

Mechanika Kompozytowych Materiałów i Konstrukcji

dr inż. Anna Galińska

Pok. 34

anna.galinska@pw.edu.pl

Strona przedmiotu:

https://www.meil.pw.edu.pl/zwmik/ZWMiK/Dla-studentow2/MKMK_Materialy/Mechanika-Kompozytowych-Materialow-i-Konstrukcji

Wykład: czwartek 17.15 – 20.00

Konsultacje:

Zakres tematyczny

1. Rodzaje, zastosowania i właściwości kompozytów
2. Metody wytwarzania kompozytów włóknistych
3. Klasyczna Teoria Laminatów
4. Eksperymentalne wyznaczanie właściwości kompozytów włóknistych
5. Homogenizacja
6. Hipotezy wytrzymałościowe
7. Mechanizmy zniszczenia i sposoby napraw kompozytów włóknistych
8. Sposoby łączenia kompozytów włóknistych
9. Zastosowanie kompozytów włóknistych w praktyce
10. Podejścia do modelowania kompozytów włóknistych w MES

Plan pracy w semestrze

- 8-9 wykładów
- Kolokwium i poprawa
- 4-5 laboratoriów komputerowych w wykorzystaniem systemu Ansys APDL

Obecność na wykładach nie jest obowiązkowa do zaliczenia, ale będzie kontrolowana. Osoby, które będą miały więcej niż 3 nieusprawiedliwione nieobecności nie zostaną dopuszczone do udziału w laboratorium.

Sposób zaliczenia przedmiotu

Kollokwium składa się z części teoretycznej (test) i zadaniowej. Na części zadaniowej można korzystać z notatek. Ocenę z przedmiotu stanowi zaokrąglona średnia ocen z obu części.

Literatura

1. R. M. Jones, Mechanics of composite materials, Taylor & Francis, 1999
2. A. Boczkowska, G. Krzesiński, Kompozyty i techniki ich wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2016
3. J. German, Podstawy mechaniki kompozytów włóknistych, Politechnika Krakowska, Kraków, 2001
4. Artykuły naukowe w czasopismach: Composites part A: Applied Science and Manufacturing, Composites part B: Engineering, Composites Science and Technology, Journal of Composite Materials

Kompozyty – rodzaje, zastosowania, właściwości

Co to jest kompozyt?

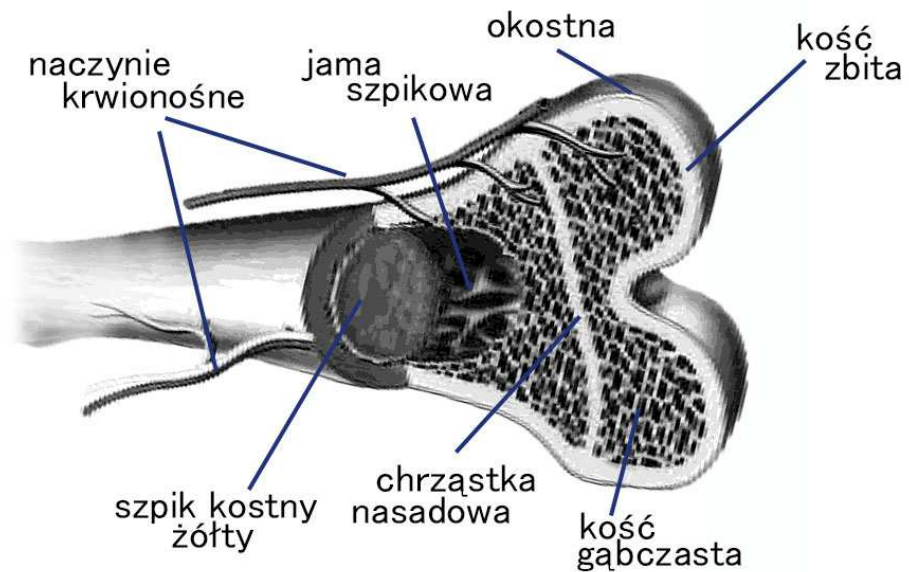
Materiał kompozytowy (łac. compositus = złożony) oznacza materiał, który jest zbudowany z co najmniej dwóch różnych składników, przy czym ich składniki te da się rozróżnić na poziomie makroskopowym.

Dlaczego stosujemy kompozyty?

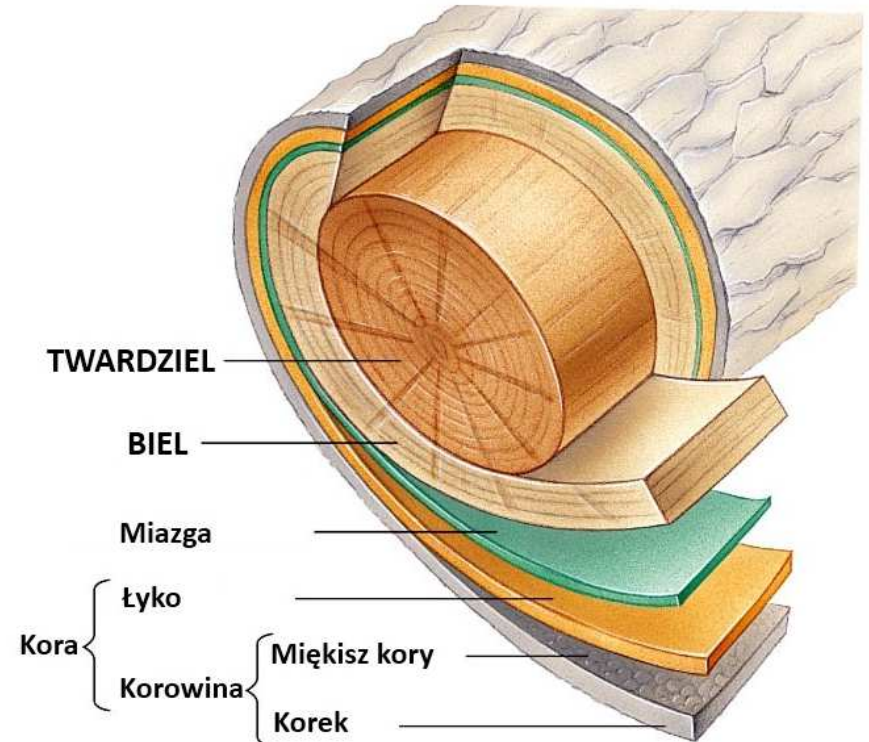
- Możliwość zaprojektowania materiału o pożądanych właściwościach mechanicznych i wytrzymałościowych
- Możliwość optymalnego wykorzystania właściwości poszczególnych składników poprzez odpowiednie dobranie ich ilości i ułożenia – obniżenie masy

