

# **Zasady projektowania konstrukcji kompozytowych**

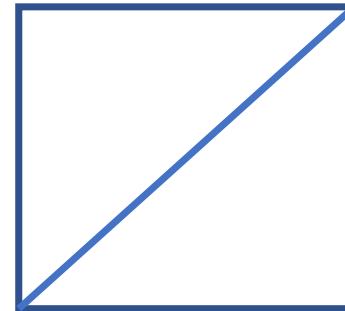
## Projektowanie kompozytu: ogólne zasady doboru warstw

Kratownice:

Mechanizm ✘



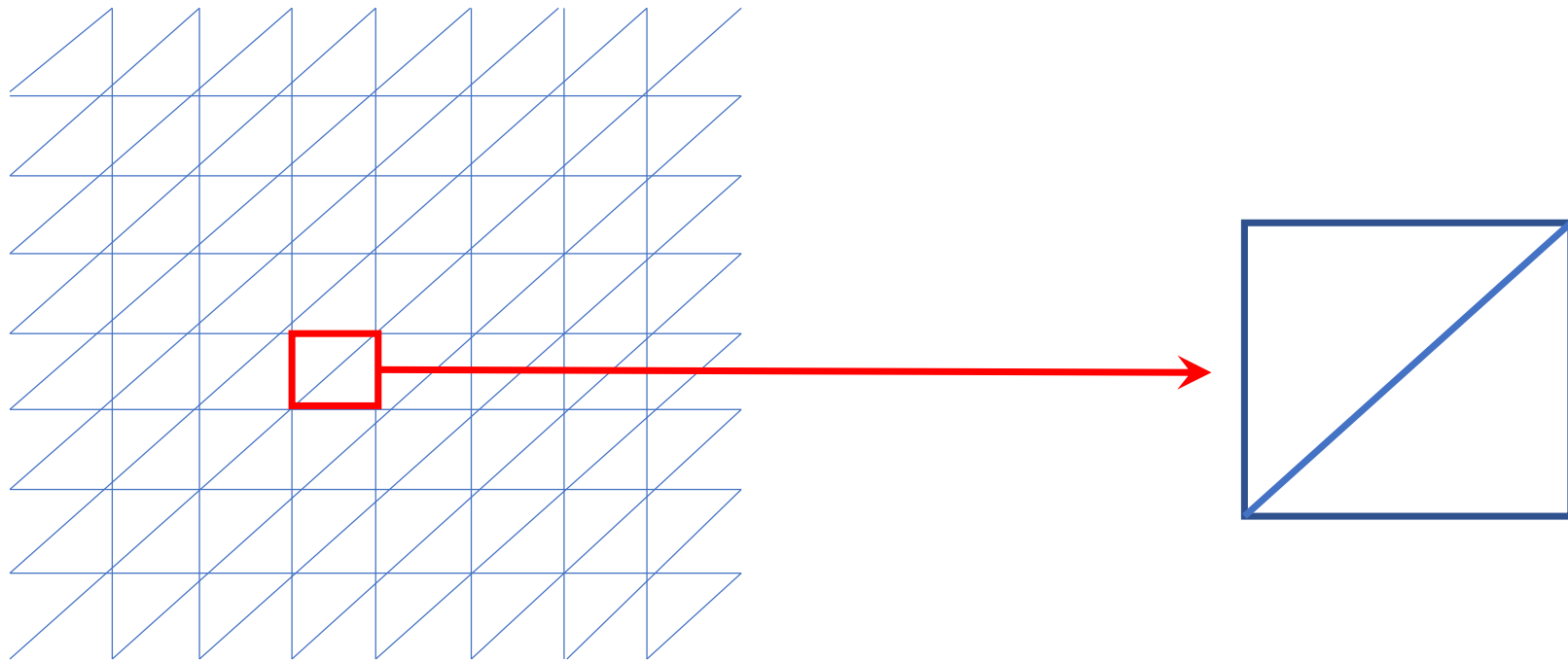
Sztywna konstrukcja ✔



Wniosek: Projektując układ warstw warto zadbać o to, żeby zbrojenie było co najmniej w 3 kierunkach.

## Projektowanie kompozytu: ogólne zasady doboru warstw

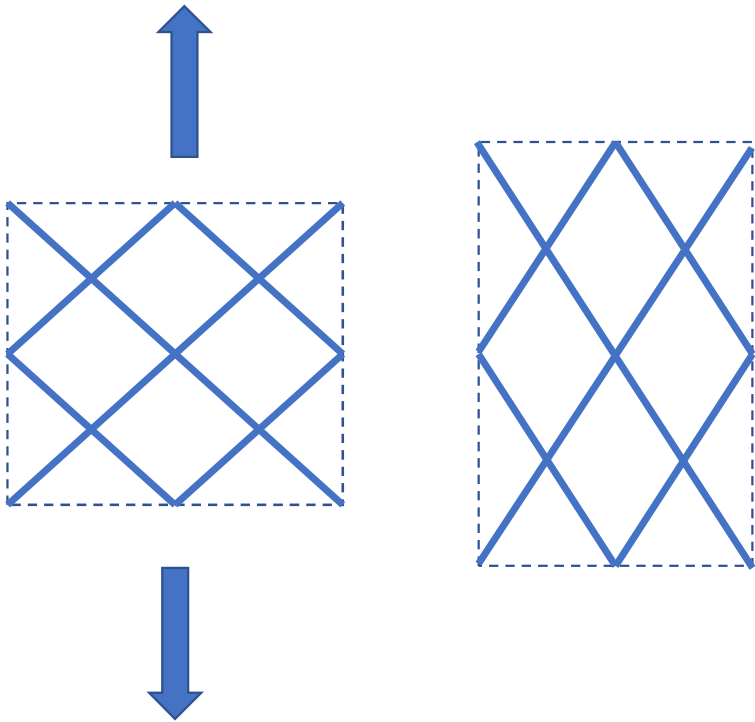
Na przykład układ warstw  $[0^\circ/45^\circ/90^\circ]$



