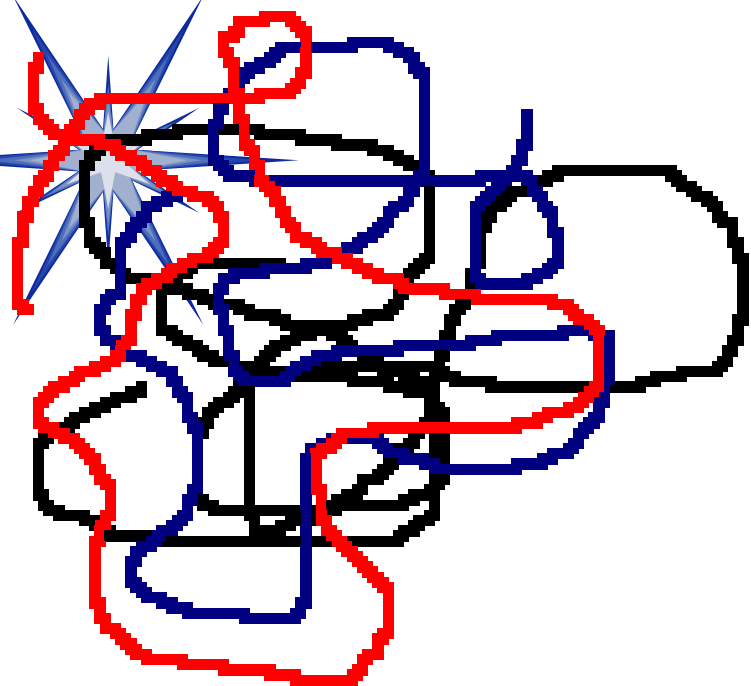
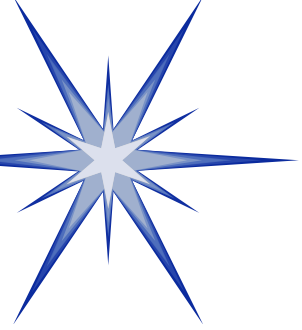


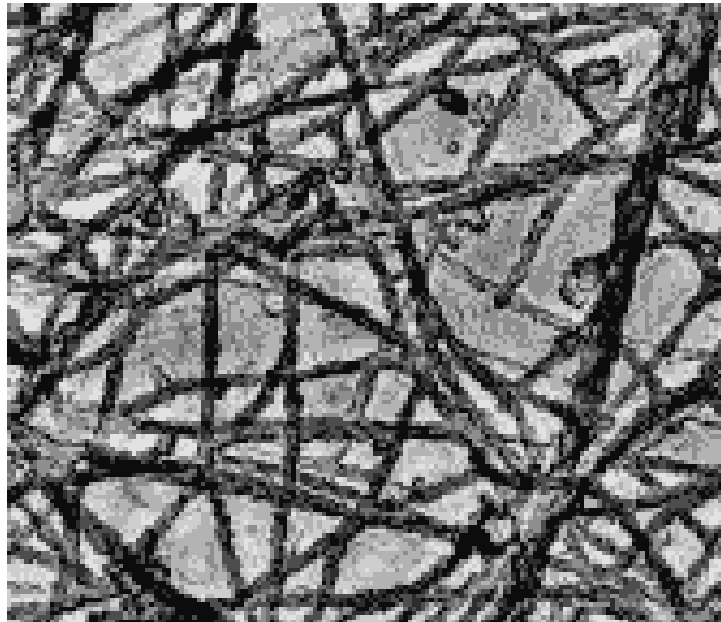


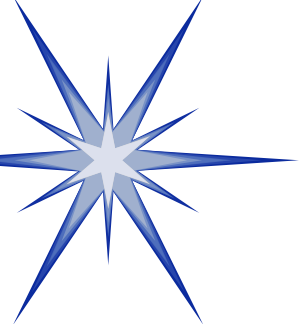
Kompozyty



Czym jest kompozyt

Kompozyt jest to materiał utworzony z co najmniej dwóch komponentów mający właściwości nowe (lepsze) w stosunku do komponentów.





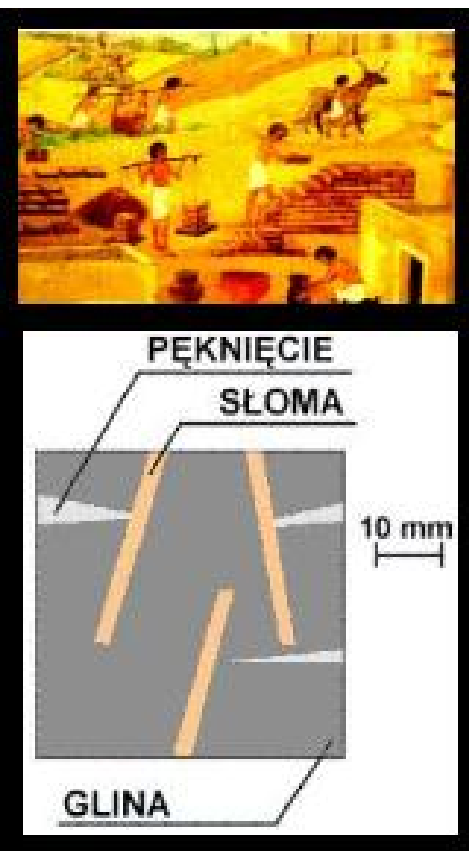
Historia

W Mezopotamii i Babilonie już
ok. **800 r. p.n.e.** wytwarzano cegły gliniane
wzmocniane słomą

1931 – pierwszy patent na otrzymywanie
włókien szklanych

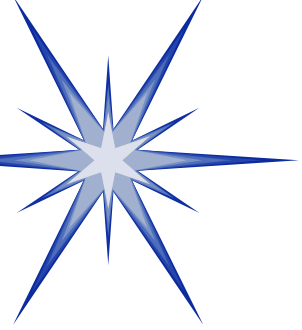
1942 – połączono żywicę z włóknem szklanym

1943 – pierwsze próby zastosowania
kompozytów dla celów wojskowych



1961 – otrzymanie włókien węglowych

1972 – otrzymanie włókien aramidowych

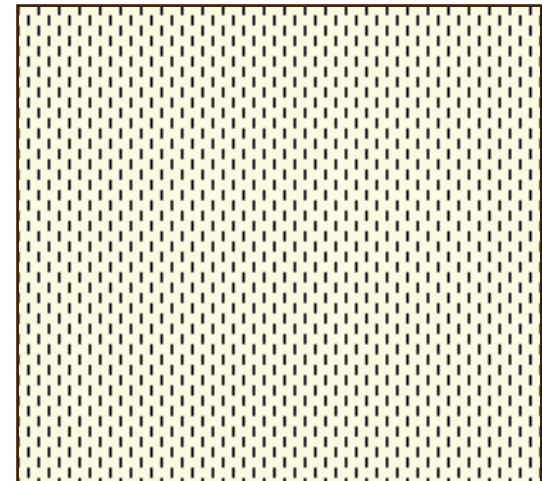


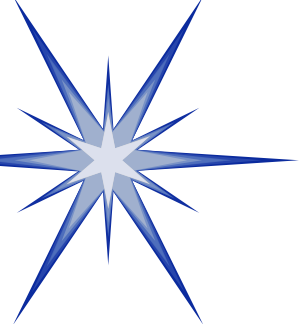
Z czego składa się kompozyt

Kompozyt składa się z osnowy i umieszczonego w niej drugiego składnika (zbrojenia) o znacznie lepszych właściwościach mechanicznych.

Osnowa: ciągła (biała)

Zbrojenie: nieciągłe (czarne)





Osnowa

Osnowa pełni następujące funkcje:

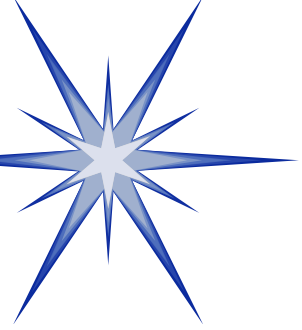
- utrzymuje razem zbrojenie

- zapewnia wytrzymałość na ściskanie

- przenosi naprężenie zewnętrzne na zbrojenie,

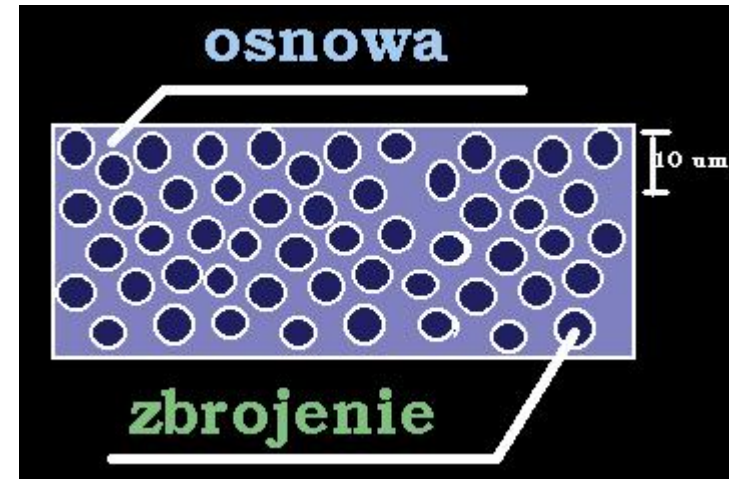
- zatrzymuje rozprzestrzenianie się pęknięć,

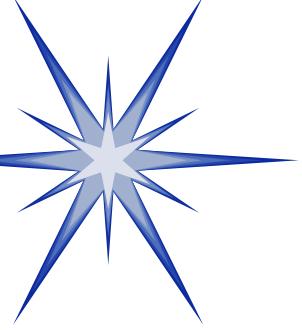
- nadaje wyrobom żądany kształt.



Osnowa

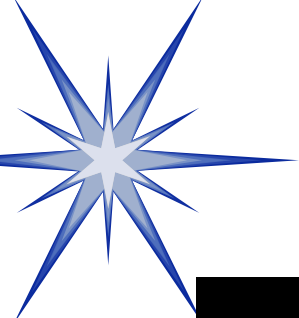
najczęściej polimer (poliepoksyd, poliester)
może być to metal (Ti, Ni, Fe, Al, Cu)
lub ich stopy
bądź ceramika
(np. Al_2O_3 , SiO_2 , SiC, TiO_2)





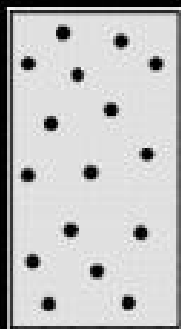
Zbrojenie

Zadaniem zbrojenia jest wzmacnianie materiału,
poprawianie jego właściwości mechanicznych.

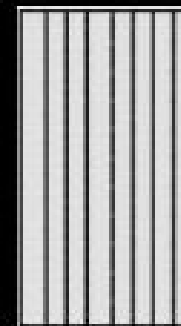
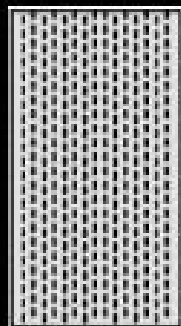


Zbrojenie

PROSZKOWE



WŁÓKNISTE



włókna cięte

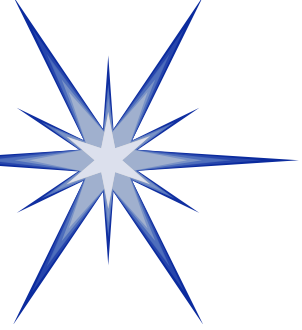
włókno ciągłe

zorientowane niezorientowane

Zbrojenie może mieć postać:

Włókna ciągłego lub nieciągłego;

