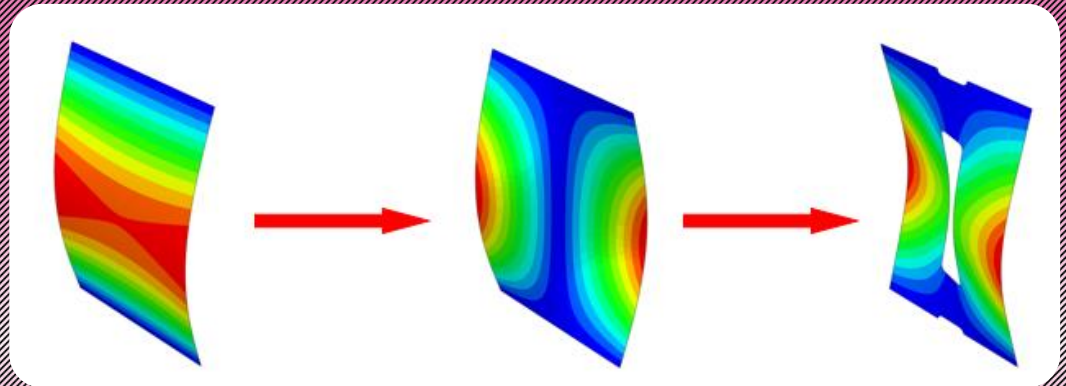




ELEMENT PŁYTOWY JAKO ELEMENT SPRĘŻYSTY



PLAN PREZENTACJI

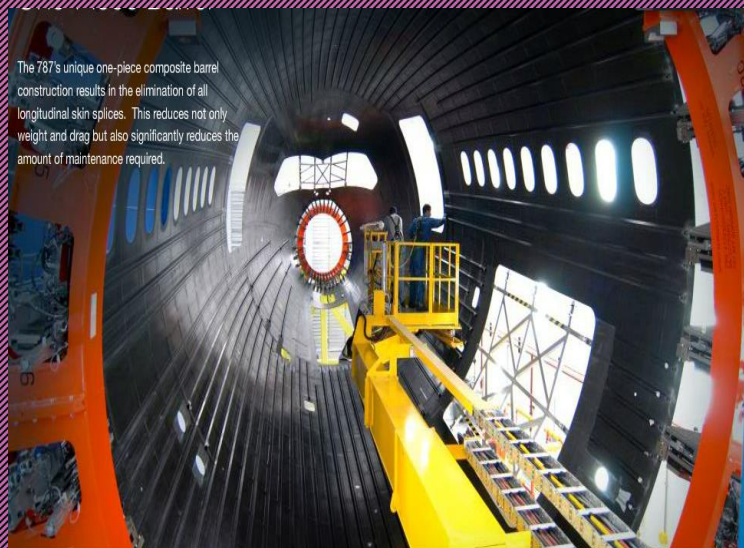


- Geneza tematu
- Główne cele
- Zakres badań
- Przedmiot badań
- Metodyka badań
 - badania eksperymentalne
 - badania numeryczne
- Wyniki
 - stan krytyczny
 - stan pokrytyczny
 - pokrytyczne reprezentatywne ścieżki równowagi
- Podsumowanie

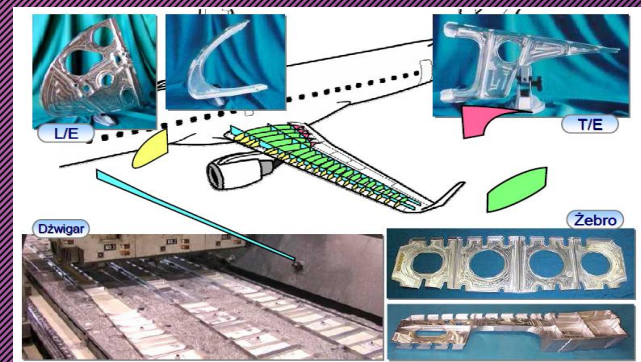
GENEZA TEMATU



Ustroje cienkościenne - są stosowane niemal we wszystkich nowoczesnych konstrukcjach lotniczych, motoryzacyjnych czy budowlanych, takich jak m.in.: samoloty, rakiety, pojazdy, statki, mosty, zbiorniki, konstrukcje budowlane.



Źródło: Internet



Źródło: Internet

Wada – utrata stateczności

Cecha charakterystyczna –

- wysoka wytrzymałość oraz sztywność przy niskiej masie własnej;
- możliwość pracy po utracie stateczności

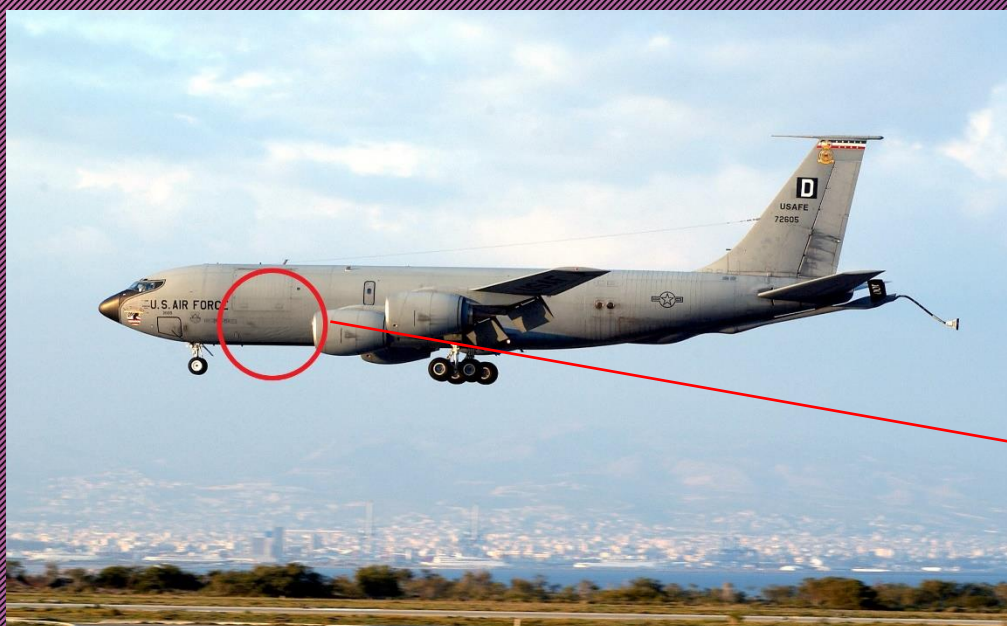
GENEZA TEMATU



Przykład utraty
cienkościennych

stateczności

konstrukcji



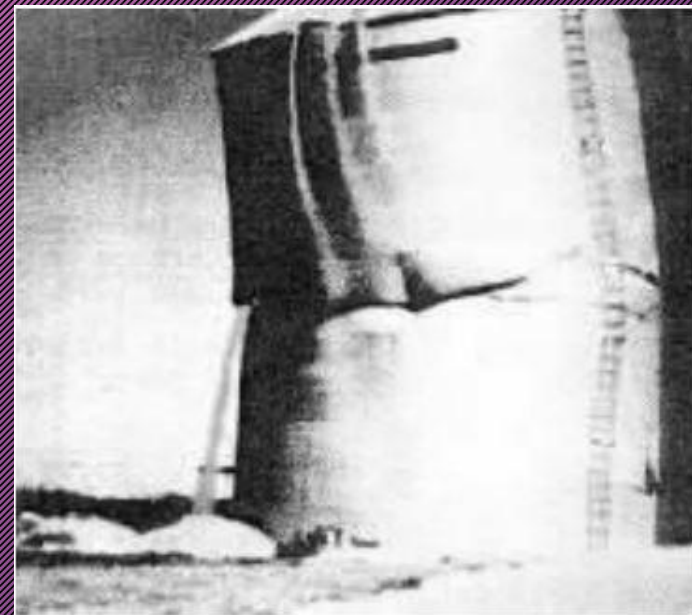
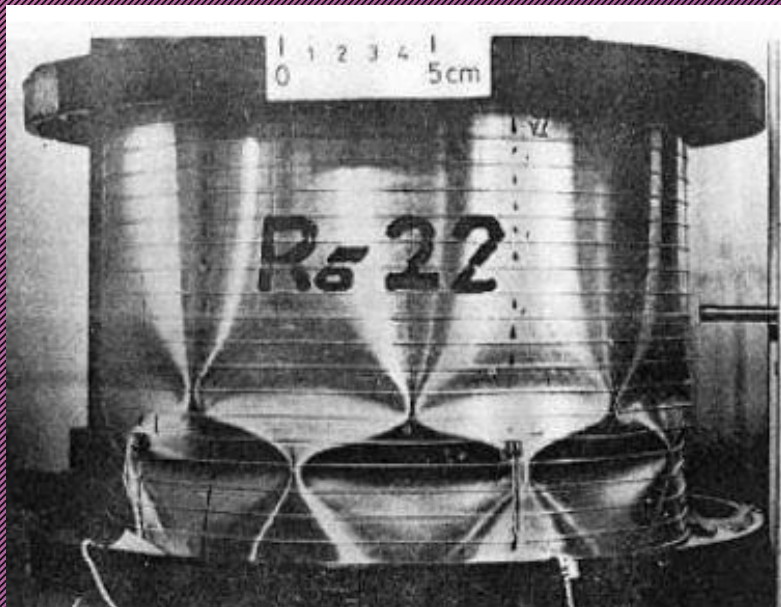
Boeing KC-135