Kompozyty naturalne

Kość



Drewno



Kompozyty historyczne

- Gliniane cegły zbrojone słomą
- Sklejka
- „Płócienne” zbroje
- Łuk refleksyjny
- Tarcze





<http://www.sebastiankawa.pl/szybownictwo/dlaczego-szybowiec-lata/>



<https://www.forbes.pl/wiadomosci/dreamlinery-dla-lot-u-z-usterkami/h2c577b>



http://fizyka.net.pl/astrofizyka/astrofizyka_w2.html



<http://pl.uzbrojenie.wikia.com/wiki/PT-91>



https://www.bmwusa.com/vehicles/bmw/bmw_i8.html



<http://oponykrakow.net.pl/>



<https://cng-Ing.pl/bank-wiedzy-cng-Ing-pl/Zbiorniki-kompozytowe-CNG-firmy-Stako,artykul,113.html>



<http://licon.pl/materiały-drewnopochodne/sklejka/>



<https://www.pw.edu.pl/Aktualnosci/Pierwszy-w-Polsce-most-kompozytowy-powstal-takze-dzieki-naszym-naukowcom>



<https://www.castorama.pl/inspiracje-i-porady/budowa/cementy-i-zaprawy-budowlane/zbrojenie/zbrojenie-do-betonu.html>



<https://czarteruj.com/blog/top-5-zaglowe-jachty-morskie/>



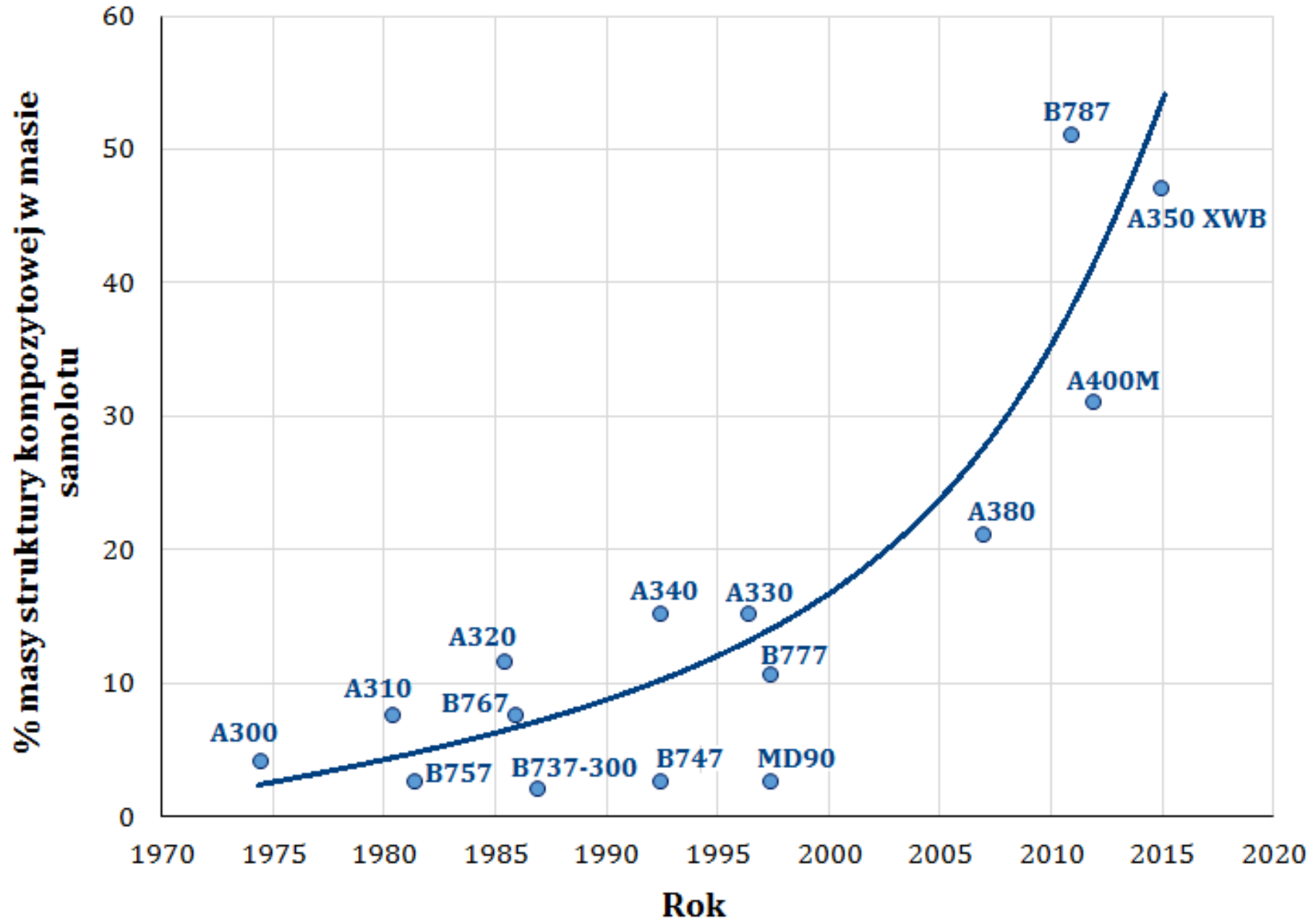
<http://www.banzaj.pl/Weglowe-narzyn-y-od-Audi-22863.html>