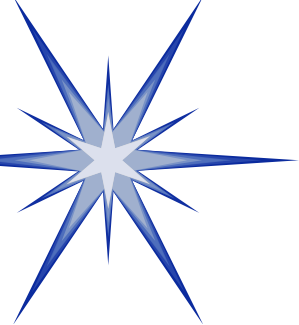
Proszku



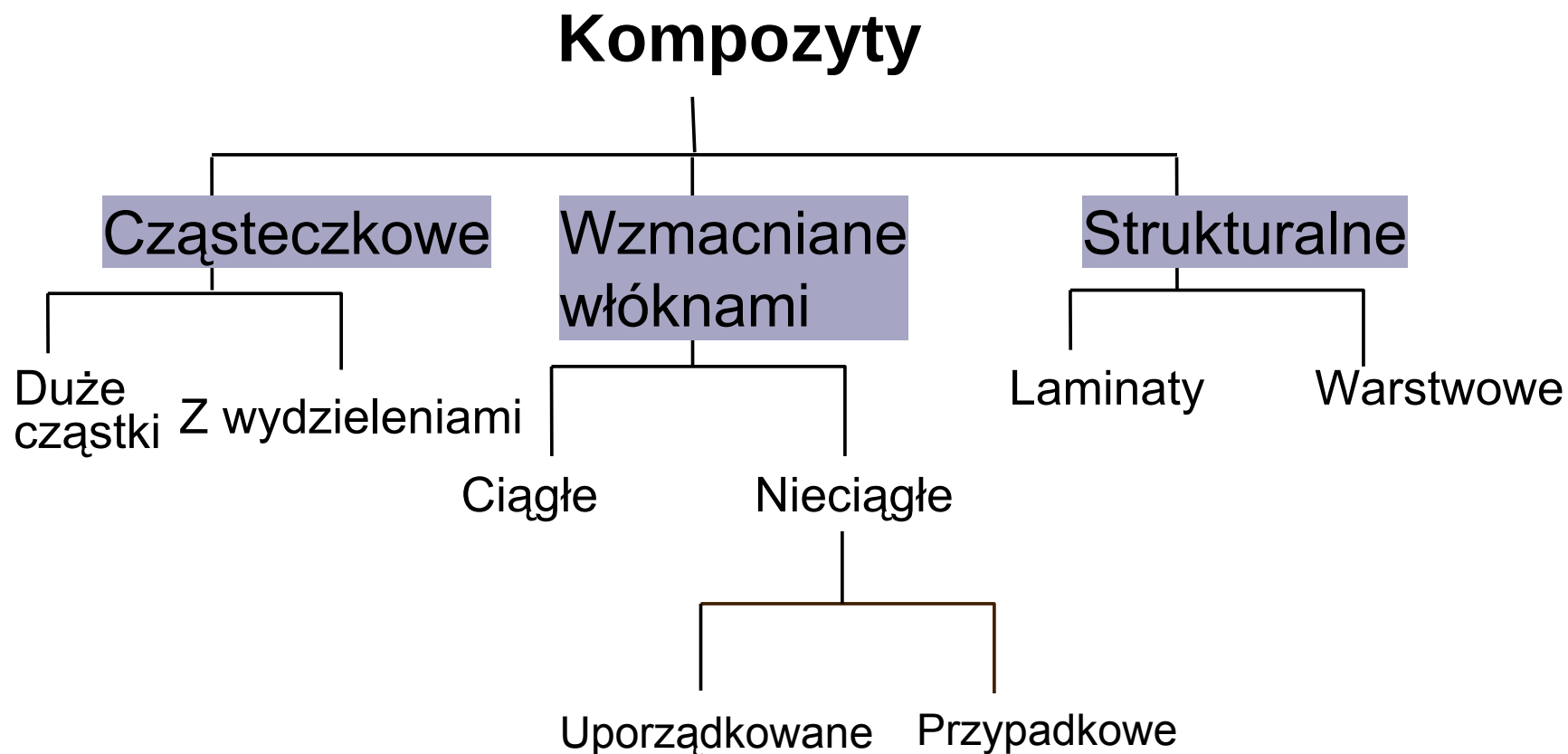
Podział kompozytów

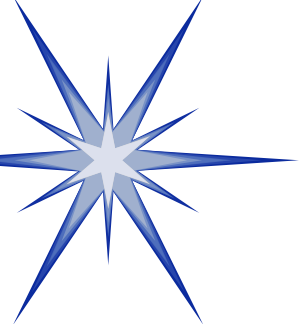
Ze względu na wielką różnorodność materiałów kompozytowych dzieli się je ze względu na:

- właściwości,
- rodzaj osnowy,
- rodzaj zbrojenia.



Podział kompozytów

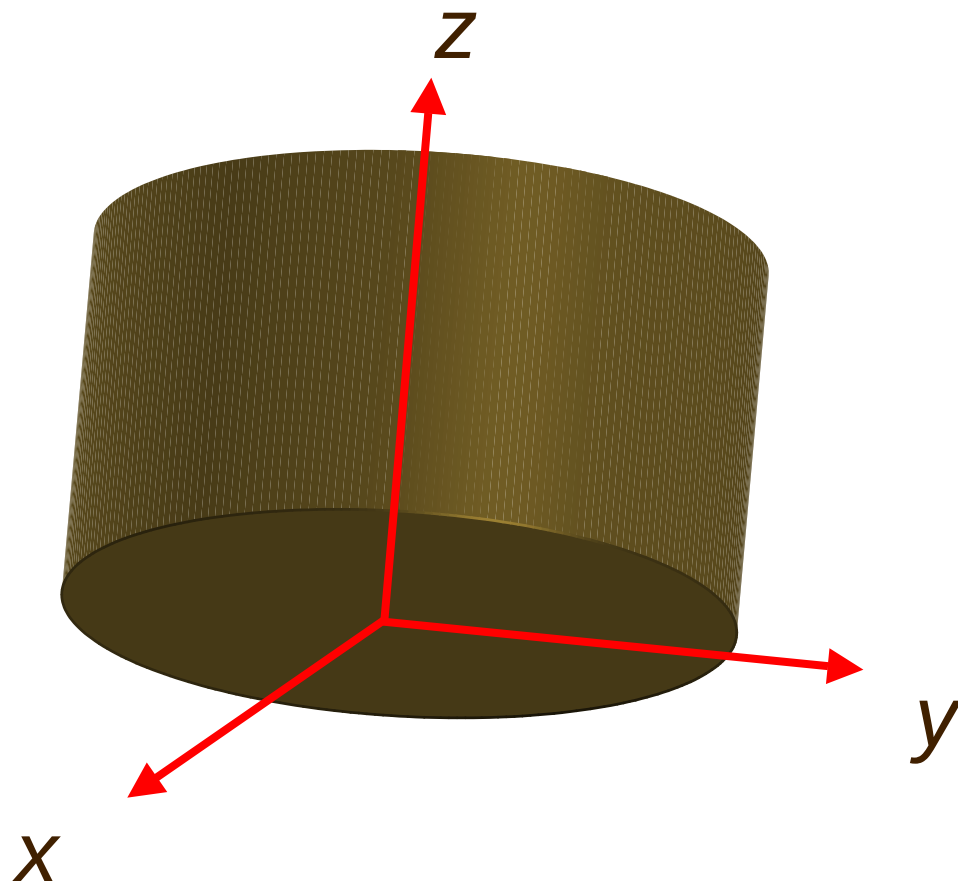


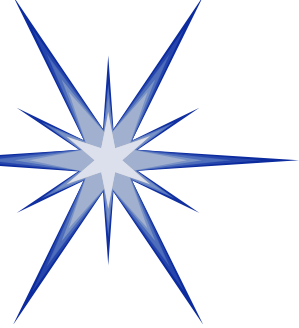


Kompozyty wzmocniane włóknami

Jest to najważniejszy rodzaj kompozytów.

Włókno jest obiektem anizotropowym, o symetrii cylindrycznej.

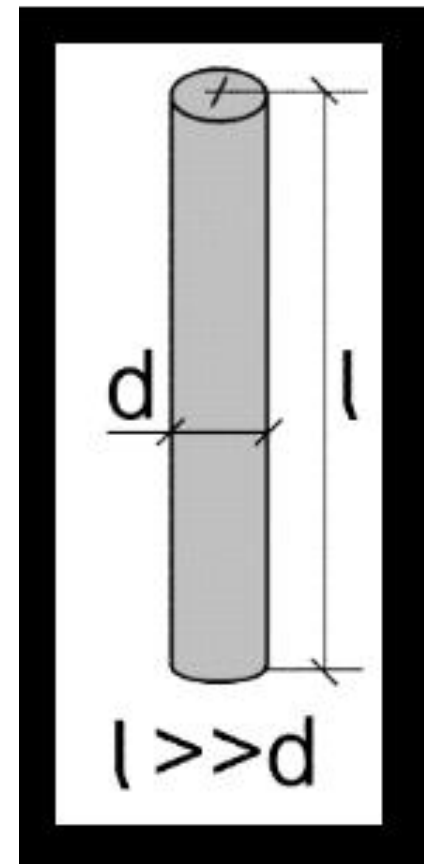


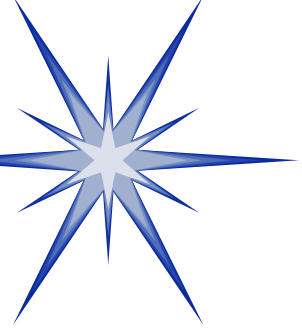


Kompozyty wzmocniane włóknami

Włókno ma zazwyczaj długość znacznie większą od średnicy. Są to obiekty podłużne.

Przeważnie stosuje się włókna szklane, węglowe lub aramidowe (np. Kevlar).



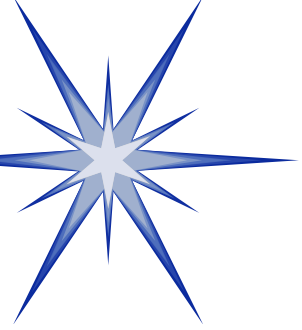


Wymagania stawiane włóknom:

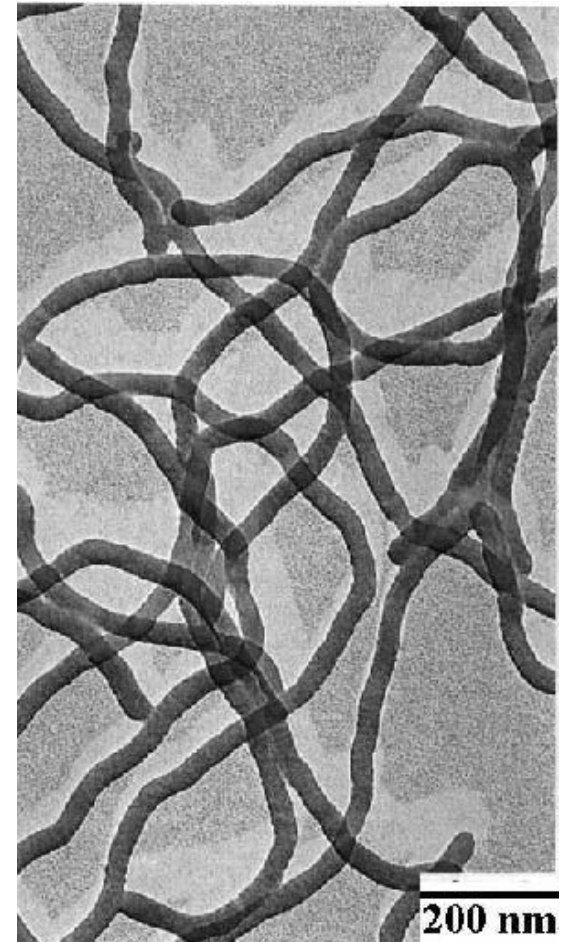
Musi być znacznie silniejsze niż materiał osnowy;

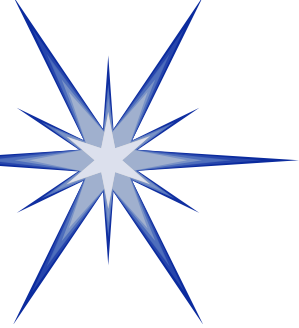
Musi mieć dużą wytrzymałość na rozciąganie.

Material	Elastic Modulus GPa	Tensile Strength GPa
Epoxy Matrix	4	0.1
Glass Fibre	86	4.5
Carbon Fibre	253	4.5
Kevlar	124	3.6



Cechy włókien wpływające na ich właściwości





Długość włókna

Właściwości mechaniczne kompozytu zależą od:

Wielkości naprężenia, które jest przekazywane przez ośnowę (zależy od siły wiązania między włóknem a ośnową).

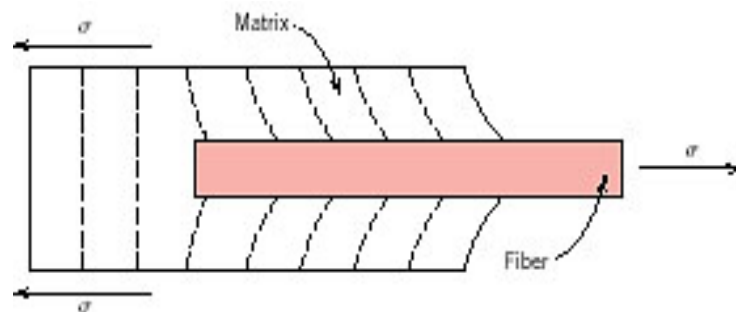
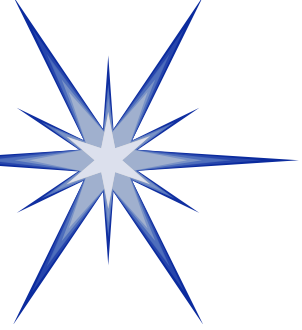


FIGURE 17.6 The deformation pattern in the matrix surrounding a fiber that is subjected to an applied tensile load.

Istnieje pewna krytyczna długość włókna, poniżej której włókno nieefektywnie wzmacnia kompozyt (zależy od średnicy włókna, wytrzymałości na rozciąganie i siły wiązania z ośnową).