Źródło: Internet

GENEZA TEMATU

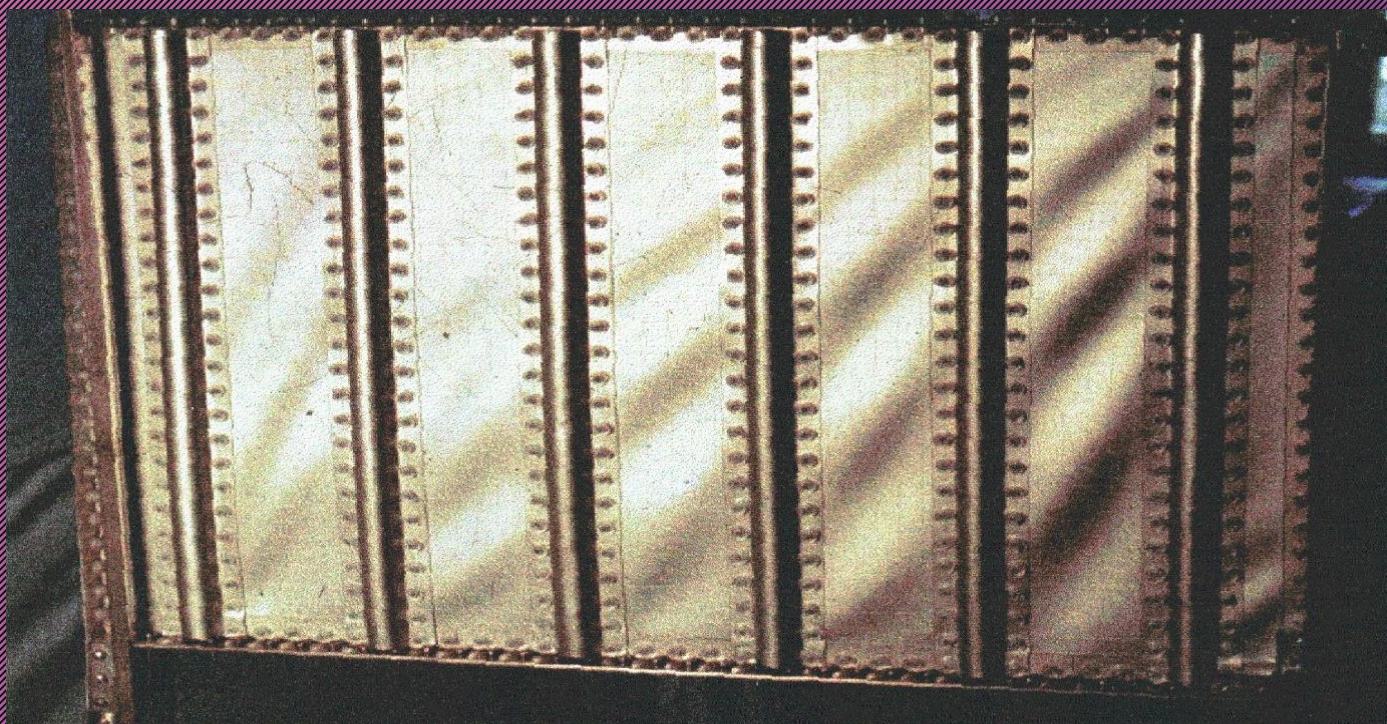
Przykłady utraty stateczności konstrukcji cienkościennych



Źródło: Internet

GENEZA TEMATU

Przykład utraty stateczności konstrukcji
cienkościennych



Płaska płyta poddana obciążeniu ścinającemu

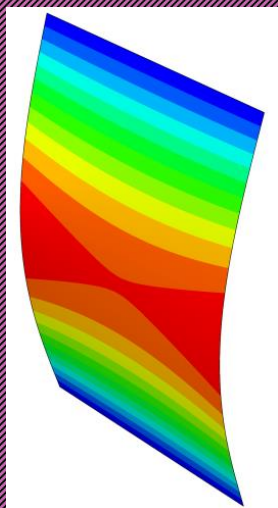
Źródło: Internet

GENEZA TEMATU

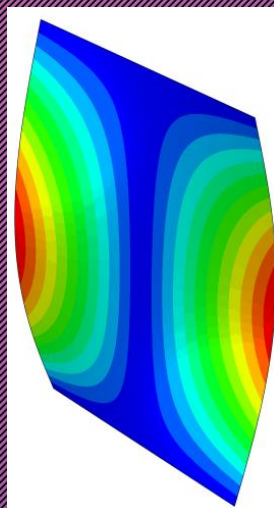


Konstrukcja cienkościenna jako element sprężysty

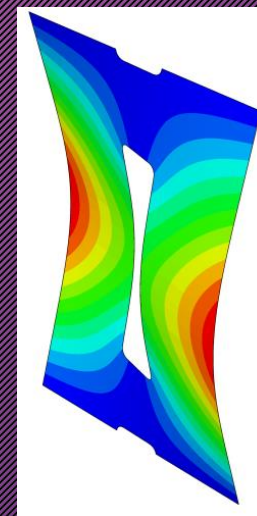
- konstrukcje cienkościenne w ujęciu klasycznym pracują jako dźwigary powierzchniowe,
- możliwość wykorzystania cienkościennych elementów płytowych jako elementy sprężyste.



1 postać wyboczenia
– postać giętna

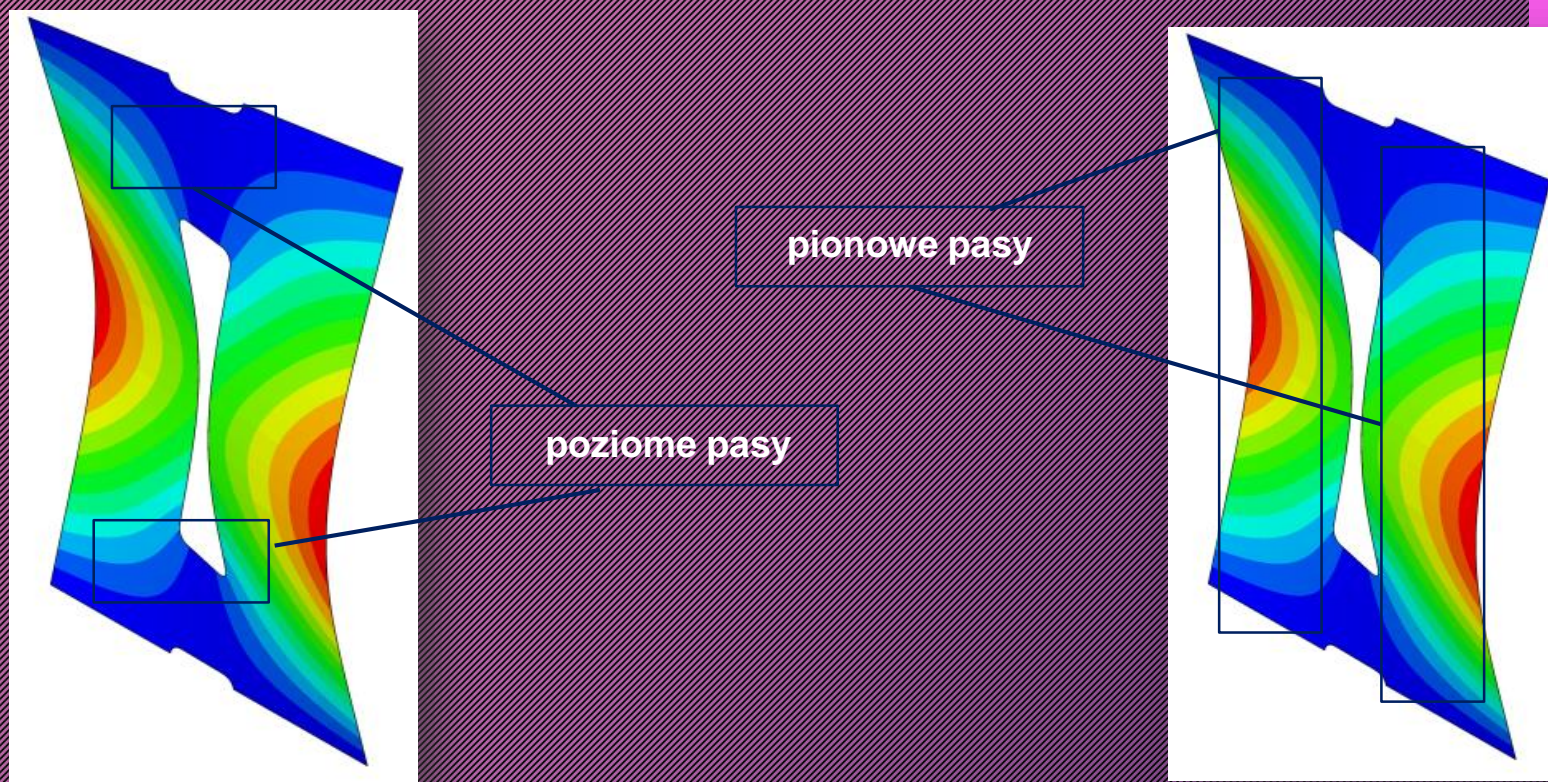


wyższa postać wyboczenia
– postać giętno-skrętna
(niestabilna)



wyższa postać wyboczenia
– postać giętno-skrętna
(stabilna)

GENEZA TEMATU



W tak zaproponowanym rozwiązaniu możemy wyróżnić pionowe pasy w których dominuje stan giętny oraz poziome pasy gdzie dominuje skręcanie

GENEZA TEMATU



Zaprezentowana koncepcja przedstawia możliwość zastosowania elementów płytowych jako elementy sprężyste zamocowane w odpowiedniej oprawie, dzięki:

- zastosowaniu materiałów kompozytowych,
- wykonaniu centralnego wycięcia i nadaniu odpowiednich ugięć wstępnych,
- odpowiedniemu doborowi układu warstw kompozytu z wykorzystaniem sprzężeń mechanicznych, przy zachowaniu stałych parametrów geometrycznych i masy ustroju.