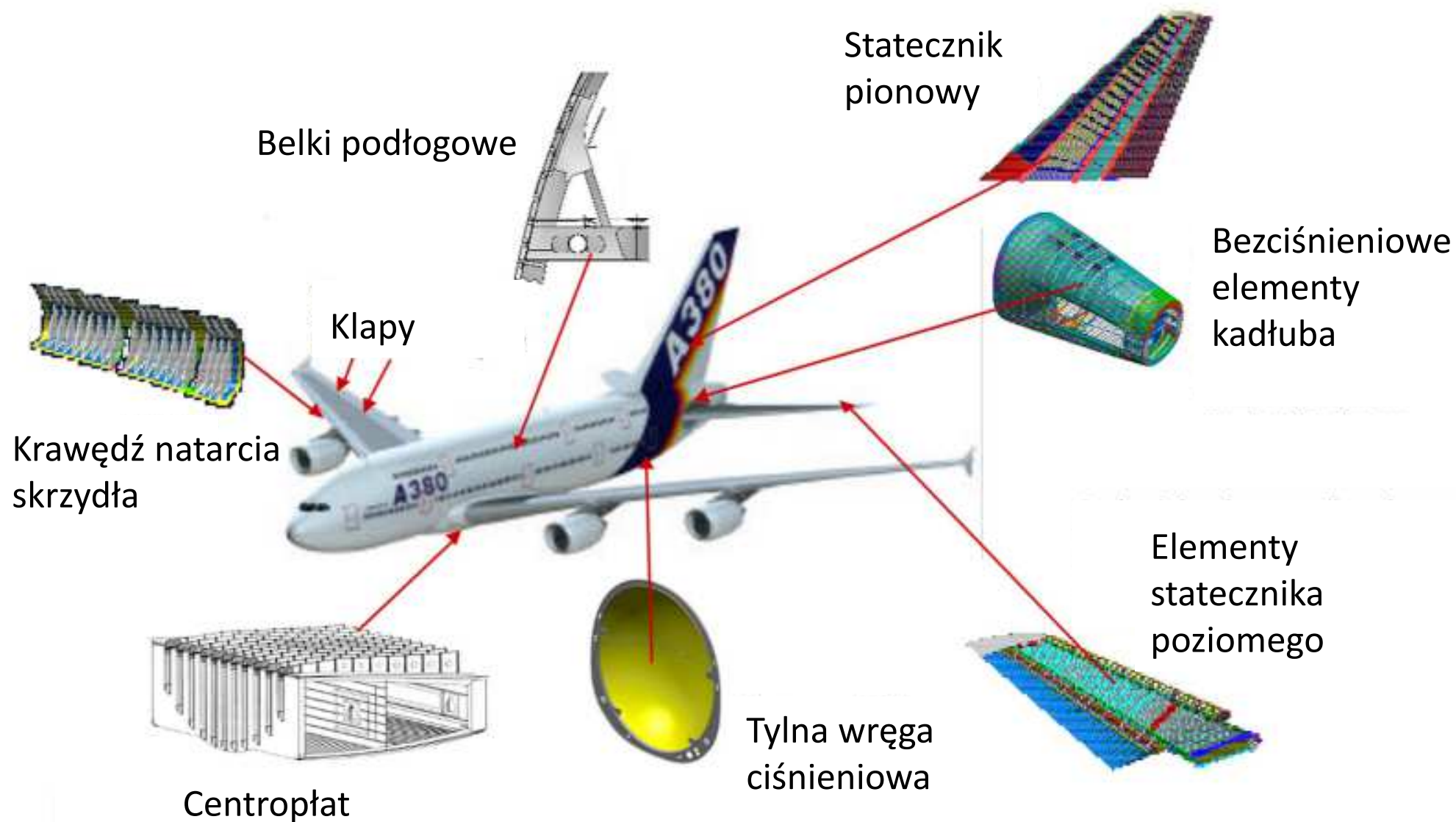
<https://www.wikidesign.us/cheap-carbon-fiber-bikes/>

Kompozyty współcześnie

Udział kompozytów w samolotach transportowych



Kompozyty w samolocie A380



Budowa kompozytu

Większość kompozytu składa się z fazy ciągłej zwanej spoiwem (ale nie: matrycą, osnową, żywicą) i fazy rozproszonej zwanej zbrojeniem (wzmocnieniem). Wypadkowe właściwości kompozytu są zależne od właściwości faz składowych, ich ilości, rozmieszczenia zbrojenia w spoiwie.

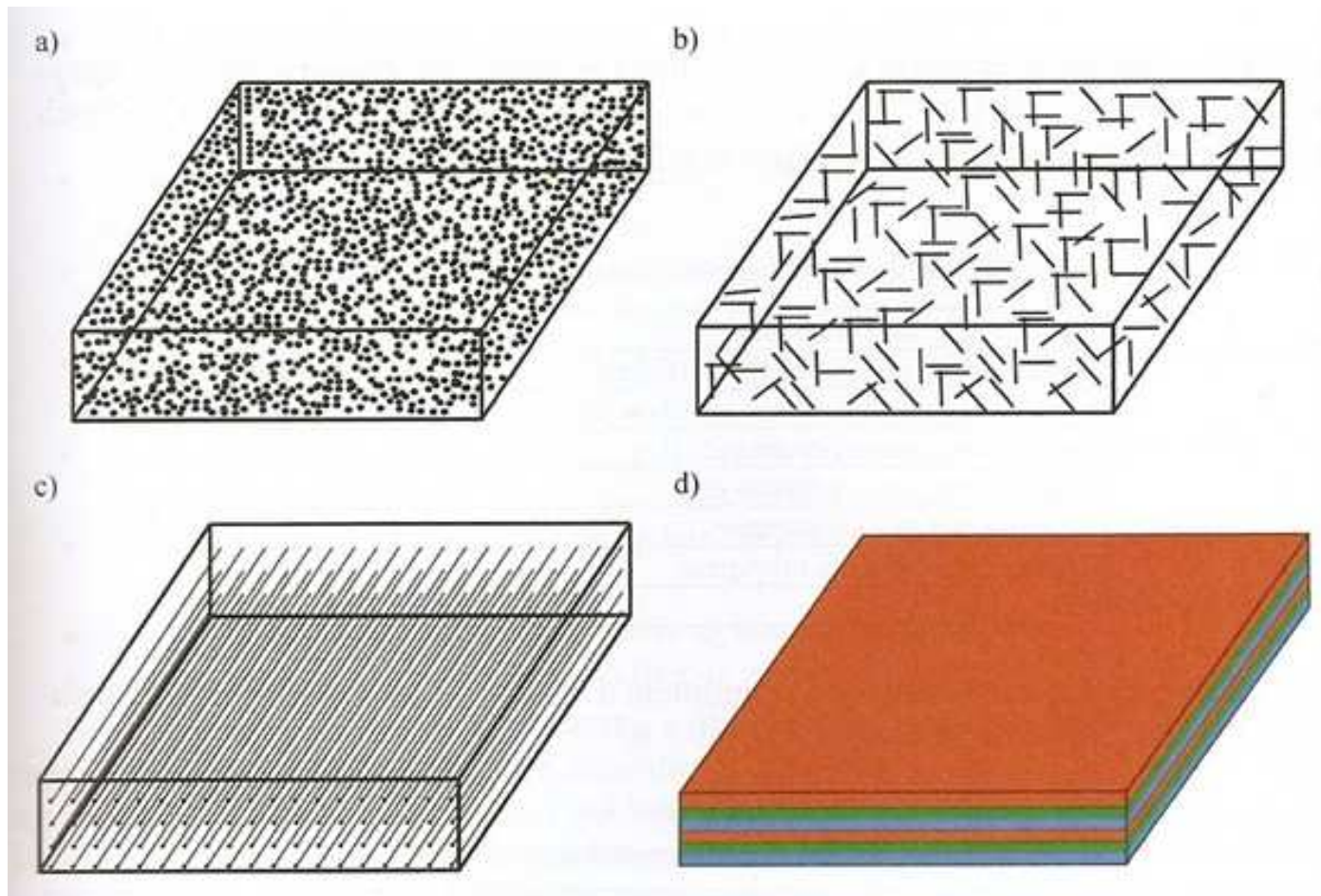
Zbrojenie zazwyczaj zapewnia wytrzymałość i sztywność kompozytu.