Długość włókna

Krytyczna długość – l_c
(powierzchnia wiązania z
osnową musi być
wystarczająco duża)

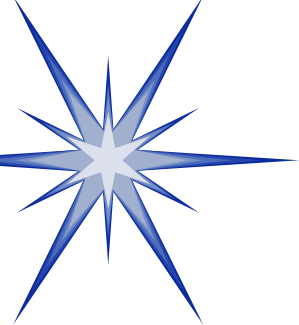
$$l_c = \sigma_f d / 2 \tau_c$$

where

d = fiber diameter

τ_c = fiber-matrix bond
strength

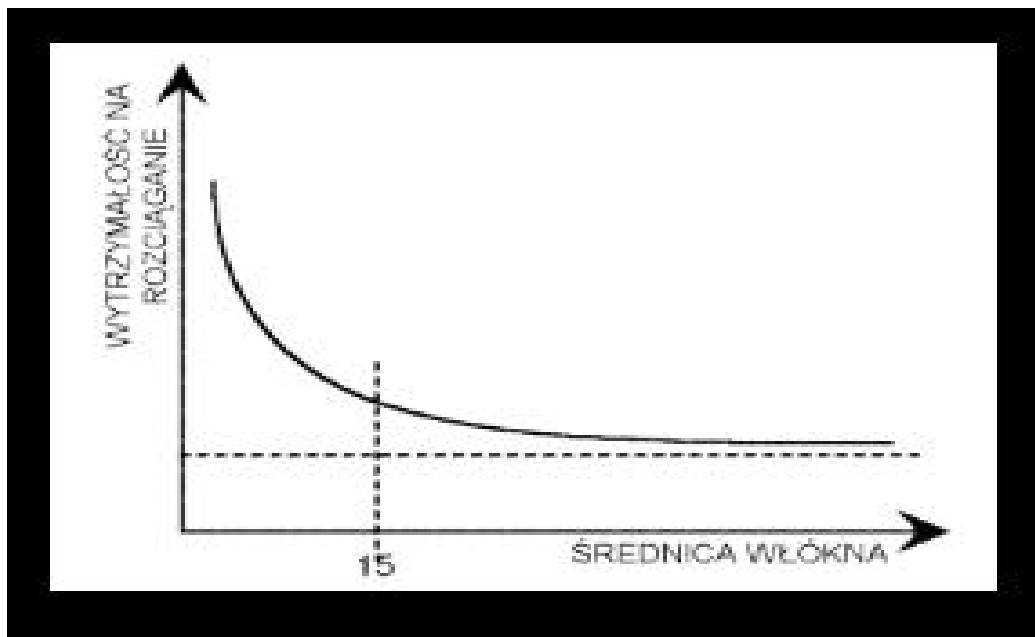
σ_f = fiber yield strength

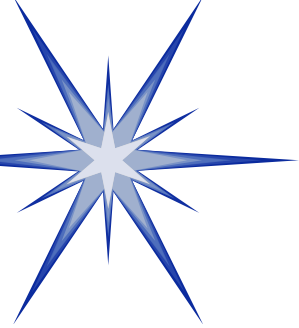


Średnica włókna

przyczyną dużej wytrzymałości włókien jest również ich mała średnica

We włóknach o średnicach powyżej 15 μm istnieje znacznie większe prawdopodobieństwo pojawienia się wad powierzchniowych, co sprzyja pękaniu.





Orientacja włókien

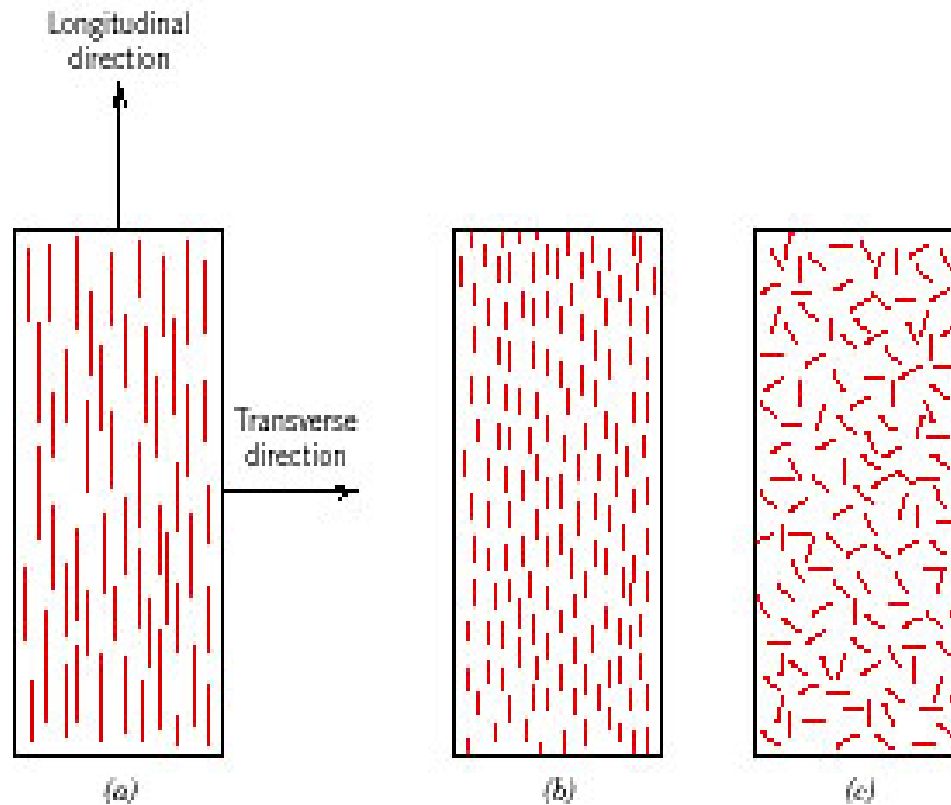
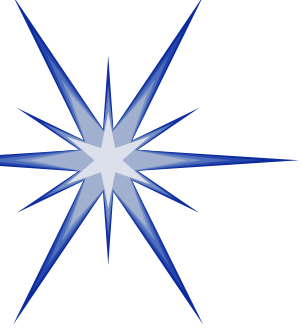
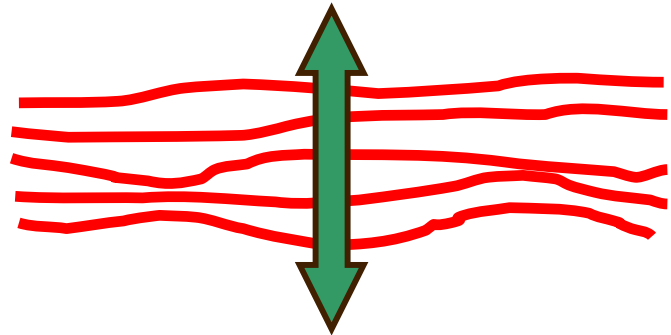
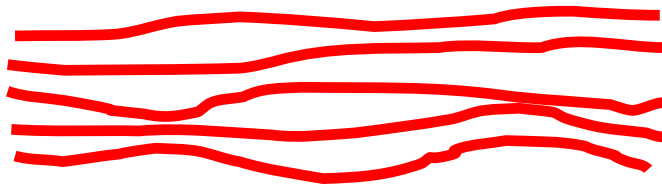


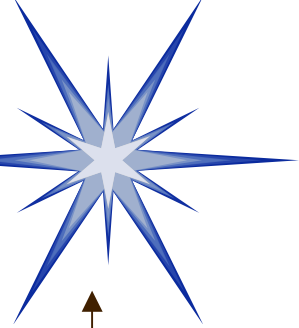
FIGURE 17.8 Schematic representations of (a) continuous and aligned, (b) discontinuous and aligned, and (c) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.



Włókna uporządkowane

Właściwości materiału są silnie anizotropowe





Włókna równoległe uporządkowane

$$\varepsilon_m = \varepsilon_f = \varepsilon_c$$

Całkowita siła, F_c , jest sumą siły przyłożonej do włókien (f) i osnowy (m)

$$F_c = F_m + F_f$$

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f$$

$$\sigma_c = \sigma_m A_m / A_c + \sigma_f A_f / A_c$$

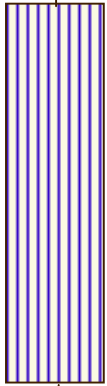
gdzie A_m / A_c i A_f / A_c odpowiednio ułamek powierzchni matrycy i włókien,

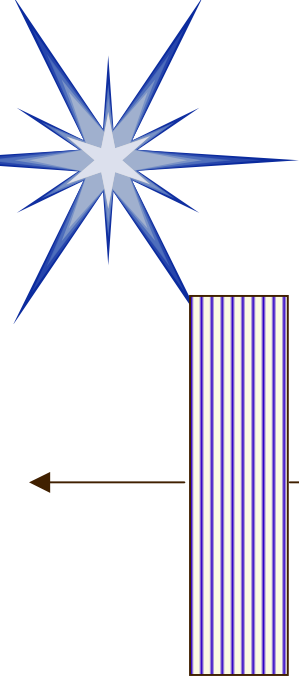
$$V_f = A_f / A_c \quad \& \quad V_m = A_m / A_c$$

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f$$

$$\sigma = \varepsilon E$$

$$**$E_c = E_m V_m + E_f V_f$**$$





Włókna równoległe uporządkowane

Gdy siła jest prostopadła do włókien:

$$\sigma_m = \sigma_f = \sigma_c = \sigma$$

Całkowite odkształcenie:

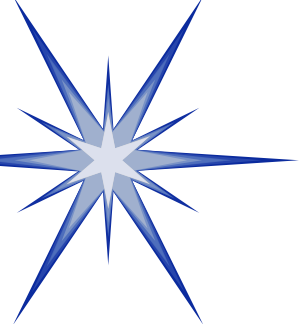
$$\varepsilon_c = \varepsilon_m V_m + \varepsilon_f V_f$$

Korzystając z prawa Hooke'a $\varepsilon = \sigma/E$

$$\sigma/E_c = (\sigma/E_m) V_m + (\sigma/E_f) V_f$$

Otrzymujemy:

$$E_c = \frac{E_m E_f}{E_f V_m + E_m V_f}$$



Górna i dolna granica

Rzeczywiste wartości

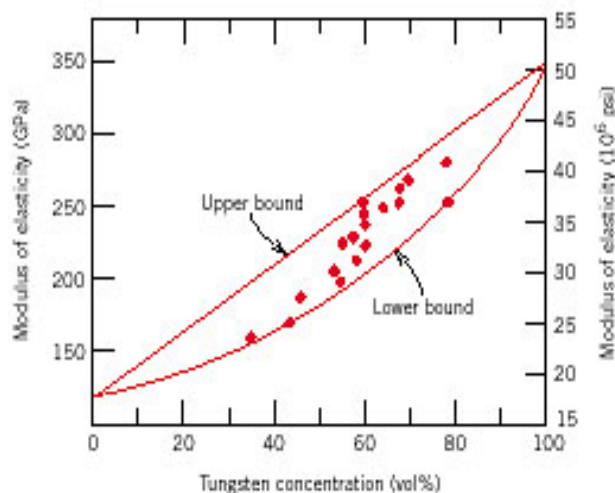
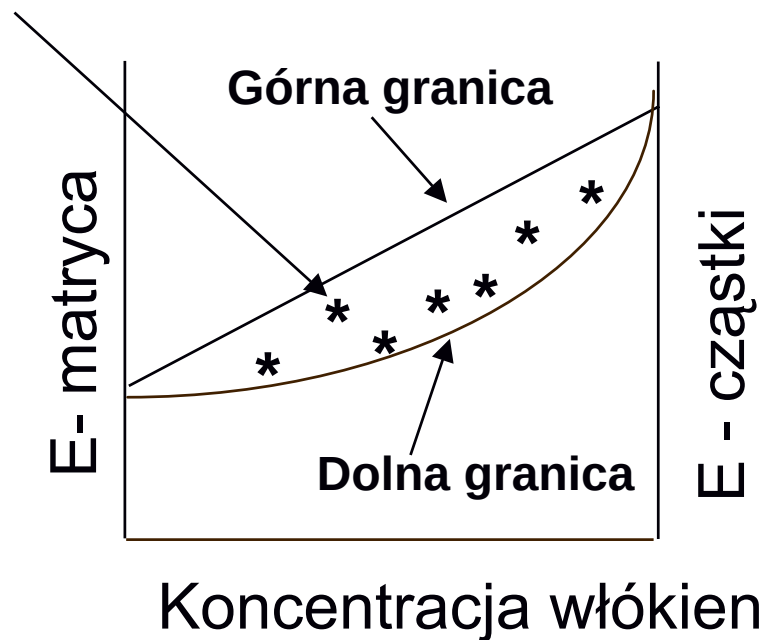
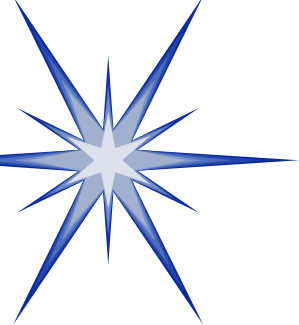


FIGURE 17.3 Modulus of elasticity versus volume percent tungsten for a composite of tungsten particles dispersed within a copper matrix. Upper and lower bounds are according to Equations 17.1 and 17.2; experimental data points are included. (From R. H. Krock, *ASTM Proceedings*, Vol. 63, 1963. Copyright ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103. Reprinted with permission.)



