

Odporność na uderzenia oraz modelowanie odpowiedzi na uderzenia hybrydowych laminatów tytanowo - węglowych



PLAN PREZENTACJI

Podstawy i założenia projektowania

Współczynnik odporności na uderzenia laminatów metalowo-włóknistych

Materiał

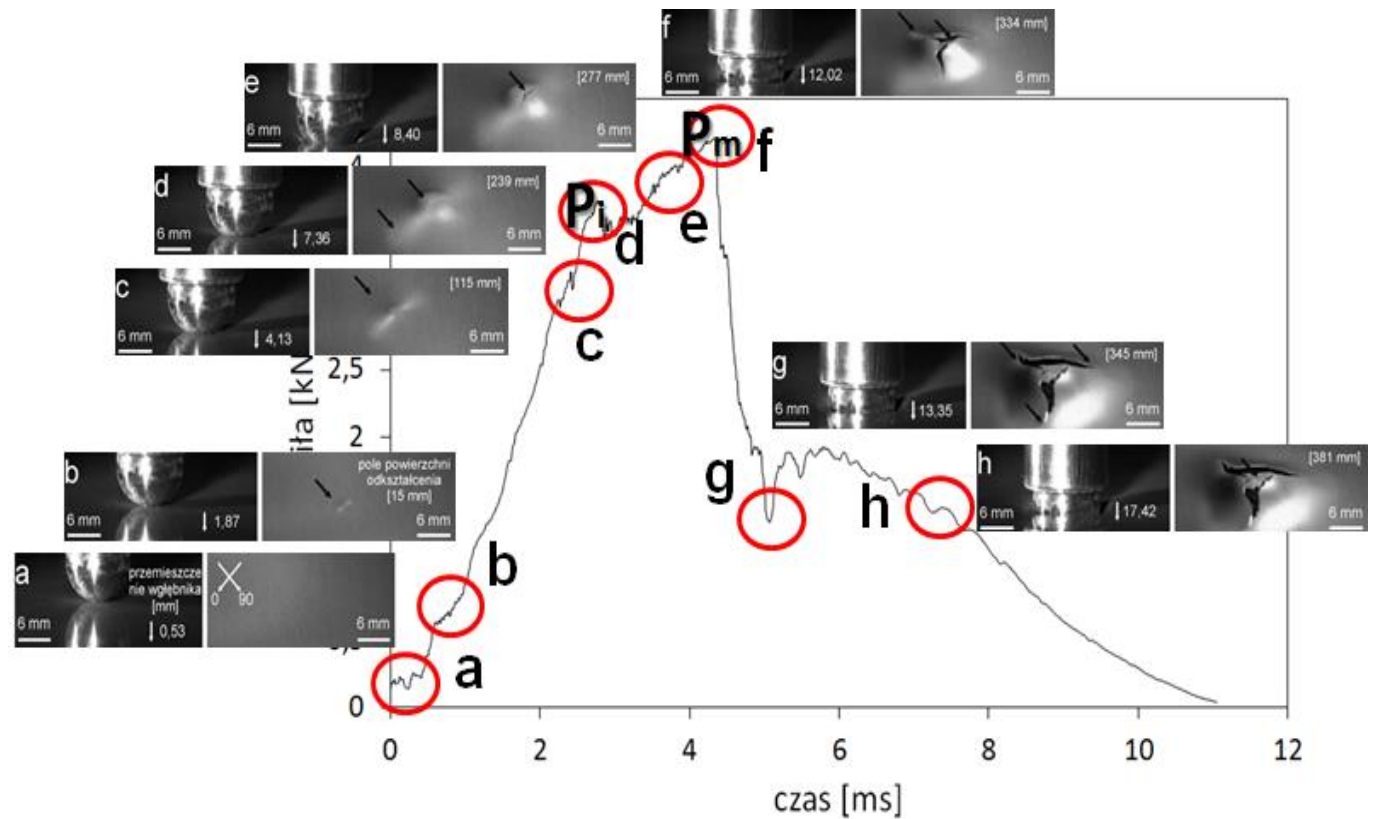
Metodyka

Odbiór eksperymentu

Symulacje metodami numerycznymi



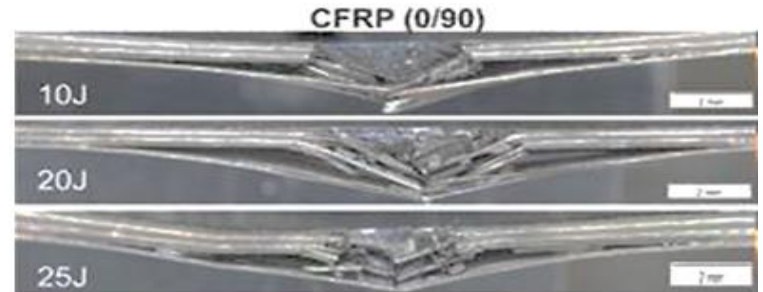
PODSTAWY I ZAŁOŻENIA PROJEKTOWANIA



PODSTAWY I ZAŁOŻENIA PROJEKTOWANIA

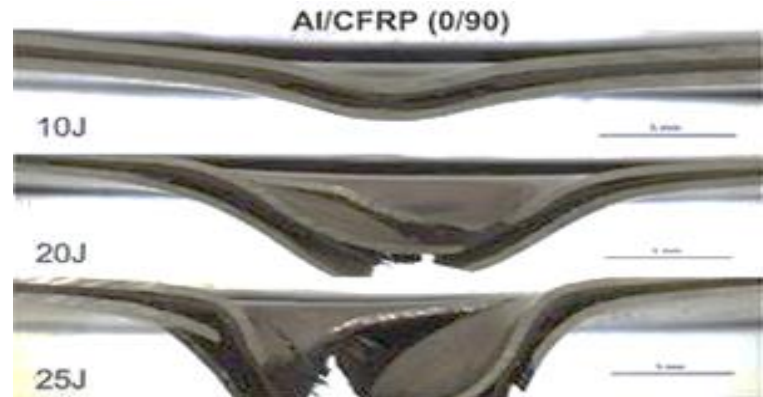
CFRP

Kompozyt polimerowo-węglowy



CARALL

(Laminat aluminium/kompozyt węglowo-epoksydowy)



Druga generacja laminatów odpornych na uderzenia

- tytan/ stopy tytanu
- Metale rzadkie i ich stopy
- Ultracienkie warstwy w FML
- Hybrydowe wielomateriałowe FML



WSPÓŁCZYNNIK ODPORNOŚCI NA UDERZENIA LAMINATÓW



Współczynnik odporności na uderzenia laminatów dla określonej energii uderzenia (e_n)

$$IB_{FML}^{en} = \frac{IP_{FML}^{en} * DS_{FML}^{en}}{E_n * S_{FML}} * 10^2$$

IP_{FML}^{en} Współczynnik reakcji na uderzenie FML mierzony parametrami fizycznymi dla określonej energii uderzenia (e_n)

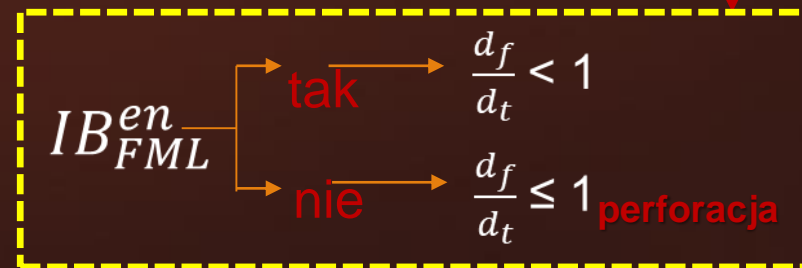
$$IP_{FML}^{en} = P_m * \frac{E_a}{E_0}$$

DS_{FML}^{en} Współczynnik wrażliwości na uszkodzenia FML dla obciążenia udarowego dla określonej energii uderzenia (e_n)

$$DS_{FML}^{en} = \left(\frac{D_a}{r^2} \right) * 10^{-3} * \frac{d_f}{d_t}$$

