

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

Analiza właściwości mechanicznych i fizycznych kompozytów typu GLARE 3 2/1 wykonanych ze stopów 7075, 6061 oraz 2024 w aspekcie możliwych zastosowań na elementy struktur lotniczych.

Analysis of mechanical and physical properties of composites GLARE 3 2/1 made of alloys 7075, 6061 and 2024 in terms of possible uses for the components of aircraft structures

Materiały kompozytowe przeznaczone do zastosowań na struktury lotnicze muszą spełniać określone wymagania, takie jak:

- wytrzymałość zmęczeniowa danego materiału,
- szeregi tolerancji temperatury ($\pm 50^{\circ}\text{C}$),
- odporność na wyładowania elektryczne powstałe podczas burz,
- ognioodporność i niepalność,
- brak reakcji z innymi materiałami,
- nie toksyczność,
- tworzenie bariery dźwiękowej,
- odporność na korozję, itp.

W poniższej pracy skupiono się na ocenie właściwości mechanicznych i fizycznych kompozytów typu GLARE wykonanych z różnych stopów aluminium w aspekcie możliwych, przyszłych zastosowań na elementy struktur lotniczych.

Oceny wytrzymałości kompozytów typu GLARE w zależności od rodzaju zastosowanej fazy metalicznej, dokonano przeprowadzając statyczną próbę rozciągania. Podczas statycznej próby rozciągania próbek z karbami przeanalizowano wpływ geometrii karbu, imitującego otwory pod nity lub uszkodzenie struktury na wytrzymałość kompozytu przeznaczanego na elementy stosowane w lotnictwie.

Ocenę ognioodporności kompozytów typu GLARE przeprowadzono w trakcie testu palności. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono znaczny wpływ rodzaju zastosowanego stopu aluminium na cechy materiału kompozytowego.

Wykazano znaczny wpływ geometrii karbu na wytrzymałość kompozytu. Wykazano, że kompozyty typu GLARE należą do materiałów niepalnych. Ostatecznie wykazano, że kompozyty typu GLARE wykonane z różnych stopów aluminium stanowią obiecujący materiał do zastosowań na elementy struktur lotniczych. Materiał do badań stanowiły próbki kompozytowe typu GLARE 3 2/1 wykonane z arkuszy ze stopów aluminium 2024, 6061 i 7075, o grubości 0,4 mm oraz dwóch warstw jednokierunkowego prepregu (UD) (Rys. 1).

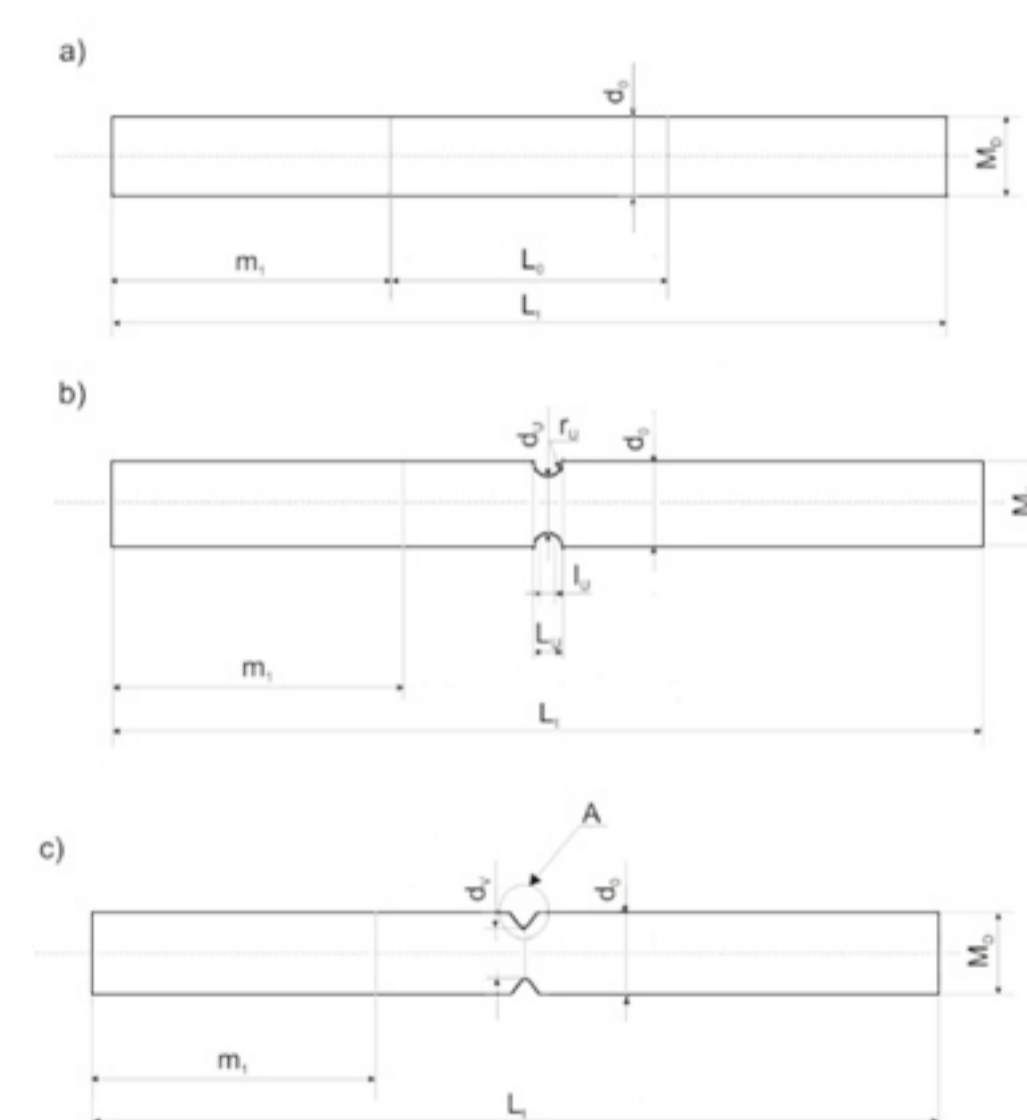
Prepreg wchodzący w skład kompozytu składał się z żywicy epoksydowej zbrojonej długim włóknem szklanym typu R (o średnicy 10 μm i zawartości w prepregu na poziomie 60%). Sumaryczna grubość warstwy kompozytu polimerowego o ułożeniu włókien 0o/90o wyniosła 0,5 mm, natomiast całkowita grubość wykonanego kompozytu typu GLARE wyniosła 1,3 mm. W tabeli nr 1 przedstawiono skład zastosowanych do badań stopów aluminium. Właściwości materiałowe składowych kompozytów oraz obliczone na podstawie reguły mieszania właściwości kompozytów typu GLARE zamieszczono odpowiednio w tabeli nr 2 i 3.

