

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

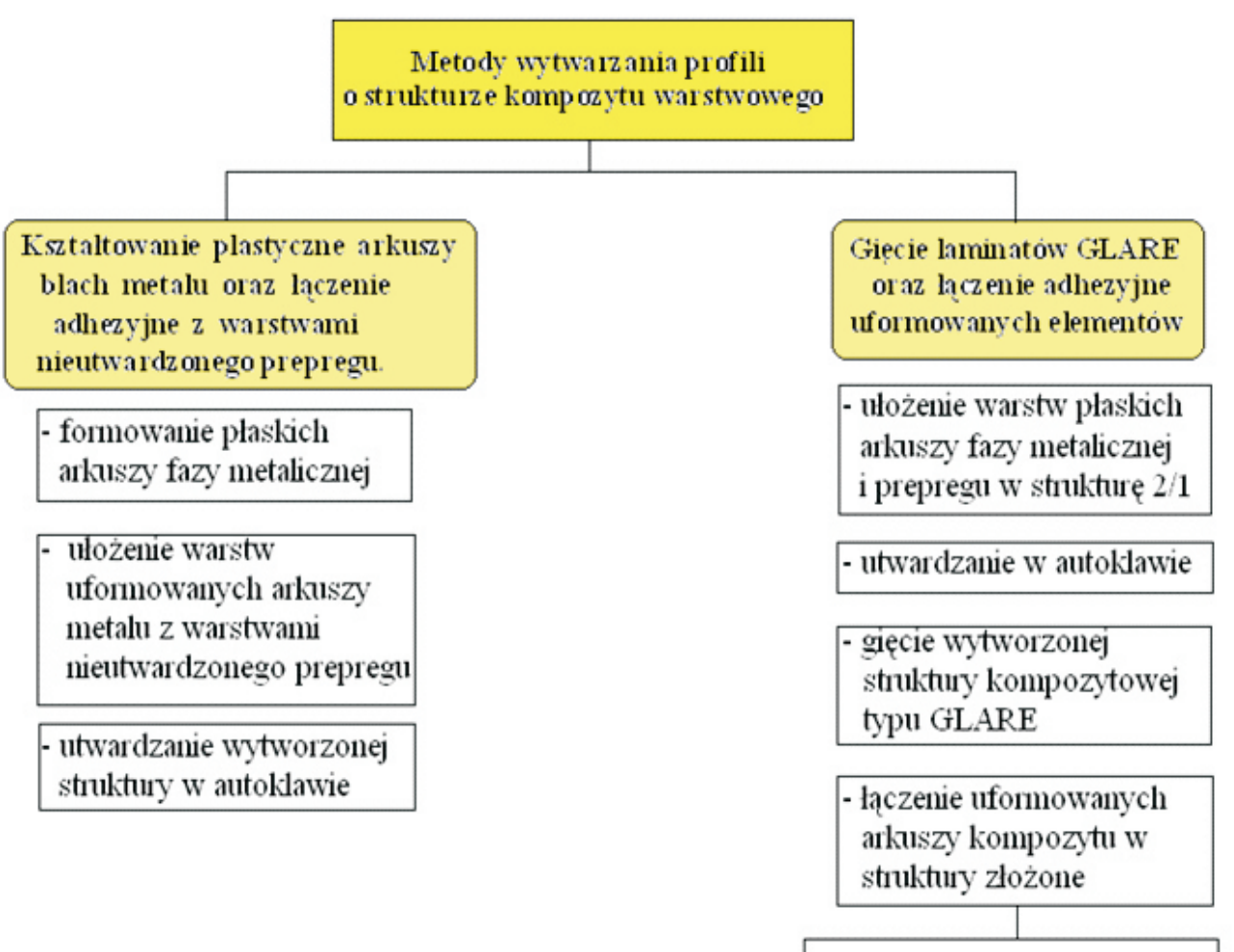
Wyniki badań Results

Badanie odkształcalności cienkich blach ze stopów aluminium do wytwarzania kompozytów GLARE

Determining the formability of aluminum alloy's thin sheets for GLARE composites

Metody wytwarzania profili kształtowych o strukturze kompozytów typu GLARE, przedstawione na diagramie (rys.1)
Possible methods of producing GLARE stringers are presented at the diagram (Fig. 1)

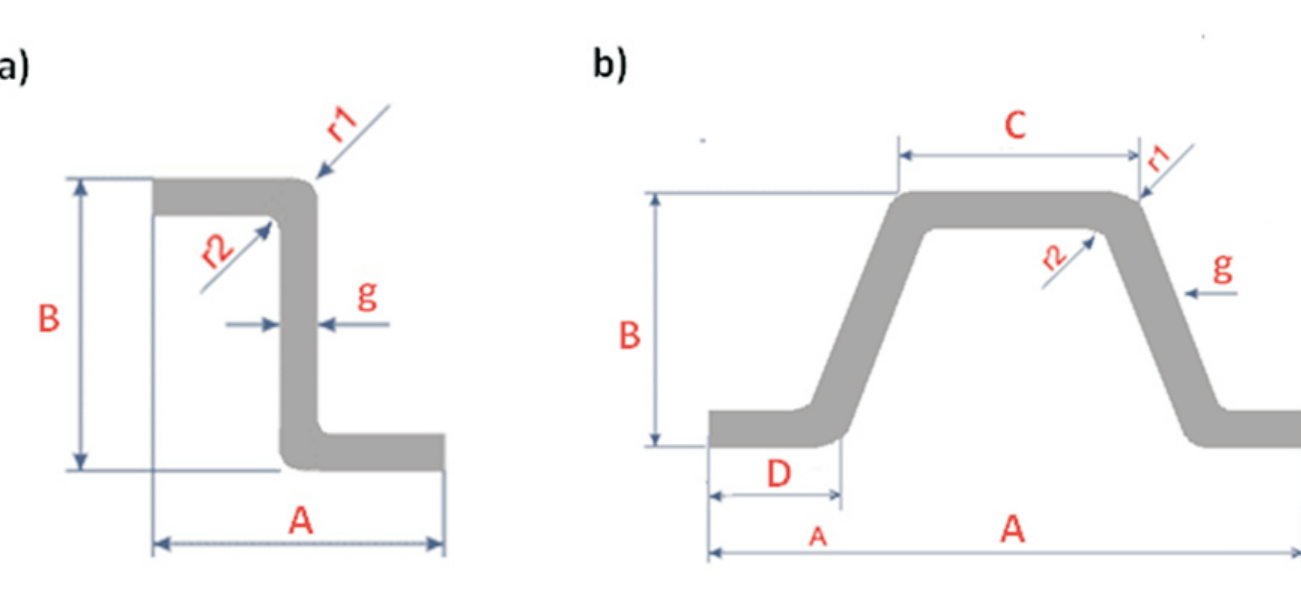
Rys.1 Diagram przedstawiający wybrane metody wytwarzania podłużnic (profile) o strukturze kompozytów GLARE.
Fig.1 Diagram representing of methods of producing GLARE stringers (profiles).