S_{FML} Stały współczynnik materiałowy opisujący geometrię i konfigurację struktury FML

$$S_{FML} = \frac{MVF}{h * 10^{-3}}$$





MATERIAŁ

No.	Nazwa	konfiguracja FML	Całkowita grubość laminatu [mm]	Energia uderzenia [J]	Cel szczegółowy*	Informacje uzupełniające
-----	-------	------------------	---------------------------------	-----------------------	------------------	--------------------------

↓ Materiał do oceny odpowiedzi laminatu HTCL na uderzenia oraz do walidacji obliczeń MES ↓

A1	A1-HTCL	2/1	1.5	2.5J, 5J, 15J 20J, 30J	$\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$	Ti (grubość 0.5 mm)
	Ti / CFRP (0/0/90/90) / Ti					

↓ Materiał do oceny wpływu orientacji włókien węglowych w laminacie HTCL ↓

B2	B2-HTCL	2/1	1.5	2.5J, 5J, 15J 20J, 30J	α, γ	Ti (grubość 0.5 mm)
	Ti / CFRP (0/0/0/0) / Ti					

B3	B3-HTCL	2/1	1.5	2.5J, 5J, 15J 20J, 30J	α, γ	Ti (grubość 0.5 mm)
	Ti / CFRP (0/+45/-45/90) / Ti					

↓ Materiały do oceny wpływu objętościowej zawartości metalu ↓

C1	C1-HTCL	2/1	2.5	5J, 15J, 30J	α, δ	MVF = 0.4
	Ti / CFRP(0/0/90/90/0/90/90/0/90/0/0) / Ti					

C2	C2-HTCL	3/2	2.5	5J, 15J, 30J	α, δ	MVF = 0.6
	Ti / CFRP(0/0/90/90) / Ti / CFRP(90/90/0/0) / Ti					

C3	C3-HTCL	3/2	2.5	5J, 15J, 30J	α, δ	MVF = 0.36 Ti (grubość 0.3 mm)
	Ti / CFRP(0/0/90/90/0/0) / Ti / CFRP(0/0/90/90/0/0) / Ti					