Spoiwo zapewnia spójność i stabilność kompozytu, chroni zbrojenie przed czynnikami zewnętrznymi oraz w niewielkim stopniu uczestniczy w przenoszeniu obciążeń.

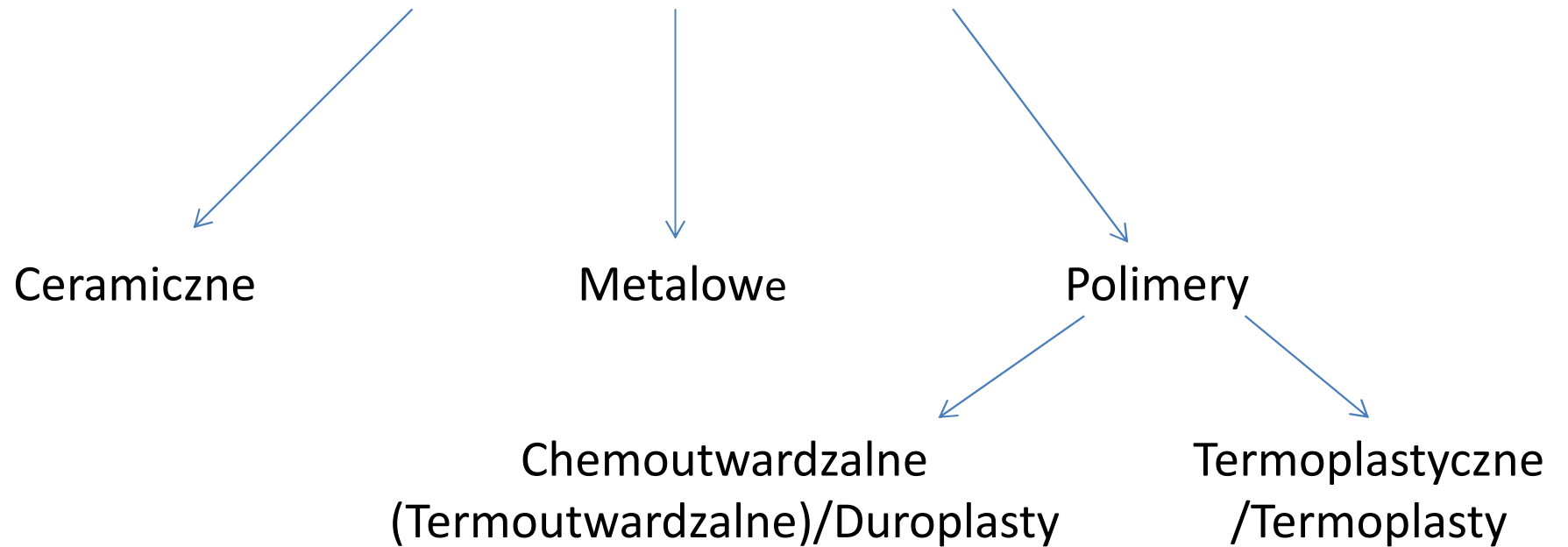
Klasyfikacja kompozytów ze względu na budowę

W zależności od rodzaju fazy rozproszonej materiały kompozytowe można podzielić na kompozyty:

- ◆ zbrojone cząstkami (a)
- ◆ zbrojone włóknami ciętymi i ciągłymi (b i c)
- ◆ kompozyty warstwowe – laminaty (d)

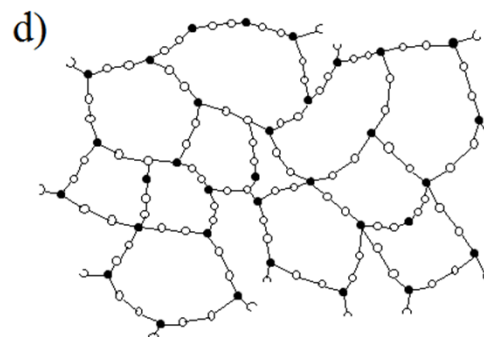
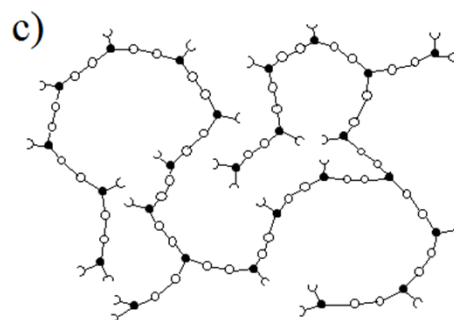
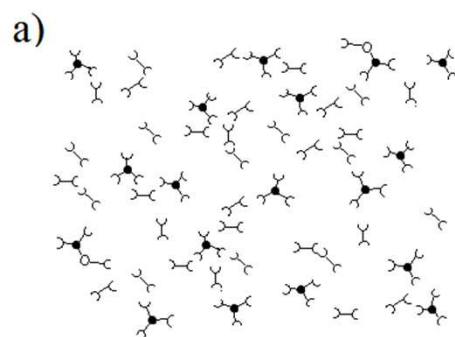


Spoiwo kompozytu



Duroplasty (polimery termoutwardzalne lub chemoutwardzalne)