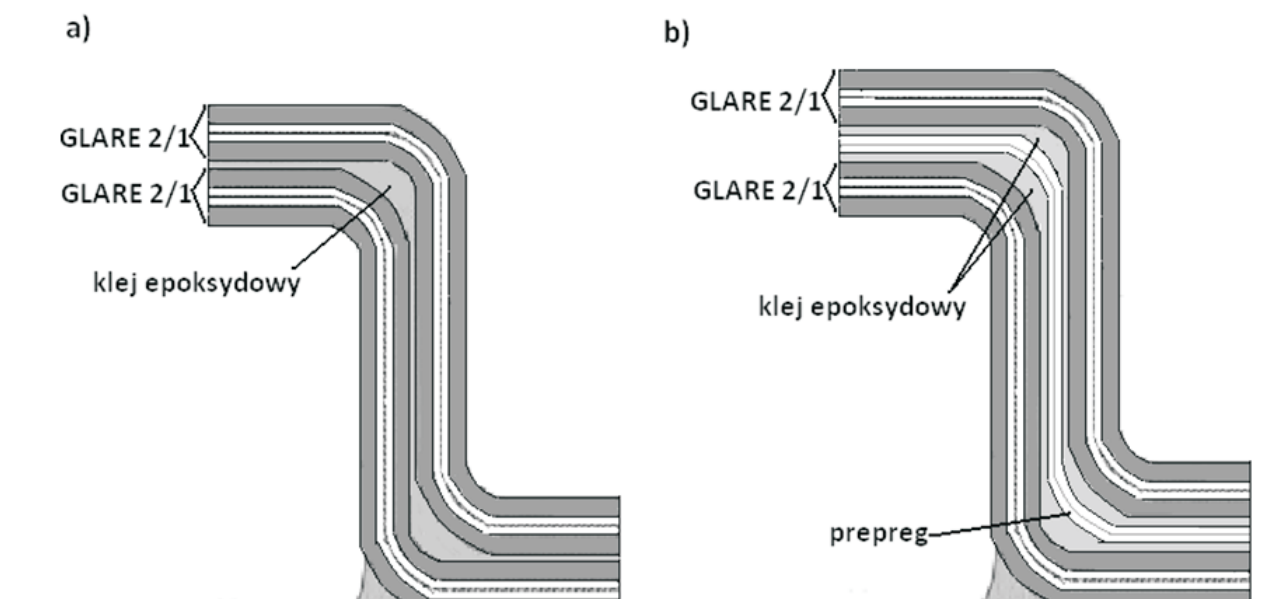
W celu otrzymania profili kompozytowych o określonej geometrii metodą polegającą na kształtowaniu plastycznym blach metalu (rys.1), stanowiących fazę metaliczną przyszłego kompozytu, konieczne jest przeprowadzenie analizy możliwości formowania arkuszy o różnej grubości i rodzaju materiału (stopu aluminium, stopu magnezu) w gięciu blach. Określenie kątów sprężynowania dla poszczególnych materiałów jest podstawą odpowiedniego zaprojektowania stanowiska do formowania profili kształtowych w produkcji podłużnic o strukturze typu GLARE.

Producing composite profiles with appropriate geometries by method based on plastic forming of metal sheets (Fig.1), is determined by formability of used metal phases. Determining spring-back amount of different alloy types and various thickness enable proper designing of tools for forming Glare profiles.

Strukturę docelowo planowanych do wytworzenia profili warstwowych przedstawiono na rys.2. The structures of planned to produce laminated profiles are presented at Fig.2



Rys.2 Schemat przekroju poprzecznego giętych arkuszy ze stopów aluminium i magnezu do wykonania profili kompozytowych typu GLARE.
Fig.2 Scheme of cross section of aluminum, and magnesium alloy formed sheets, for producing GLARE stringers



Rys.3 Podłużnica wykonana z profili GLARE o strukturze 2/1 łączonych; a) klejem epoksydowym, b) klejem epoksydowym i warstwą prepregu.
Fig.3 Thick stringer, assembled from GLARE profiles (2/1 lay-up) with: a) epoxy resin; b) epoxy resin and prepreg layer [Gunnik, Viot]

Sposób łączenia uformowanych arkuszy GLARE o strukturze 2/1 przedstawiono na rys. 3. The method of joining of formed GLARE 2/1 structures are presented at Fig. 3

Wyniki badań odkształcalności cienkich blach ze stopów aluminium do wytwarzania kompozytów GLARE.

Research of formability of aluminum alloys thin sheets to obtain GLARE composites

W celu wykonania podłużnic o strukturze kompozytów typu GLARE ze stopów aluminium 2024, 6061, 7075 oraz ze stopu AZ31 (tab. 1 i 2) o różnej grubości konieczne jest przeprowadzenie oceny stopnia odkształcalności poszczególnych blach.

- Do oceny formowalności blach, określono właściwości poszczególnych arkuszy:
 - Pomiar twardości metodą Vickersa
 - Próba statycznego rociągania.
- Oceny stopnia odkształcalności blach ze stopów aluminium 2024, 6061 i 7075 oraz ze stopu AZ31 dokonano w procesie gięcia próbek w matrycy zamkniętej, a następnie określono wielkość kąta sprężynowania.

- Materiał do badań : - arkusze ze stopów aluminium 2024 o grubości 2; 1,6; 1; 0,4 i 0,3 mm ,
- arkusze ze stopów 6061 i 7075 o grubości 0,4 i 0,3mm oraz blachy ze stopu magnezu AZ31 o grubości 0,5mm.
- arkusze o grubości 0,3 mm po przewalcowaniu na zimno blach o grubości 0,4mm.

Wykazano znaczny wpływ właściwości materiałów metalicznych na efekt kształtowania plastycznego, w odniesieniu do wymagań kształtowych profili GLARE. A series of experiments were performed to examine the formability of different aluminum alloys of type: 2024, 6061, 7075 and magnesium alloy: AZ31.

- Formability of aluminum sheets, the property of sheets was evaluated:
 - Hardness measure by Vickers method
 - Tensile tests
- The influence of properties of different materials on their formability was shown

Tablica 1. Skład stopów 2024, 6061, 7075 i AZ31
Table 1. The composition, of 2024, 6061, 7075 i Az31alloys