C4	C4-HTCL	4,3	2.5	5J, 15J, 30J	α, δ	MVF = 0.48 Ti (grubość 0.3 mm)
	Ti / CFRP(0/90/0) / Ti / CFRP(0/90/90/0) / Ti / CFRP(0/90/0) / Ti					

Próbki do porównania reakcji uderzenia HTCL z laminatami CARALL i CFRP

D1	D1-CARALL	2/1	1.5	2.5J, 5J, 15J 20J, 30J	α, ε	Al (grubość 0.5 mm)
	Al / CFRP (0/0/90/90) / Al					

D2	D2-CFRP	-	1.5	2.5J, 5J, 15J 20J, 30J	α, ε	-
	CFRP (0/0/90/90/0/0/90/90/0/0/90/90)					

* Cel szczegółowy:

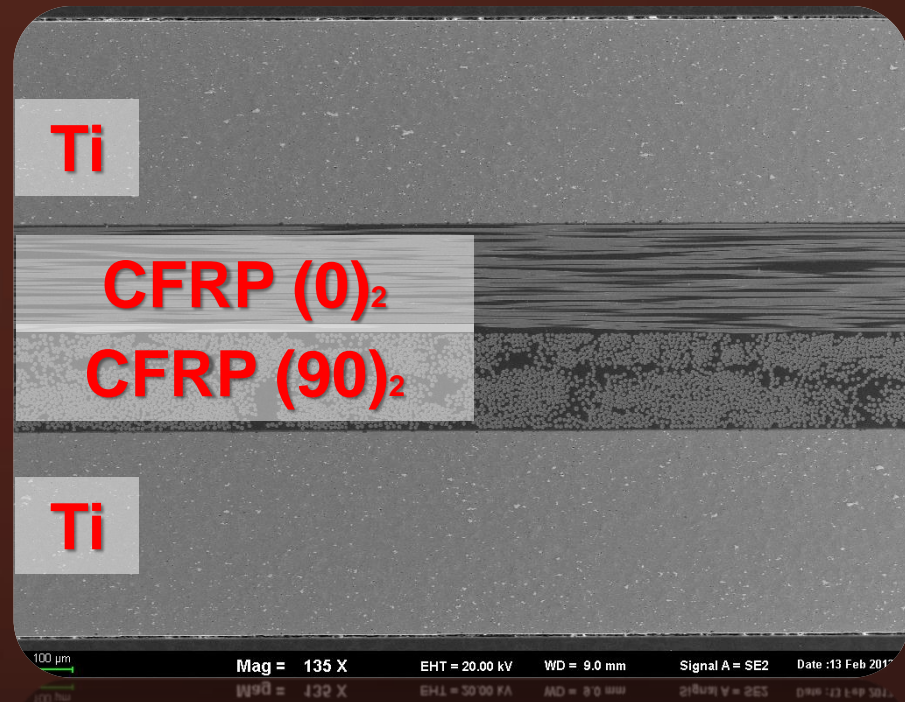
α – odpowiedź laminatu na uderzenia

β – walidacja obliczeń numerycznych

γ – wpływ orientacji włókien węglowych

δ – efekt objętościowej zawartości metalu