Tabela 2 Właściwości mechaniczne i fizyczne badanych próbek
Table 2 Mechanical and physical properties of the test material

Aluminum alloy	Mechanical properties			Physical properties	
	R_m [MPa]	$R_{p0.2}$ [MPa]	E [GPa]	ρ [g/cm ³]	$T_{0.2}$ [°C]
2024	456 - 459	304 - 308	72,8 - 73,3	2,79	500 - 640
6061	334 - 342	283 - 293	69 - 70	2,70	575 - 652
7075	515 - 520	445 - 450	71 - 72	2,81	505 - 635

Tabela 3 Właściwości mechaniczne materiałów do budowy kompozytu typu GLARE
Table 3 The mechanical properties of materials for the type of GLARE composite

Przeprowadzono statyczną próbę rozciągania płaskich próbek kompozytowych; 2024/prepreg/2024, 6061/prepreg/6061 oraz 7075/prepreg/7075 oraz dla próbek z karbem w kształcie litery „V” i litery „U” (rys. 2 i 3). Badania eksperymentalne przeprowadzono w temperaturze pokojowej na programowalnej, hydraulicznej, jednoosiowej maszynie wytrzymałościowej (Zwick Z100) z oprzyrządowaniem badawczym (rys. 4). Zastosowano prędkość przemieszczenia próbki 0,1 mm/s (PN-EN 10002-1+AC1, 2004).



Rys. 2 Schemat próbek zastosowanych do badań wytrzymałości; a) próbka płaska, b) próbka z karbem w kształcie litery V, c) próbka z karbem w kształcie litery U
Fig. 2 Scheme samples of the strength test, a) the sample flat, b) the sample with the notch V-shaped, c) the sample with the notch in the shape of the letter 'U'.