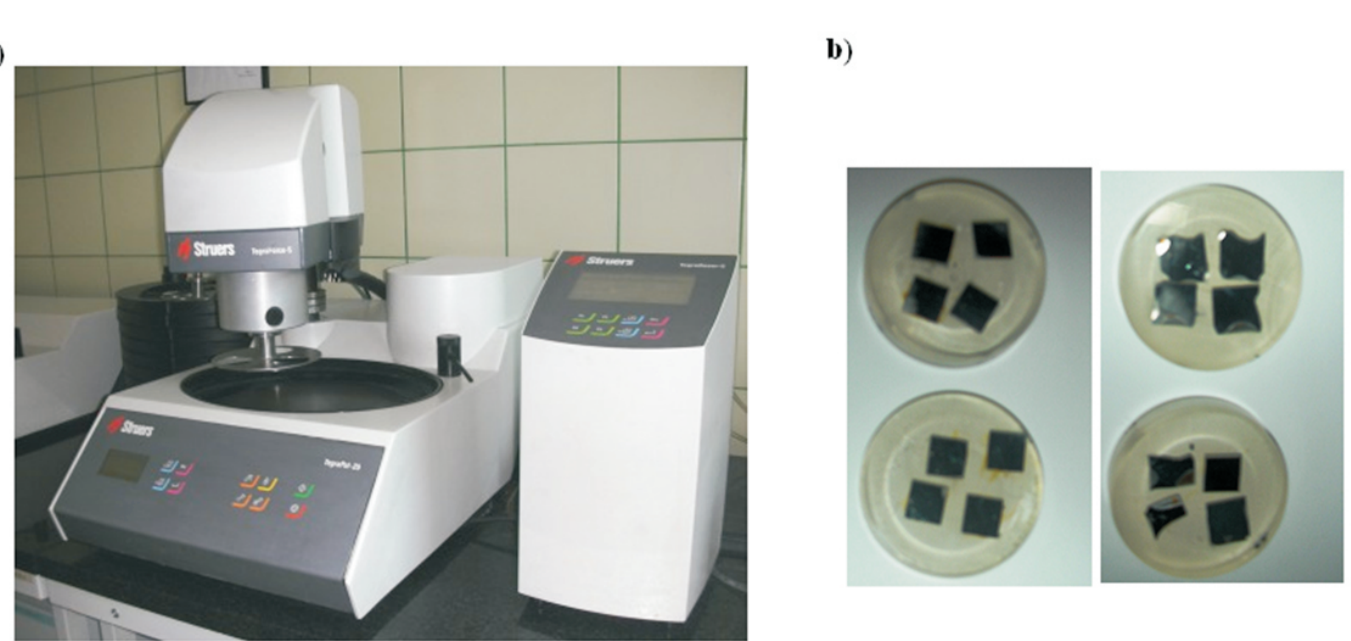
Stop	2024 T3	6061 T6	7075 T6	AZ31B-0
Stop	(grzebytowany, odkształcony na zimno i naturalnie starzony)	(grzebytowany, sztucznie starzony)	(grzebytowany, sztucznie starzony)	
	Cu 4.6	Mg 1.03	Zn 5.1-6.1	Al 2.5-3.5
	Mg 1.4	Si 0.69	Mg 2.1-2.9	Zn 0.7-1.3
	Mn 0.54	Fe 0.41	Cu 1.2-2.0	Mn 0.2-1.0
	Fe 0.18	Cu 0.27	Fe 0.5	Ca 0.04
	Zn 0.1	Cr 0.17	Si 0.4	Cu 0.05
	Si 0.09	Mn 0.15	Mn 0.3	Si 0.05
	Ti 0.02	Ti 0.05	Cr 0.18-0.28	Fe 0.005
	Cr 0.01	Zn 0.04	Ti 0.2	Ni 0.005
	reszta 0.05	reszta 0.02		

Tablica 2. Właściwości stopów 2024, 6061, 7075 i AZ31
Table 2. The properties of 2024, 6061, 7075, Az31alloys

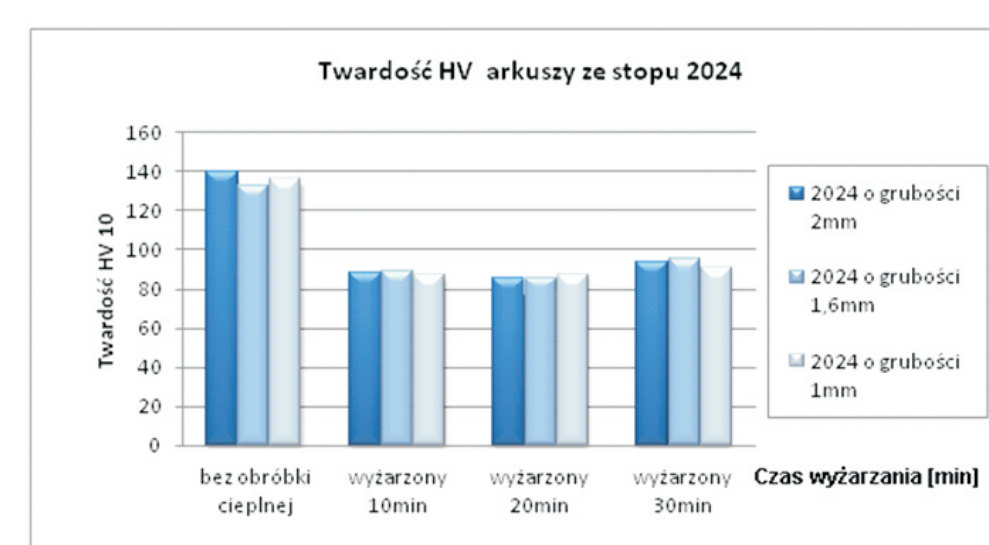
Stop	Właściwości mechaniczne					Właściwości fizyczne	
	R _m [MPa]	R _{p0.2} [MPa]	A ₅ [%]	E [GPa]	ρ [g/cm ³]	T _{mp} [°C]	
2024	456-459	304-308	16.5-17.6	72.8-73.3	2.79	500-640	
6061	334-342	283-293	11-13	69-70	2.70	575-652	
7075	515-520	445-450	10.5-12.5	71-72	2.81	505-635	
AZ31	257-261	163-166	12.5-17.4				

Procedura eksperymentu :

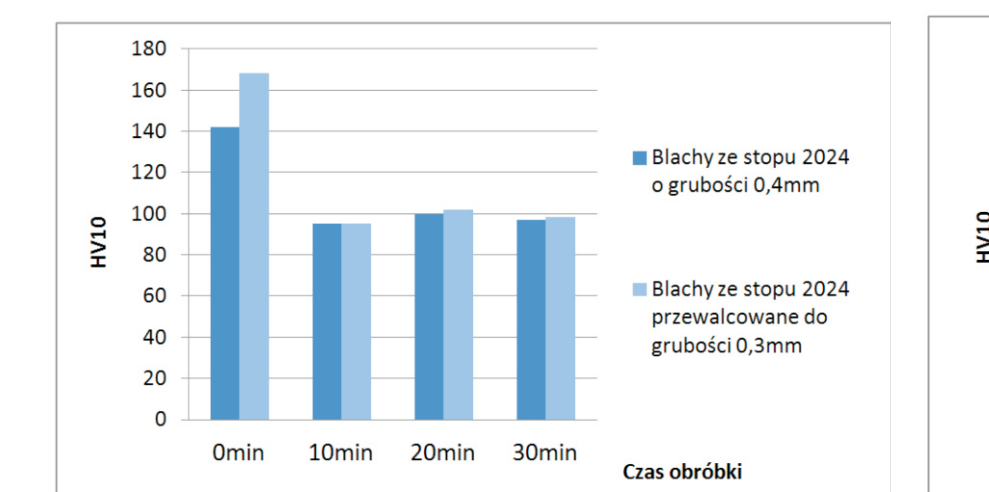
- Przeprowadzono proces walcowania na zimno blach (rys.2) o grubości 0,4 mm ze stopów 2024, 6061 i 7075, w efekcie czego otrzymano arkusze o grubości 0,3mm z efektem umocnienia materiału.
- W celu ograniczenia zjawiska sprężynowania przeprowadzono proces obróbki cieplnej; wyżarzono próbki blach w temperaturze 415oC w czasie 10, 20 i 30 minut.
- W celu oceny właściwości wyżarzonych próbek i porównania ich z arkuszami o różnej grubości i bez obróbki cieplnej wyznaczono krzywe umocnienia (rys.6) oraz przeprowadzono pomiary twardości metodą Vickersa (rys.3), po uprzednim przygotowaniu zgładów metalograficznych.