GŁÓWNE CELE



- Opracowanie metody wymuszenia stabilnej pracy konstrukcji rzeczywistej wg wyższej (giętno-skrętnej) postaci utraty stateczności,
- Badania parametrów geometrycznych centralnego wycięcia, zapewniających poszukiwaną (stateczną) charakterystykę pokrytyczną płytowego elementu sprężystego,
- Ocena wpływu układu warstw laminatu na charakterystykę pracy płyt z centralnym wycięciem.

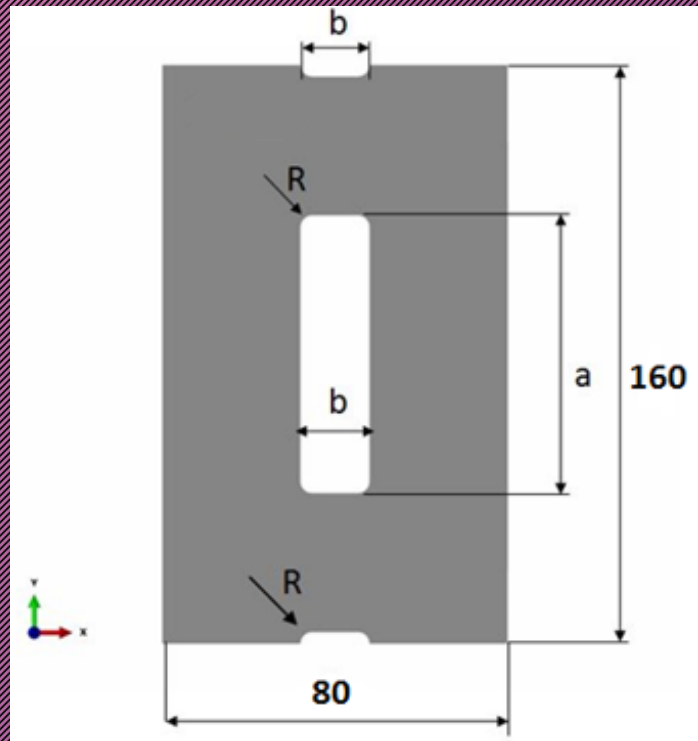
ZAKRES BADAŃ



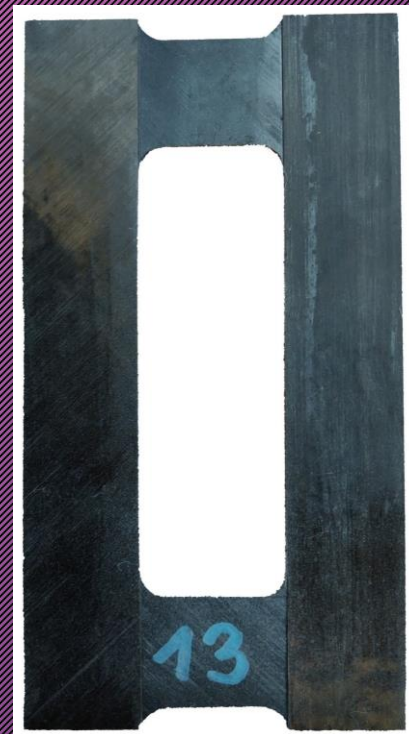
- **Obliczenia numeryczne MES:**
 - **stan krytyczny** – rozwiązanie zagadnienia własnego,
 - **stan pokrytyczny** – nieliniowa analiza statyczna (metoda N-R), na modelach z zaimplementowaną giętno-skrętną postacią wyboczenia (amplituda imperfekcji początkowych: 0.1mm)- obliczenia z wykorzystaniem kryterium Tsai-Wu;
- **Badania eksperymentalne stanów pokrytycznych ściskanych płytowych elementów sprężystych z wymuszoną giętno-skrętną postacią wyboczenia;**
- **Weryfikacja i walidacja opracowanych modeli MES z wynikami badań eksperymentalnych.**

PRZEDMIOT BADAŃ

PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



Rys.1. Parametry geometryczne płyty



Rys. 2. Model rzeczywisty płyty

PRZEDMIOT BADAŃ

PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



W przypadku kompozytów o niesymetrycznym układzie warstw (w przeciwieństwie do kompozytów o symetrycznym układzie), możliwe jest występowanie dodatkowych sprzężeń niesymetrycznych, gdy odpowiednie wyrazy macierzy sztywności sprzężeń B są niezerowe, tzn. $B_{11} \neq 0$, $B_{12} \neq 0$ oraz $B_{22} \neq 0$ (obciążenia normalne – odkształcenia giętne) lub $B_{66} \neq 0$ (obciążenia ścinające – odkształcenia skrętne) lub $B_{16} \neq 0$ i $B_{26} \neq 0$ (obciążenia normalne – odkształcenia skrętne):

$$\begin{Bmatrix} \{N\} \\ \{M\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{26} & B_{21} & B_{22} & B_{26} \\ A_{61} & A_{62} & A_{66} & B_{61} & B_{62} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{21} & B_{22} & B_{26} & D_{21} & D_{22} & D_{26} \\ B_{61} & B_{62} & B_{66} & D_{61} & D_{62} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\varepsilon^b\} \\ \{\kappa\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A] & [B] \\ [B] & [D] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\varepsilon^b\} \\ \{\kappa\} \end{Bmatrix} = [K] \begin{Bmatrix} \{\varepsilon^b\} \\ \{\kappa\} \end{Bmatrix}$$

gdzie: $\{N\}$ oznacza wektor sił wewnętrznych w płaszczyźnie płyty, $\{M\}$ – wektor momentów gnących, $[A]$ - macierz sztywności błonowej, $[D]$ – macierz sztywności zginania, zaś $[B]$ oznacza macierz sztywności sprzężeń mechanicznych; $\{\varepsilon\}$ reprezentuje odkształcenia, a $\{\kappa\}$ - krzywizny powierzchni środkowej.

PRZEDMIOT BADAŃ

PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



Tab. 2. Opis sprężeń powiązanych z odpowiednimi indeksami współczynników macierzy

Indeks dolny	Odpowiedź układu, rodzaj sprężenia
A_S	Prosty laminat (ang. Simple laminate)
A_F	S-E, ścinanie-rozciąganie (ang. Shear-Extension)
B_T	E-T, rozciąganie-skręcanie (ang. Extension-Twisting) S-B, ścinanie-zginanie (ang. Shear-Bending)
B_S	E-B, rozciąganie-zginanie (ang. Extension-Bending) S-T, ścinanie-zginanie (ang. Shear-Twisting)
B_F	E-B, rozciąganie-zginanie (ang. Extension-Bending) S-B, ścinanie-zginanie (ang. Shear-Bending) E-T, rozciąganie-skręcanie (ang. Extension-Twisting) S-T, ścinanie-zginanie (ang. Shear-Twisting)
B_L	E-B, rozciąganie-zginanie (ang. Extension-Bending)
B_{LT}	E-B, rozciąganie-zginanie (ang. Extension-Bending) E-T, rozciąganie-skręcanie (ang. Extension-Twisting) S-B, ścinanie-zginanie (ang. Shear-Bending)
D_S	Prosty laminat (ang. Simple laminate)
D_F	T-B, skręcanie-zginanie (ang. Twisting-Bending)

PRZEDMIOT BADAŃ

PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



Tab.3. Zestawienie badanych układów warstw

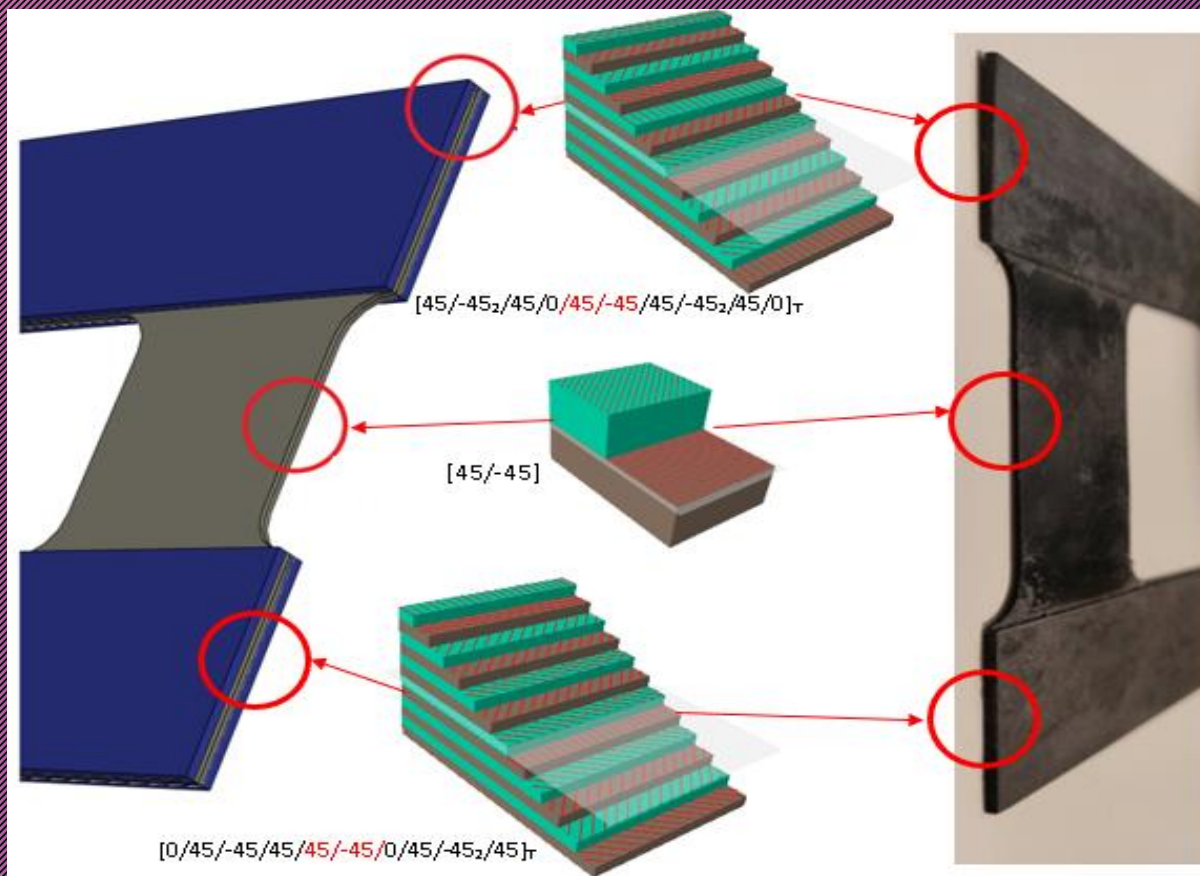
Lp.	Liczba warstw n	Wykorzystane konfiguracje/sprzężenia warstw laminatu		Końcowa konfiguracja laminatu	Symbol
		Pionowe pasy płyty	Rdzeń płyty		
1	18	$A_5B_LD_S^{**}$ $[\alpha/-\alpha/0/-\alpha/0/\alpha/90/\alpha/-\alpha]$	$A_5B_TD_S^*$ $[\alpha/-\alpha]_2$	$[90_3/\alpha/-\alpha/0/-\alpha/\alpha/-\alpha/\alpha/-\alpha/\alpha/90/\alpha/-\alpha/0_3]_T$	PN1_α _{bxa}
2	14	$A_5B_FD_F$ $[\alpha/-\alpha/0]_2$	$A_5B_TD_S$ $[\alpha/-\alpha]$	$[\alpha/-\alpha/0/\alpha/-\alpha/0/\alpha/-\alpha/\alpha/-\alpha/0/\alpha/-\alpha/0]_T$	PN2_α _{bxa}
3	12	$A_5B_5D_F$ $[\alpha/-\alpha_2/\alpha/0]$	$A_5B_TD_S$ $[\alpha/-\alpha]$	$[\alpha/-\alpha_2/\alpha/0/\alpha/-\alpha/\alpha/-\alpha_2/\alpha/0]_T$	PN3_α _{bxa}