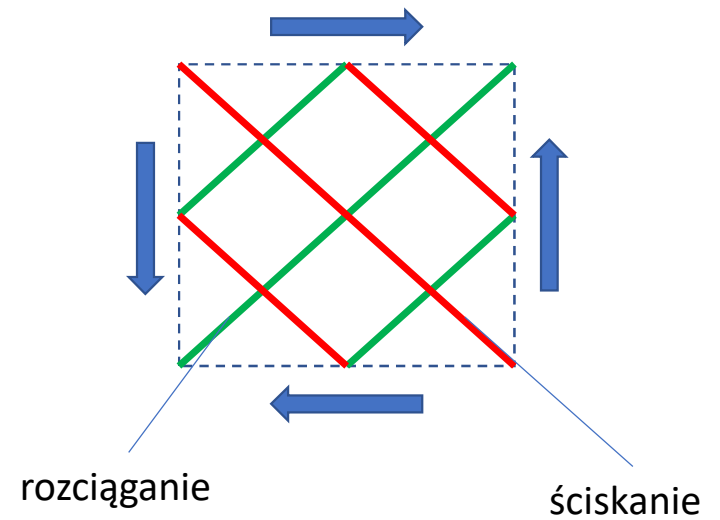
# Projektowanie kompozytu: ogólne zasady doboru warstw

Praca warstw 45°

- Na rozciąganie/ściskanie ❌

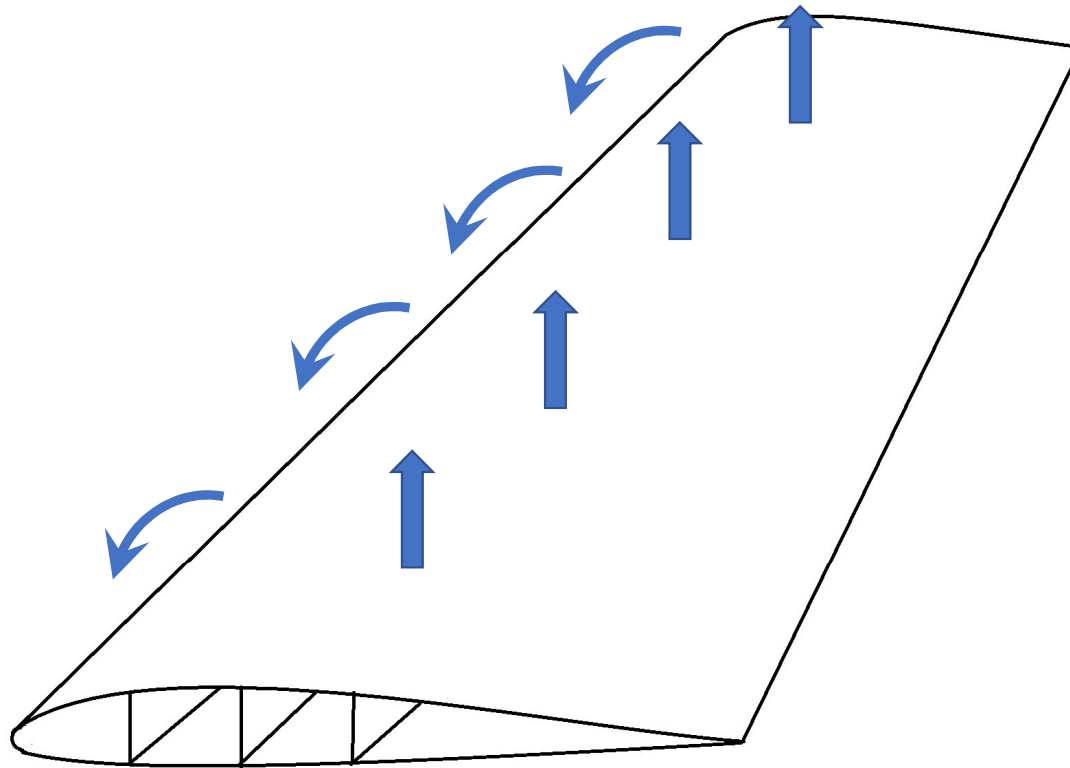


- Na ścinanie ✓



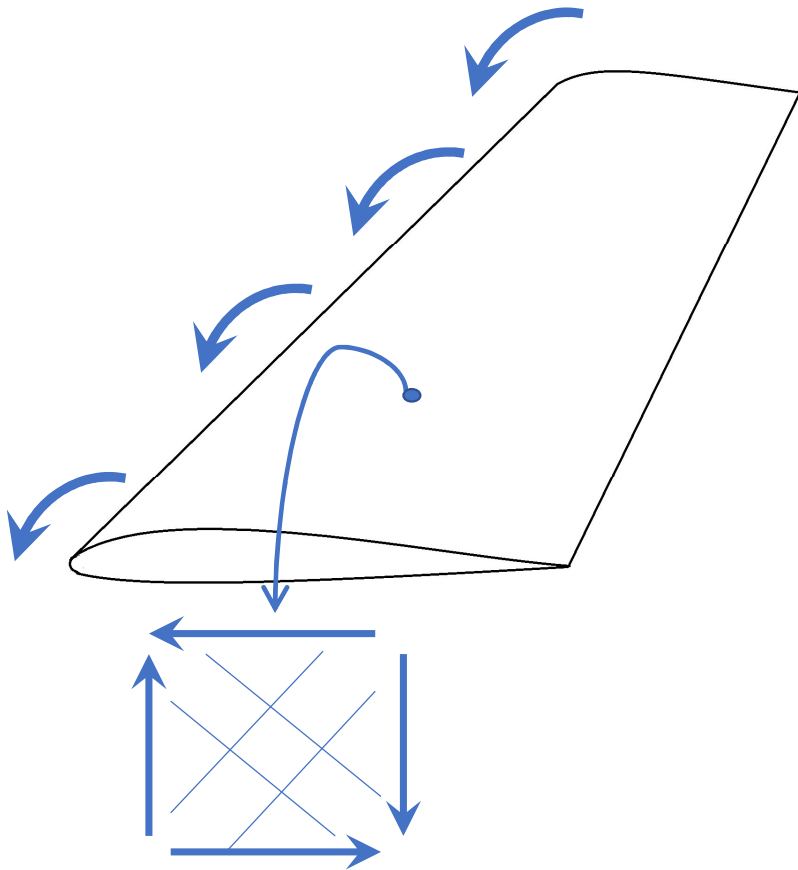
## Skrzydło – konstrukcja skorupowa

- Pokrycie skrzydła przenosi moment skręcający i zginający.
- Ścianki przenoszą siłę tnącą.