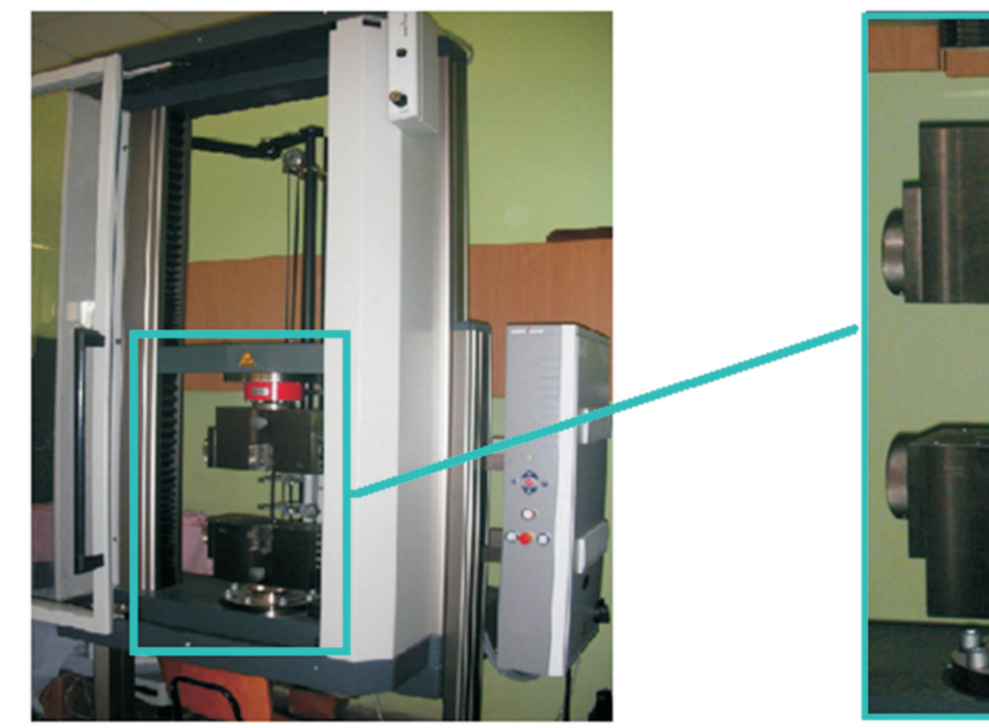
Rys.4 Stanowisko do szlifowania zgładów badanych materiałów(a) próbki przygotowane do pomiaru twardości(b)
Fig.4 Station for preparing samples for hardness measure (a) prepared samples for hardness measure (b)



Rys.5 Wykres twardości mierzonej metodą Vickersa dla arkuszy ze stopu 2024 o różnej grubości, bez i po obróbce cieplnej
Fig.5 Diagram of hardness level by Vickers of 2024 aluminum alloy sheets, with different thickness, with and without heat treatment

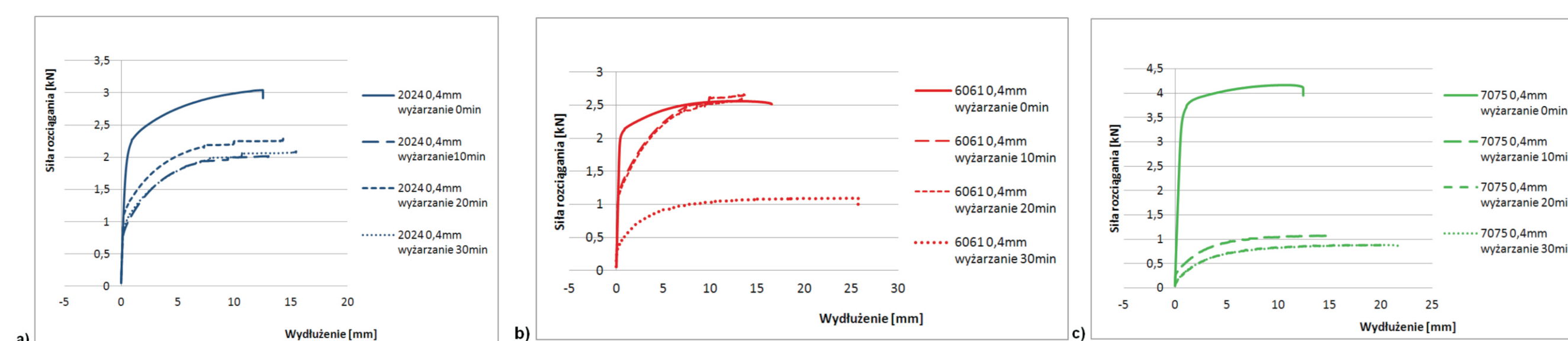


Rys.6. Porównanie twardości blach przed i po walcowaniu ze stopu a) 2024; b) 6061; c) 7075 o różnej grubości, po i bez obróbce cieplnej
Fig.6. Comparison of Vickers hardness of: a) 2024, b) 6061, c) 7075 alloys, with and without heat treatment

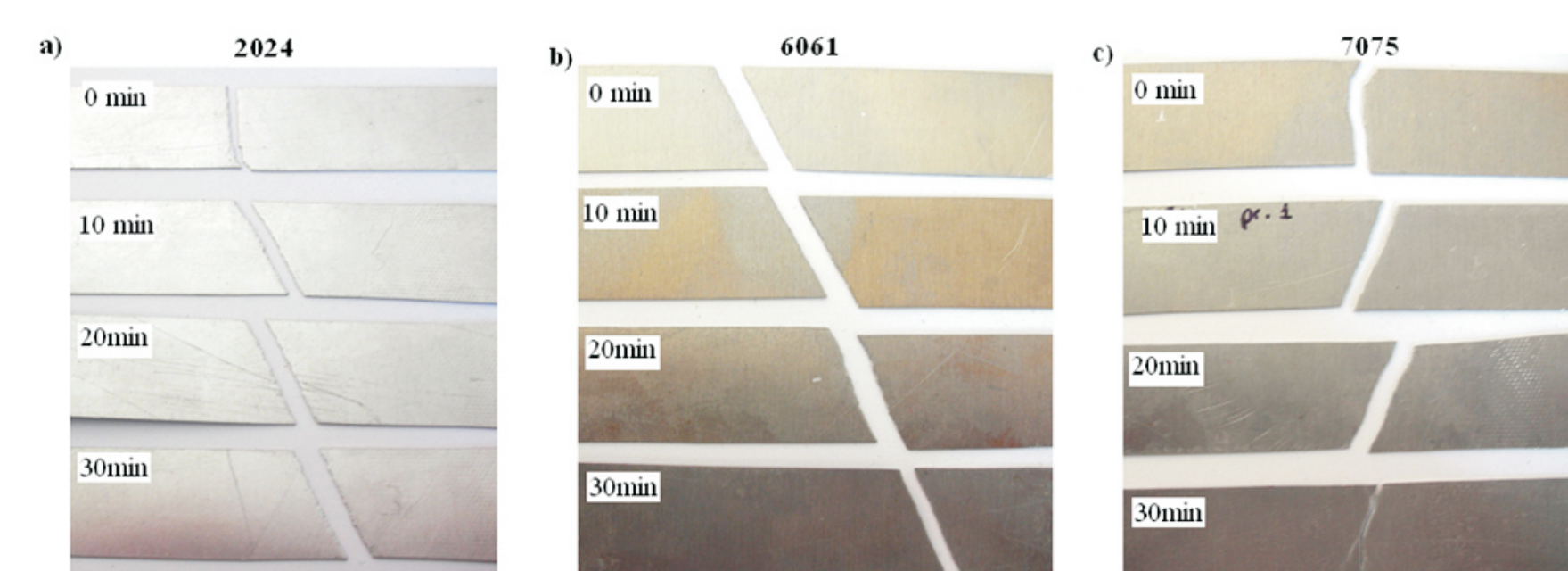


Rys.7. Stanowisko do realizacji prób rozciągania.
Fig.7 The tensile test stand.