Polimer	Moduł E	Wytrzymałość	Odporność termiczna
Epoksydowy	4,0 [GPa]	70 [MPa]	do 180°C
Poliestrowy	3,4 [GPa]	70 [MPa]	-



Termoplasty (polimery termoplastyczne)

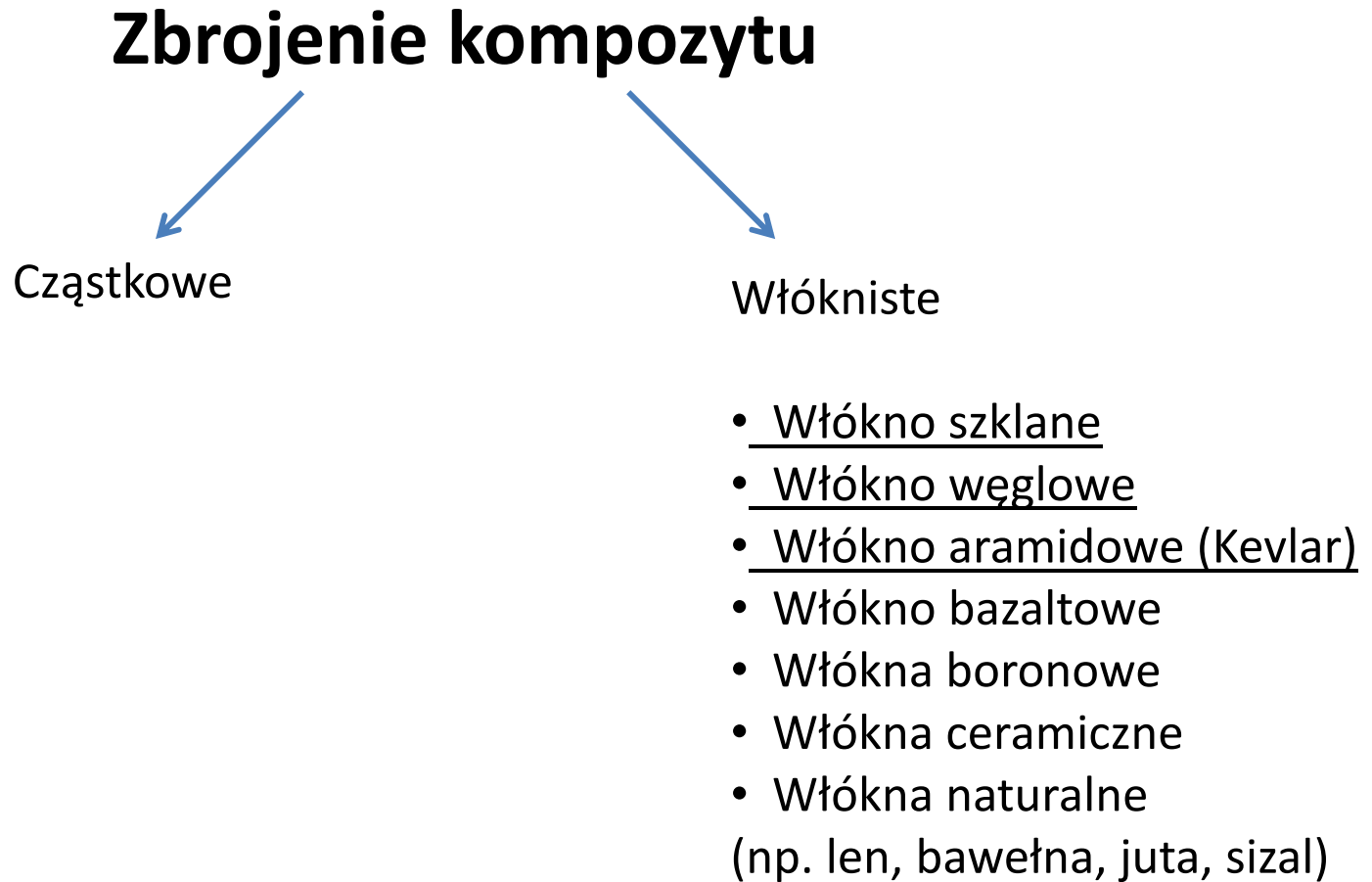
Polimer	Moduł E	Wytrzymałość	Odporność termiczna
PEEK (polieteroeteroketon)	4,0 GPa	70 MPa	240°C
PPS (polisiarczek fenylenu)	3,3 GPa	84 MPa	260°C
PEI (polieteroimid)	3,0 GPa	105 MPa	220°C



<https://termoplastik.pl/peek-polieteroeteroketon-tworzywa-wysokospawne/>

Polieteroeteroketon (PEEK)

Zbrojenie kompozytu



```
graph TD; A[Zbrojenie kompozytu] --> B[Cząstkowe]; A --> C[Włókniste]; C --> D["• Włókno szklane  
• Włókno węglowe  
• Włókno aramidowe (Kevlar)  
• Włókno bazaltowe  
• Włókna boronowe  
• Włókna ceramiczne  
• Włókna naturalne  
(np. len, bawełna, juta, sizal)"]
```

Cząstkowe

Włókniste

- Włókno szklane
- Włókno węglowe
- Włókno aramidowe (Kevlar)
- Włókno bazaltowe
- Włókna boronowe
- Włókna ceramiczne
- Włókna naturalne
(np. len, bawełna, juta, sizal)

Właściwości włókien

Włókno	Moduł E	Wytrzymałość	Wytrzymałość właściwa
Szklane E	70-76 GPa	3600 MPa	68-136 km
Szklane S	85-96 GPa	4500 MPa	103-197 km
Węglowe	40-460 GPa	900-4500 MPa	123-163 km
Aramidowe	63- 130 GPa	2550-3600 MPa	161-257 km