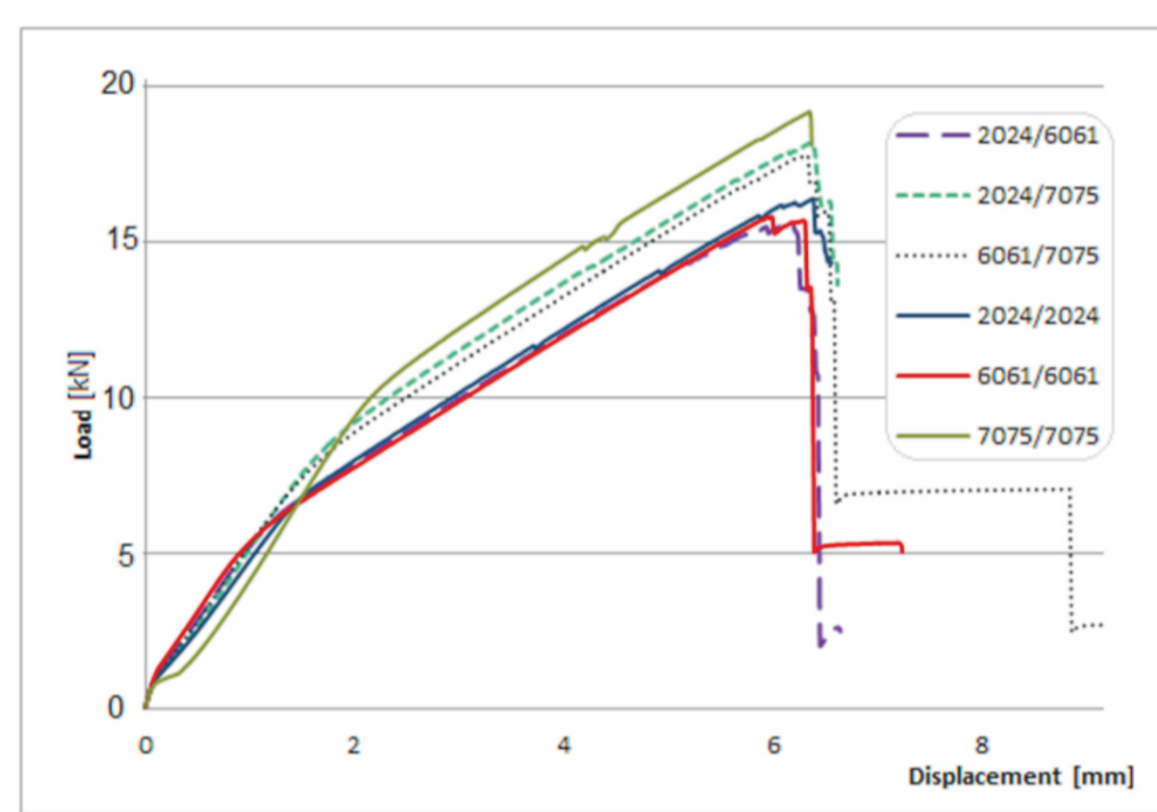


Rys. 4 Stanowisko do przeprowadzenia statycznej próby rozciągania
Fig. 4 Position to carry out the static tensile test

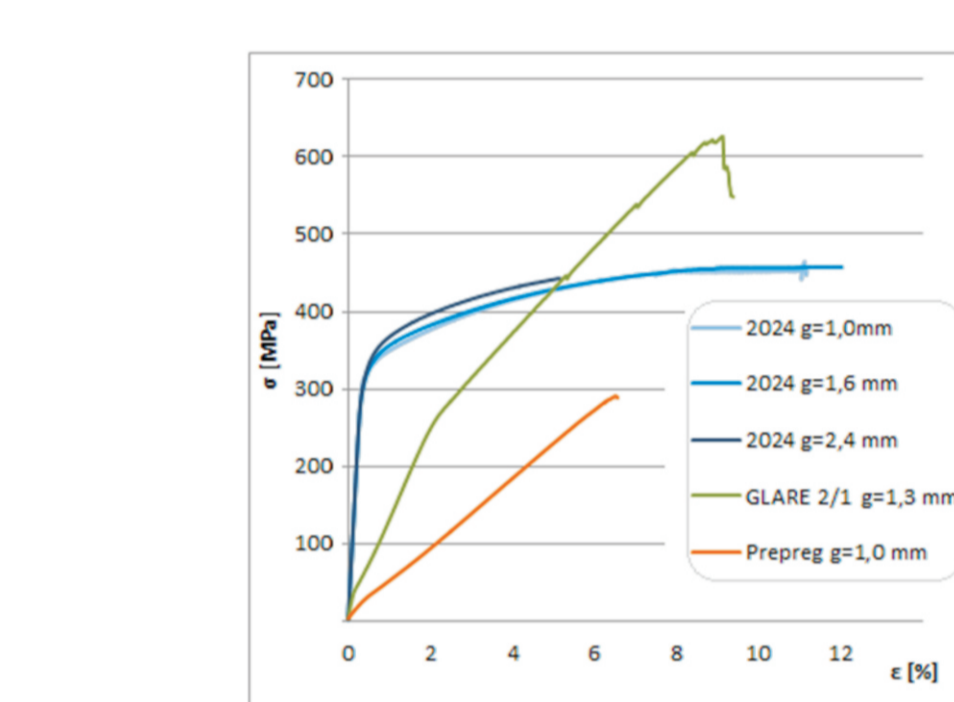
Zgodnie z założeniami reguły mieszania stosowanej do wstępnej oceny cech kompozytu, właściwości finalne kompozytów typu GLARE zależą od rodzaju zastosowanych stopów aluminium. W przypadku kompozytu typu GLARE składającego się z arkuszy blachy 7075 otrzymujemy materiał o dużej wytrzymałości w porównaniu do kompozytu zbudowanego z arkuszy ze stopu 6061 (rys. 5 i 6). Porównanie właściwości kompozytów typu GLARE zbudowanego z blach stopu 2024 z właściwościami arkuszy ze stopu aluminium 2024 o różnych grubościach przedstawiono na rys. nr 7. Grubość kompozytu GLARE wykonanego z warstw stopu 2024 wynosi 1,3 mm. Natomiast grubość próbek ze stopu aluminium 2024 wynosiła odpowiednio 1,0, 1,6 i 2,4 mm. Na wykresie widoczne są znaczne różnice materiałowe, kompozyt wykazuje dużą sztywność.



Rys. 5 Zdjęcia próbek po próbie statycznego rozciągania
Fig. 5 The samples pictures after the static tensile test

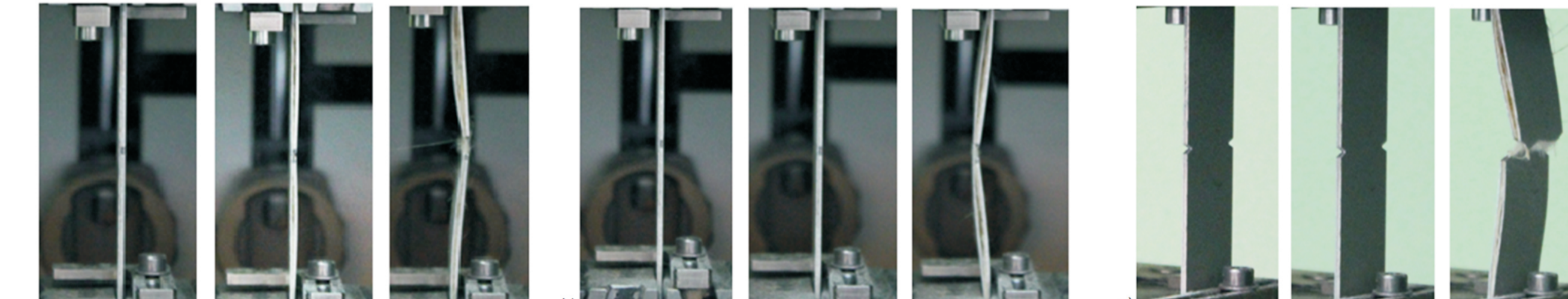


Rys. 6 Wykres zależności siły i wydłużenia dla próbek bez karbu
Fig. 6 A plot of the strength and elongation for the samples without notch