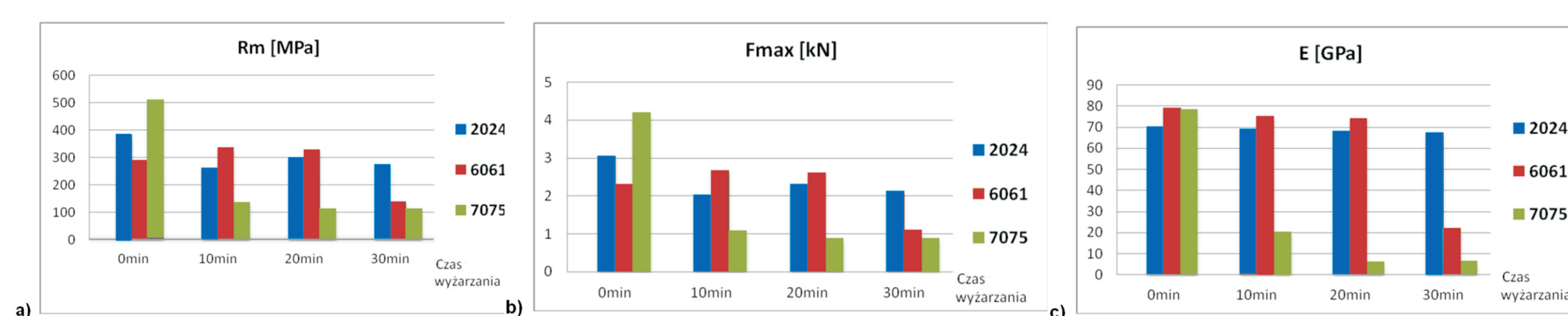
Przeprowadzono próbę statycznego rozciągania blach ze stopów aluminium o grubości 0,4mm, nie poddawanych wyżarzaniu oraz po obróbce cieplnej w czasie 10, 20 i 30 minut.



Rys.8. Wykresy rozciągania dla próbek o grubości 0,4 mm ze stopów: a) 2024; b) 6061; c) 7075
Fig.8. Tensile test results for aluminum alloys: a) 2024; b) 6061; c) 7075alloys

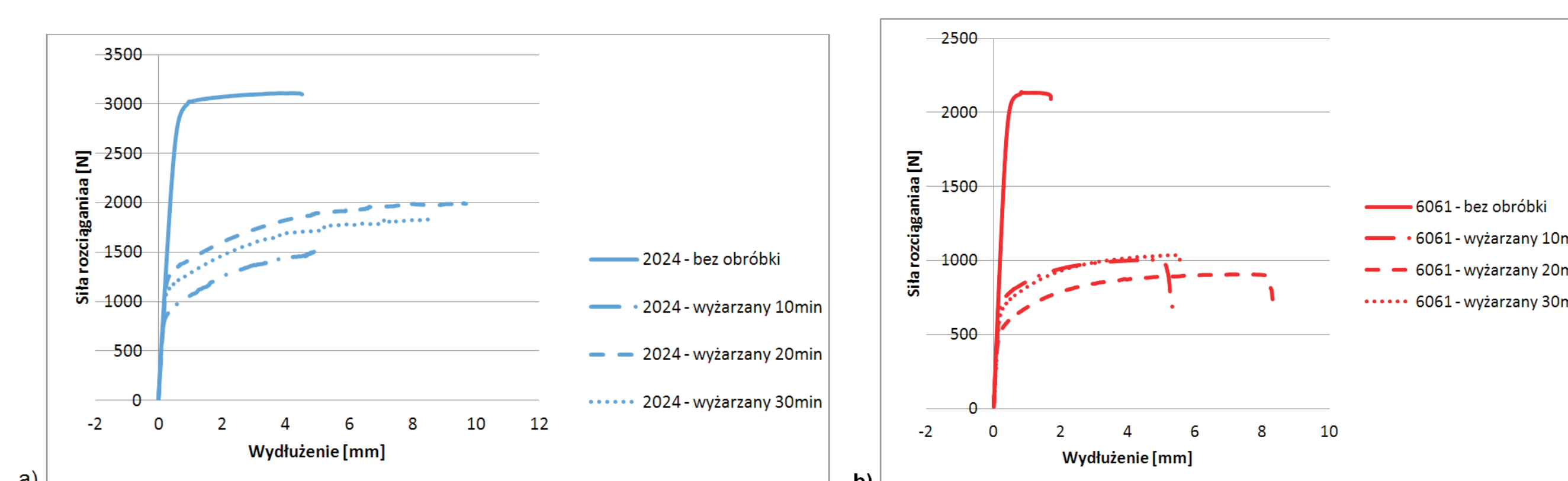


Rys.9. Zdjęcia próbek o grubości 0,4 mm bez i po obróbce cieplnej w temperaturze 415oC ze stopów po rozciąganiu: a) 2024; b) 6061; c) 7075
Fig.9. Pictures of aluminum alloys samples with and without tempering at 415oC after tensile test: a) 2024; b) 6061; c) 7075 alloys

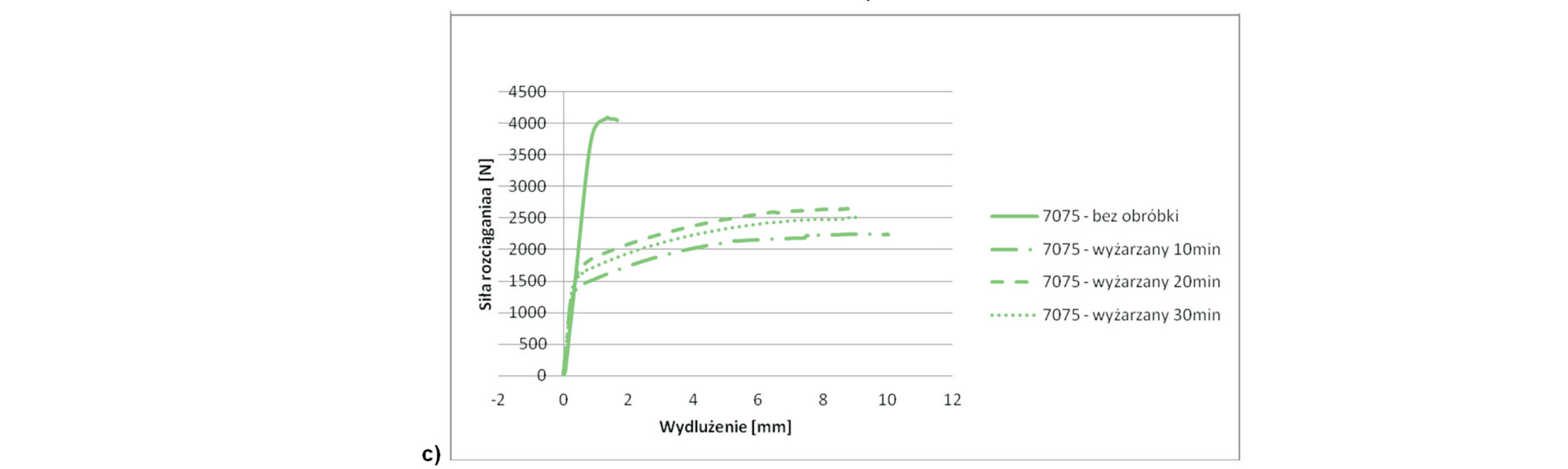


Rys.10 Wyniki próby rozciągania próbek o grubości 0,4mm ze stopów 2024, 6061 i 7075: a) granica wytrzymałości na rozciąganie, b) siła maksymalna, c) moduł Younga
Fig.10 Tensile test results: a) Tensile strength b) Maximum force c) Young module