* - układ warstw podany przez Ch. Yorcka składa się tylko z 2 warstw, w niniejszej pracy aby spełnić postawione założenia, rdzeń płyty składa się z 4 warstw.

** - układ warstw przebadany przez Ch. Yorcka został zmodyfikowany na potrzeby pracy - w końcowej konfiguracji warstwę „0°” zastąpiły warstwy $[\alpha/-\alpha]_2$ (rdzeń płyty), dodatkowo na zewnątrz dodano potrójne warstwy „0°” i „90°”.

PRZEDMIOT BADAŃ

PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



Rys. 3. Schemat układu warstw kompozytu po grubości płyty dla przypadku $[45/-45_2/45/0/45/-45/45/-45_2/45/0]_T$

PRZEDMIOT BADAŃ

PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



Badania doświadczalne prowadzono dla trzech serii płyt w układzie niesymetrycznym

(PN1bxa+PN3bxa), przy czym jedna seria obejmowała 15 przypadków

płyt różniących się wymiarami wycięcia oraz kątem ułożenia

włókien. Zakres przyjętych parametrów geometrycznych

wycięcia wynosił odpowiednio:

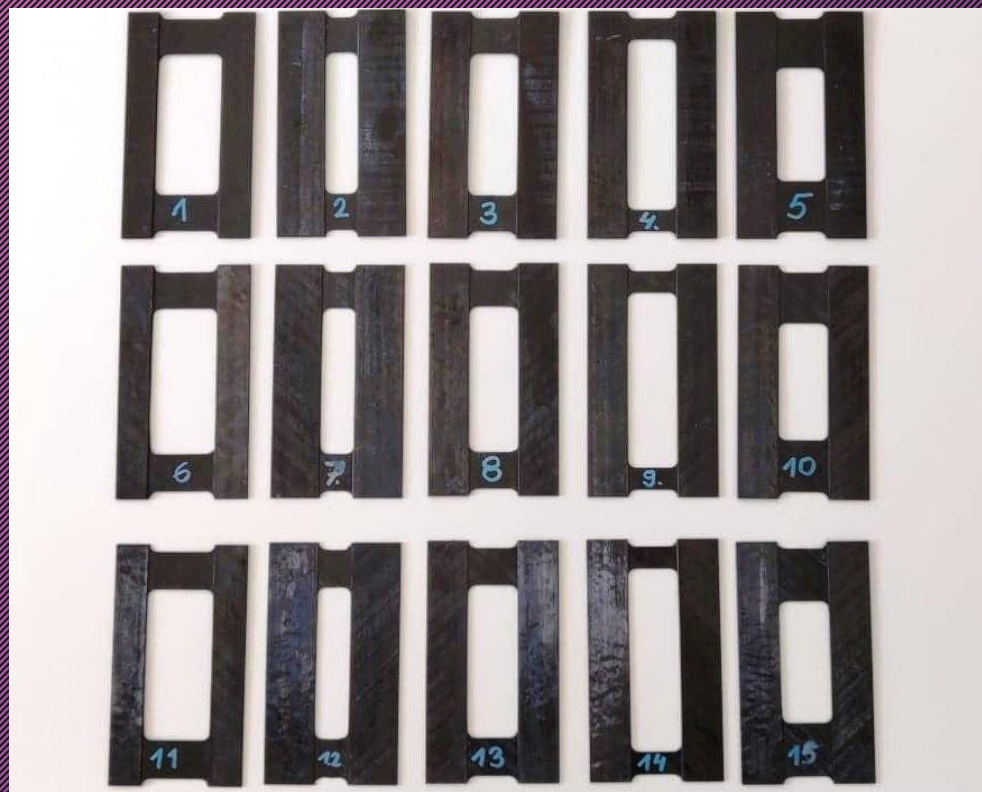
$a = 80 \div 120$ mm

(i zmieniał się co 20 mm) oraz

$b = 20 \div 40$ mm (i zmieniał się co 10

mm). Kąty ułożenia włókien

$\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$.



METODYKA BADAŃ – BADANIA EKSPERYMENTALNE

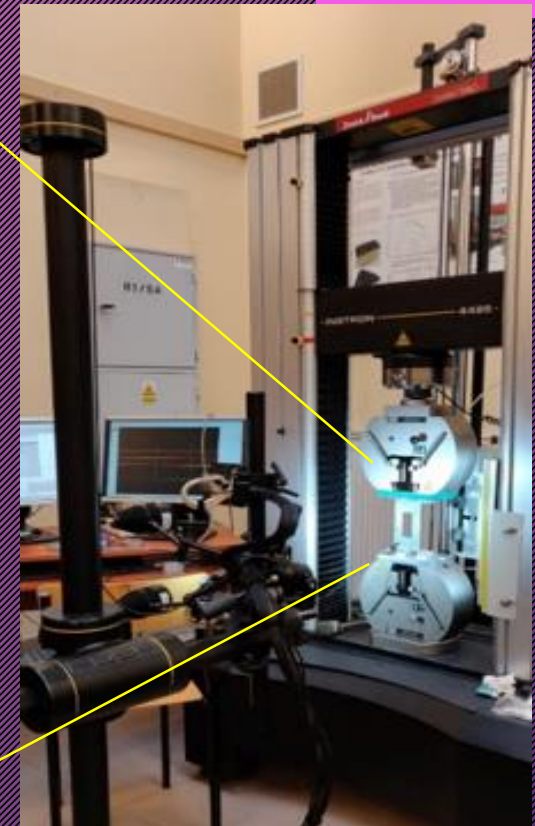


REJESTRACJA WYNIKÓW

Pomiar siły:
maszyna wytrzymałościowa,

Pomiar przemieszczeń:
system ARAMIS;

Parametry próby:
badania laboratoryjne (RT),
stała prędkość
przemieszczenia trawersy
2 mm/min.



Rys.5. Osiowe ściskanie płyt z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z050

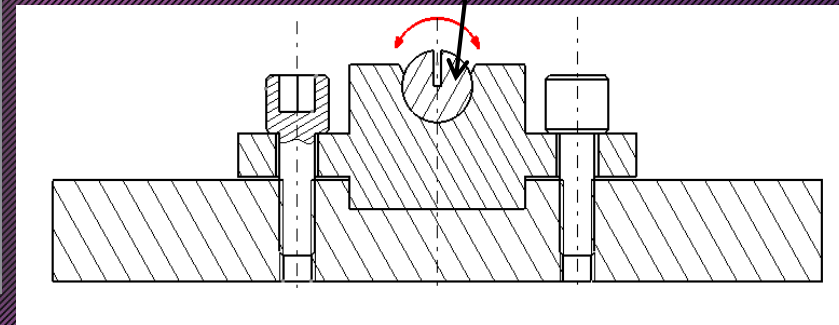
METODYKA BADAŃ – BADANIA EKSPERYMENTALNE