Włókno szklane



Włókno węglowe



Włókno aramidowe

Zbrojenie włóknem ciętym



Luźne włókno cięte



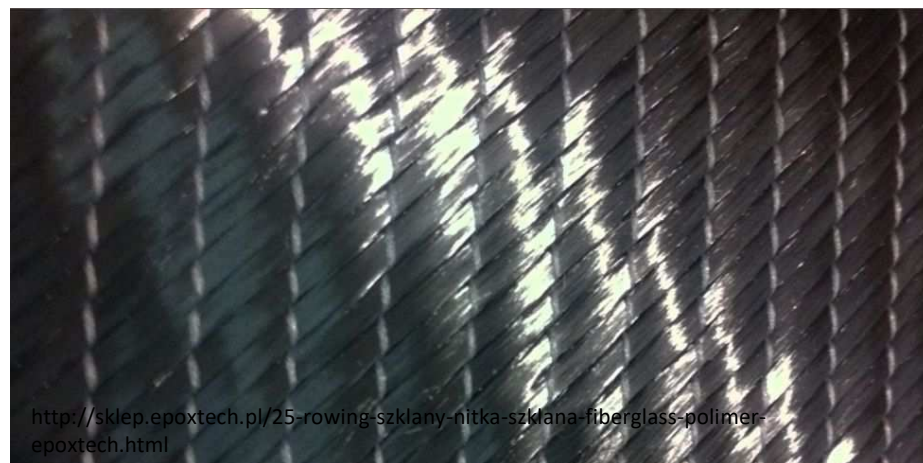
Mata

Zbrojenie włóknem ciągłym jednokierunkowym



<http://sklep.epotech.pl/25-rowing-szklany-nitka-szklana-fiberglass-polimer-epotech.html>

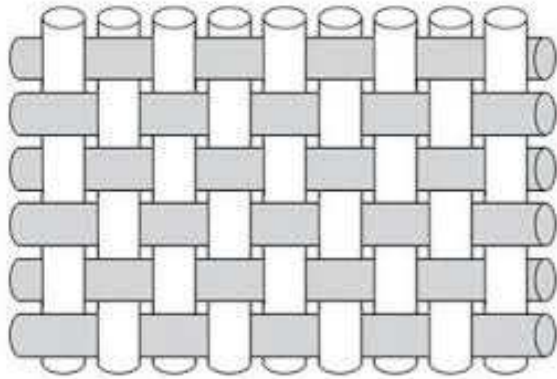
Roving



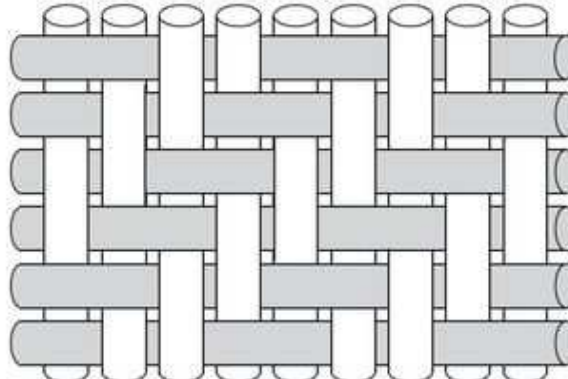
Tkaniny jednokierunkowe

Zbrojenie tkaninami dwukierunkowymi

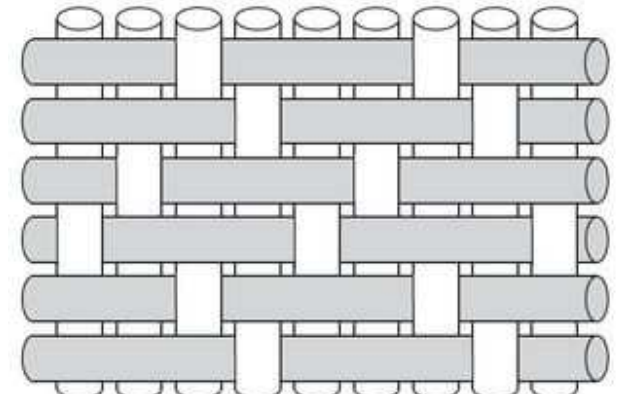
<http://m.polish.fiberglassfabric.com/quality-7929794d-high-strength-heat-resistant-fiberglass-fabric-fibreglass-cloth-plain-weave>



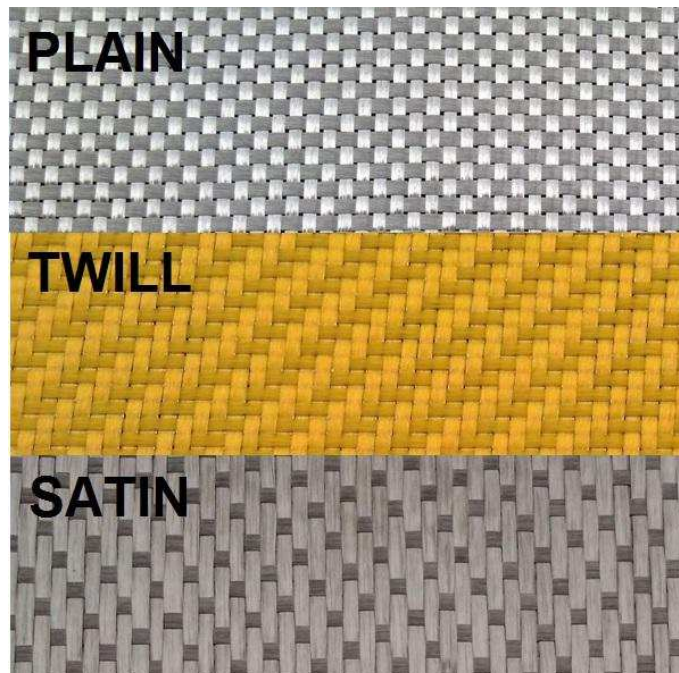
Tkanina płócienna (plain)



Tkanina skośna (twill)



Tkanina satynowa (satin)