- Przeprowadzono próbę statycznego rozciągania blach ze stopów aluminium o grubości 0,3 mm, nie poddawanych wyżarzaniu oraz po obróbce cieplnej w czasie 10, 20 i 30 minut, (po przewalcowaniu z 0,4mm).



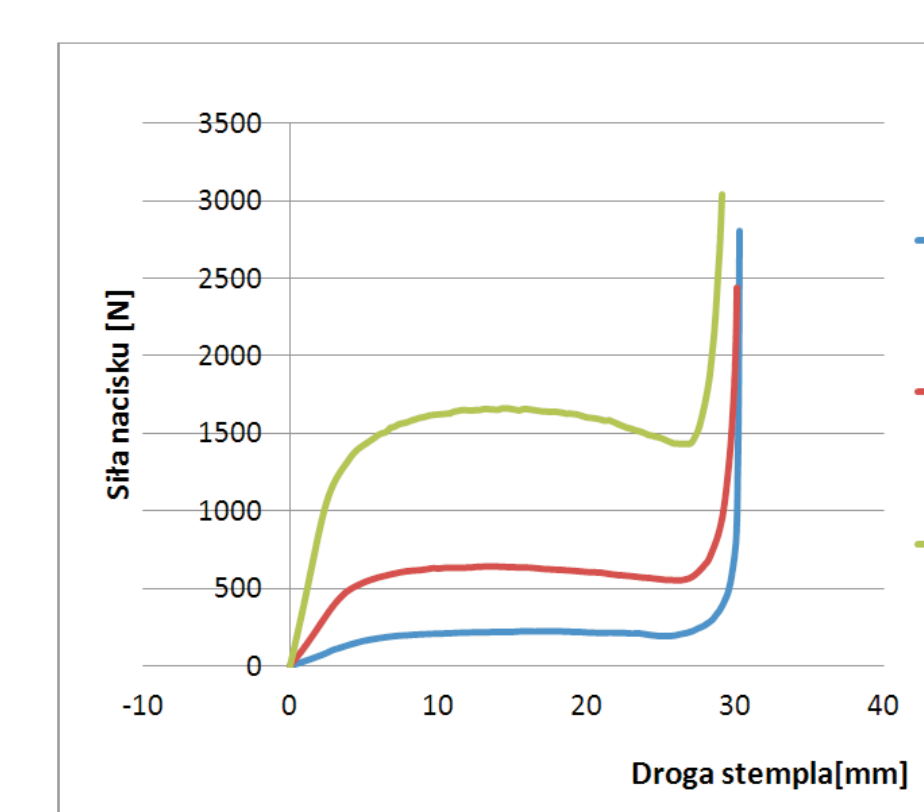
Rys.11. Wykresy rozciągania próbek po walcowaniu o grubości 0,3mm ze stopów aluminium: a) 2024; b) 6061; c) 7075
Fig.11. Tensile test results of 2024, 6061, 7075 alloys samples of 0,3 mm thickness after rolling: a) 2024, b) 6061, c) 7075



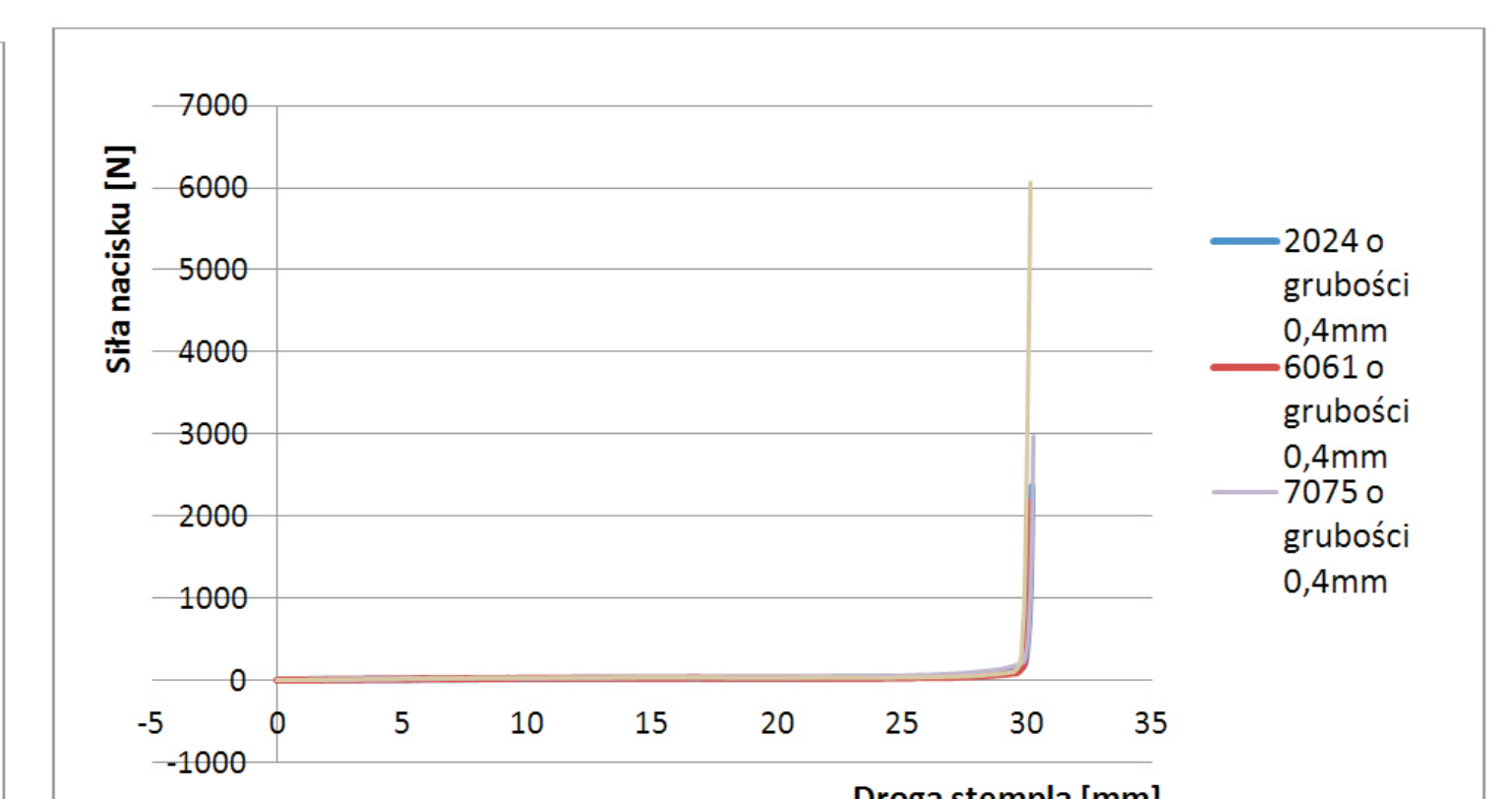
Rys.12. Stanowisko do realizacji procesu gięcia: prasa i oprzyrządowanie
Fig.12. Stand for bending test: press, tools and register equipment;