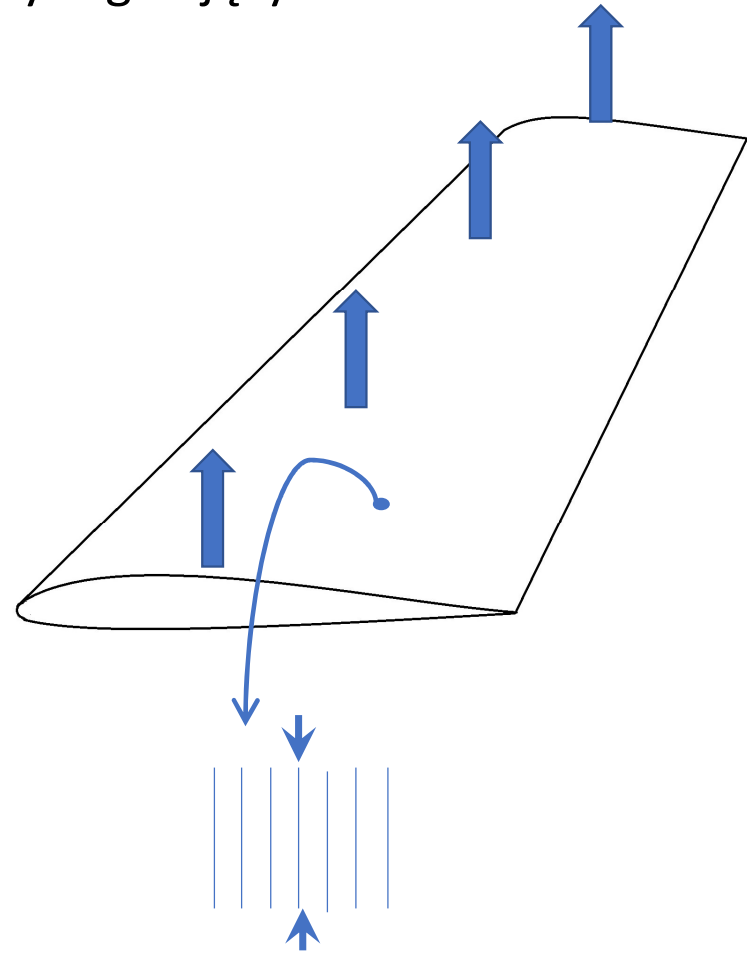


## Skrzydło – konstrukcja skorupowa

- Pokrycie skrzydła przenosi moment skręcający i zginający.



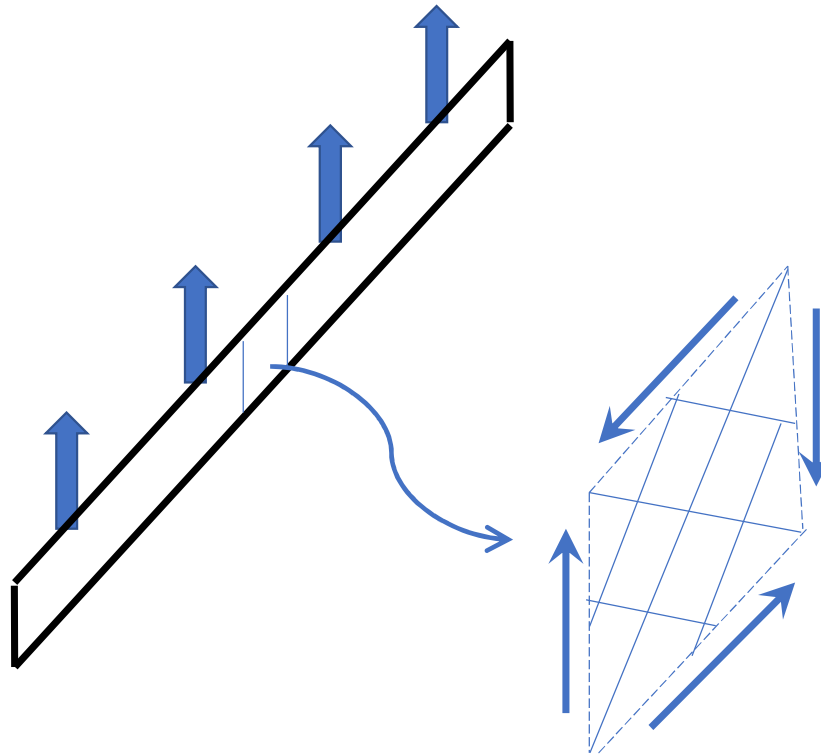
Konieczne są warstwy o zbrojeniu  $\pm 45^\circ$



