on low-velocity impact and quasi-static indentation**, *Composites Theory and Practice* (accepted)
4. Bienias J., Jakubczak P., Surowska B.: **Low-energy impact issues in GLARE laminates**, *Composites Theory and Practice* (accepted)

Prace mgr, dr, hab...

Prace inżynierskie obronione

- K. Dadej: **Wytrzymałość połączenia metal-kompozyt polimerowy w wybranych laminatach metalowo-włóknistych**, opiekun prof. B. Surowska,
- M. Krzysiak: **Badania stopnia odkształcenia laminatów metalowo-włóknistych: tytan/włókna szklane i węglowe**, opiekun prof. B. Surowska,
- B. Flis: **Badania wytrzymałości na zginanie wybranych laminatów metalowo-włóknistych**, opiekun prof. B. Surowska,
- P. Jeczek: **Właściwości wytrzymałościowe i charakter zniszczenia laminatów metalowo-włóknistych w obniżonych temperaturach**, opiekun prof. B. Surowska,
- P. Laskowski: **Analiza struktury laminatów typu tytan/kompozyt o osnowie epoksydowej wzmocnionych włóknami węglowymi i szklanymi**, opiekun dr J. Bienias
- M. Pogorzelski: **Analiza procesu zniszczenia w wybranych laminatach metalowo-włóknistych po badaniach odporności na uderzenia dynamiczne**, opiekun dr J. Bienias,
- C. Antolak: **Badania odporności korozyjnej laminatów metalowo-włóknistych z wykorzystaniem komory korozyjnej**, opiekun dr inż. J. Bienias,
- M. Pajurek: **Analiza możliwości odkształcania laminatów metalowo-włóknistych typu: aluminium/włókna szklane i węglowe**, opiekun dr inż. J. Bienias,
- G. Kłosowski: **Wpływ warunków środowiskowych na właściwości laminatów metalowo-włóknistych**, opiekun dr inż. J. Bienias,
- K. Szalkowska: **Badania defektoskopowe ultradźwiękowe wybranych laminatów metalowo-włóknistych**, opiekun dr inż. J. Bienias,
- D. Czerniak: **Badania korozyjne wybranych kompozytów metalowo-włóknistych metodą elektrochemiczną**, opiekun dr inż. J. Bienias,
- B. Kołomyjska: **Badanie wpływu wielkości delaminacji na makroskopowe właściwości wytrzymałościowe kompozytów laminatowych metodą trójpunktowego zginania belek**, opiekun dr inż. S. Samborski,
- K. Trumiński: **Modelowanie procesu zniszczenia kompozytów FML**, opiekun dr inż. H. Dębski,

Prace magisterskie planowane

- D. Sochan: **Granica rozdziału w wybranych laminatach metalowo-włóknistych**, opiekun prof. B. Surowska, planowana obrona czerwiec 2013
- M. Kość: **Badania wytrzymałości połączenia metal-kompozyt metodą rozdzierania**, opiekun prof. B. Surowska, planowana obrona czerwiec 2013
- A. Pozorski: **Analiza zniszczenia laminatów metalowo-włóknistych po procesie zginania**, opiekun dr inż. J. Bienias, planowana obrona czerwiec 2013
- M. Wąwro: **Badania odporności laminatów na warunki środowiskowe** opiekun dr inż. J. Bienias, planowana obrona czerwiec 2013
- Ł. Sapijka: **Badania korozyjne wybranych laminatów metalowo-włóknistych** opiekun dr inż. J. Bienias, planowana obrona czerwiec 2013
- M. Kaczor: **Wytwarzanie i struktura laminatów typu stop magnezu/kompozyt wzmocniony włóknami szklanymi i węglowymi** opiekun dr inż. J. Bienias, planowana obrona czerwiec 2013

Prace doktorskie

Tytuł: **Rola mikrostruktury warstwy wierzchniej aluminium w kształtowaniu właściwości laminatu aluminium-kompozyt epoksydowo-szklany**
Autor: Monika Ostapiuk
Promotor: prof. dr hab. Surowska Barbara
Status: *W trakcie realizacji przygotowania do druku*

Tytuł: **Analiza zniszczenia laminatów metalowo-włóknistych w wyniku obciążenia dynamicznego z niską prędkością**
Autor: Patryk Jakubczak
Promotor: prof. dr hab. Surowska Barbara
Status: *W trakcie realizacji przygotowania do druku*

Prace habilitacyjne

Tytuł: **Kształtowanie struktury i właściwości laminatów metalowo włóknistych**
Autor: Jarosław Bienias
Status: *W trakcie realizacji przygotowania do druku*