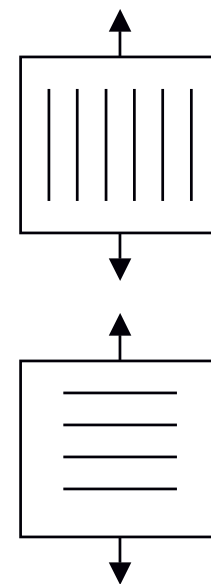


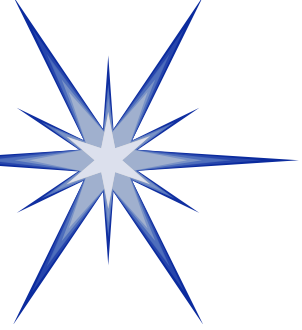
Objętość włókien w kompozycie

Wpływ objętości włókien wynika z tych samych zależności, co wpływ orientacji włókien. Optymalna zawartość włókien wynosi od 45 do 70%

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f$$

$$E_c = \frac{E_m E_f}{E_f V_m + E_m V_f}$$





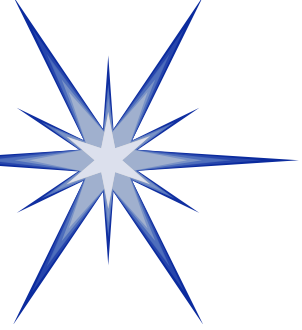
Inne właściwości kompozytu

W ogólności, każdą inną właściwość fizyczną kompozytu można ocenić (znaleźć górną i dolną granicę zmienności) w taki sposób jak moduł Younga

Jeśli X_c jest np. przewodnością cieplną, gęstością...itd. To:

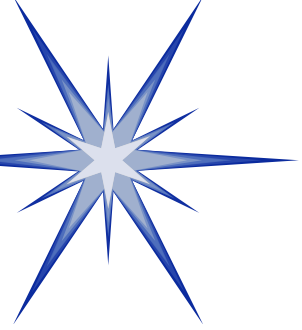
$$X_c = X_m V_m + X_f V_f$$

$$X_c = X_m X_f / (V_m X_f + V_f V_m)$$



Material	Elastic Modulus GPa	Tensile Strength GPa
Epoxy Matrix	4	0.1
Glass Fibre	86	4.5
Carbon Fibre	253	4.5
Kevlar	124	3.6
Glass composite	55	2.0
Carbon composite	145	2.3
Kevlar composite	80	2.0

Polymer composites are among the best strength/weight materials



Rodzaje kompozytów wzmocnianych włóknami



Kompozyty o matrycy polimerowej

włókna

szklane

węglowe – albo grafitowe, albo z amorficznego węgla

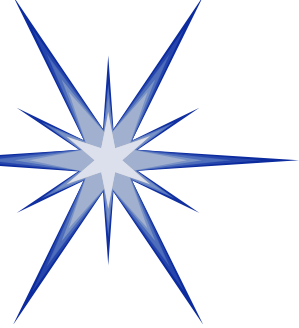
aramidowe

matryca

poliester lub estry winylowe – najczęściej z włóknem szklanym

epoksy – głównie w lotnictwie

poliamidy – (wytrzymują wysoką temperaturę)



Kompozyty o matrycy metalowej lub ceramicznej

metal

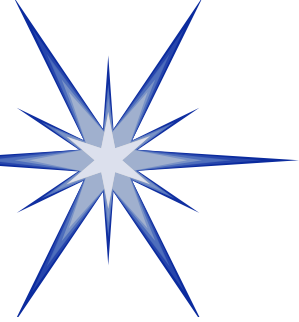
Table 17.6 Properties of Several Metal-Matrix Composites Reinforced with Continuous and Aligned Fibers

<i>Fiber</i>	<i>Matrix</i>	<i>Fiber Content (vol%)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Longitudinal Tensile Modulus (GPa)</i>	<i>Longitudinal Tensile Strength (MPa)</i>
Carbon	6061 Al	41	2.44	320	620
Boron	6061 Al	48	—	207	1515
SiC	6061 Al	50	2.93	230	1480
Alumina	380.0 Al	24	—	120	340
Carbon	AZ31 Mg	38	1.83	300	510
Borsic	Ti	45	3.68	220	1270

Source: Adapted from J. W. Weeton, D. M. Peters, and K. L. Thomas, *Engineers' Guide to Composite Materials*, ASM International, Materials Park, OH, 1987.

ceramika

Celem jest zwiększenie wytrzymałości ceramiki na pękanie
Przykład: Transformation toughened zirconia



Przykłady

Włókna SiC w osnowie Ti_3Al

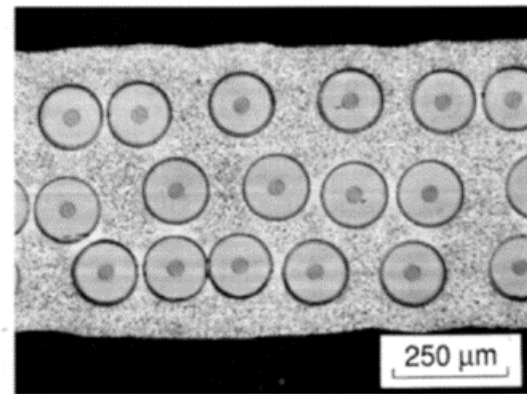


Figure 3.28 Cross section of a ceramic-intermetallic composite having SiC fibers in a Ti_3Al matrix. The fibers have a carbon core, used in their manufacture as a base for chemical vapor deposition of SiC, and they also have a carbon-rich coating. (Photo courtesy of C. G. Rhodes, Rockwell International Science Center, Thousand Oaks, CA.)

Włókna SiC w osnowie szklano-ceramicznej

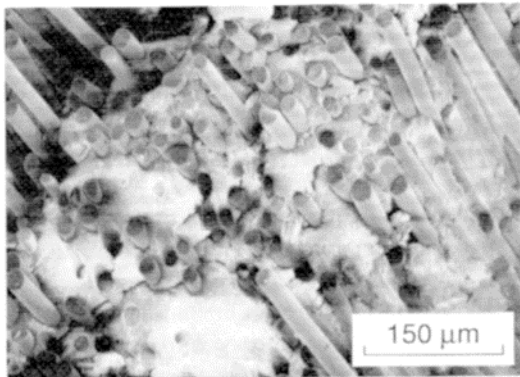
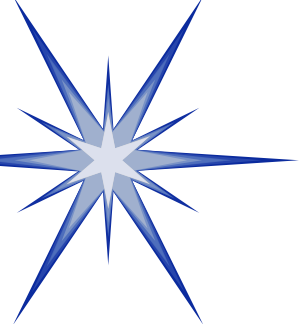


Figure 3.25 Fracture surface showing broken fibers for a composite of Nicalon type SiC fibers in a CAS glass-ceramic matrix. (Photo by S. S. Lee; material manufactured by Corning.)



Włókna

Włókna szklane
(najpowszechniejsze)

Ceramiczne

Węglowe

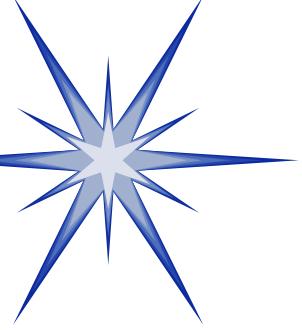
Whiskersy

Włókna aramidowe

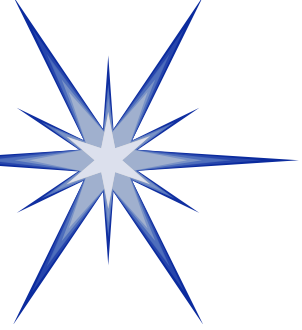
Table 17.4 Characteristics of Several Fiber-Reinforcement Materials

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Strength [GPa (10⁶ psi)]</i>	<i>Specific Strength (GPa)</i>	<i>Modulus of Elasticity [GPa (10⁶ psi)]</i>	<i>Specific Modulus (GPa)</i>
<i>Whiskers</i>					
Graphite	2.2	20 (3)	9.1	700 (100)	318
Silicon nitride	3.2	5–7 (0.75–1.0)	1.56–2.2	350–380 (50–55)	109–118
Aluminum oxide	4.0	10–20 (1–3)	2.5–5.0	700–1500 (100–220)	175–375
Silicon carbide	3.2	20 (3)	6.25	480 (70)	150
<i>Fibers</i>					
Aluminum oxide	3.95	1.38 (0.2)	0.35	379 (55)	96
Aramid (Kevlar 49)	1.44	3.6–4.1 (0.525–0.600)	2.5–2.85	131 (19)	91
Carbon ^a	1.78–2.15	1.5–4.8 (0.22–0.70)	0.70–2.70	228–724 (32–100)	106–407
E-Glass	2.58	3.45 (0.5)	1.34	72.5 (10.5)	28.1
Boron	2.57	3.6 (0.52)	1.40	400 (60)	156
Silicon carbide	3.0	3.9 (0.57)	1.30	400 (60)	133
UHMWPE (Spectra 900)	0.97	2.6 (0.38)	2.68	117 (17)	121
<i>Metallic Wires</i>					
High-strength steel	7.9	2.39 (0.35)	0.30	210 (30)	26.6
Molybdenum	10.2	2.2 (0.32)	0.22	324 (47)	31.8
Tungsten	19.3	2.89 (0.42)	0.15	407 (59)	21.1

^a The term “carbon” instead of “graphite” is used to denote these fibers, since they are composed of crystalline graphite regions, and also of noncrystalline material and areas of crystal misalignment.



Kompozyty naturalne



Kompozyty naturalne

Drewno-złożone z włókien celulozy w ligninie i hemicelulozie

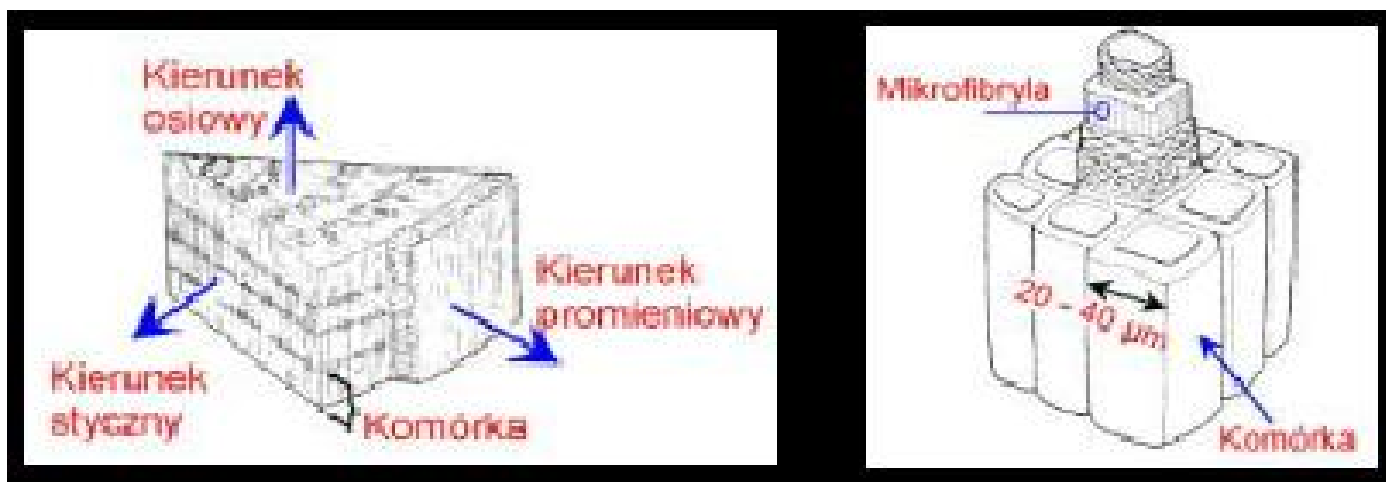
Tkanka kostna-złożona z apatytu w związkach proteinowych



Kompozyty naturalne

Pień drzewa zbudowany jest z długich, pustych w środku komórek, w większości równoległych do osi drzewa

Ściany komórek zbudowane są z włókien krystalicznej celulozy – mikrofibryl (ok. 45% ściany komórki). Rolę osnowy pełni lignina i celuloza.