ε – porównanie z laminatami CARALL i CFRP



METODYKA

Zależność siła – czas

Zależność siła - przemieszczenie

Zależność energia - czas

Makroskopowa analiza zniszczenia

Pole zniszczenia (metody nieniszczące)*

Mikroskopowa analiza zniszczenia



analiza jakościowa

analiza ilościowa



Siła maksymalna

Odkształcenie całkowite

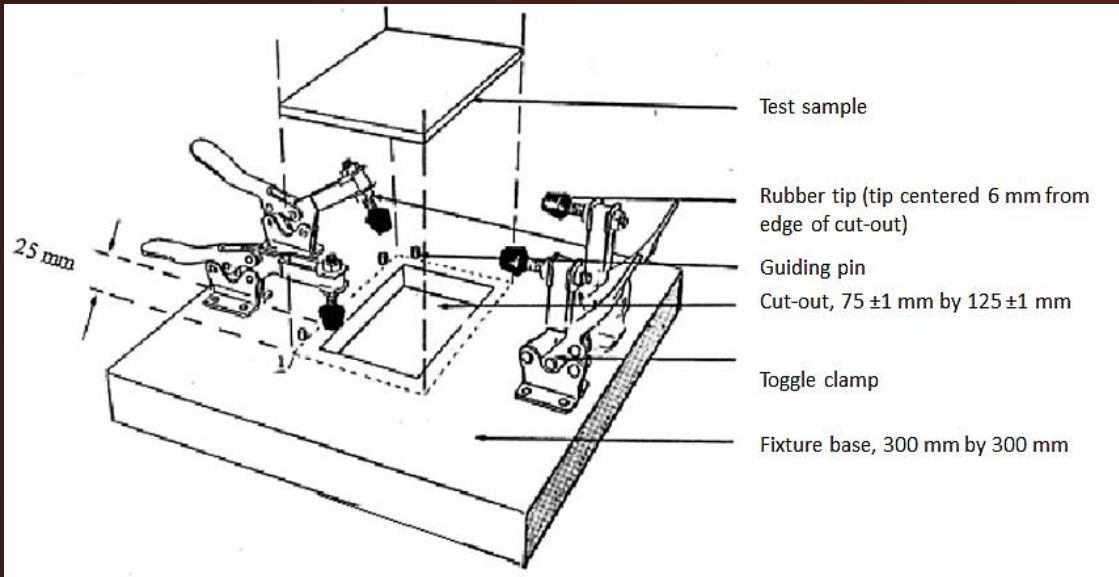
Odkształcenie trwałe

Zaabsorbowana energia

Powierzchnia uszkodzenia

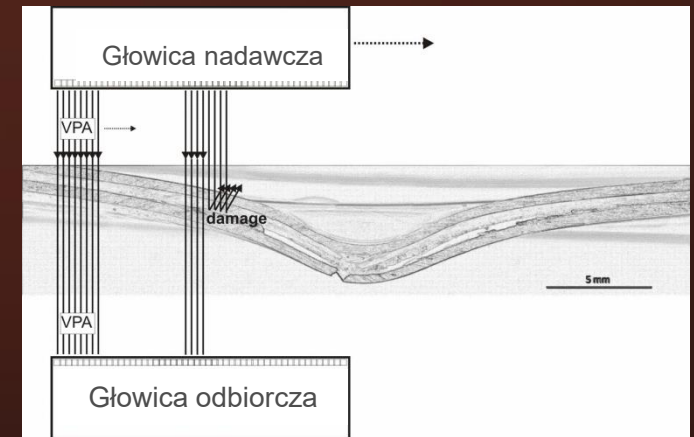


METODYKA

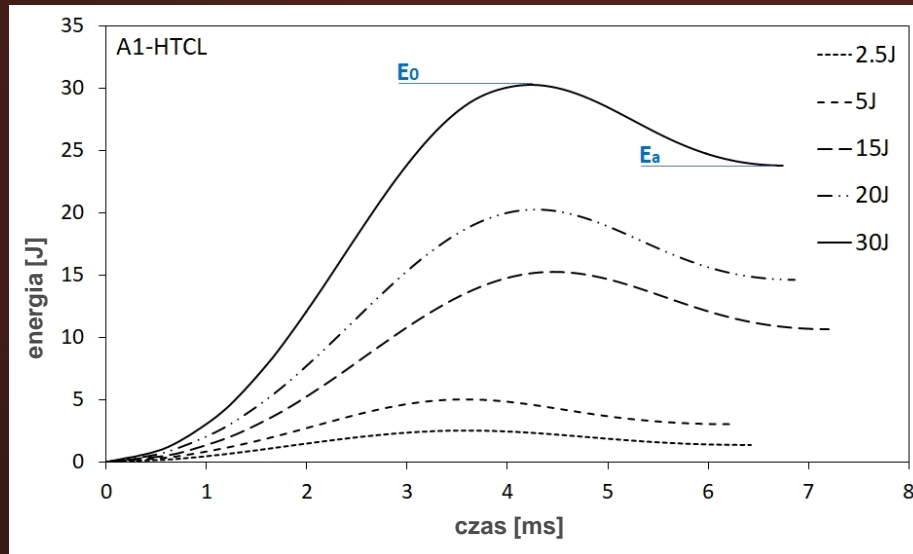
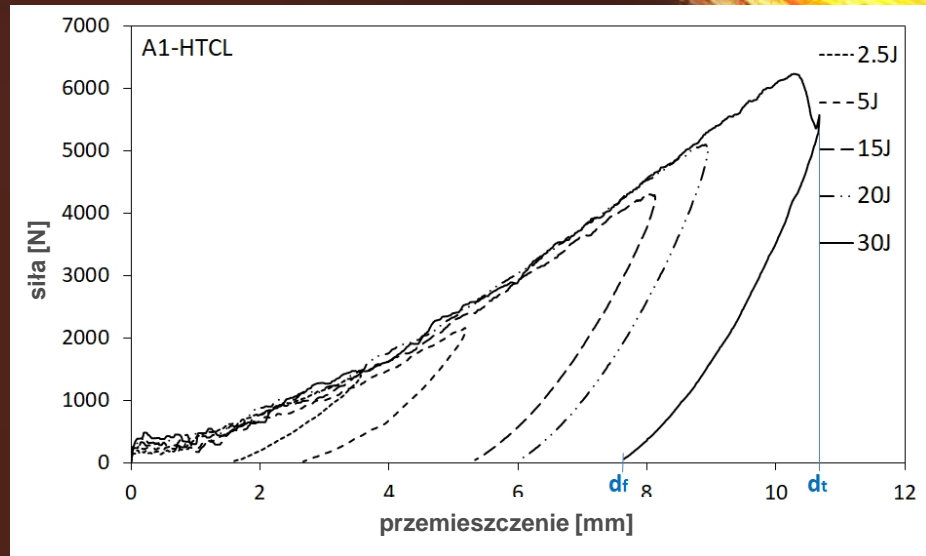
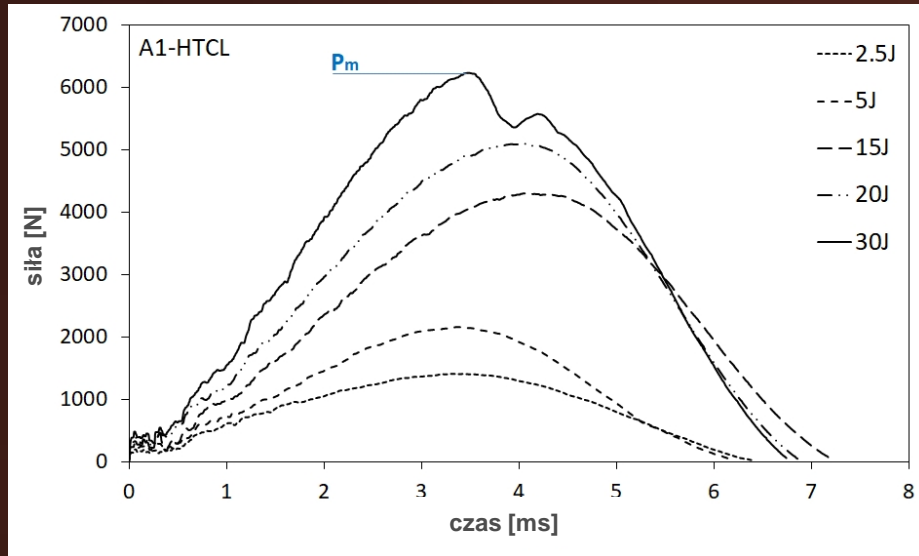