Konieczne są warstwy o zbrojeniu  $0^\circ$

## Skrzydło – konstrukcja skorupowa

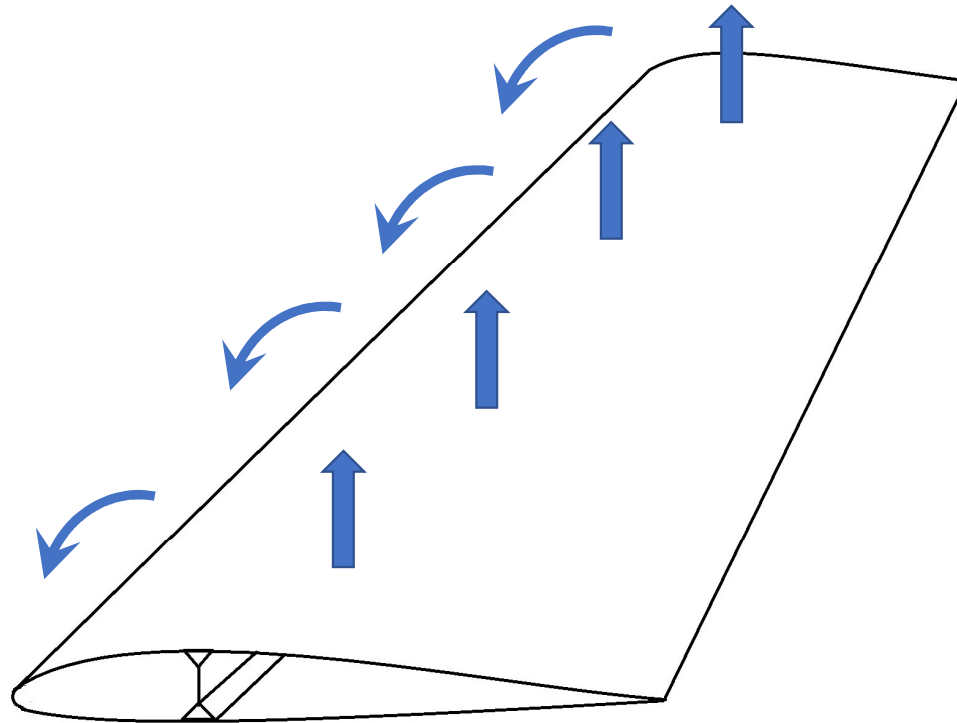
- Ścianki przenoszą siłę tnącą.



Konieczne są warstwy o zbrojeniu  $\pm 45^\circ$

## Skrzydło – konstrukcja półskorupowa

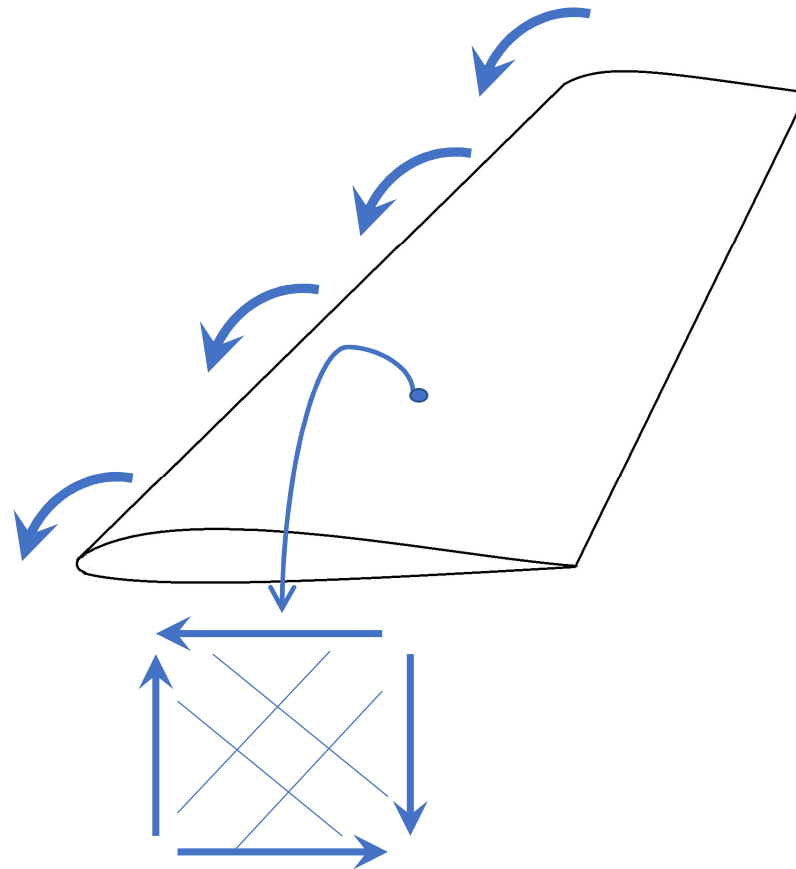
- Pokrycie skrzydła przenosi moment skręcający.
- Pasy dźwigara przenoszą moment gnący.
- Ścianka dźwigara przenosi siłę tnącą.