Drewno: struktura komórki

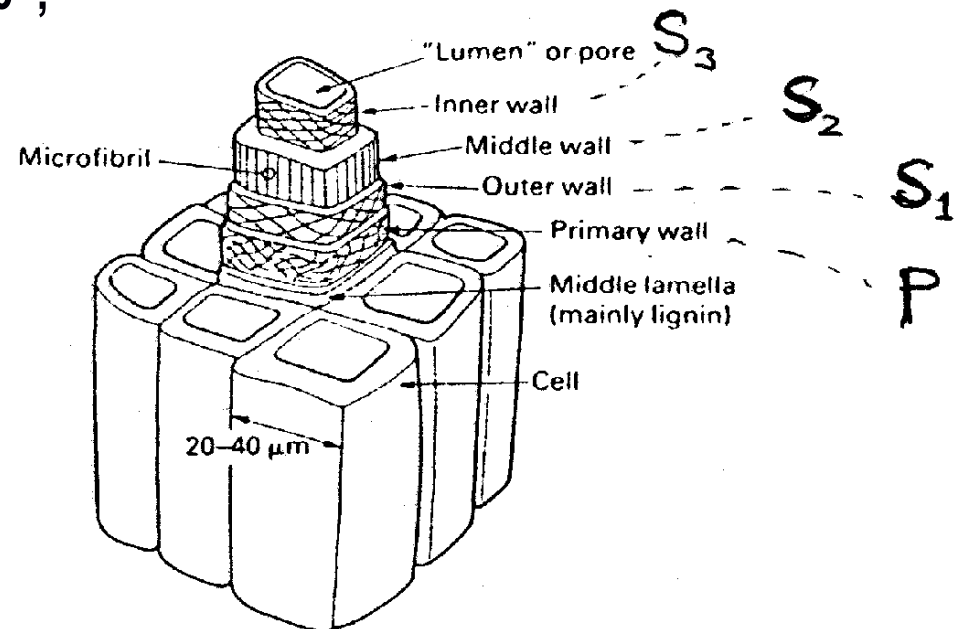
Ściana komórki zbudowana jest z włókien celulozowych w osnowie hemicelulozy i ligniny. Jest to zatem kompozyt wzmacniany włóknami!

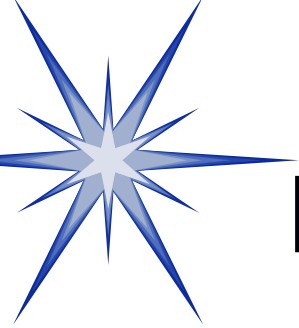
P : stanowi 5% grubości i ma przypadkowo ułożone włókna;

S_1 stanowi 9% grubości i włókna są ustawione pod kątem 50-70° względem osi;

S_2 : 85%, włókna pod kątem 10-30°;

S_3 : 1%, włókna pod kątem 90°.





Mikrostruktura

Sosna
kolumbijska

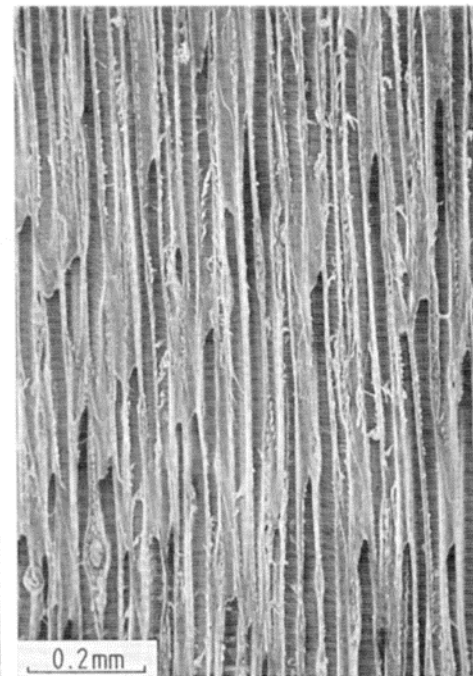
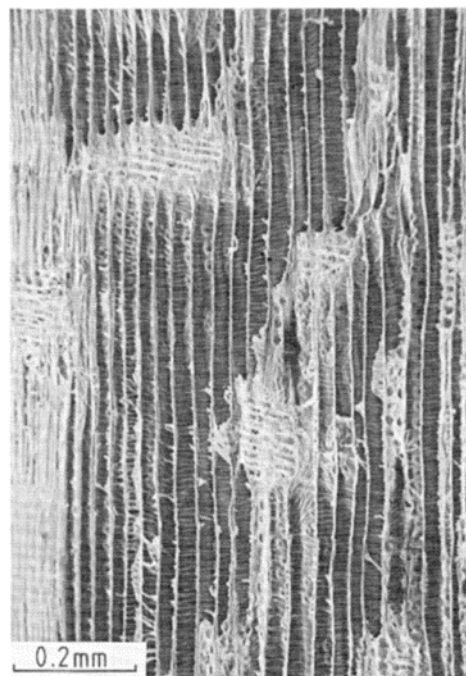
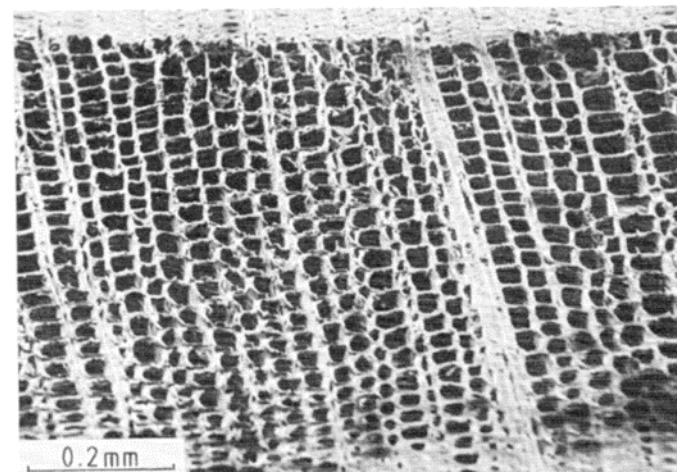
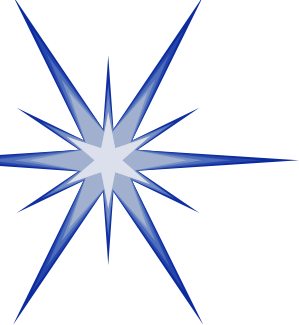


FIG. 10.2(b). Micrographs showing three orthogonal sections of Columbian pine.



!!!!!!

Drewno sosnowe ma większą wytrzymałość właściwą niż stal.

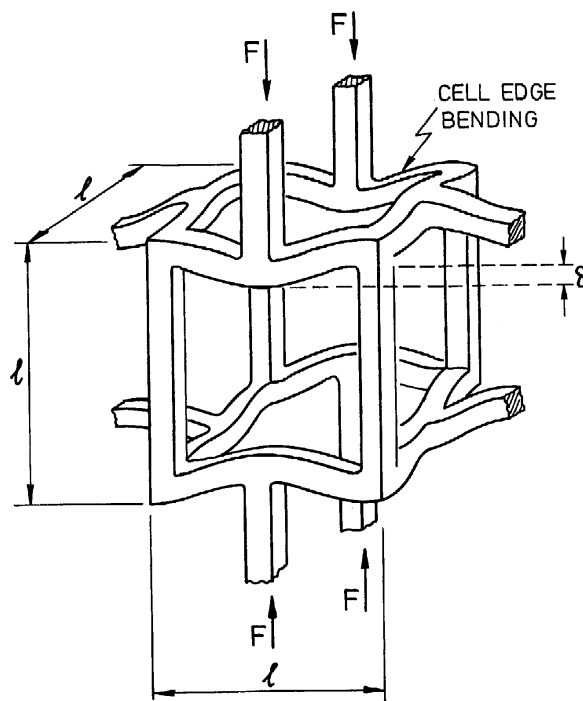
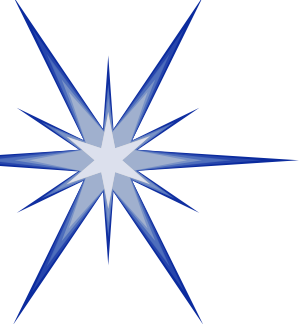
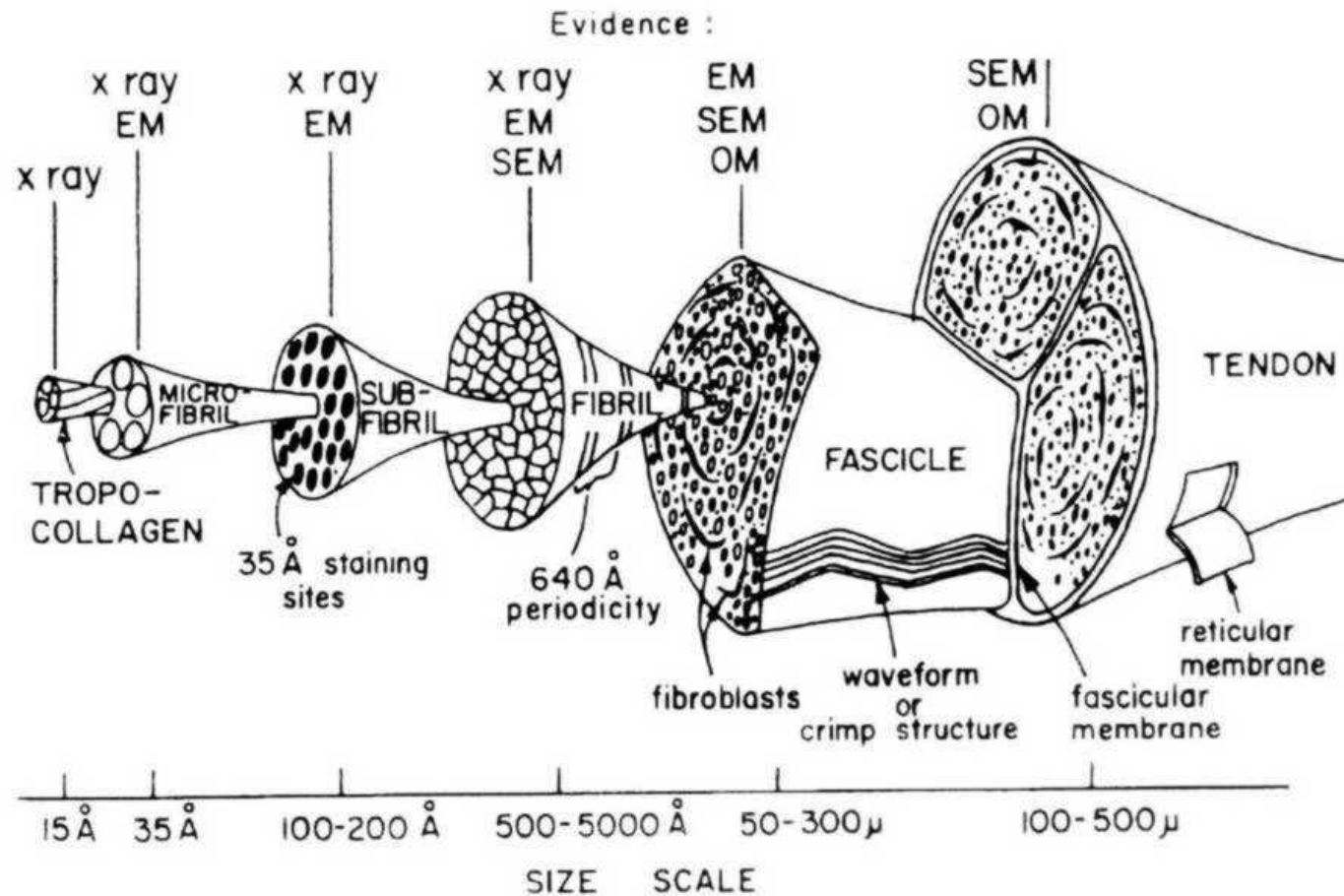
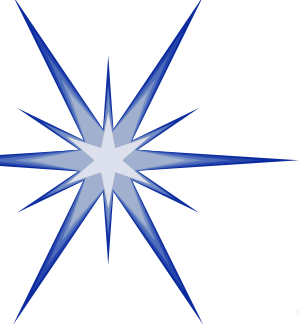


FIG. 5.7. Cell edge bending during linear-elastic deformation.