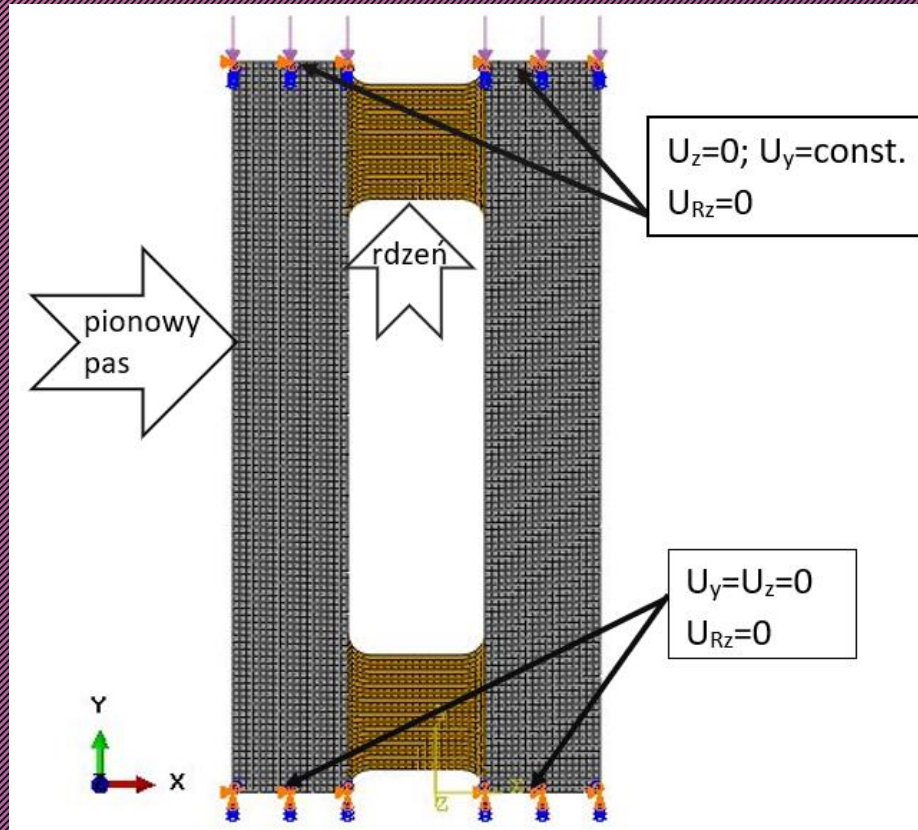
Zaprojektowano uchwyty, które posiadały „fasolkowe” otwory, dzięki czemu ich położenie można było łatwo dostosować do próbek o różnych wymiarach wycięcia (szerokość wycięcia równa jest szerokości wybrania na poziomych krawędziach płyty). Wkładki wykonano z teflonu w celu zapewnienia niskiego współczynnika tarcia pomiędzy walcem a uchwytem.



Przegub walcowy z rowkiem na płytę



Rys.6. Uchwyt zapewniający przegubowe podparcie końców płyty



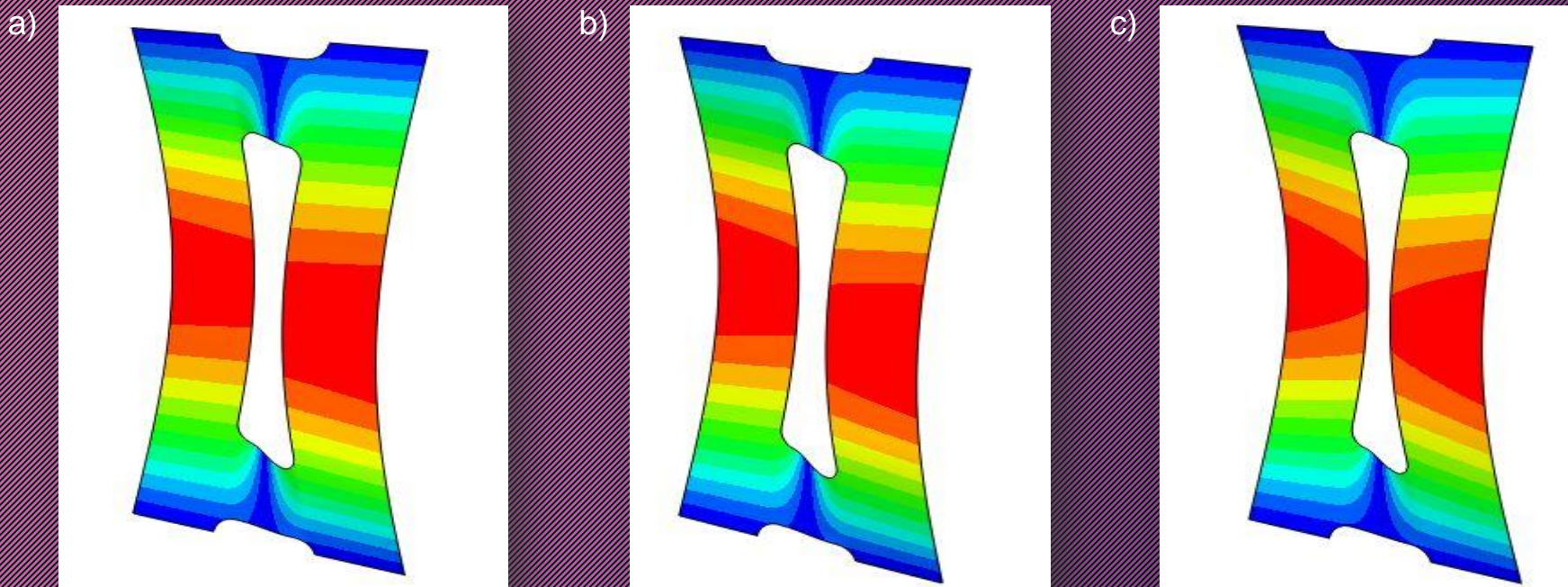
POWŁOKOWE
ELEMENTY SKOŃCZONE
ABAQUS – S8R

TECHNIKA MODELOWANIA
KOMPOZYTU: *LAYUP-PLY*

MODEL MATERIAŁU:
materiał ortotropowy
w płaskim stanie naprężenia

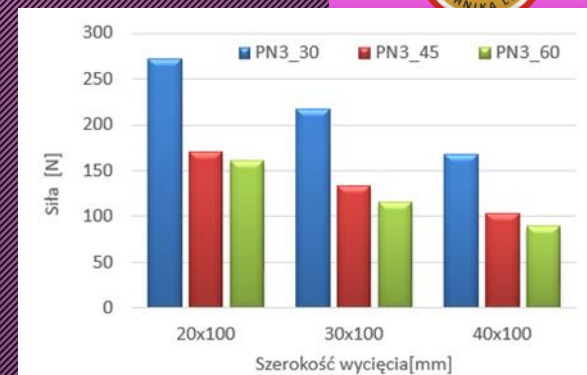
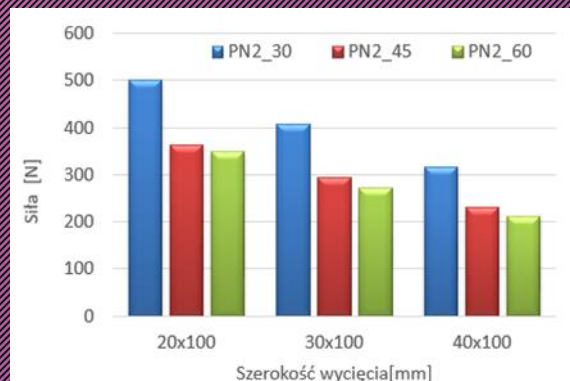
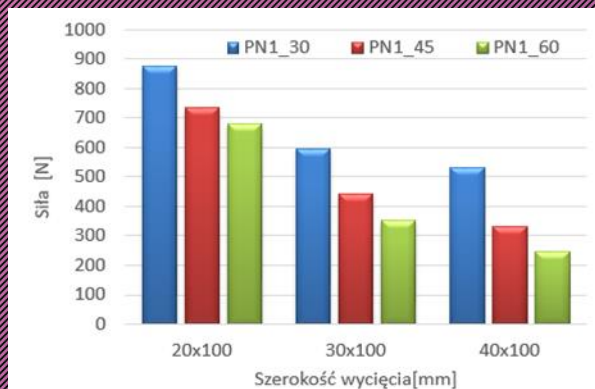
Rys.7. Model dyskretny płyty wraz z warunkami brzegowymi

WYNIKI – STAN KRYTYCZNY PŁYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM

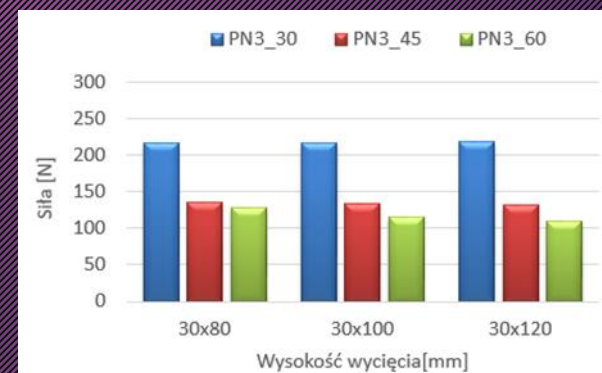
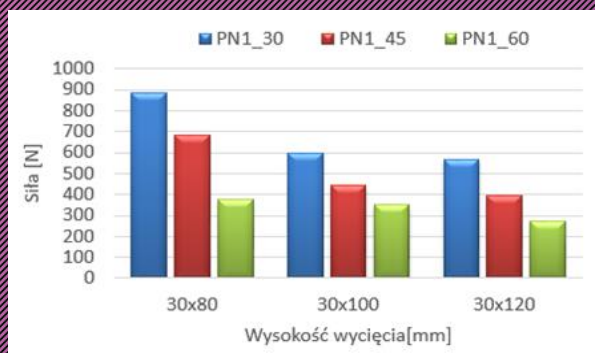


Rys. 8. Postacie wyboczenia płyt dla konfiguracji PN1/PN2/PN3_ $\alpha_{30 \times 100}$ odpowiednio dla kątów: a) 30°, b) 45°, c) 60°

WYNIKI – STAN KRYTYCZNY PŁYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM

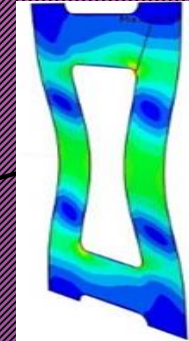
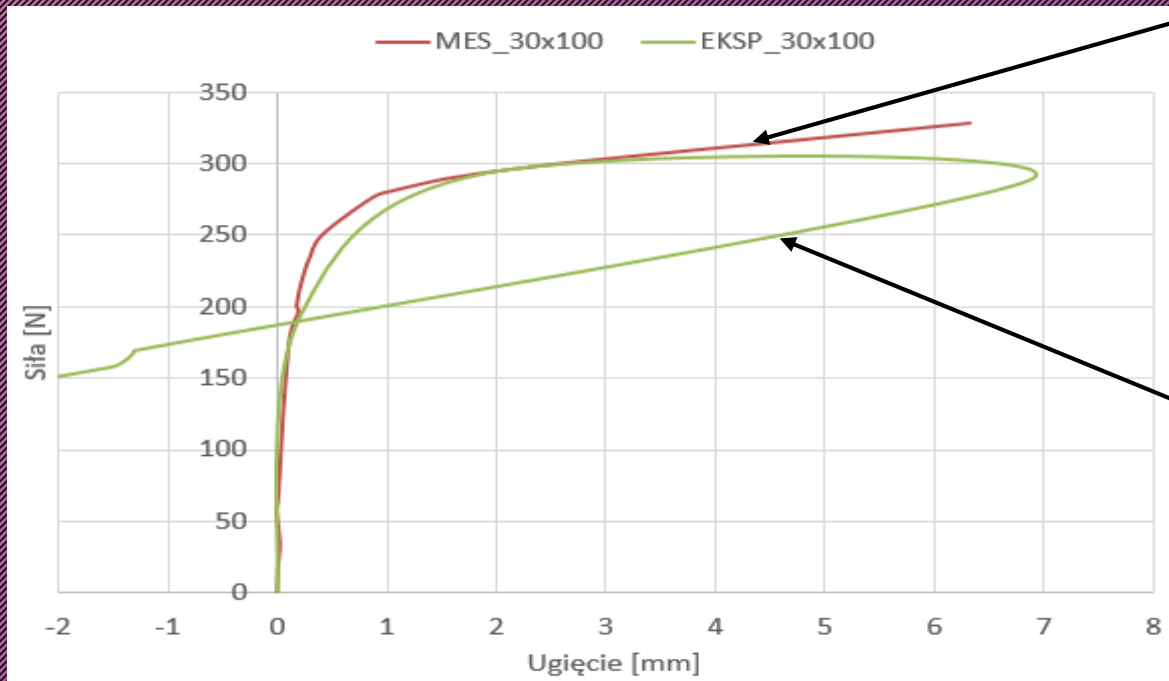


Rys.16. Zależność siły krytycznej od szerokości centralnego wycięcia i trzech różnych kątów ułożenia włókien, dla stałej wysokości wycięcia wynoszącej 100 mm: a) konfiguracja PN1, b) konfiguracja PN2, c) konfiguracja PN3



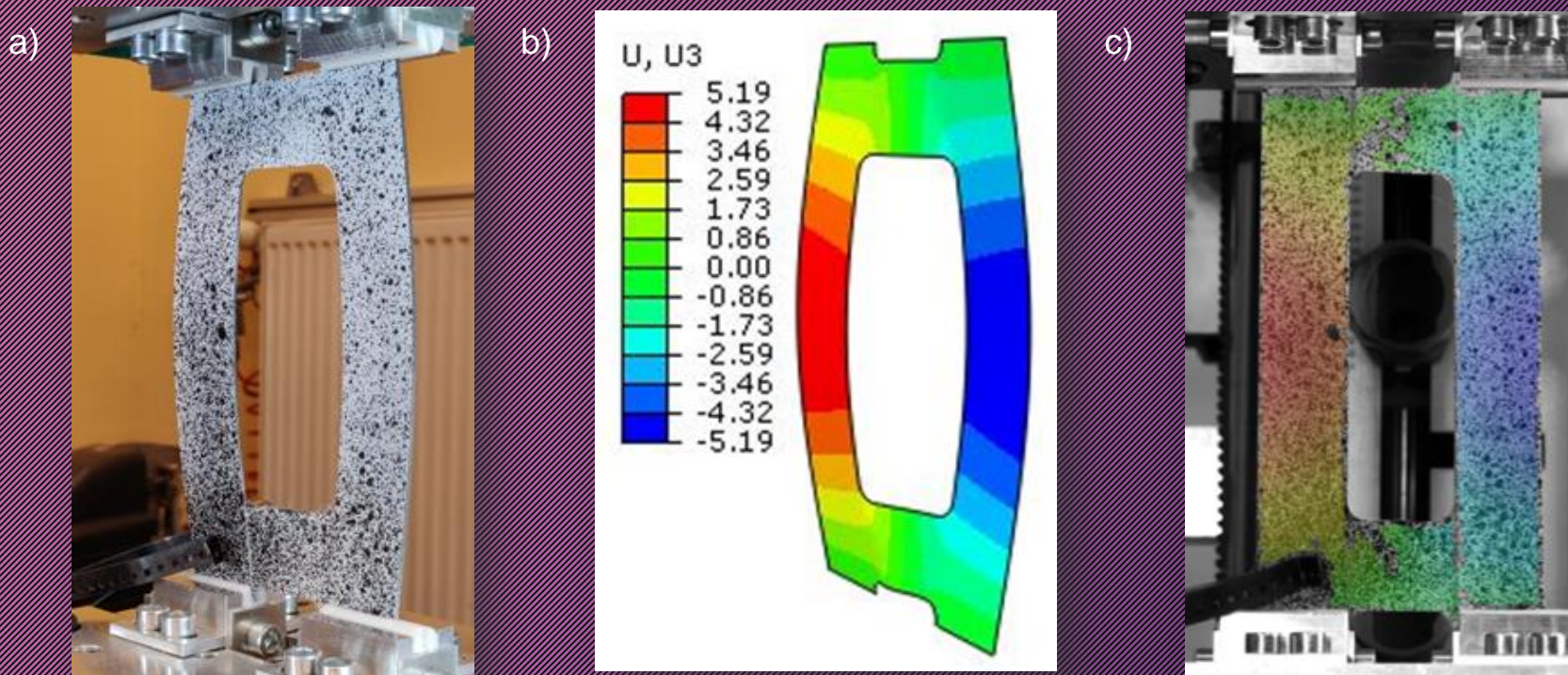
Rys.9. Zależność siły krytycznej od wysokości centralnego wycięcia i trzech różnych kątów ułożenia włókien, dla stałej szerokości wycięcia wynoszącej 30 mm: a) konfiguracja PN1, b) konfiguracja PN2, c) konfiguracja PN3

WYNIKI – STAN POKRYTYCZNY PŁYTY W UKŁADZIE SYMETRYCZNYM – zjawisko przeskoku



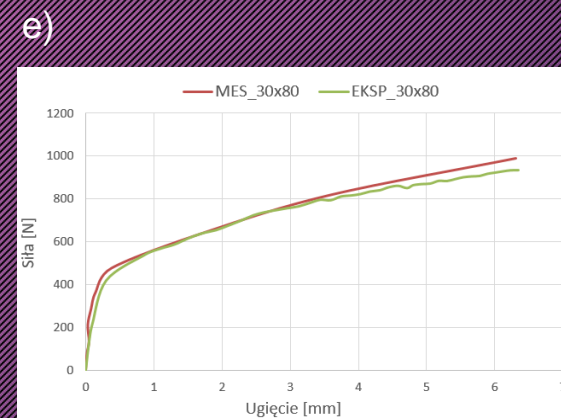
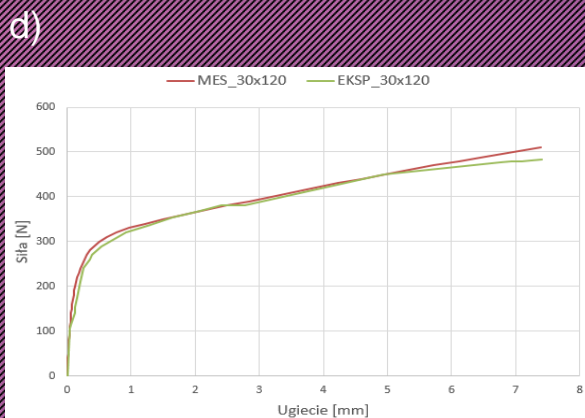
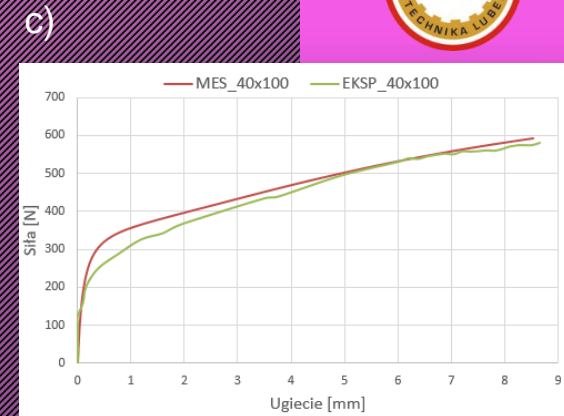
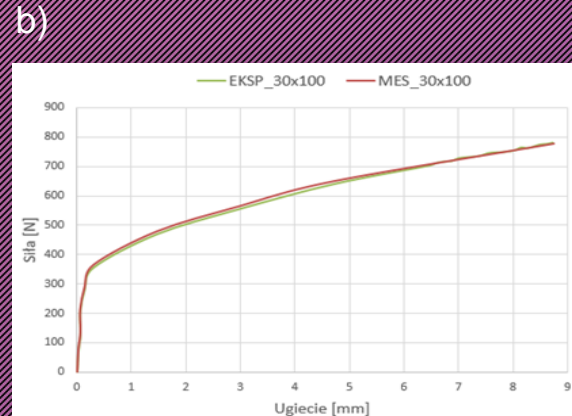
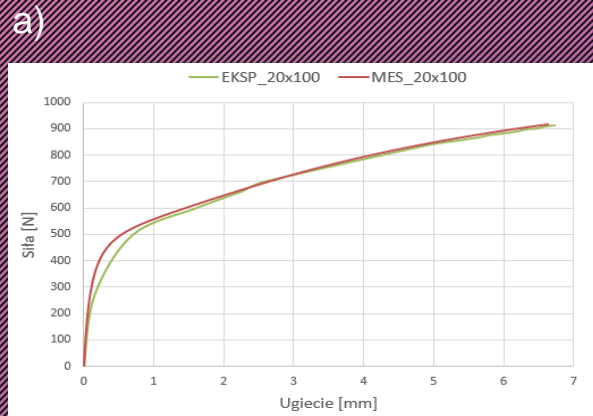
Rys.10. Przykładowe wyniki dla płyty w układzie symetrycznym – zjawisko przeskoku na niższy poziom energetyczny