Energia uderzenia[J]	2.5	5	15	20	30
Masa węgłownika [kg]	2.006	2.006	4.006	4.006	4.006
Prędkość węgłownika [m/s]	1.58	2.23	2.74	3.16	3.87
Wysokość węgłownika [mm]	127	253.5	382	509	763.6

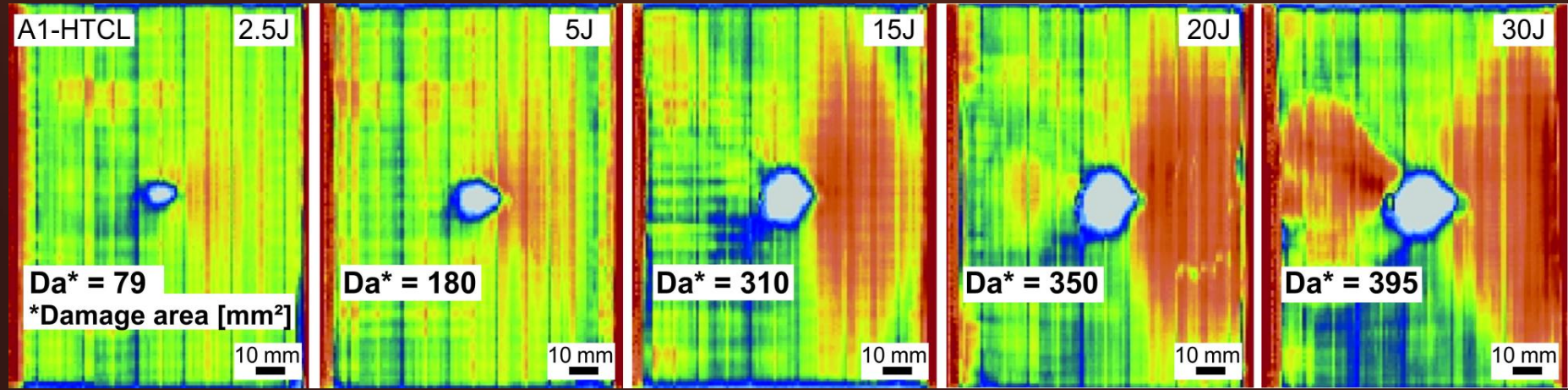
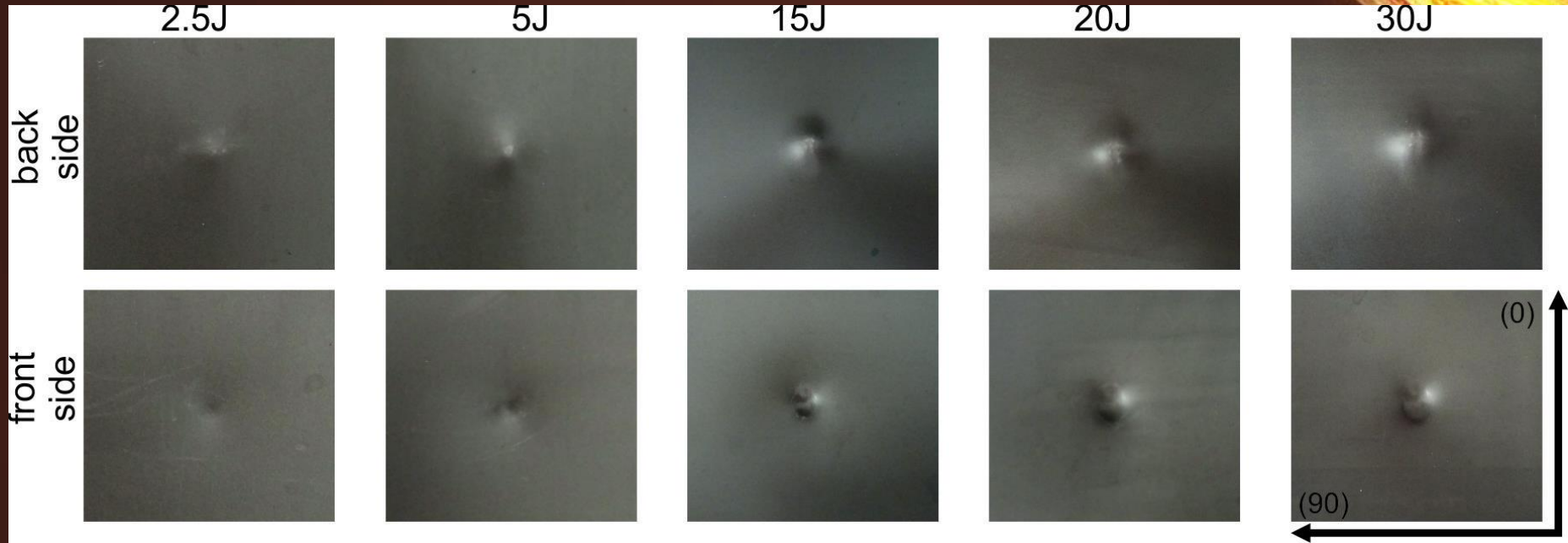
Badania nieniszczące – wieloprzetwornika metoda przejścia