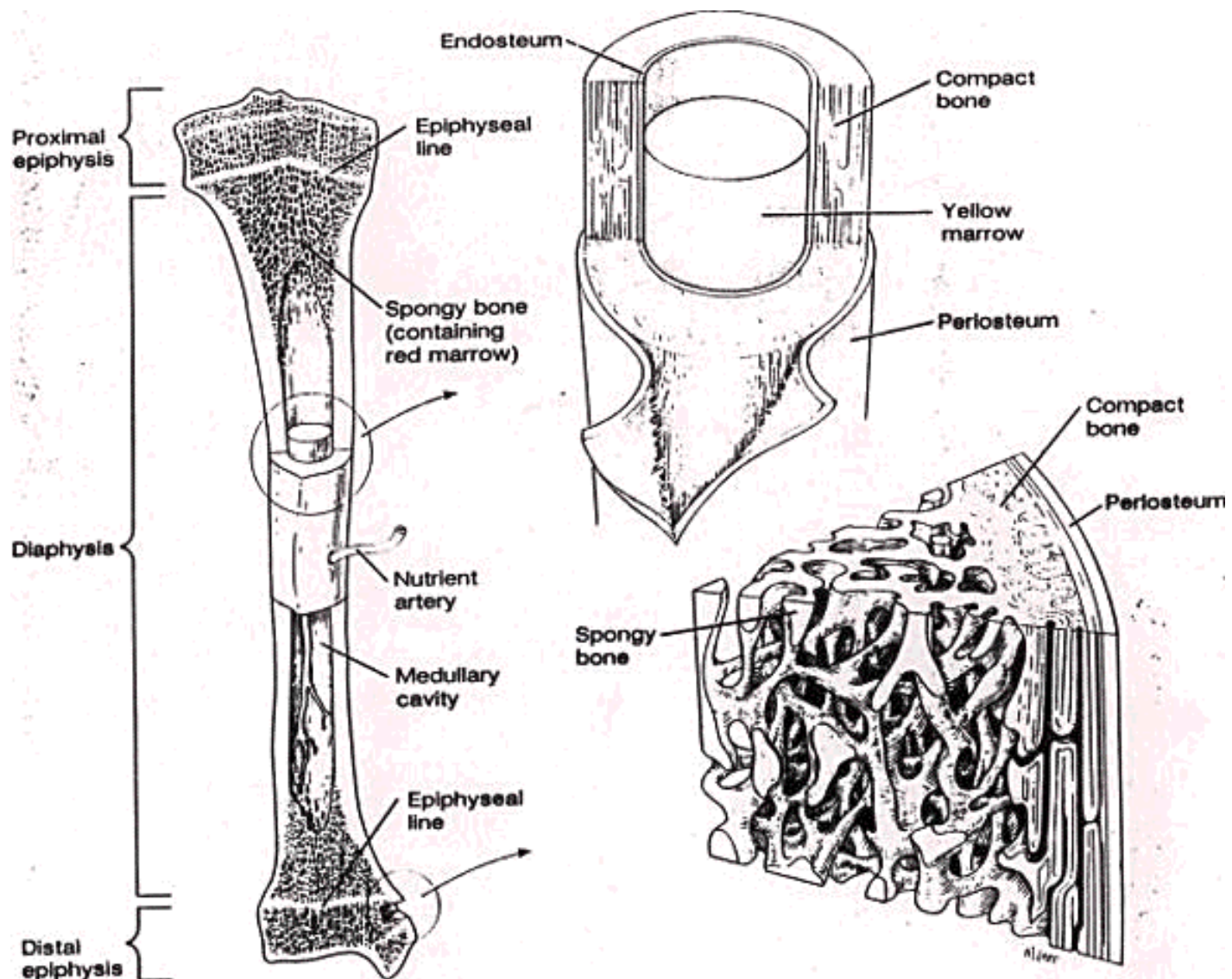


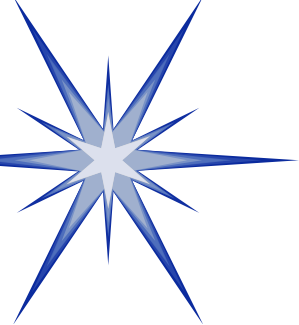
Ścięgna





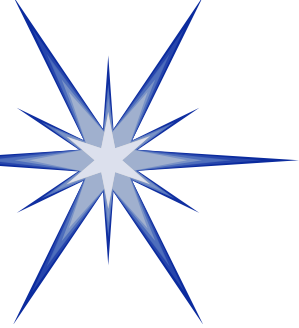
Kość



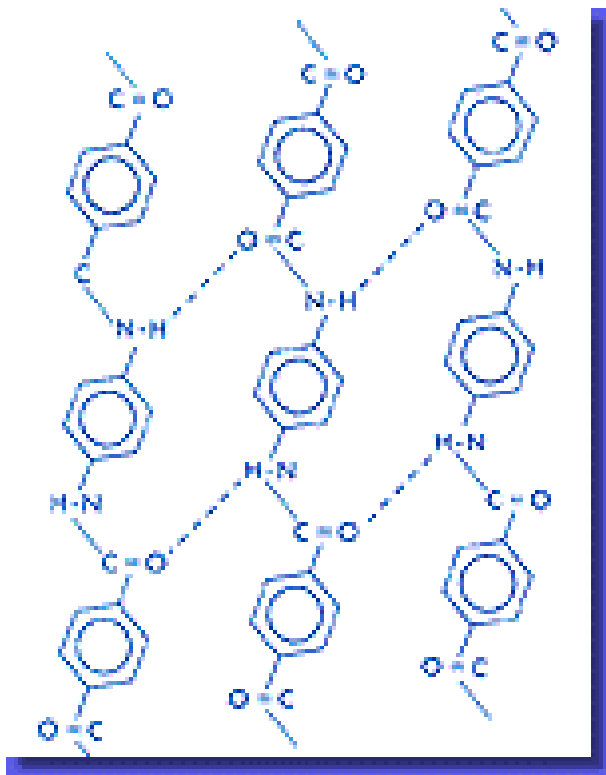


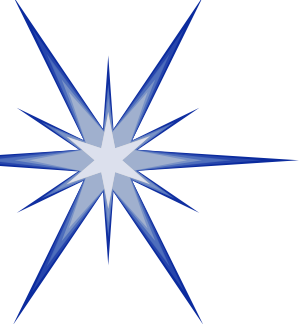
Włókna dnia dzisiejszego: KEVLAR

Kevlar to nazwa polimeru, a nie kompozytu jako całości (co nie zmienia faktu, że tak właśnie się zazwyczaj nazywa kompozyt)



Kevlar



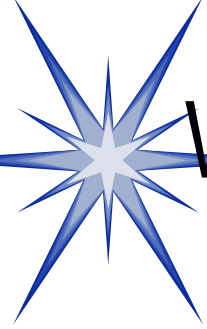


Kompozyty wzmacniane cząstkami

Istnieją dwa typy takich kompozytów:

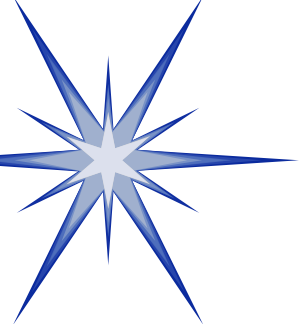
Wzmacniane dużymi cząstkami innej fazy (np. polimer z wypełniaczem lub beton);

Materiały utwardzane dyspersyjnie (cząstki zbrojenia mają mniej więcej średnice 0.01-0.1 μm (np. stopy metali, gdzie osnową jest metal a zbrojeniem jakaś twardsza faza: tor w niklu, $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$).

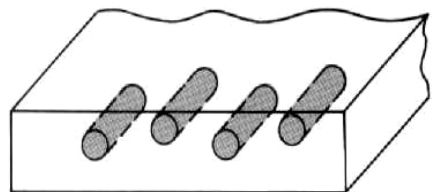
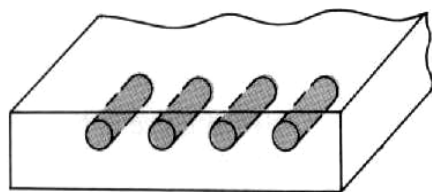


Właściwości kompozytów wzmacnianych cząstkami (dużymi)

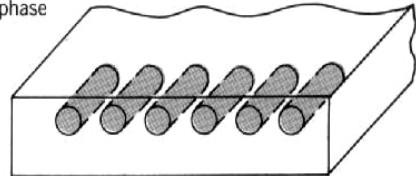
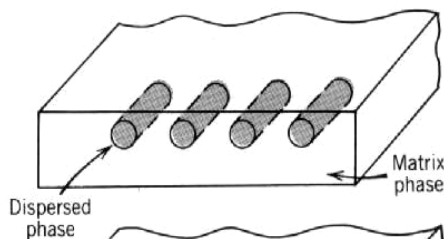
Zależą i od osnowy, i od zbrojenia. Zbrojenie wpływa na kompozyt poprzez cały szereg parametrów.



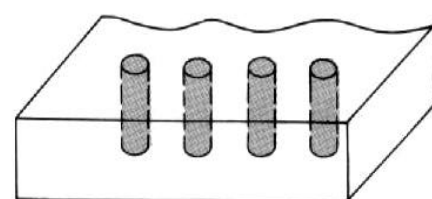
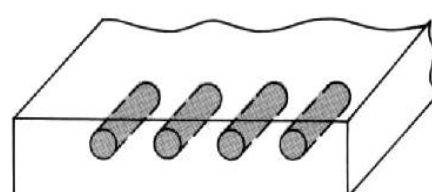
Parametry zbrojenia:



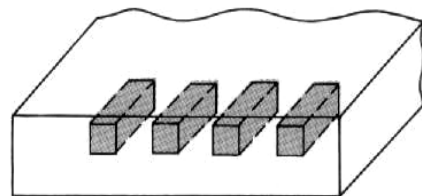
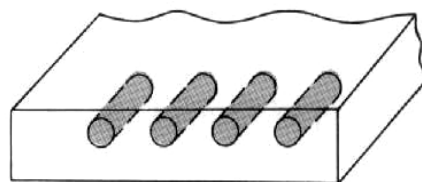
rozkład



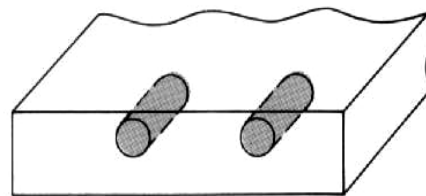
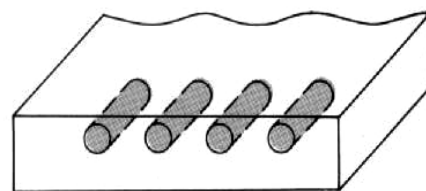
koncentracja



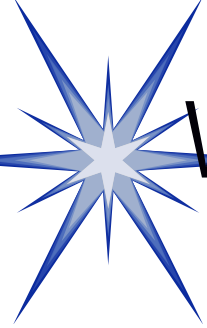
orientacja



kształt



wielkość



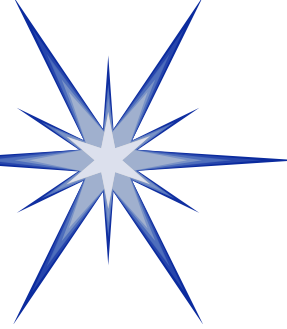
Właściwości kompozytów wzmocnianych cząstkami (dużymi)

Aby osiągnąć optymalne możliwe właściwości:

Cząstki powinny mieć jednakowe rozmiary;

Powinny być równomiernie rozłożone;

Procent objętości zajętej przez zbrojenia zależy od konkretnych potrzeb.



Moduł Younga zależy od zawartości cząstek (p) w matrycy (m)

Rzeczywiste wartości

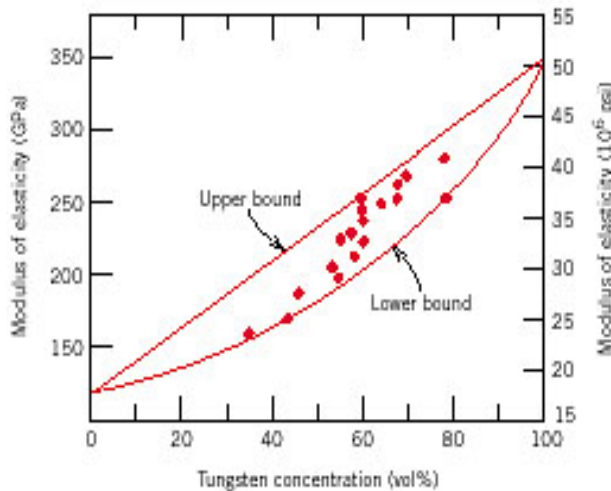
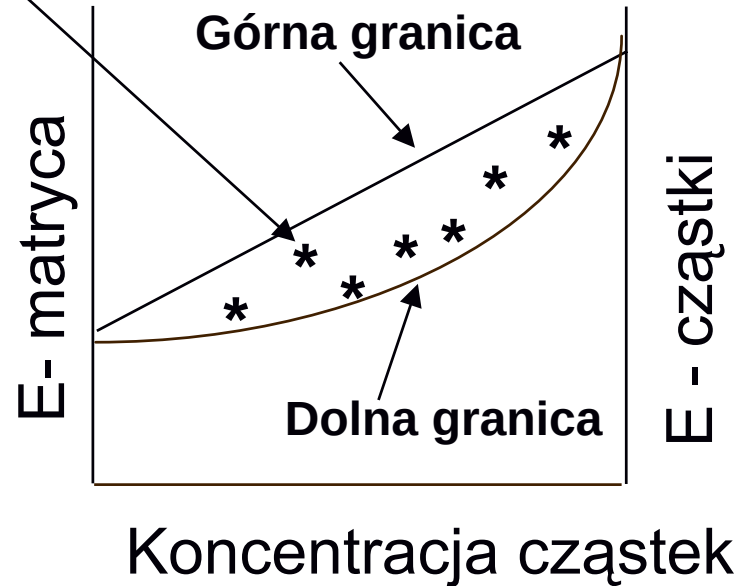
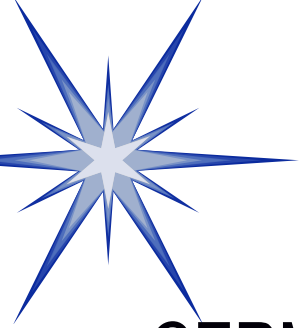


FIGURE 17.3 Modulus of elasticity versus volume percent tungsten for a composite of tungsten particles dispersed within a copper matrix. Upper and lower bounds are according to Equations 17.1 and 17.2; experimental data points are included. (From R. H. Krock, *ASTM Proceedings*, Vol. 63, 1963. Copyright ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103. Reprinted with permission.)