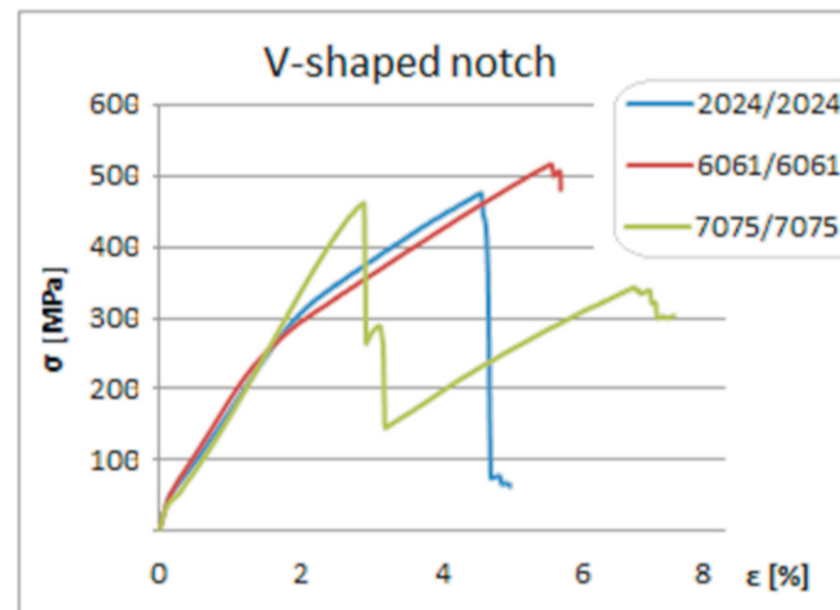


Rys. 7 Porównanie właściwości próbek ze stopu 2024 o różnej grubości z próbkami z kompozytu GLARE o grubości 1,3 mm oraz z próbką wykonaną z prepregu zbrojonego matą szklaną
Fig. 7 Comparison of characteristics of the 2024 alloy samples of different thickness with GLARE composite sample having a thickness of 1.3 mm and prepreg sample reinforced by glass mat.

Kolejne etapy badania wytrzymałości próbek oraz wykres naprężenie - odkształcenie dla próbek z karbem „V” przedstawiono odpowiednio na rys. 8 i 9. Widoczne są znaczne różnice w zachowaniu się materiału próbki kompozytu typu GLARE pod wpływem działania sił w zależności od rodzaju zastosowanego stopu aluminium. W przypadku kompozytu zbudowanego z arkuszy 6061 nastąpiło zerwanie blachy, następnie obciążenie było przeniesione przez warstwę włókien w kompozycie do momentu ich zerwania. Największą wytrzymałość wykazały próbki z kompozytów GLARE zbudowanych ze stopu 7075.

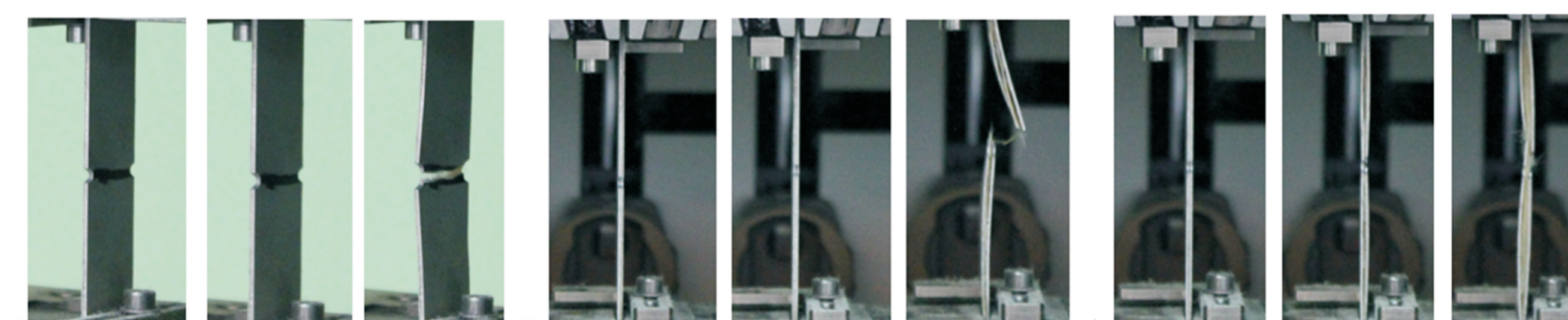


Rys. 8 Kolejne etapy podczas rozciągania próbek z karbem V; a) 2024/prepreg/2024, b) 6061/prepreg/6061, c) 7075/prepreg/7075
Fig. 8 The next stages in the tensile tests of V notched samples; a) 2024/prepreg/2024 b) 6061/prepreg/6061 c) 7075/prepreg/7075