## Skrzydło – konstrukcja półskorupowa

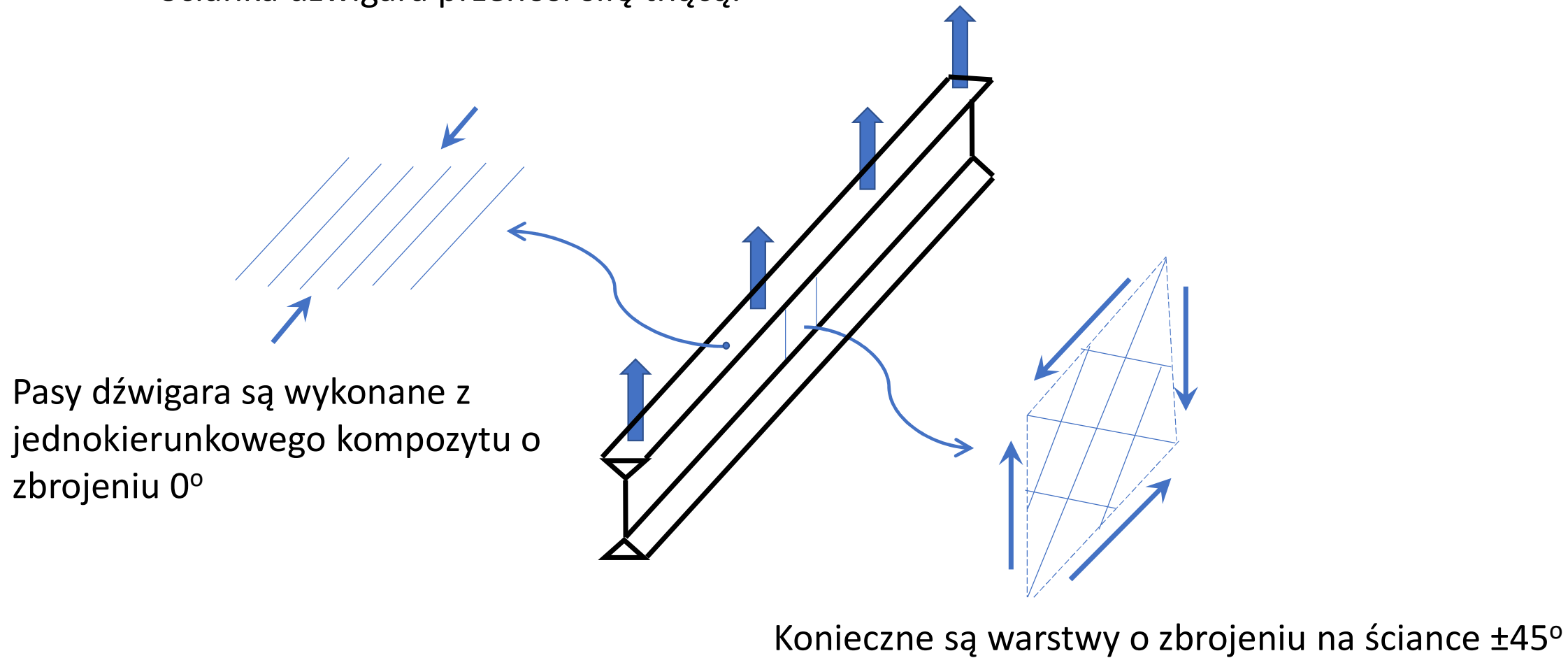
- Pokrycie skrzydła przenosi moment skręcający.



Konieczne są warstwy o zbrojeniu  $\pm 45^\circ$

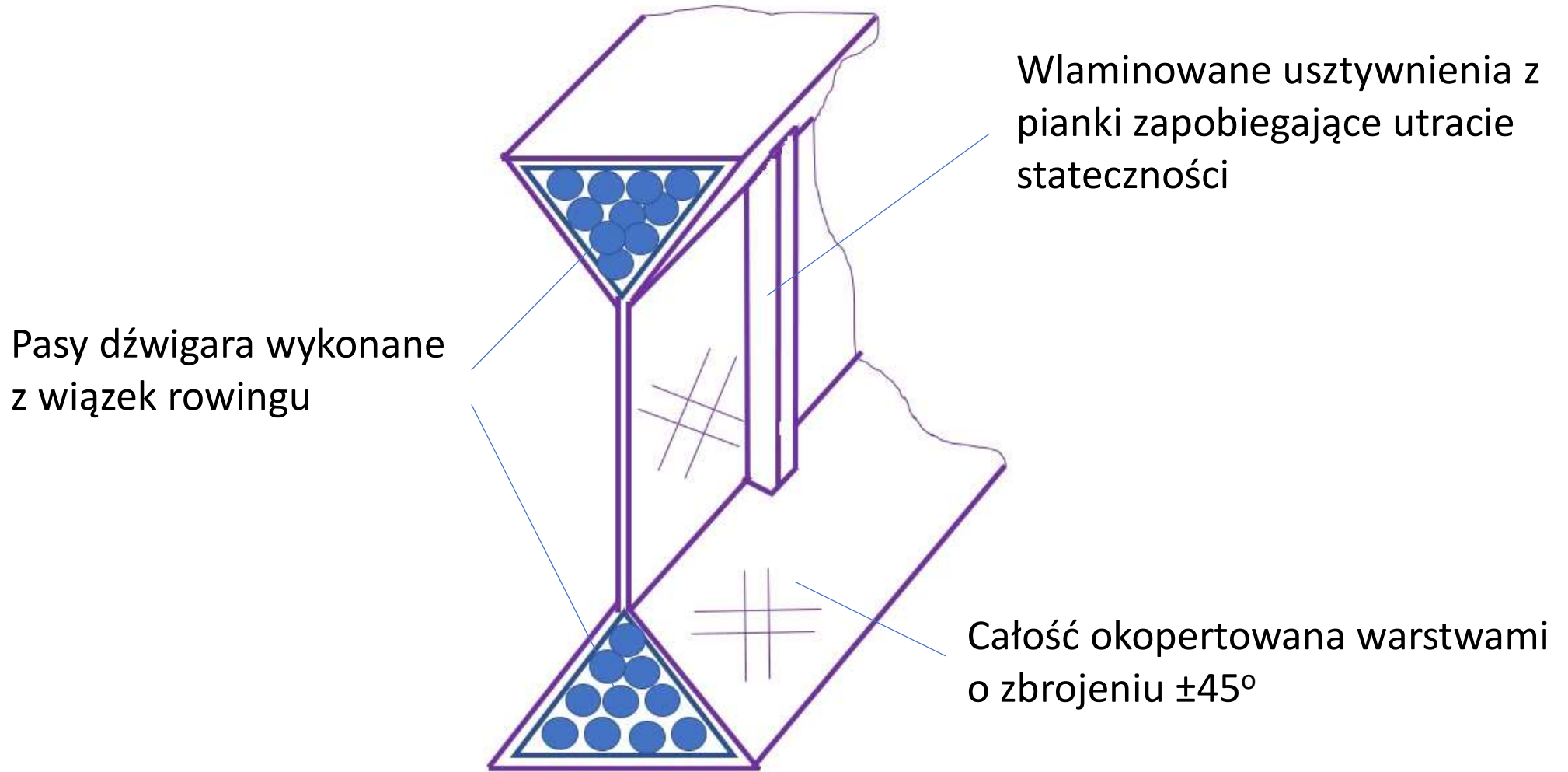
## Skrzydło – konstrukcja półskorupowa

- Pasy dźwigara przenoszą moment gnący.
- Ścianka dźwigara przenosi siłę tnącą.