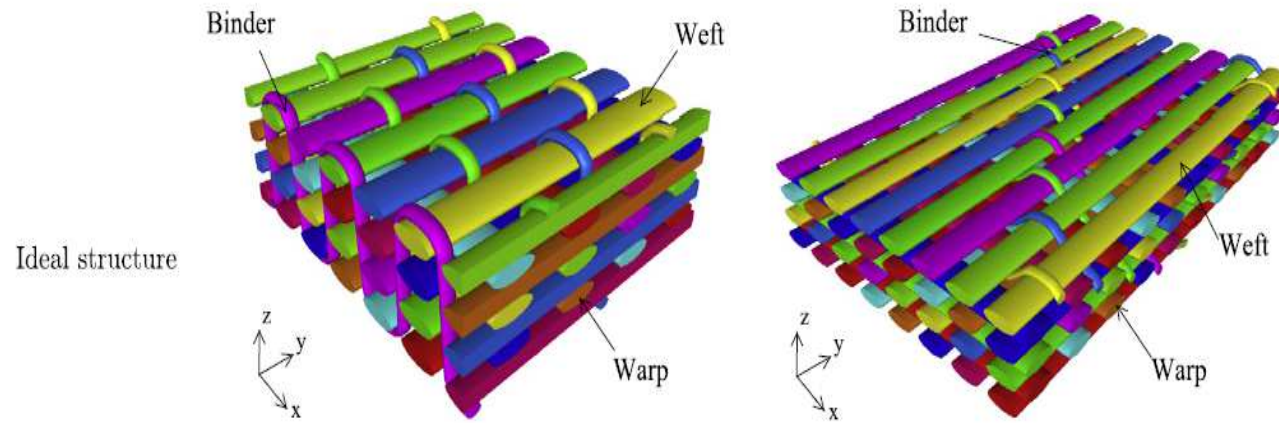


Tkaniny hybrydowe

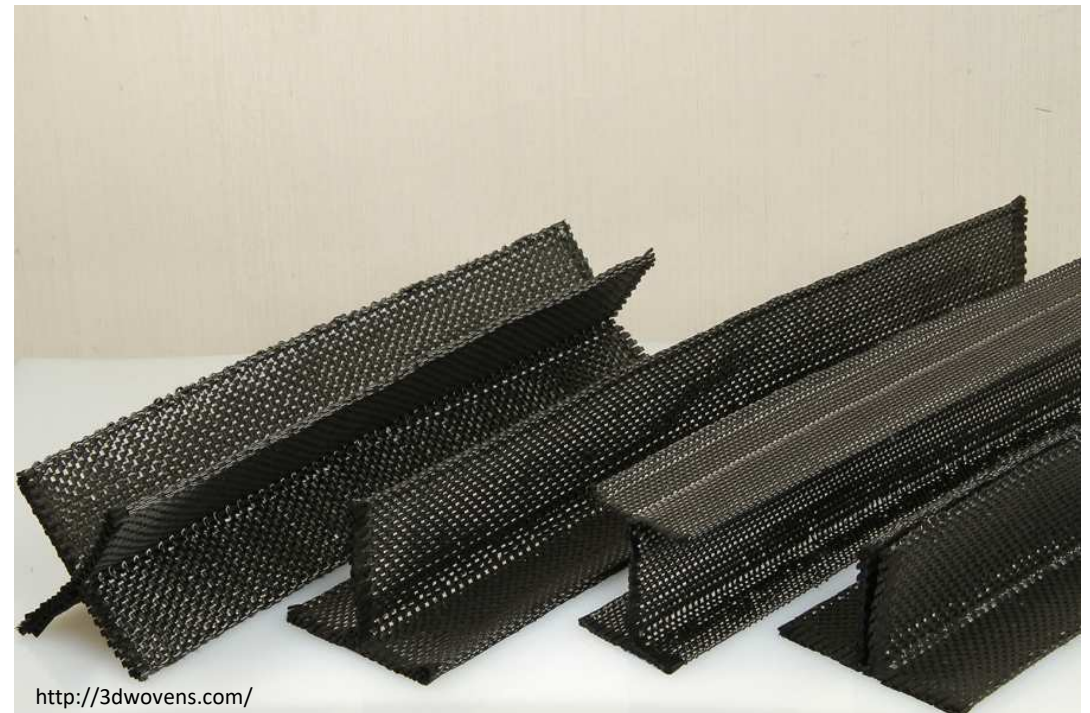


Tkanina hybrydowa węglowo-aramidowa

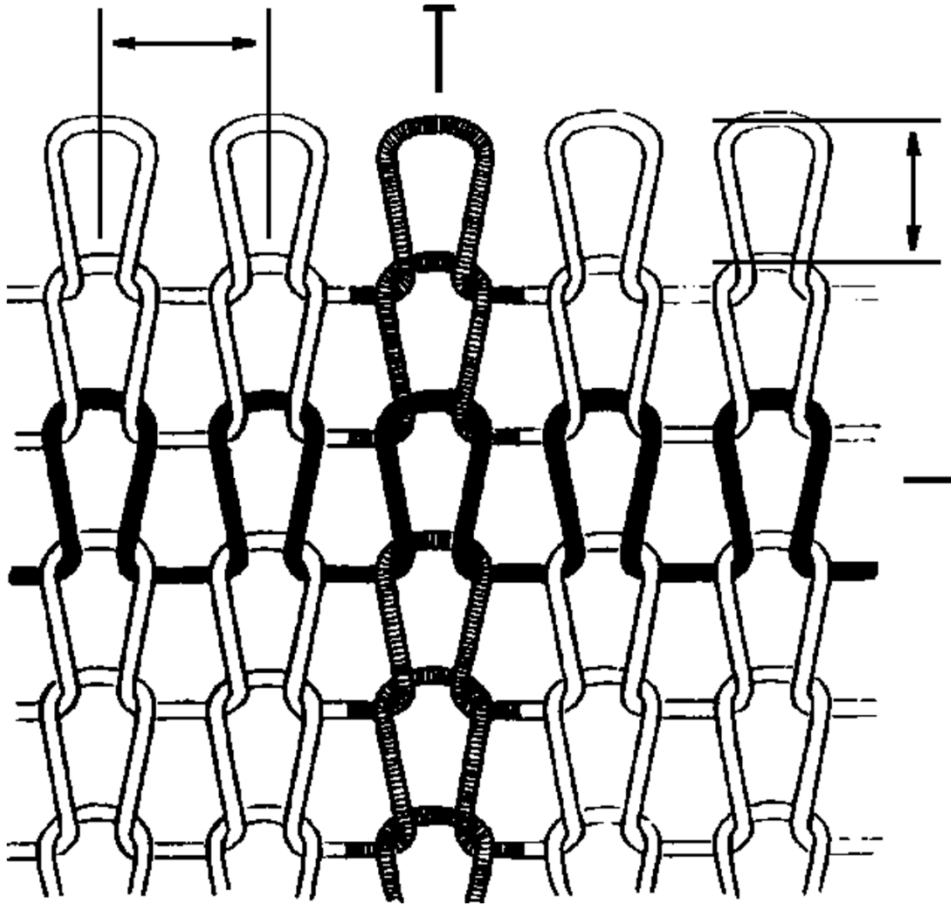
Sploty trójwymiarowe



S. Dai, P. R. Cunningham, S. Marshall, C. Silva, Open hole quasi-static and fatigue characterisation of 3D woven composites