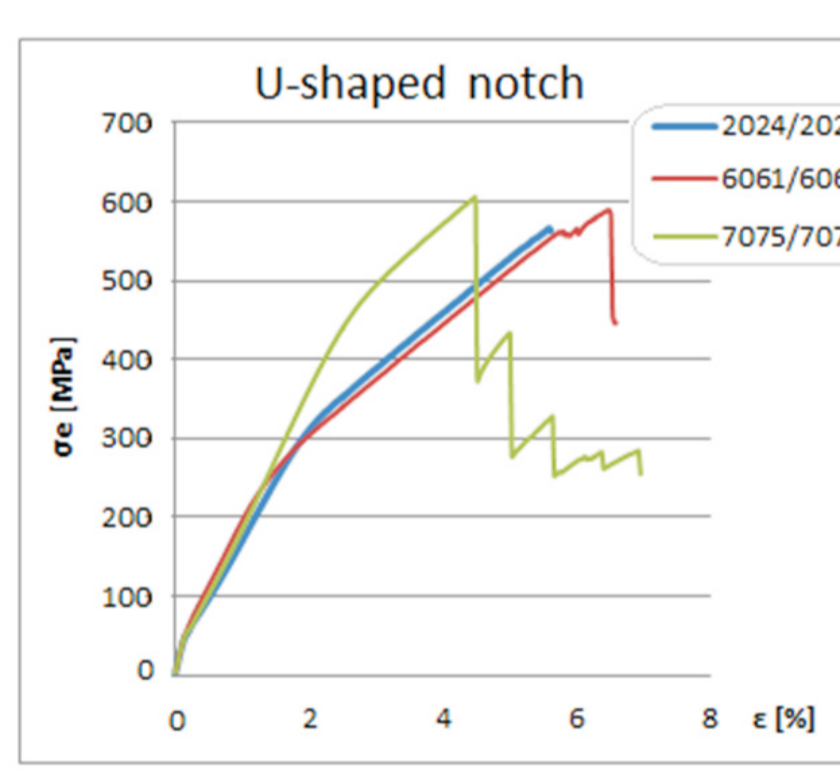


Rys. 9 Wykres zależności naprężenie-odkształcenie dla próbek z karbem „V”
Fig. 9 A plot of the stress-strain for samples with a notch "V"

Kolejne etapy badania wytrzymałości próbek oraz wykres naprężenie - odkształcenie dla próbek z karbem „U” przedstawiono odpowiednio na rys. 10 i 11. W przypadku kompozytu GLARE zbudowanego ze stopu 2024 oraz kompozytu zawierającego arkusze ze stopu 6061 krzywa zależności siła - przemieszczenie wykazuje podobieństwa. Wynika to z przeniesienia całkowitego obciążenia na włókna szklane zawarte w kompozycie. Przy rozciąganiu próbki zawierającej arkusze ze stopu 7075 część działającego obciążenia została przekazana na stop aluminium do momentu zerwania, a następnie widoczne jest stopniowe zrywanie włókien w prepregu.



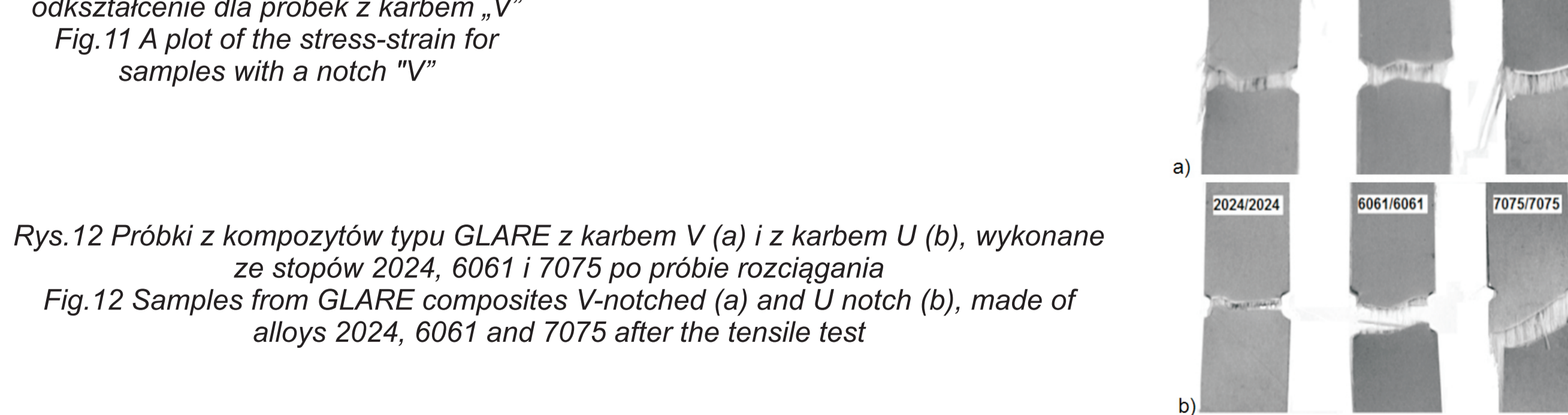
Rys. 10 Kolejne etapy podczas rozciągania próbek z karbem U; a) 2024/prepreg/2024, b) 6061/prepreg/6061, c) 7075/prepreg/7075
Fig. 10 The next stages in the tensile tests of U notched samples; a) 2024/prepreg/2024 b) 6061/prepreg/6061 c) 7075/prepreg/7075