WYNIKI – STAN POKRYTYCZNY PLYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



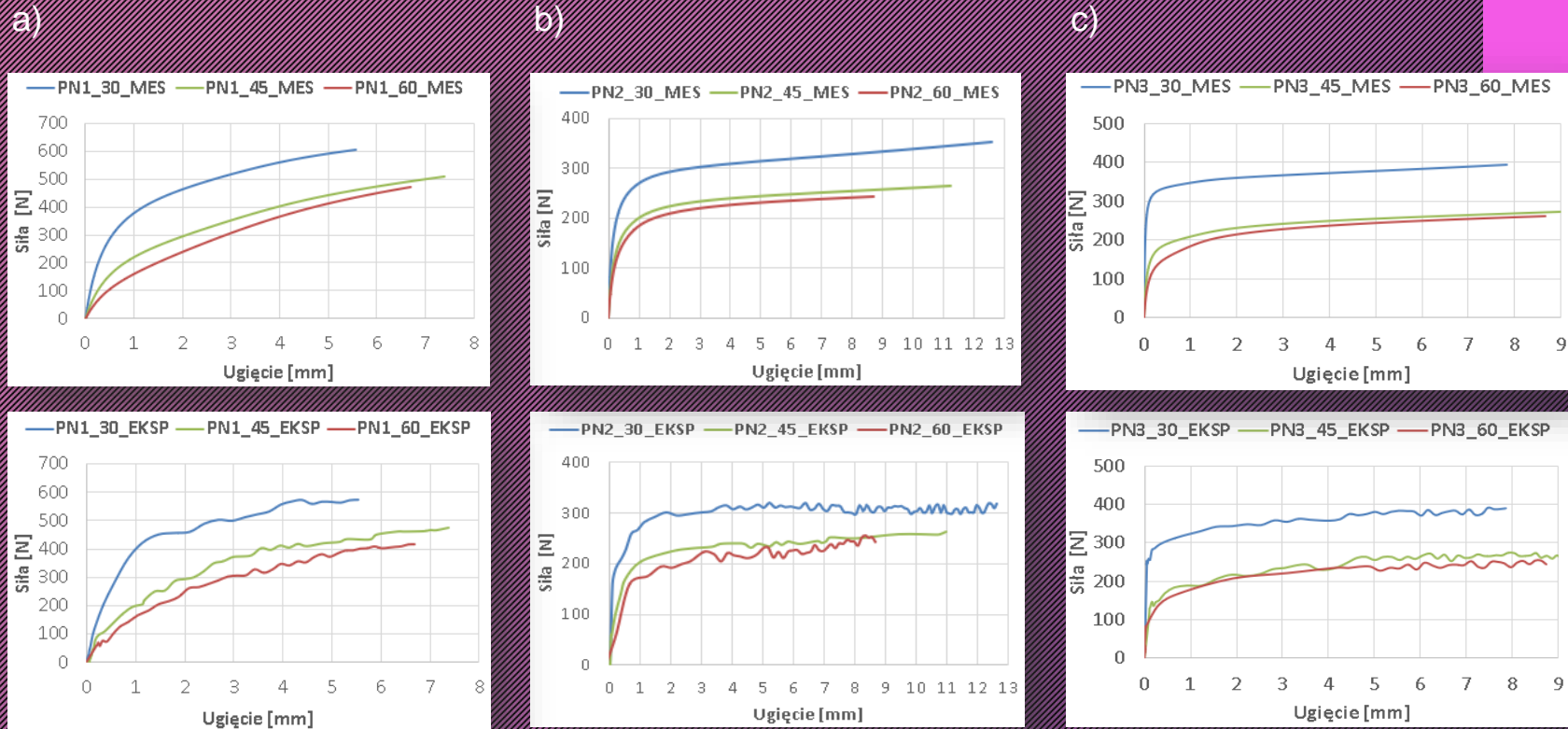
Rys.11. Wyższa giętno-skrętna (stabilna) postać wyboczenia przykładowej płyty:
a) badania eksperymentalne, b) obliczenia numeryczne, c) badania eksperymentalne - ARAMIS

WYNIKI – POKRYTYCZNE ŚCIEŻKI RÓWNOWAGI PŁYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



Rys.12. Płyta PS2 - pokrytyczne reprezentatywne ścieżki równowagi - wyniki badań doświadczalnych i numerycznych: a) wycięcie 20x100 mm, b) wycięcie 30x100 mm, c) wycięcie 40x100 mm, d) wycięcie 30x120 mm, e) wycięcie 30x80 mm

WYNIKI – POKRYTYCZNE ŚCIEŻKI RÓWNOWAGI PŁYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM



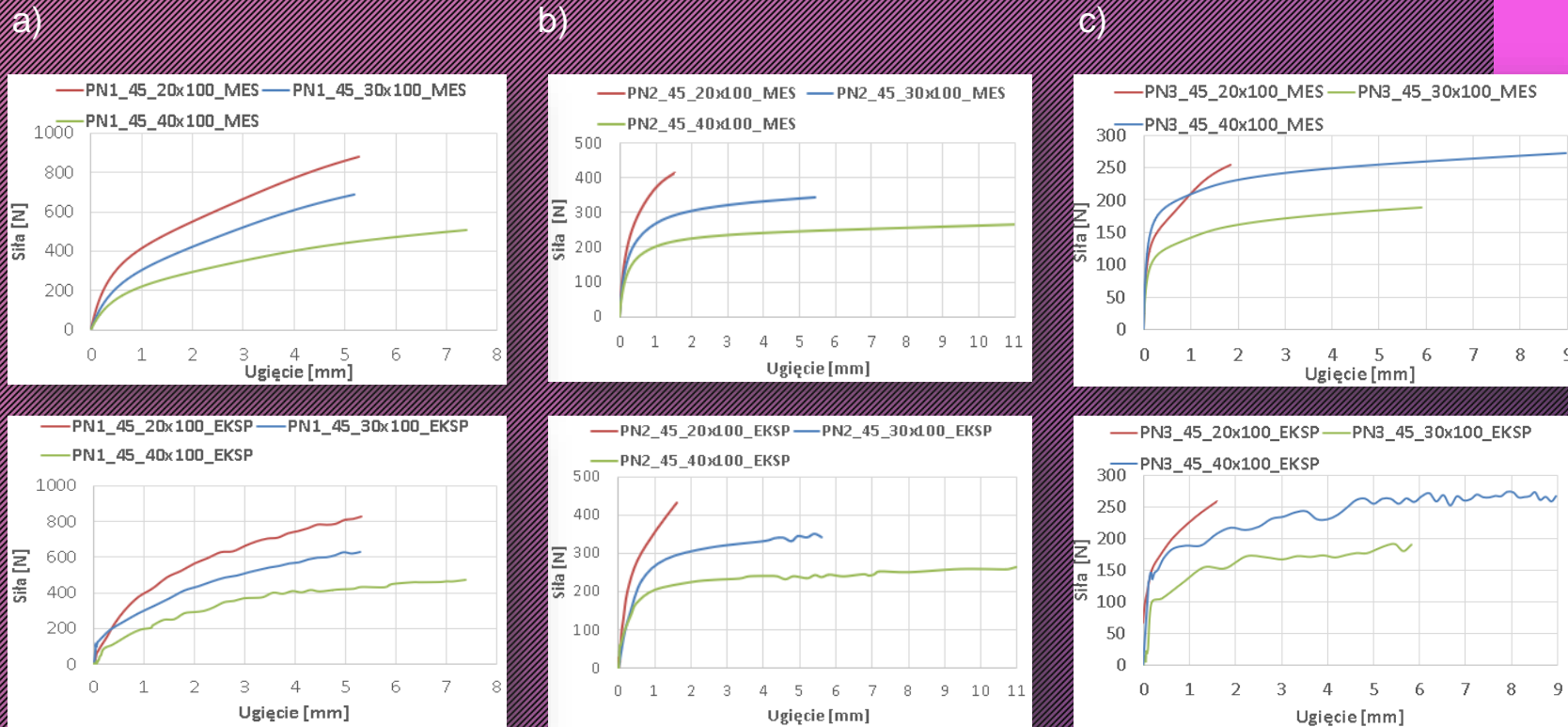
Badania
numeryczne

Badania
doświadczalne

Rys.13. Pokrytyczne reprezentatywne ścieżki równowagi dla trzech badanych kątów ułożenia włókien-wyniki badań numerycznych i doświadczalnych:

a) Płyta PN1_α40x100; b) Płyta PN2_α40x100; c) Płyta PN3_α40x100

WYNIKI – POKRYTYCZNE ŚCIEŻKI RÓWNOWAGI PŁYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM

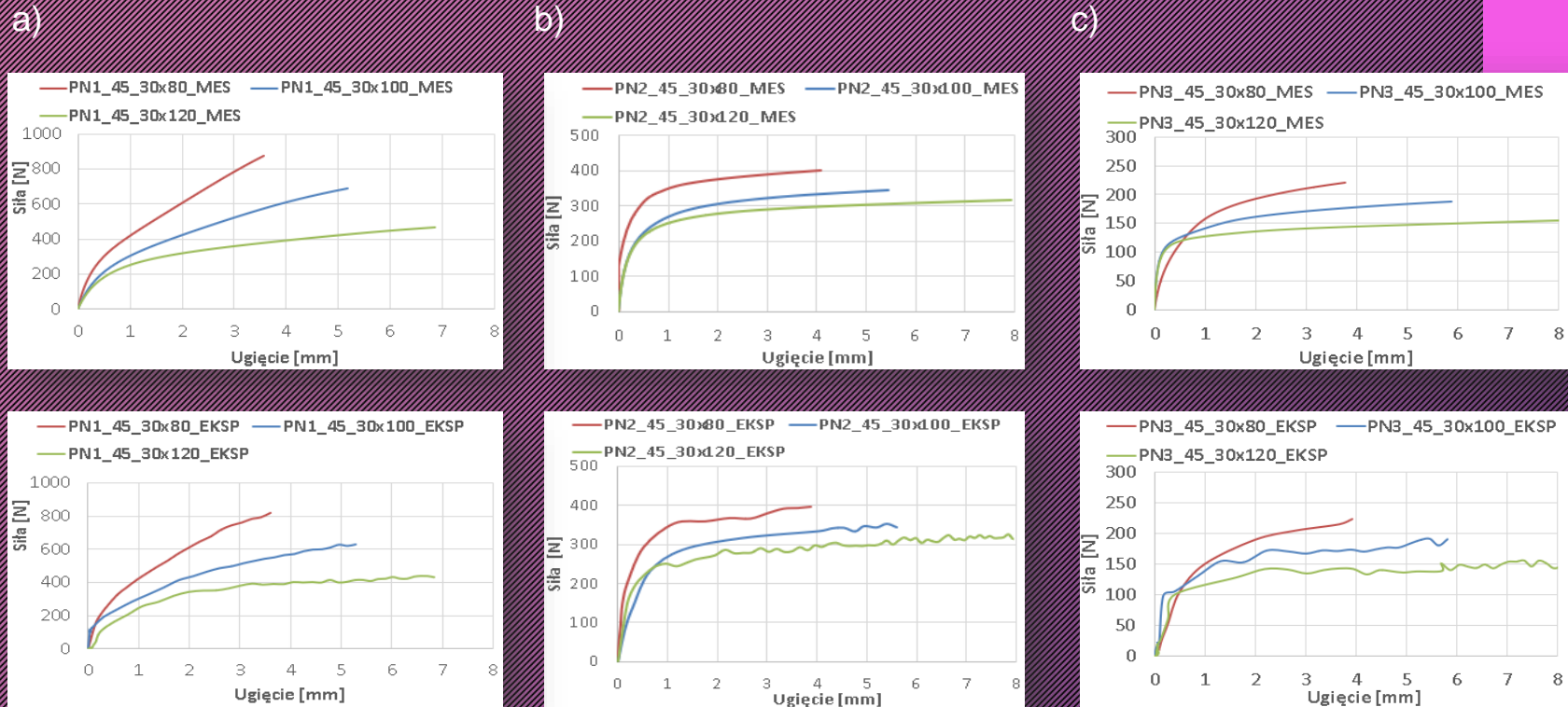


Badania numeryczne

Badania doświadczalne

Rys.14. Pokrytyczne reprezentatywne ścieżki równowagi dla trzech badanych szerokości centralnego wycięcia, przy stałej wysokości centralnego wycięcia wynoszącej 100 mm - wyniki badań numerycznych i doświadczalnych:
a) Płyta PN1_45bxa; b) Płyta PN2_45bxa; c) Płyta PN3_45bxa

WYNIKI – POKRYTYCZNE ŚCIEŻKI RÓWNOWAGI PŁYTY W UKŁADZIE NIESYMETRYCZNYM

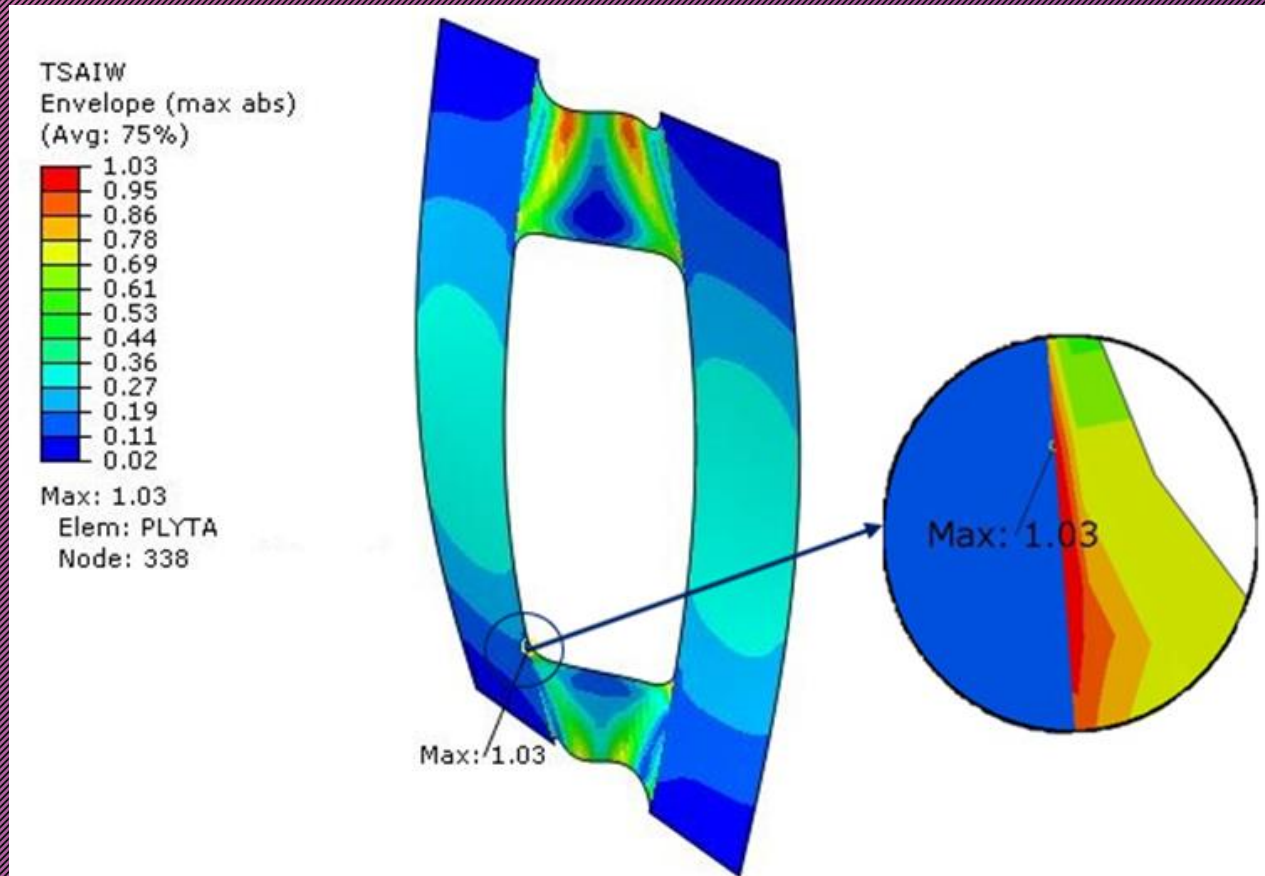


Badania numeryczne

Badania doświadczalne

Rys.15. Pokrytyczne reprezentatywne ścieżki równowagi dla trzech badanych wysokości centralnego wycięcia, przy stałej szerokości centralnego wycięcia wynoszącej 30 mm - wyniki badań numerycznych i doświadczalnych: a) Płyta PN1_45bxa; b) Płyta PN2_45bxa; c) Płyta PN3_45bxa

WYNIKI – KRYTERIUM TSAI-WU PLYTY W UKŁADZIE NIESYMEPTRYCZNYM



Rys.16. Mapa parametru krytycznego Tsai-Wu wraz z uzyskaną postacią utraty stateczności dla płyty PN_45_{30x100}

PODSUMOWANIE



- Przedstawione wyniki prowadzonych badań potwierdzają realizację zasadniczych celów, potwierdzających możliwość kształtowania pokrytycznych charakterystyk ściskanych płyt poprzez zmianę parametrów geometrycznych centralnego wycięcia oraz układu warstw laminatu;
- Zastosowana koncepcja płyt w układzie niesymetrycznym pozwala na uzyskanie najniższej postaci wyboczenia giętno-skrętnej, **w przeciwieństwie do płyt w układzie symetrycznym** gdzie najniższą postacią wyboczenia była zawsze postać giętą;
- Wykazano, że wymuszona poprzez zastosowanie odpowiednich sprzężeń mechanicznych najniższa postać wyboczenia giętno-skrętna zapewnia **stabilny** charakter pracy w zakresie pokrytycznym, co potwierdza możliwość wykorzystania kompozytowego elementu płytowego z centralnym wycięciem jako **elementu sprężystego** z możliwością kreowania charakterystyk sztywnościowych konstrukcji;
- Uzyskanie wysokiej zgodności wyników badań numerycznych z wynikami badań doświadczalnych potwierdza adekwatność zastosowanej metodyki badawczej do analizy zagadnień nieliniowej stateczności ściskanych kompozytowych elementów płytowych.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

ELEMENT PŁYTKOWY JAKO ELEMENT SPRĘŻYSTY

POLITECHNIKA LUBELSKA
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
i Mechatroniki
dr inż. Katarzyna Falkowicz

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



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