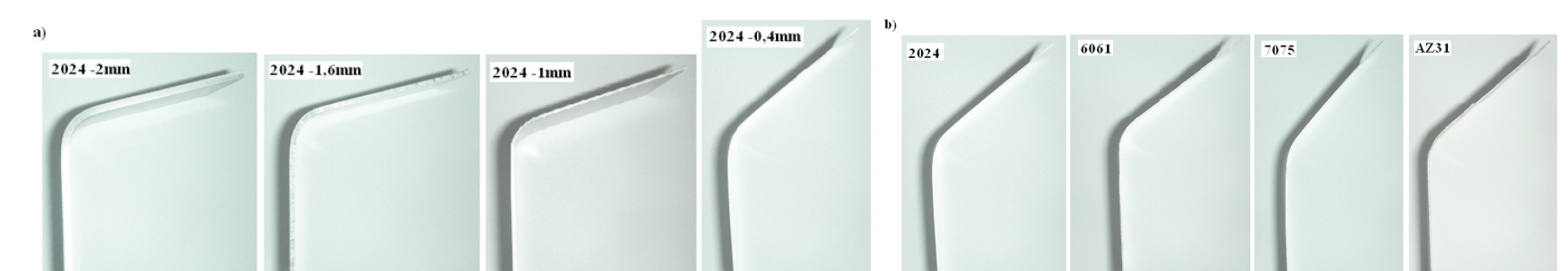
- Przeprowadzono proces gięcia blach ze stopów 2024, 6061, 7075 o grubości 0,4mm oraz ze stopu AZ31 o grubości 0,5mm (rys.)



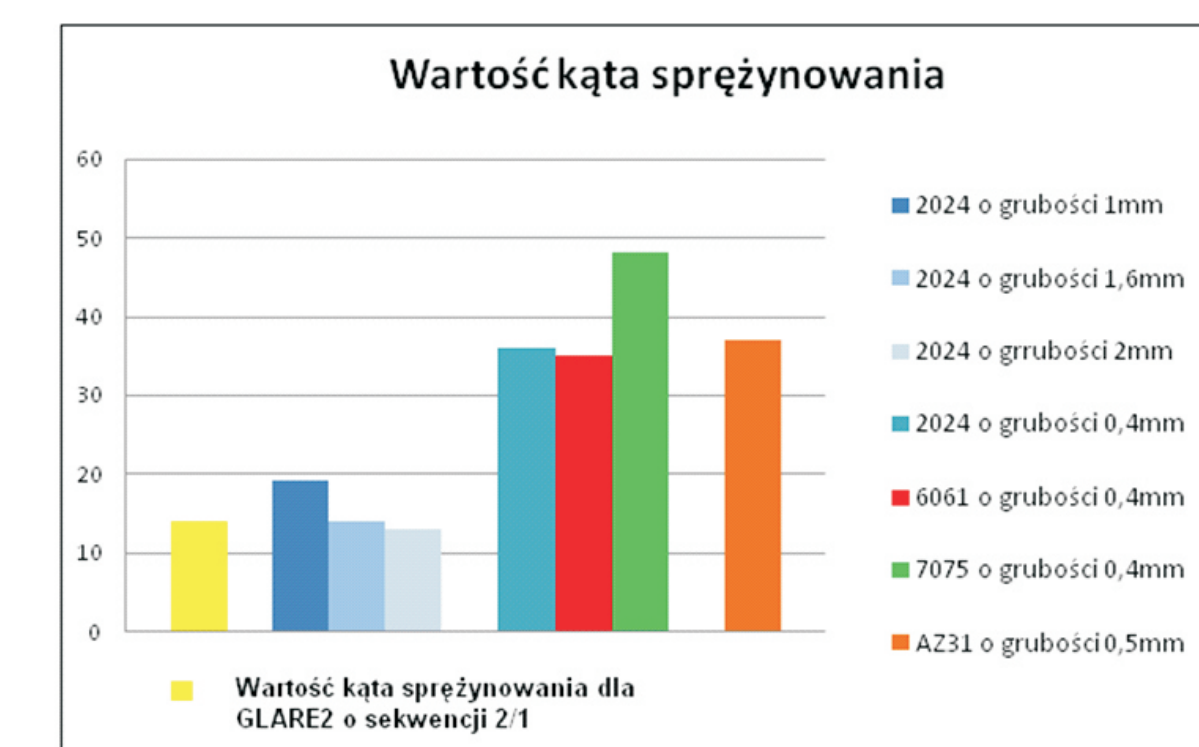
Rys.13. Wykres zależności siły nacisku prasy od drogi stempla dla stopu 2024
Fig.13. Relationship between bending force and punch displacement for 2024 alloy



Rys.14. Wykres zależności siły nacisku prasy od drogi stempla dla blach stopu AZ31 o grubości 0,5mm
Fig.14. Relationship between bending force and punch displacement for 2024, 6061, 7075 sheets with 0,4mm thickness and AZ31 sheet 0,5mm



Rys.15 Porównanie wartości kąta sprężynowania dla a) blach ze stopu 2024 o różnej grubości; b) blach o grubości 0,4 ze stopów 2024, 6061 i 7075 oraz blachy ze stopu AZ31 o grubości 0,5mm
Fig.15. Comparison of spring-back angles of: a) aluminum 2024 alloy sheets with various thickness; b) aluminum 2024, 6061 and 7075 sheets of 4mm thick and sheet of AZ31 of 0,5mm thick.



Rys.16 Wartość kąta sprężynowania dla blach ze stopów 2024 o różnej grubości, dla blach ze stopów 6061 i 7075 o grubości 0,4mm oraz dla arkuszy ze stopu AZ31 o grubości 0,5mm w porównaniu do wartości dla GLARE 2 2/1.
Fig.16. Spring-back angles for 2024, 6061, 7075 and AZ31 sheets alloys with different thickness according GLARE2 2/1 spring-back amount.

Tablica 3. Porównanie właściwości materiałów wchodzących w skład GLARE i kompozytem GLARE
Table 3. Comparison of the properties of components of GLARE composites and GLARE

Materiał	Moduł sprężystości podłużnej E [GPa]	Wytrzymałość na rozciąganie R _m [σ _{RP}]	Gęstość [g/cm ³]
Włókna szklane	86	4,5	2,5
Osnowa epoksydowa	4	0,1	1,2
Kompozyt z wł. szklarnymi	55	2,0	1,92
2024 T3	73	4,6	2,80
Kompozyt GLARE 2/1	54	4,0	2,55

Wnioski Conclusions

Określenie współzależności szczególnych właściwości cienkich blach (tu : ze stopów aluminium 2024, 6061 i 7075 o grubości 0,4mm oraz ze stopu magnezu AZ31 o grubości 0,5mm) od efektu sprężynowania blach, przewidzianych do wytwarzania GLARE wykazało możliwość ich zastosowania w realizacji procesu produkcji profili kształtowych o strukturze kompozytów GLARE.