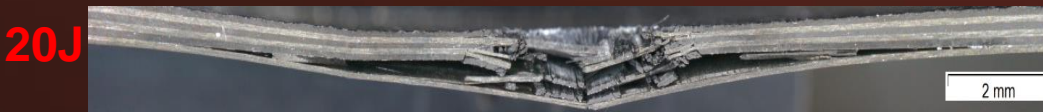
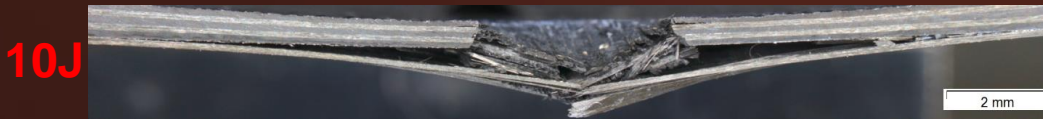
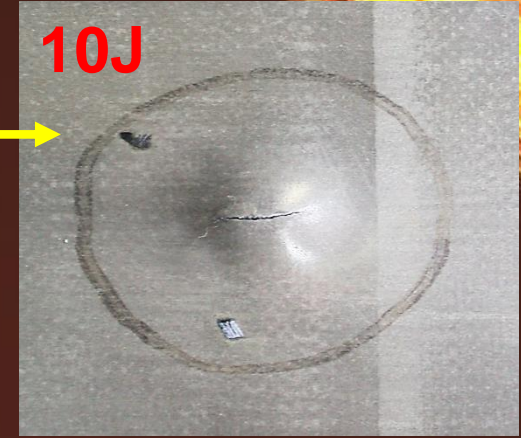
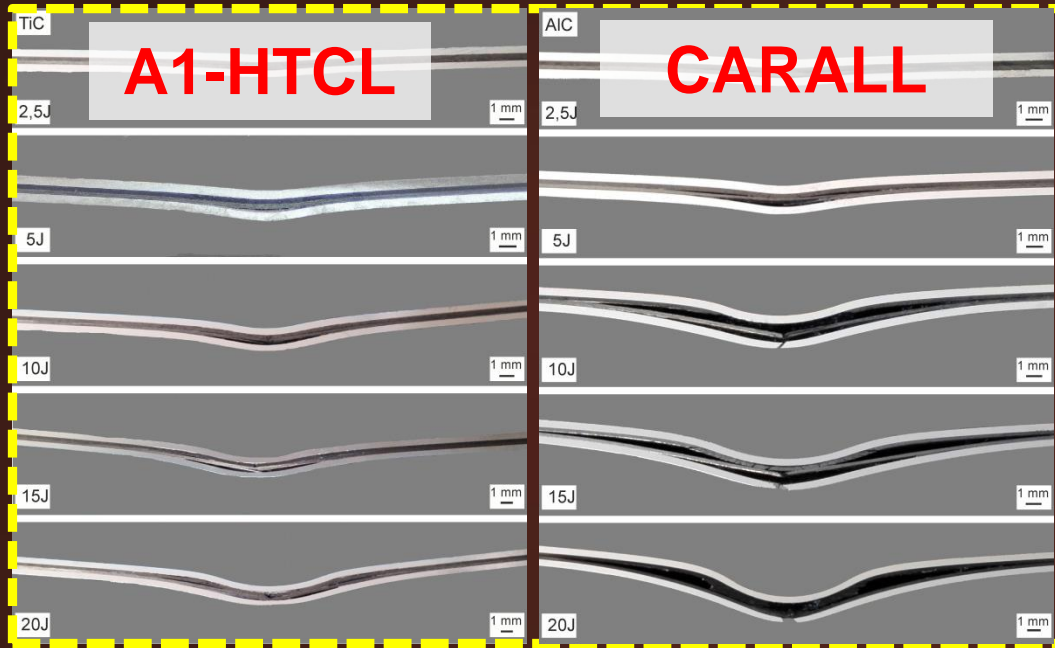
ODBIÓR EKSPERYMENTU