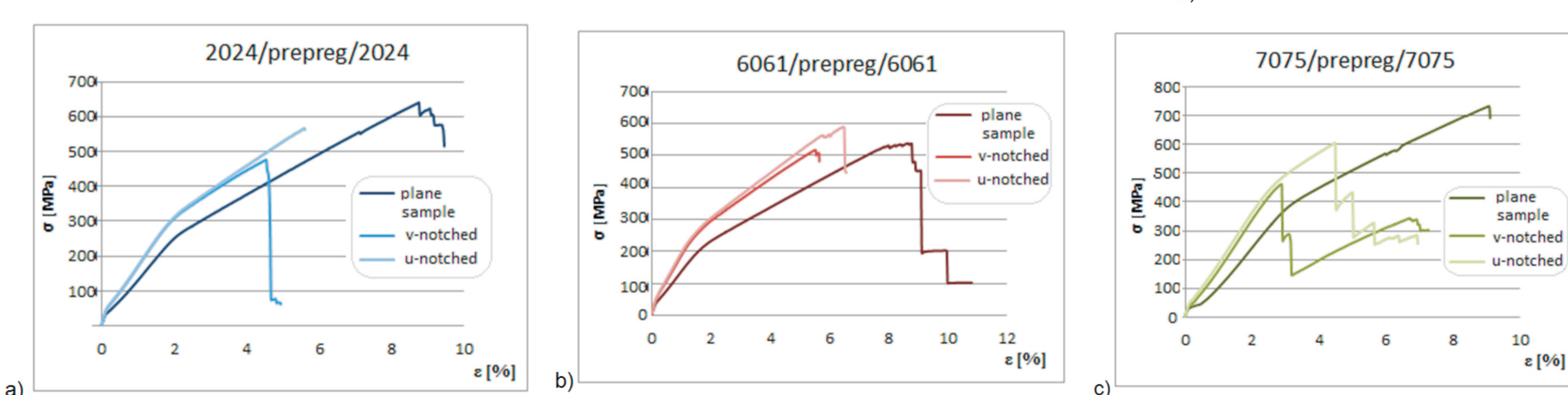
Rys. 11 Wykres zależności naprężenie-odkształcenie dla próbek z karbem „U”
Fig. 11 A plot of the stress-strain for samples with a notch "U"

Na rys. nr 12 przedstawiono porównanie próbek kompozytowych z karbem „V” (oraz z karbem „U” po zerwaniu). Widoczne są różnice w sposobie zerwania próbek w zależności od rodzaju stopu aluminium oraz w zależności od geometrii karbu.

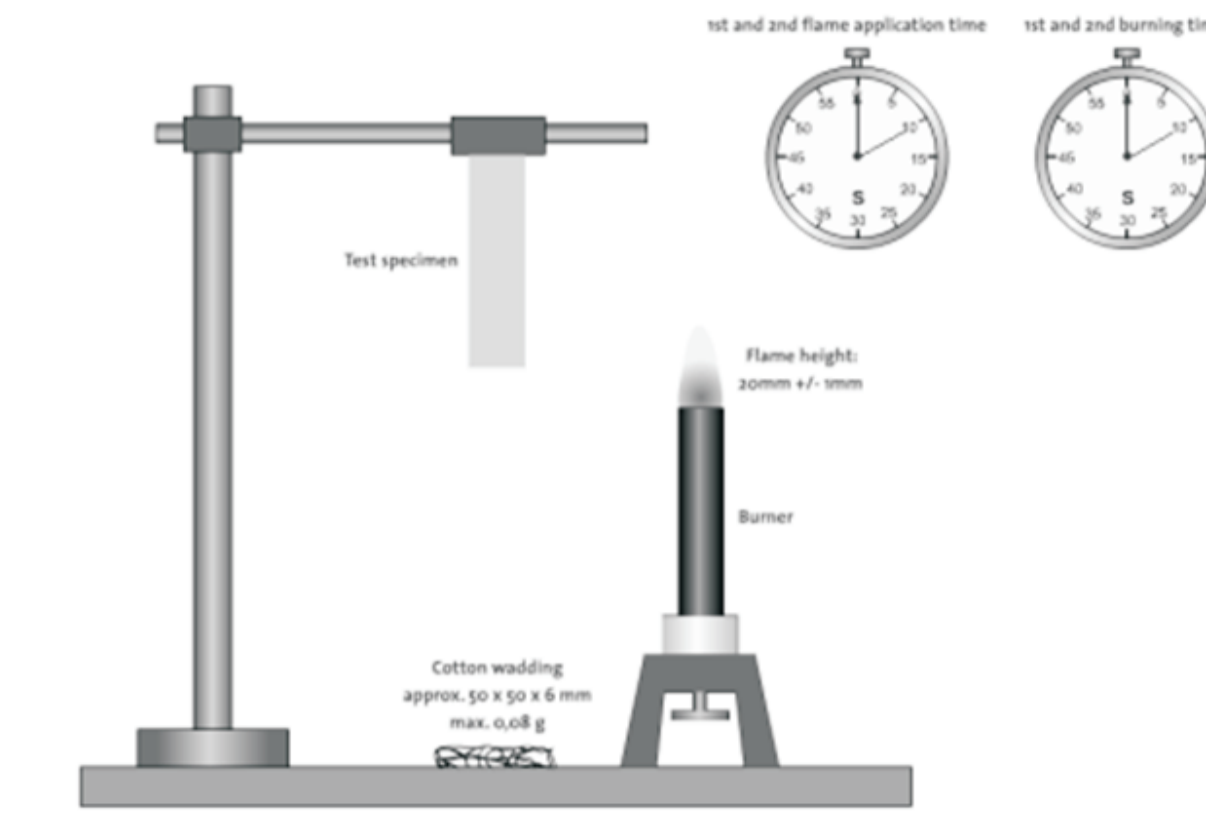
Na rys. 13 zaprezentowano porównanie wpływu karbu na wytrzymałość kompozytu zawierającego arkusze z poszczególnych stopów (2024, 6061, 7075). Widoczny jest silny wpływ karbu na zmniejszenie wytrzymałości kompozytu. Najmniej wytrzymałe okazały się próbki z karbem „V”.