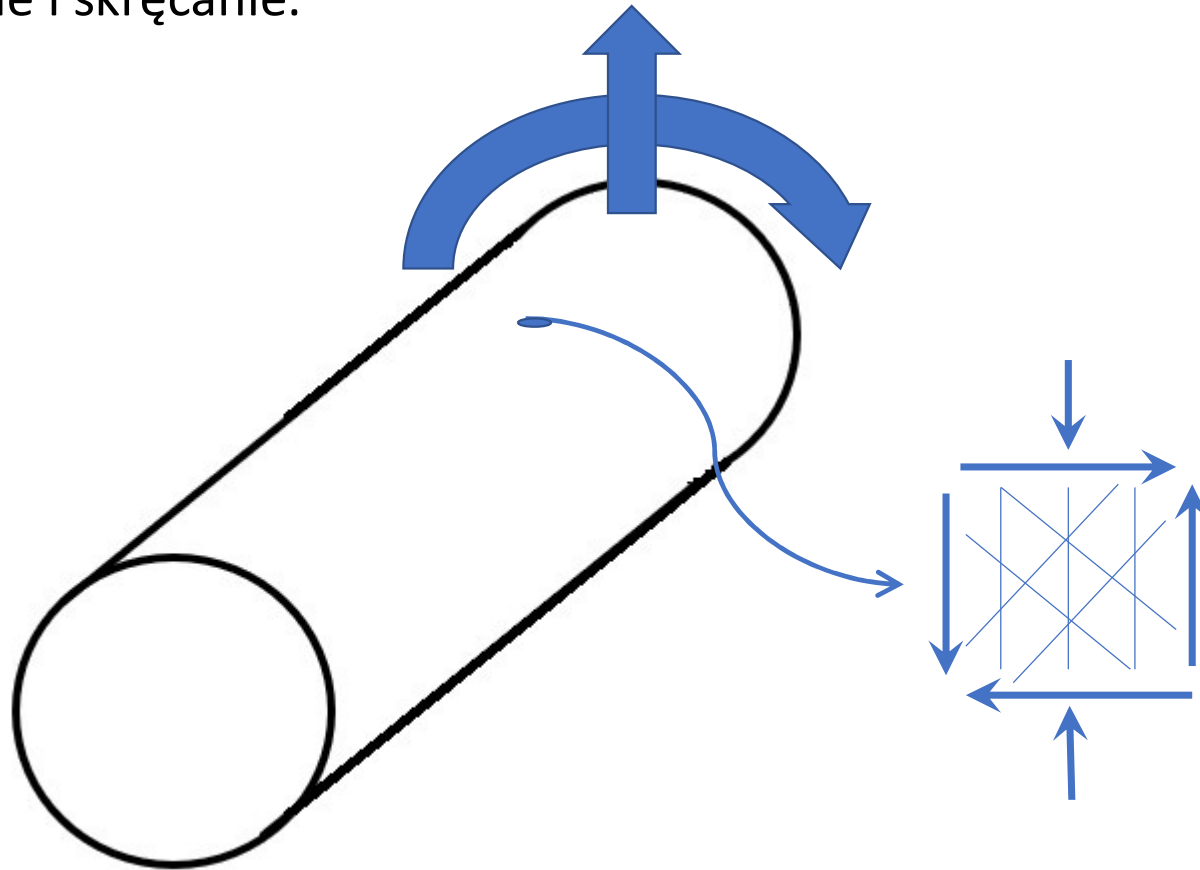
## Skrzydło – konstrukcja półskorupowa

Typowa budowa dźwigara



## Kadłub

Kadłuby wykonane z kompozytów włóknistych stosuje się zazwyczaj konstrukcję skorupową, tzn. pokrycie przenosi zginanie i skręcanie.



Konieczne są warstwy o zbrojeniu  $\pm 45^\circ$  i  $0^\circ$

## Konstrukcja przekładkowa

W przypadku pokrycia konstrukcji skorupowych i półskorupowych często przed zniszczeniem materiału przez zbyt wysokie odkształcenia lub naprężenia występuje utrata stateczności.

Dla zwykłej płyty kompozytowej sztywność zginania jest równa:

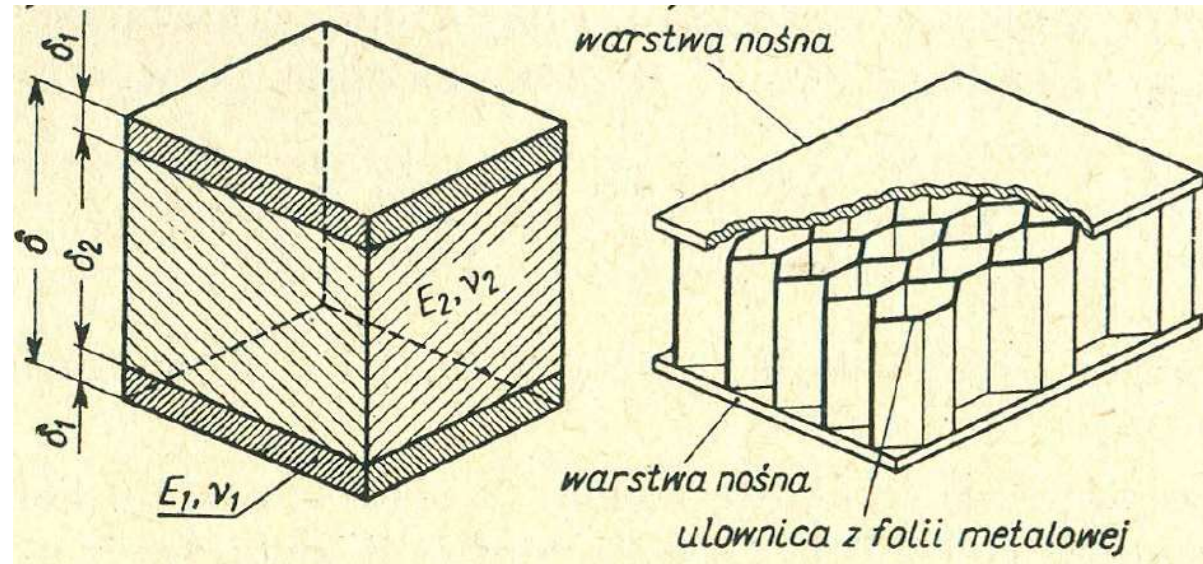
$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)}$$