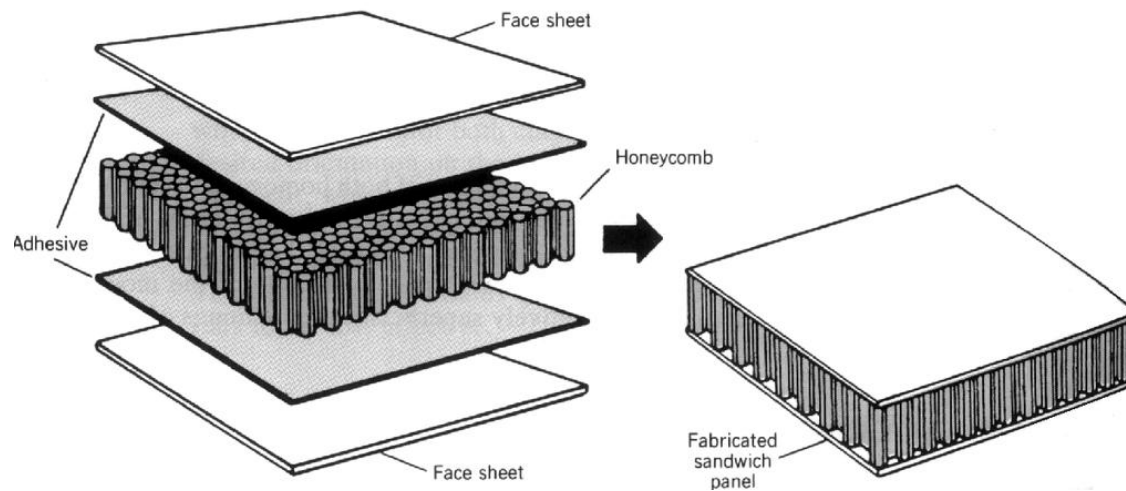


Knitting

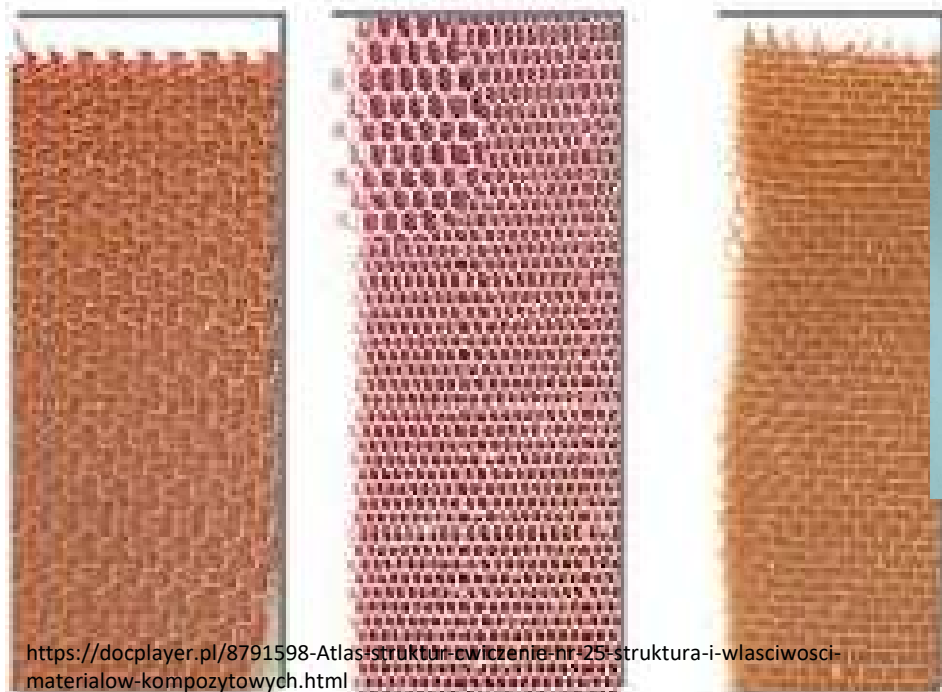


Reber et al., Environmental effects on the mechanical properties of plain weft knitted CF/PEEK and GF/PET composites

Struktury przekładkowe



<https://docplayer.pl/53745651-Definicja-materialu-kompozytowego.html>



<https://docplayer.pl/8791598-Atlas-struktur-cwiczenie-nr-25-struktura-i-wlasciwosci-materialow-kompozytowych.html>

Nomex nasączony żywicą



<http://www.jag.pl/pl/oferta/szttywna-pianka-poliuretanowa.html>

Pianki poliuretanowe



[https://www.rchopez.com/products/Balsa-Stick-1000mm-x-5mm-x-5mm-BS101-\(Cut-into-2pcs-for-online-order-only\)/3485](https://www.rchopez.com/products/Balsa-Stick-1000mm-x-5mm-x-5mm-BS101-(Cut-into-2pcs-for-online-order-only)/3485)

Balsa

Struktury przekładkowe c.d.



Porównanie właściwości

Materiał	Gęstość [kg/m ³]	Wytrzymałość [MPa]	Moduł E [GPa]
Kompozyt szklano-epoksydowy jednokierunkowy	1860	1100	43
Kompozyt szklano-epoksydowy dwukierunkowy	1860	600	20
Kompozyt węglowo-epoksydowy jednokierunkowy	1560	2000	130
Kompozyt węglowo-epoksydowy dwukierunkowy	1560	800	70
Kompozyt aramidowo- epoksydowy jednokierunkowy	1310	1100	60
Kompozyt aramidowo- epoksydowy dwukierunkowy	1310	500	30
Stal 40HM	7800	1050	200
Stop aluminium PA7	2800	430	70

Porównanie właściwości c. d.

Materiał	Wytrzymałość właściwa [MPa/(kg/m³)]	Sztywność właściwa [MPa/(kg/m³)]
Kompozyt szklano-epoksydowy jednokierunkowy	0,59	23,12
Kompozyt szklano-epoksydowy dwukierunkowy	0,32	10,75
Kompozyt węglowo-epoksydowy jednokierunkowy	1,28	83,33
Kompozyt węglowo-epoksydowy dwukierunkowy	0,51	44,87
Kompozyt aramidowo- epoksydowy jednokierunkowy	0,84	45,80
Kompozyt aramidowo- epoksydowy dwukierunkowy	0,38	22,90
Stal 40HM	0,13	25,64
Stop aluminium PA7	0,15	25,00