Rys. 12 Próbki z kompozytów typu GLARE z karbem V (a) i z karbem U (b), wykonane ze stopów 2024, 6061 i 7075 po próbie rozciągania
Fig. 12 Samples from GLARE composites V-notched (a) and U notched (b), made of alloys 2024, 6061 and 7075 after the tensile test



Rys. 13 Wykresy przedstawiające zależność naprężenia i odkształcenia próbek kompozytowych 2024/2024 (a), 6061/6061 (b), 7075/7075 (c) bez karbu, z karbem „V” oraz karbem w kształcie litery „U”.
Fig. 13 Graph showing the dependence of the stress and strain of composite samples 2024/2024 (a), 6061/6061 (b), 7075/7075 (c) without the notch, with the notch "V" notch, and the U



Rys. 14 Schemat stanowiska do pionowego testu spalania dla klasy palności UL 94
Fig. 14 Scheme of stand of vertical burning test for class flammability UL 94

Tabela 4 Wyniki testu palności
Table 4 Flammability Test Results

GLARE 3 2/1 type	Time of burning [s]		Weight loss [%]
	I	II	
2024/prepreg/2024	0	9	0,6
6061/prepreg/6061	0	0	0,3
7075/prepreg/7075	0	0	0,4

Wnioski Conclusions

W pracy wykazano znaczny wpływ rodzaju zastosowanych arkuszy stopów aluminium w budowie kompozytu typu GLARE na jego finalne właściwości wytrzymałościowe. Zgodnie z założeniami reguły mieszania najbardziej wytrzymałe są kompozyty typu GLARE składające się z arkuszy stopu 7075.

Zgodnie z przewidywaniami wykazano znaczny wpływ karbu na obniżenie poziomu wytrzymałości kompozytów GLARE. Najbardziej niekorzystnym okazuje się karb w kształcie litery „V” co wynika w głównej mierze ze sposobu i kierunku działania sił zrywających. Karb tego typu obrazuje możliwe uszkodzenie w strukturze kompozytu powstałe np. pod wpływem uderzenia. Natomiast karb w kształcie litery „U” obrazuje występowanie w strukturze kompozytowej otworów do łączenia np. pod nitowanie.

Zgodnie z parametrami zawartymi w normie kompozyty GLARE określono jako niepalne.

The study demonstrated a significant effect of the type used sheets of aluminum alloys in the construction of composite type GLARE on the final mechanical properties. According to the mixing rules are the most durable type of GLARE composites consisting of sheets of alloy 7075.

As expected, a significant effect has been shown to reduce the level of the notch strength of composites GLARE.

The worst turns out to be a notch in the shape of the letter "V" which results mainly from the process and direction of the breaking force. Notch illustrates this type of possible damage to the structure of the composite formed eg on impact.