Dla płyty przekładkowej ta sama sztywność jest równa:

$$D = \frac{E_1\delta_1\delta_{\acute{s}r}^2}{2(1-\nu_1^2)}$$

Gdzie

$$\delta_{\acute{s}r} = \delta_1 + \delta_2$$

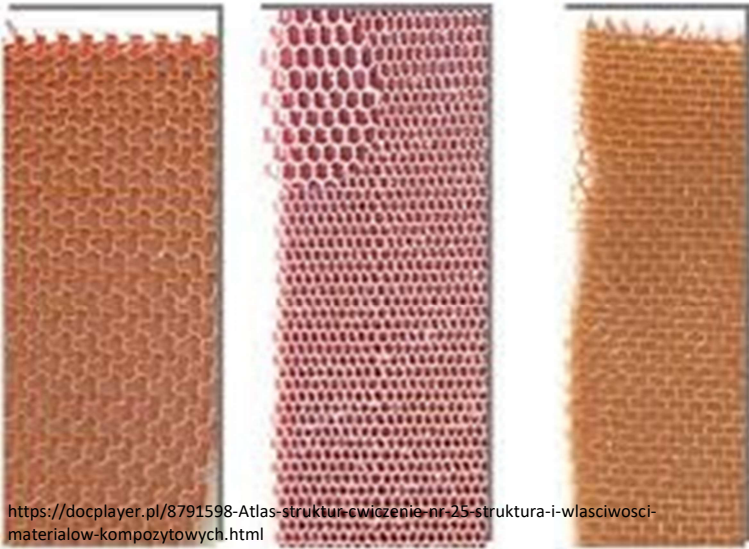


Z. Brzoska, Statyka i stateczność konstrukcji

Zatem jeżeli do kompozytu o grubości 1 mm dodamy wypełniacz o grubości 5 mm, to zwiększymy jego sztywność ponad 90 razy!

## Konstrukcja przekładkowa

Materiały stosowane w strukturach przekładkowych jako wypełniacz:



Nomex nasączony żywicą



Pianki poliuretanowe

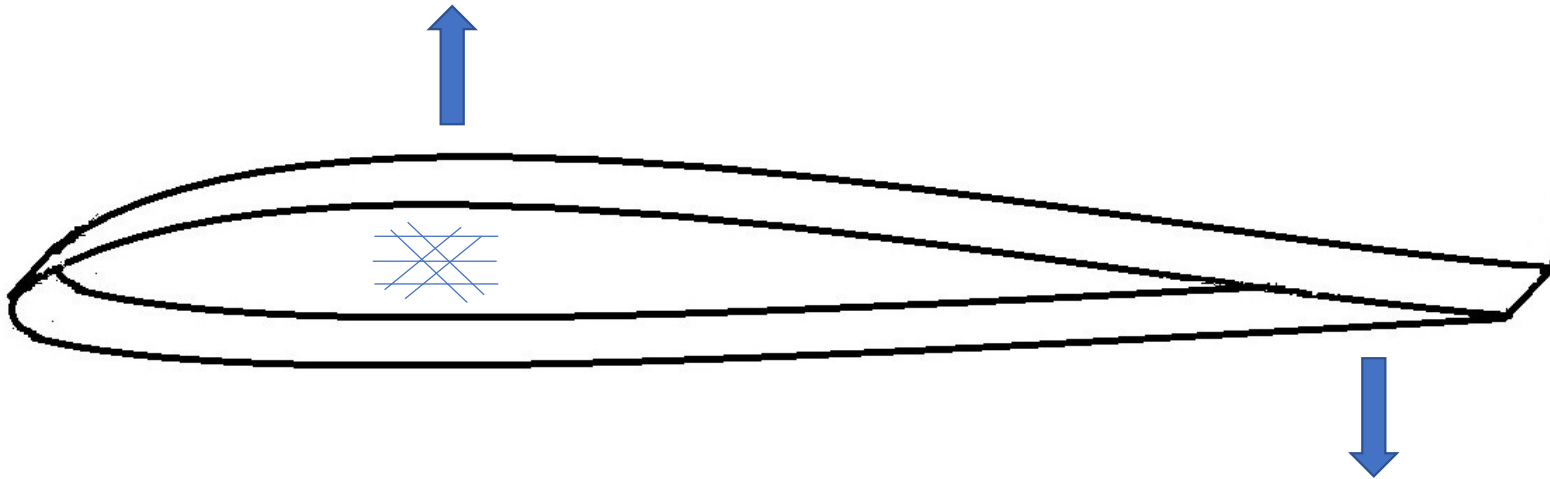


Balsa

Konstrukcja przekładkowa zastępuje podłużnice i wręgi.

## Żebra i wręgi

W konstrukcjach skorupowych i półskorupowych żebra i wręgi służą najczęściej do wzmocnienia przekrojów, w których wprowadzane są obciążenia skupione (żebra siłowe) oraz jako elementy zamykające przekroje końcowe (żebra zamykające). W związku z tym przenoszą one zginanie.



Warstwy o zbrojeniu  $\pm 45^\circ$  przenoszą siłę ścinającą, a warstwy o zbrojeniu  $0^\circ$  przenoszą moment zginający.