Przykład: cermet

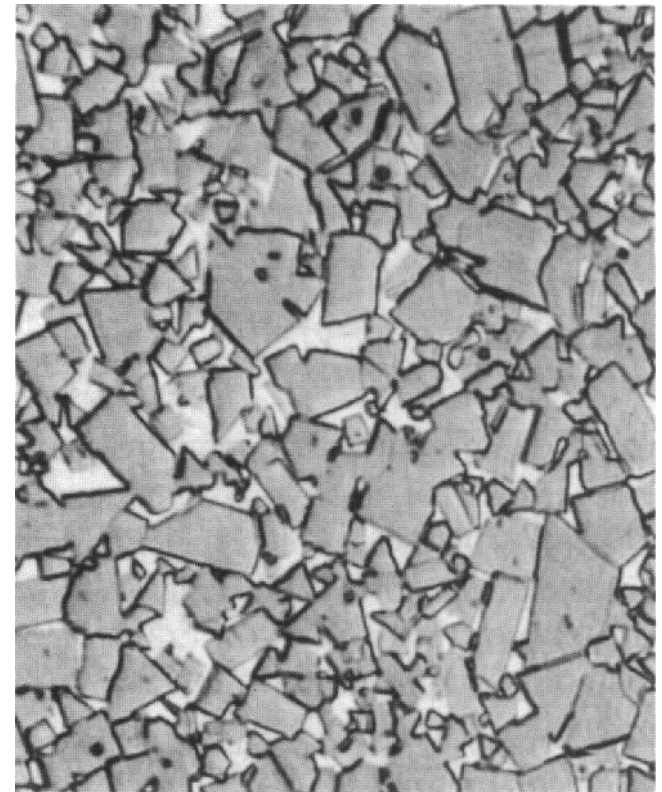
CERMET (kompozyt metalu z ceramiką)

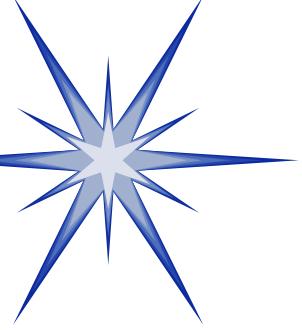
Węglik (WC, TiC) w Cu, Ni, Co lub innym metalu.

Aż do 90% węglików może być rozdyspergowanych w osnowie metalowej!

Jasna faza - matryca (Co)

Ciemna faza - zbrojenie (WC)





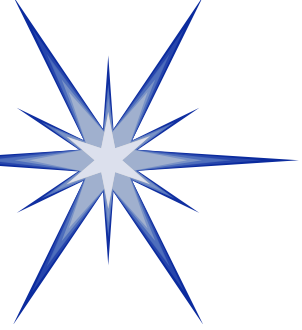
Kompozyty konstrukcyjne

Pojęcie kompozyty konstrukcyjne stosuje się w odniesieniu do kompozycji polimerowych o wysokich parametrach mechanicznych, stosowanych w przemyśle (głównie lotniczym)

Typy

laminaty

kompozyty warstwowe



Laminaty

Wiele dwuwymiarowych warstw, różnie zorientowanych względem siebie.

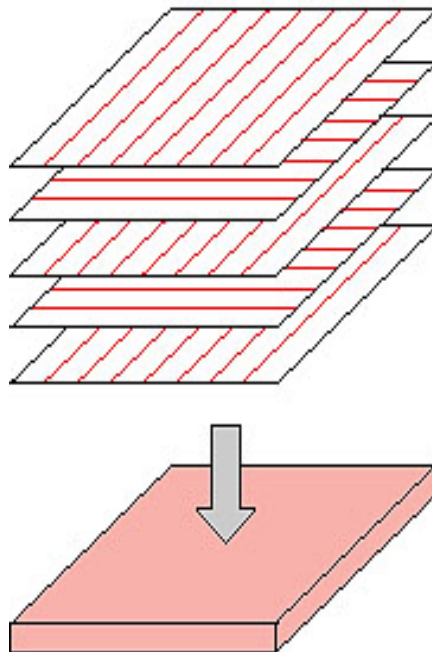
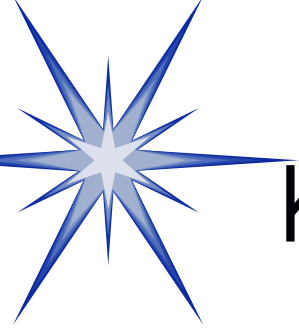


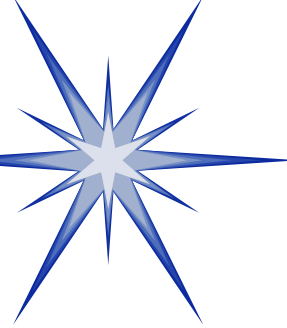
FIGURE 17.16 The stacking of successive oriented, fiber-reinforced layers for a laminar composite.



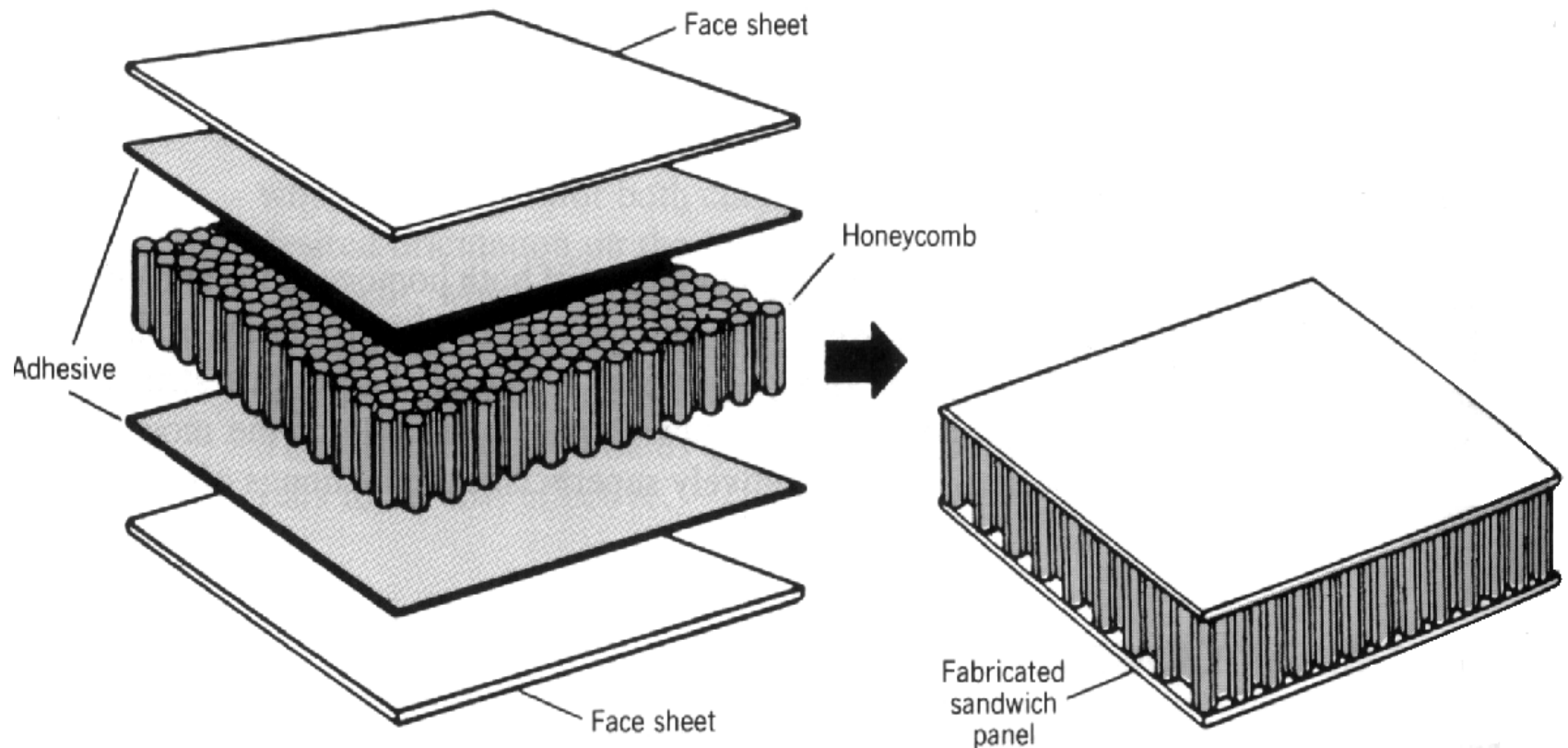
Kompozyty warstwowe (kanapkowe)

Dwie silne warstwy zewnętrzne rozdzielone warstwą słabszego i mniej gęstego materiału (rdzeń). Używa się w konstrukcji dachów, ścian, skrzydeł samolotów.

Rolą rdzenia jest przeciwdziałać deformacjom spowodowanym siłą prostopadłą do powierzchni zewnętrznych. Często rdzeń ma strukturę plastra miodu.



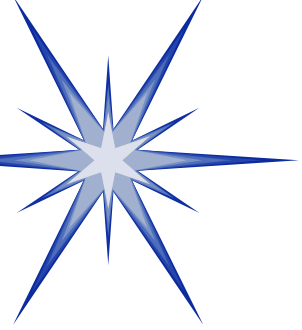
Kompozyty warstwowe (kanapkowe)



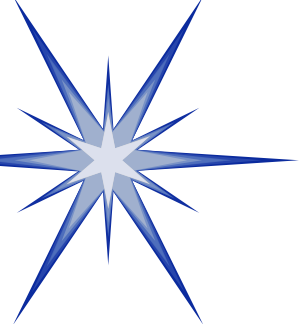


Najbardziej rozpowszechnione kompozyty konstrukcyjne

Najczęściej stosuje się kompozyty o osnowie polimerowej (żywice) wzmacniane włóknami szklanymi, węglowymi lub aramidowymi.