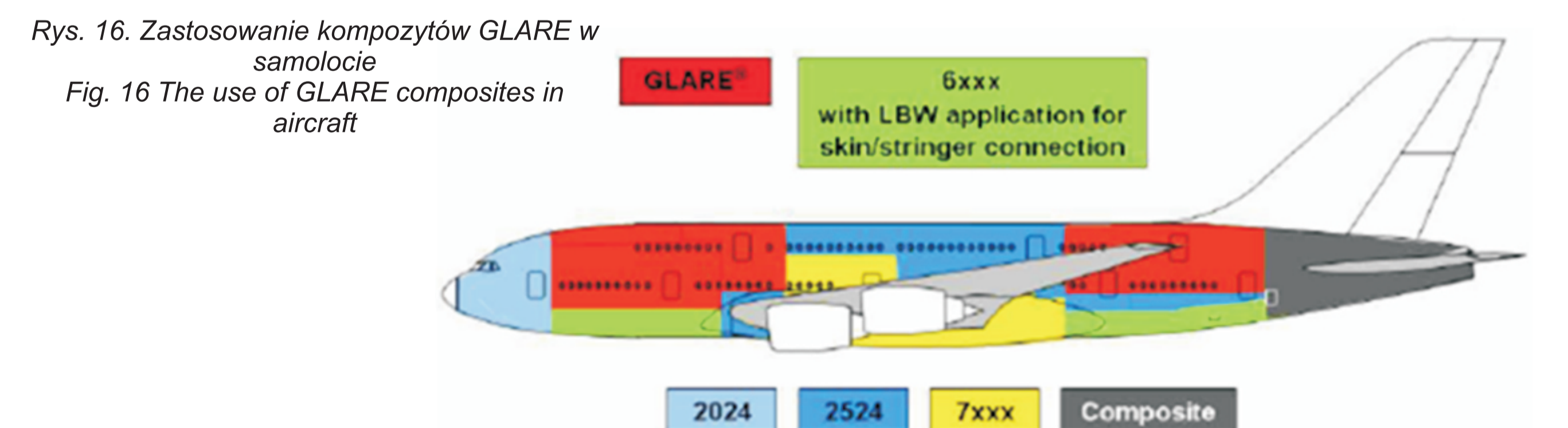
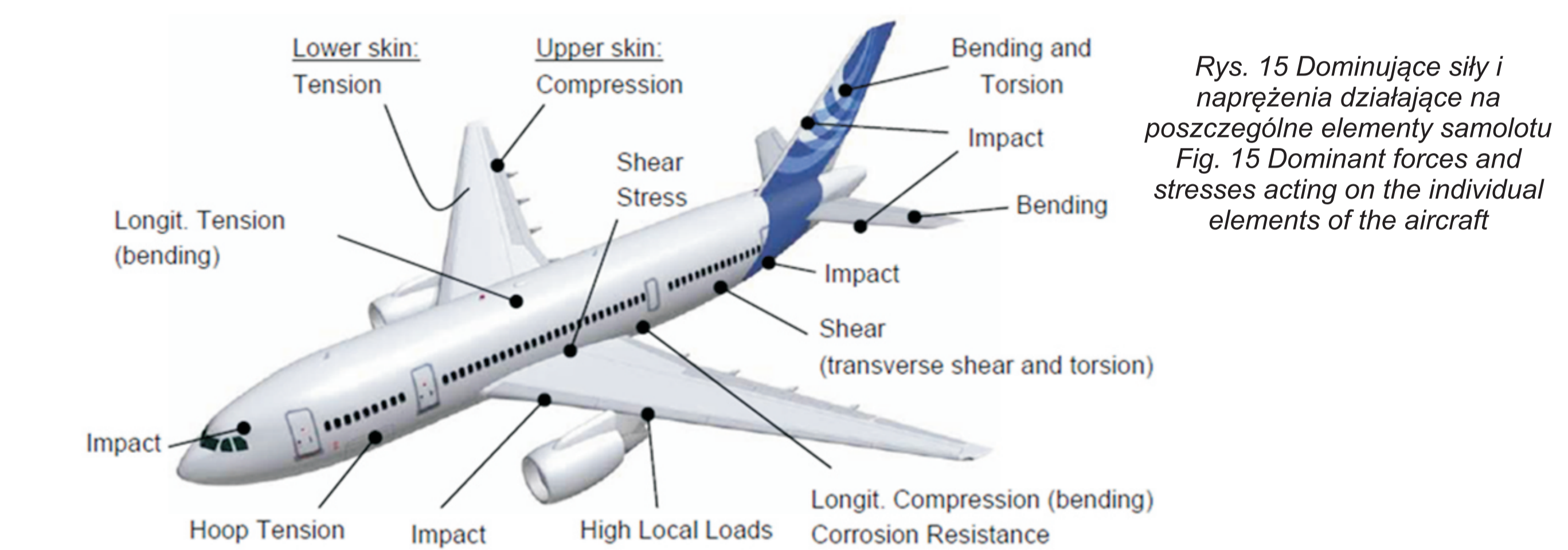
In contrast, shaped notch "U" represents the occurrence of a composite structure such as holes for connecting the riveting.

In accordance with the parameters of the standard GLARE composites identified as non-flammable

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych są punktem wyjścia do oceny przydatności oraz określenia poziomu bezpiecznej eksploatacji struktur lotniczych z kompozytów typu GLARE, wykonanych z różnych stopów aluminium. Uwzględniając rodzaj i poziom naprężeń oraz sił działających na poszczególne elementy struktury lotniczej (rys. 15), przebadane kompozyty typu GLARE można z powodzeniem stosować w budowie statków powietrznych (rys. 16).

The results of experimental studies are the starting point for evaluating the suitability and determine the level of safe operation of aircraft structures GLARE type composites made of different aluminum alloys. Taking into account the type and level of stresses and forces acting on the individual elements of the aerostructure (Fig. 15), tested GLARE type composites can be successfully used in the construction of aircraft (Fig. 16).



Rys. 15 Dominujące siły i naprężenia działające na poszczególne elementy samolotu
Fig. 15 Dominant forces and stresses acting on the individual elements of the aircraft

Rys. 16 Zastosowanie kompozytów GLARE w samolocie
Fig. 16 The use of GLARE composites in aircraft

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Oferta współpracy z zakładem PZL Mielec / a Sikorsky Company, Sp. z o.o

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty:

- M.Wilk, R.E.Śliwa: „Plastic deformation of GLARE type composites”. The Twenty-second Annual International Conference on COMPOSITES/NANO ENGINEERING (ICCE-22), Malta, 13-19.VII.2014
- M.Wilk, R.E.Śliwa: „Preparation of aircraft structural components in the plastic process of shaping the GLARE composites”, 9th INTERNATIONAL AEROSPACE SUPPLY ON THE WINGS, Frankfurt, 28-30.X.2014

Publikacje w przygotowaniu:

- M.Wilk, R.E.Śliwa „Analysis of influence of metal phase for producing methods of GLARE composites profiles” Archives of Metallurgy Materials Science and Technology
- M.Wilk, R.E.Śliwa „Evaluation of properties of GLARE type composites made of 2024, 6061 and 7075 alloys in the aspect of application to aircraft design elements”

Prace mgr., dr. hab.

Praca doktorska

Autor: Małgorzata Wilk,

Temat: **Kształtowanie elementów konstrukcji lotniczych z kompozytów typu GLARE**

promotor: R.E.Śliwa