Wyznaczenie wielkości kąta sprężynowania materiału metalicznego przeznaczonego na komponent kompozytu typu GLARE oraz charakteru odkształcenia w procesie gięcia umożliwiła dobór parametrów procesu oraz projektowanie geometrii stempla i matrycy w celu otrzymania elementów kompozytowych GLARE o określonym kącie gięcia, w procesie wytwarzania struktur profili wzmacniających.

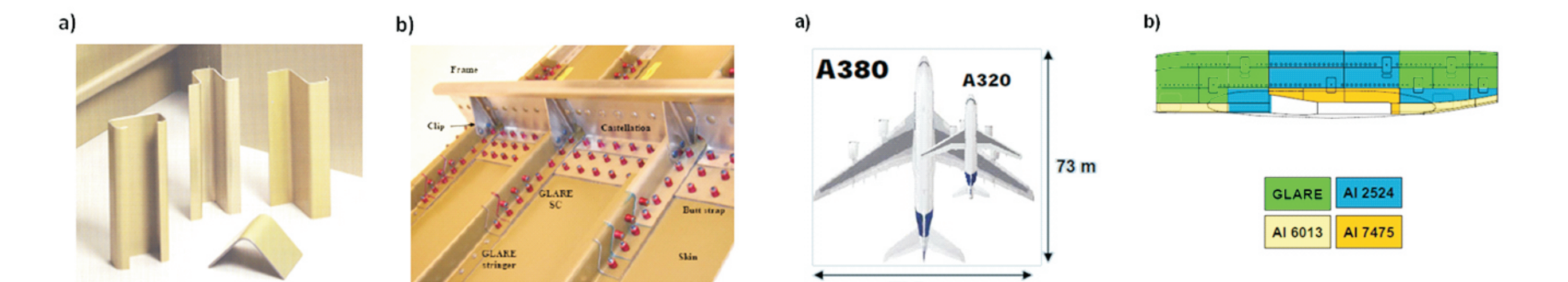
The comparison of spring-back amount of aluminum alloys 2024, 6061, 7075 sheets with 0,4mm thickness and magnesium alloy AZ31 sheet with thickness 0,5mm enabled designing and manufacture of matrix and press for metal profiles forming, as initial metallic materials for producing GLARE stringers. Determining spring-back affect and formability of aluminum and magnesium thin sheets o various thickness enable proper designing of bending process parameters for producing selected stringers structure.

Bibliografia:
1. Alderliesten R.-On the Development of Hybrid Material Concepts for Aircraft Structures, Delft University of Technology, Aerospace Materials& Manufacturing, The Netherlands, 2008
2. Assler H.; Design of Aircraft Structures under Special Consideration of NDT, 9th European Conference on NDT Berlin (Germany), September 25th - 29th, 2006
3. Dobrzański L.; Lekawski materiałoznawstwa
4. Gunnik J.W., Viot A., Alderliesten R.C., van der Hoeven W.; GLARE Technology Development,1997-2000, ICAS 2000 CONGRES
5. Hagenbeek M.; Characterisation of Fibre Metal Laminates under Thermo-mechanical Loadings, 2005
6. PN-EN ISO 6507-1:1999
7. PN-EN-10002-1:2001
8. PN-EN ISO 7430
9. Sinke J.; Manufacturing Principles for Fiber Metal Laminates.
10. Viot A., Gunnik J.W.; Fibre Metal Laminates, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001
11. Voparany J.L., Viot A.; Development of Fibre Metal Laminates for Aerospace Structures, J Mater. Process Technol. 2000
12. Wu G., Yang J.; Mechanical Behavior of GLARE Laminates for Aircraft Structures, JOM 2005, Vol. 37
Wilk M.S., Śliwa R.E.; Wpływ fazy metalicznej na efekt kształtowania plastycznego kompozytów typu GLARE, Rudy i Metale Nieżelazne, nr 12, 2012, str. 839-845.

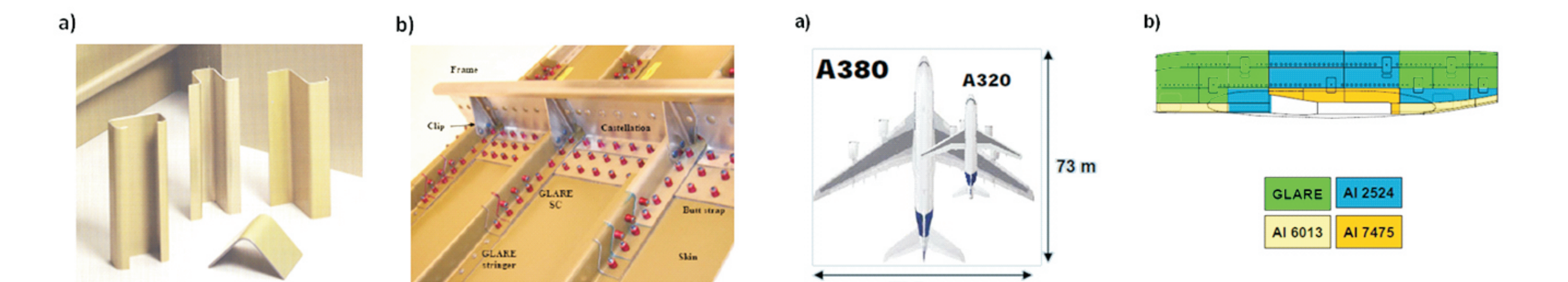
Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

W celu zapewnienia wysokiej wytrzymałości i trwałości paneli kompozytowych stosowanych w przemyśle lotniczym dąży się do wprowadzania profili wzmacniających na bazie GLARE (Rys.17, 18).

In airplane construction GLARE skin fuselage panels are used. For better structure stiffness stringers made of GLARE may be used (Fig.17, 18).



Rys.17. Zastosowanie kompozytów GLARE do budowy poszycia kadłuba samolotu; a) porównanie rozmiarów przykładowych samolotów; b) materiały zastosowane do budowy poszycia samolotu [Assler]
Fig.17. GLARE composites in aircraft construction: a) comparison of airplanes size; b) scheme of fuselage panels



Rys.18. Podłużnice wykonane z GLARE: a) przykłady struktur; b) profile wzmacniające panele poszycia kadłuba [Sinke J.]
Fig.18. GLARE stringers: a) stringers structure examples; b) fuselage panels stiffened by profiles [Sinke J.]

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Współpraca z zakładem PZL Mielec / a Sikorsky Company, Sp. z o.o. oraz z zakładem Tworzywa Sztuczne PZL Mielec Sp. z o.o.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Publikacje w przygotowaniu:
M.Wilk, R. E. Śliwa, „Analysis of influence of metal phase on producing methods of GLARE composite profiles”, Archives of Metallurgy and Materials, 2013

Prace mgr, dr, hab.
Praca doktorska w realizacji:
Małgorzata Wilk, **Kształtowanie elementów konstrukcji lotniczych z kompozytów typu GLARE**, promotor; R.E Śliwa