ODBIÓR EKSPERYMENTU



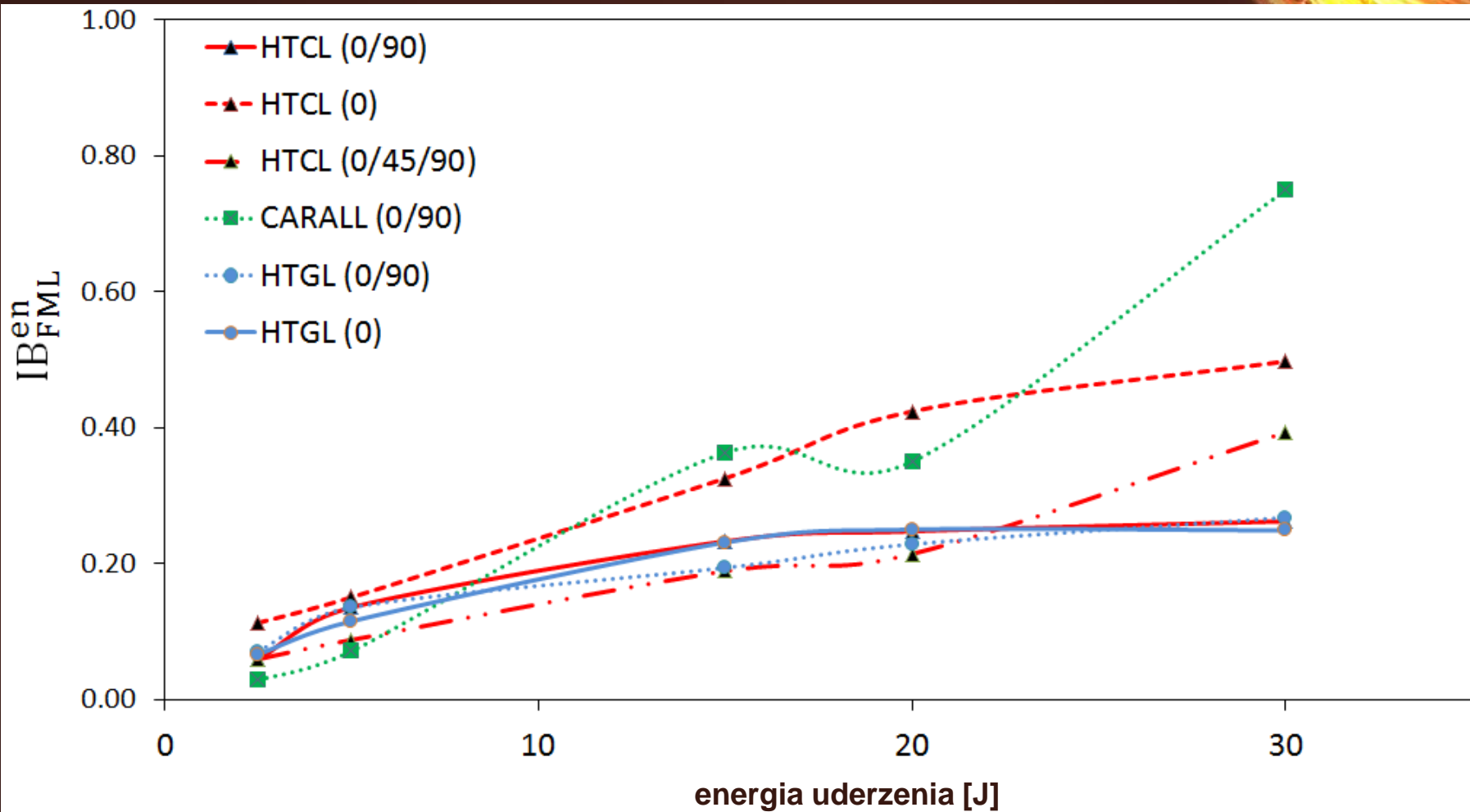
ODBIÓR EKSPERYMENTU



CFRP



ODBIÓR EKSPERYMENTU

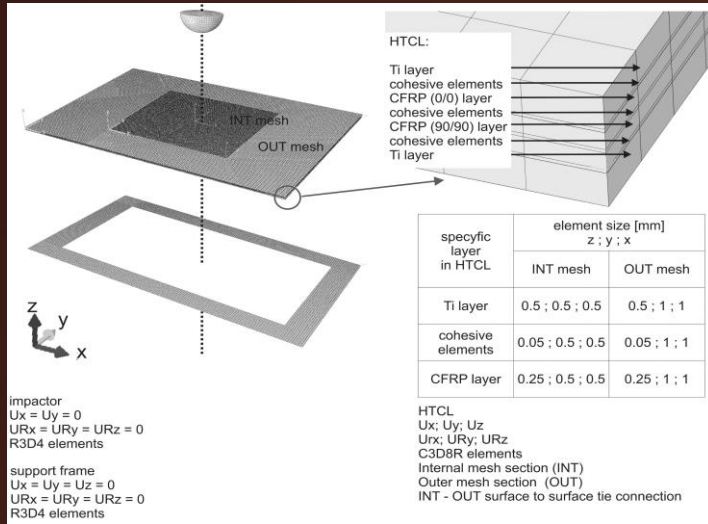


- A** – zakres niskich energii uderzenia - NVID / BVID
- B** – średni zakres energii uderzenia - BVID / VID
- C** – zakres wysokich energii uderzenia – VID / pękanie
- D?...** – zakres ultrawysokich energii uderzenia – pękanie / perforacja