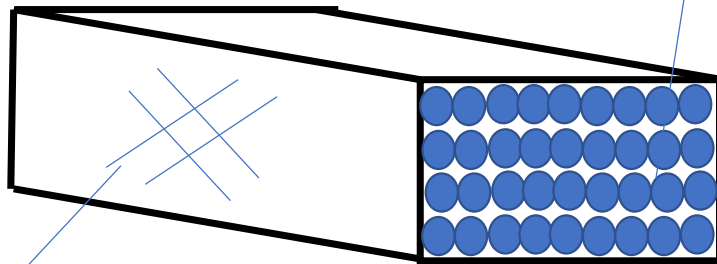


## Goleń



<https://archiwum.sallegro.pl>

Wiązki rowingu  
o zbrojeniu  $0^\circ$



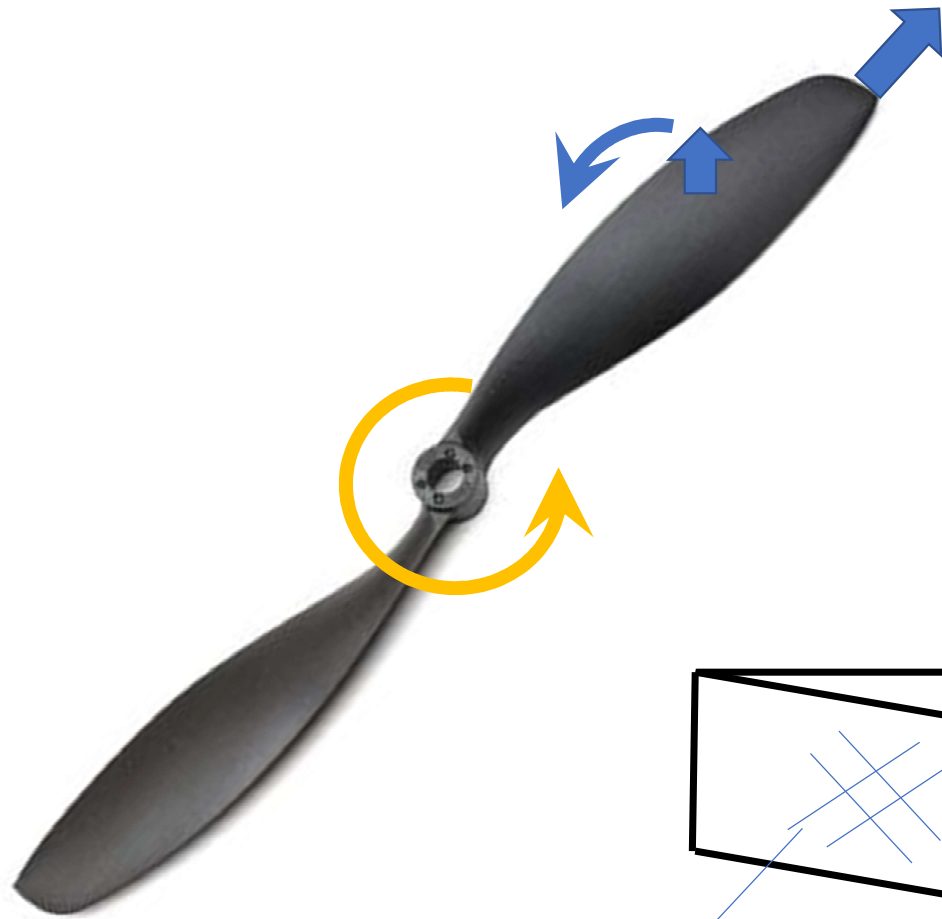
Okopertowanie o  
zbrojeniu  $\pm 45^\circ$

Zbrojenie  $0^\circ$  przenosi naprężenia normalne od zginania.

Okopertowanie  $\pm 45^\circ$  przenosi naprężenia ścinające od siły tnącej i ewentualnego skręcania.

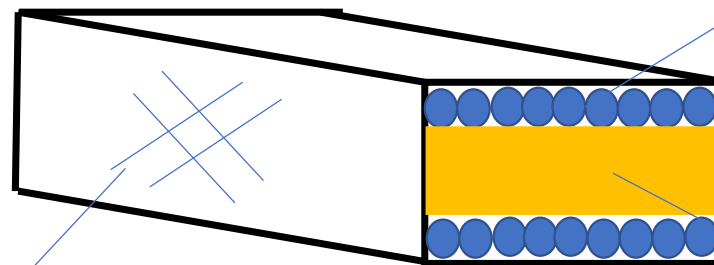


## Śmigło



Zbrojenie  $0^\circ$  przenosi naprężenia normalne od zginania i rozciągania.

Okopertowanie  $\pm 45^\circ$  przenosi naprężenia ścinające od siły tnącej i momentu skręcającego.



Wiązki rowingu o zbrojeniu  $0^\circ$

Opcjonalny rdzeń z pianki zmniejszający masę

Okopertowanie o zbrojeniu  $\pm 45^\circ$

## Wnioski

1. Obciążenia działające na konstrukcję da się rozdzielić na obciążenia powodujące powstanie naprężeń normalnych (moment gnący) i naprężeń ścinających (siła tnąca, moment skręcający).
2. Naprężenia normalne przenoszą warstwy o zbrojeniu  $0^\circ$ , a naprężenia ścinające o zbrojeniu  $45^\circ$ .
3. W związku z tym większość elementów konstrukcji powinna zawierać warstwy o zbrojeniu  $0^\circ$  i  $45^\circ$  w odpowiednich proporcjach.
4. Oczywiście można stosować również inne kierunki zbrojenia, np.  $30^\circ$  lub  $60^\circ$ . Wtedy przenoszą one częściowo naprężenia normalne i częściowo naprężenia styczne. Może to prowadzić do redukcji masy, np. jeżeli częściowo obciążone warstwy  $0^\circ$  i  $45^\circ$  dało by się zastąpić jedną warstwą  $30^\circ$ .