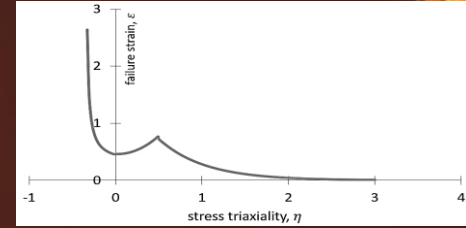


MODELOWANIE NUMERYCZNE

0 – warunki brzegowe



1 – modelowanie odkształcenia tytanu



$$\omega_D = \int \frac{d\bar{\epsilon}^{pl}}{\bar{\epsilon}_D^{pl}(\eta, \dot{\bar{\epsilon}}^{pl})} = 1$$

ω_D jest zmienną, która rośnie monotonicznie wraz z deformacją plastyczną,
 $\eta = -p/q$,
 η – naprężenia trójosiowe, p – współczynnik naprężeń,
 q – naprężenia (Mises), $\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}$ - współczynnik odkształcenia plastycznego

2 – modelowanie uszkodzenia kompozytu (Hashin)

– kryterium rozciągania włókien F_f^t , for ($\sigma_{11} \geq 0$):

$$\left(\frac{\sigma_{11}}{X_{1T}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{13}}{S_{12}}\right)^2 \geq 1$$

– kryterium ściskania włókien F_f^c , for ($\sigma_{11} < 0$):

$$\frac{|\sigma_{11}|}{X_{1C}} \geq 1$$

– kryterium rozciągania osnowy F_m^t , for ($\sigma_{22} + \sigma_{33} \geq 0$):

$$\frac{(\sigma_{22} + \sigma_{33})^2}{X_{2T}^2} + \frac{\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{33}}{S_{23}^2} + \frac{\sigma_{12}^2 - \sigma_{13}^2}{S_{12}^2} \geq 1$$

– kryterium ściskania osnowy F_m^c , for ($\sigma_{22} + \sigma_{33} < 0$):

$$\left[\left(\frac{X_{2C}}{2S_{23}}\right)^2 - 1\right] \frac{(\sigma_{22} + \sigma_{33})}{X_{2C}} + \frac{(\sigma_{22} + \sigma_{33})^2}{4S_{23}^2} + \frac{(\sigma_{22} - \sigma_{22}\sigma_{33})}{S_{23}^2} + \frac{\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2}{S_{12}^2} \geq 1$$

3 – modelowanie połączenia na granicy faz metal-kompozyt

funkcja naprężenia, prędkości uwalniania energii odkształcenia i modułów sprężystości materiału:

$$l_{chl} = \frac{G_{Ic} E'_I}{\tau_{Ic}^2} \quad \text{and} \quad l_{chII} = \frac{G_{IIc} E'_{II}}{\tau_{IIc}^2}$$

$$E'_I = E_1 \lambda^{3/4} \sqrt{\frac{2}{1 + \rho}} \quad E'_{II} = E_1 \lambda^{1/4} \sqrt{\frac{2}{1 + \rho}}$$

$$\lambda = \frac{E_2}{E_1} \quad \text{and} \quad \rho = \frac{\sqrt{E_1 E_2}}{2G_{12}} - \sqrt{v_{12} v_{21}}$$

$$E'_1 = \frac{E_1}{1 - v_{13} v_{31}} \quad \text{and} \quad v'_{12} = \frac{v_{12} + v_{13} v_{32}}{1 - v_{13} v_{31}}$$

$$E'_2 = \frac{E_2}{1 - v_{23} v_{32}} \quad \text{and} \quad v'_{21} = \frac{v_{21} + v_{23} v_{31}}{1 - v_{23} v_{32}}$$

LITERATURA



Slajd 3 - Bienias J., Jakubczak P., Impact damage growth in carbon fibre aluminum, Composite Structures 172 (2017), pp. 147-154

Slajd 4 - Jakubczak P., The impact behaviour of hybrid titanium glass laminates—Experimental and numerical approach, International Journal of Mechanical Sciences 159 (2019), pp. 58-73

Slajd 6 - Jakubczak P., Bienias J., Non-destructive damage detection in Fibre Metal Laminates, Journal of Nondestructive Evaluation 38(2) 2019, 49(1-10)

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

**Odporność na uderzenia
oraz modelowanie odpowiedzi
na uderzenia hybrydowych laminatów tytanowo - węglowych**

POLITECHNIKA LUBELSKA
Katedra Inżynierii Materiałowej
dr hab. inż. Jarosław Bieniaś
dr inż. Patryk Jakubczak

Projekt „Politechnika Lubelska - Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
- finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