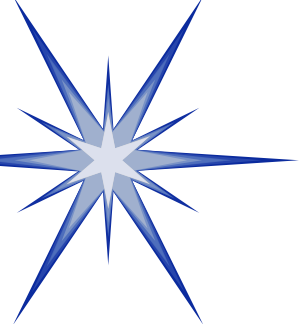
Szkła i kompozyty szklane



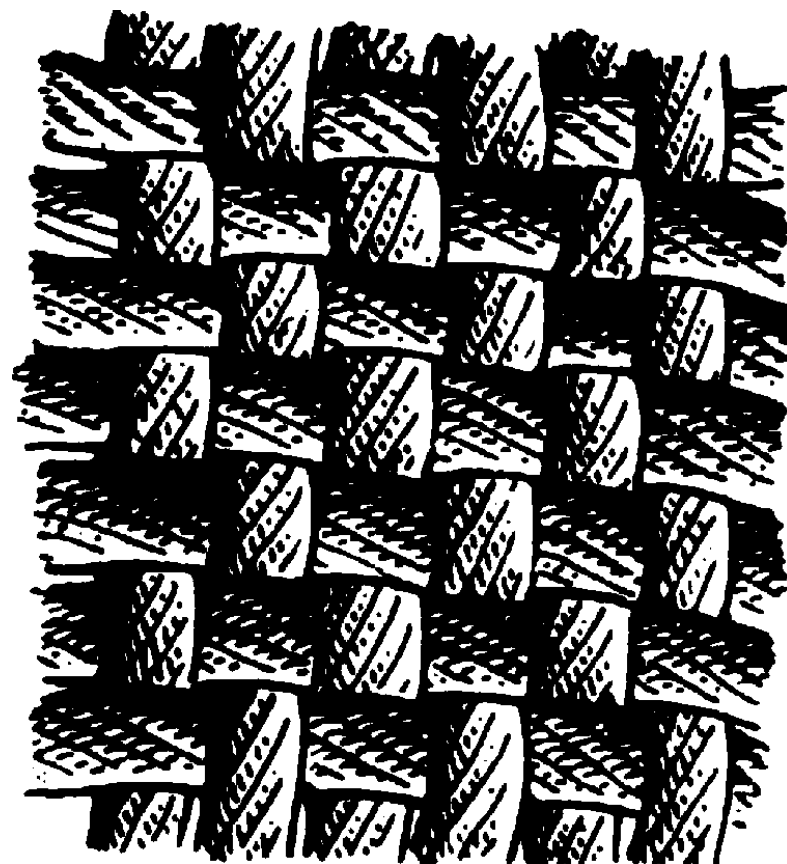
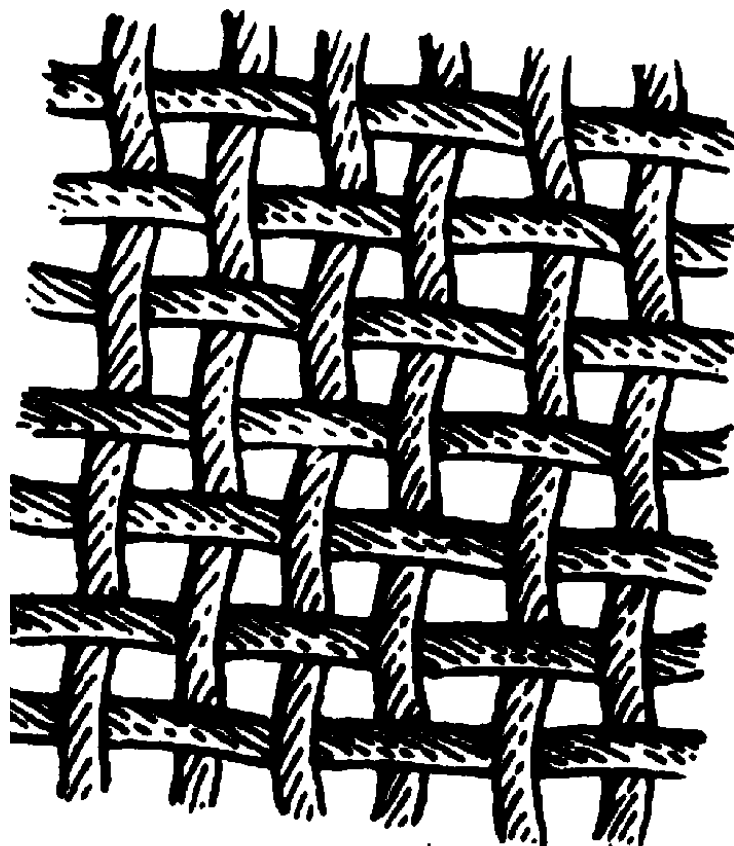
Zbrojenia szklane

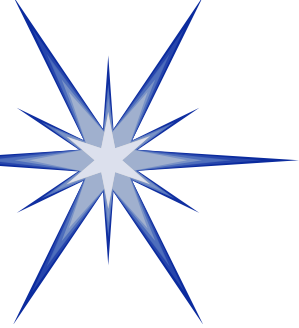
Złożone z polimeru i zbrojenia szklanego;

W zależności od przeznaczenia stosuje się zbrojenie w postaci przeróżnie splatanych tkanin, ciętych włókien, układów przestrzennych i innych.

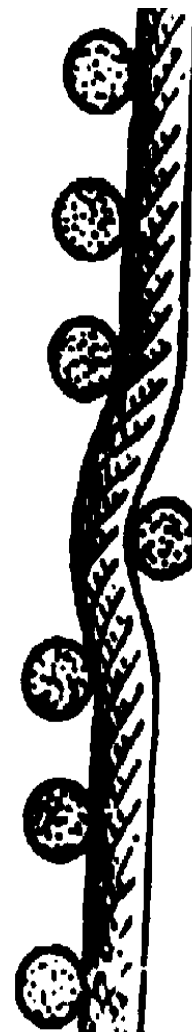
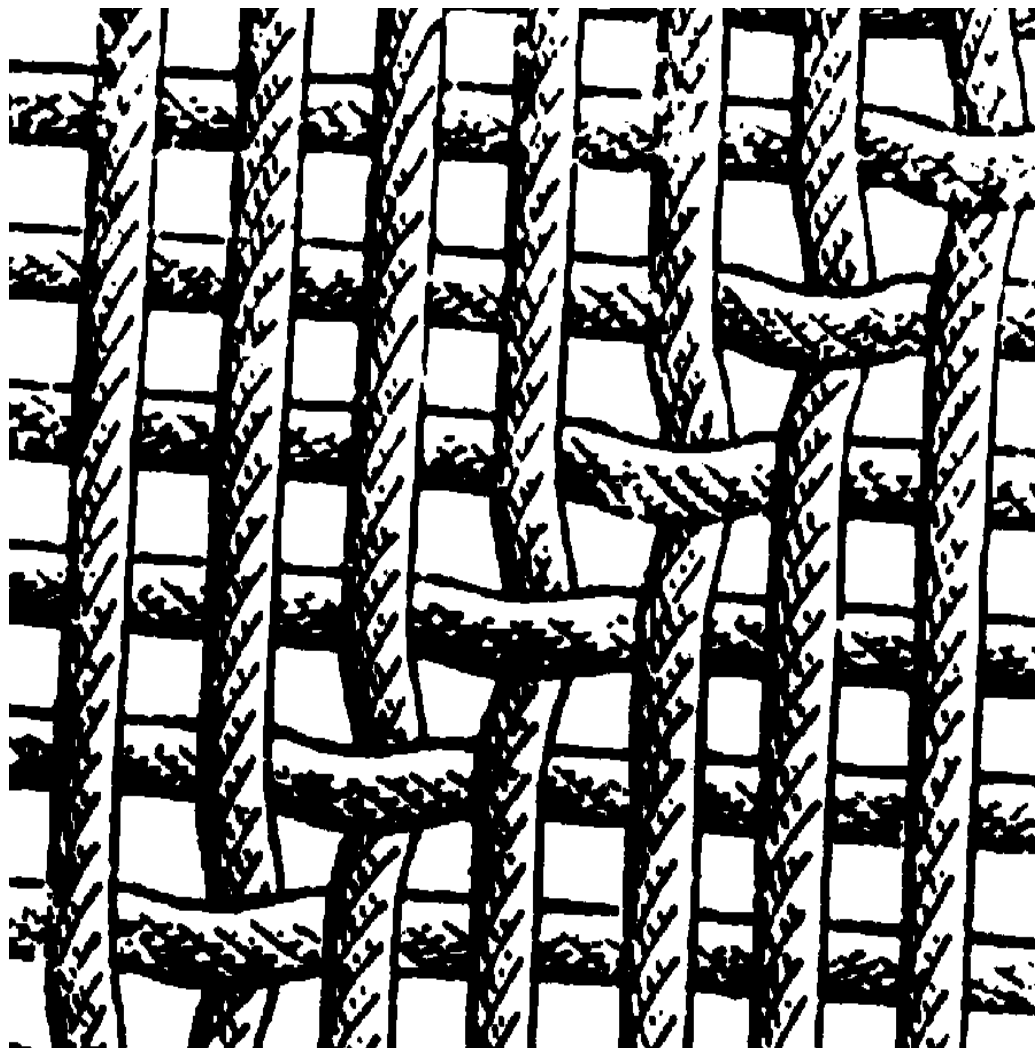


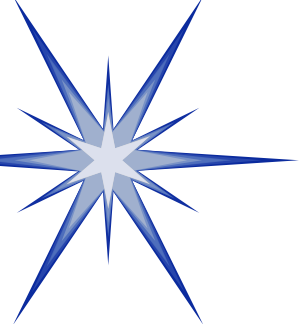
Rodzaje tkanin



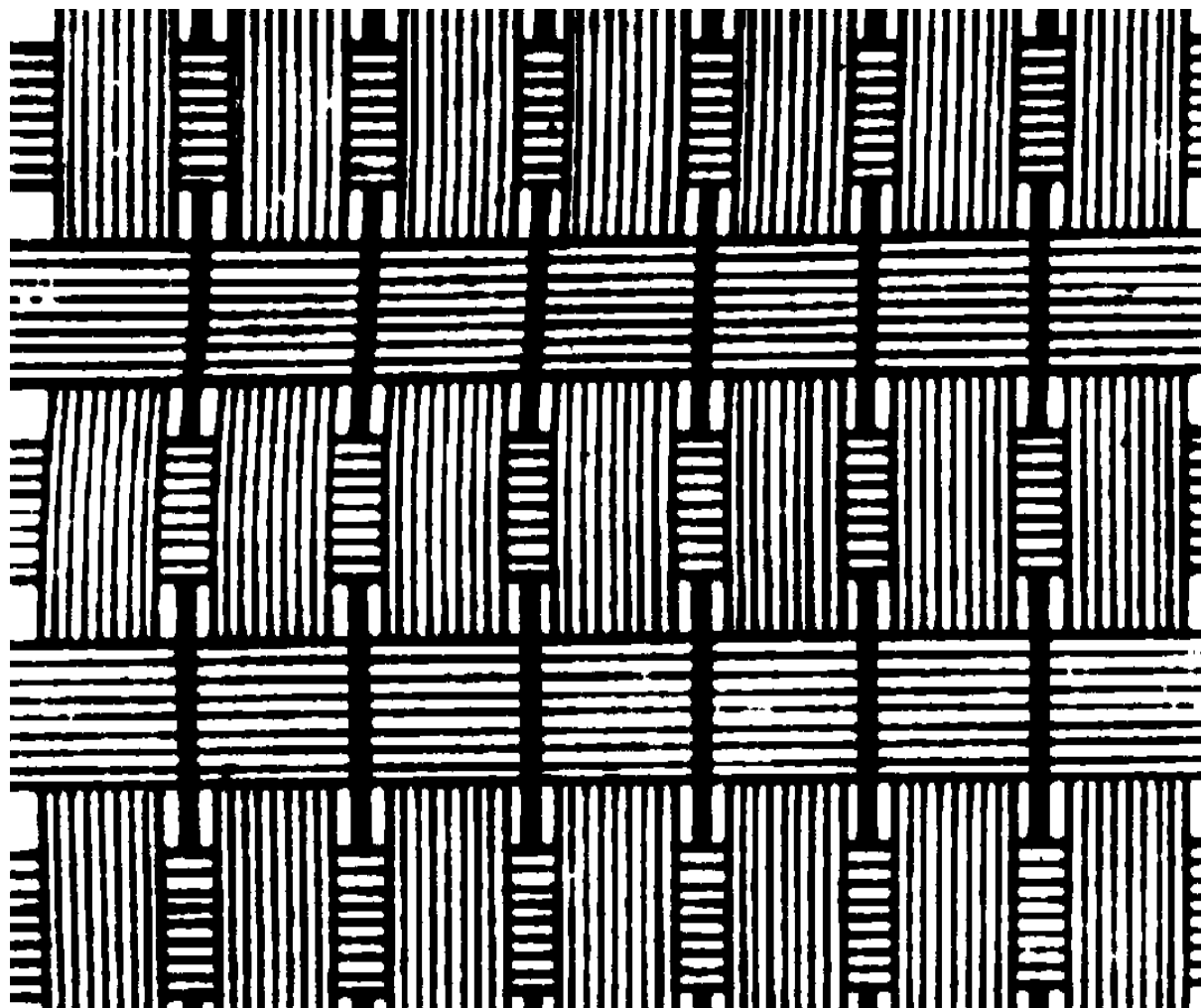
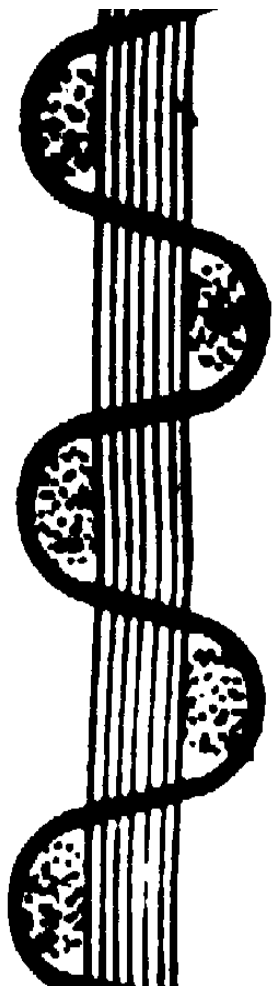


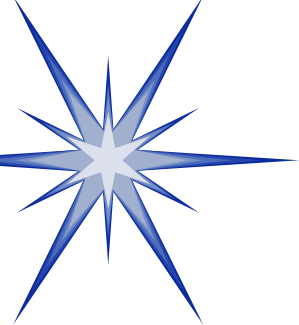
Rodzaje tkanin



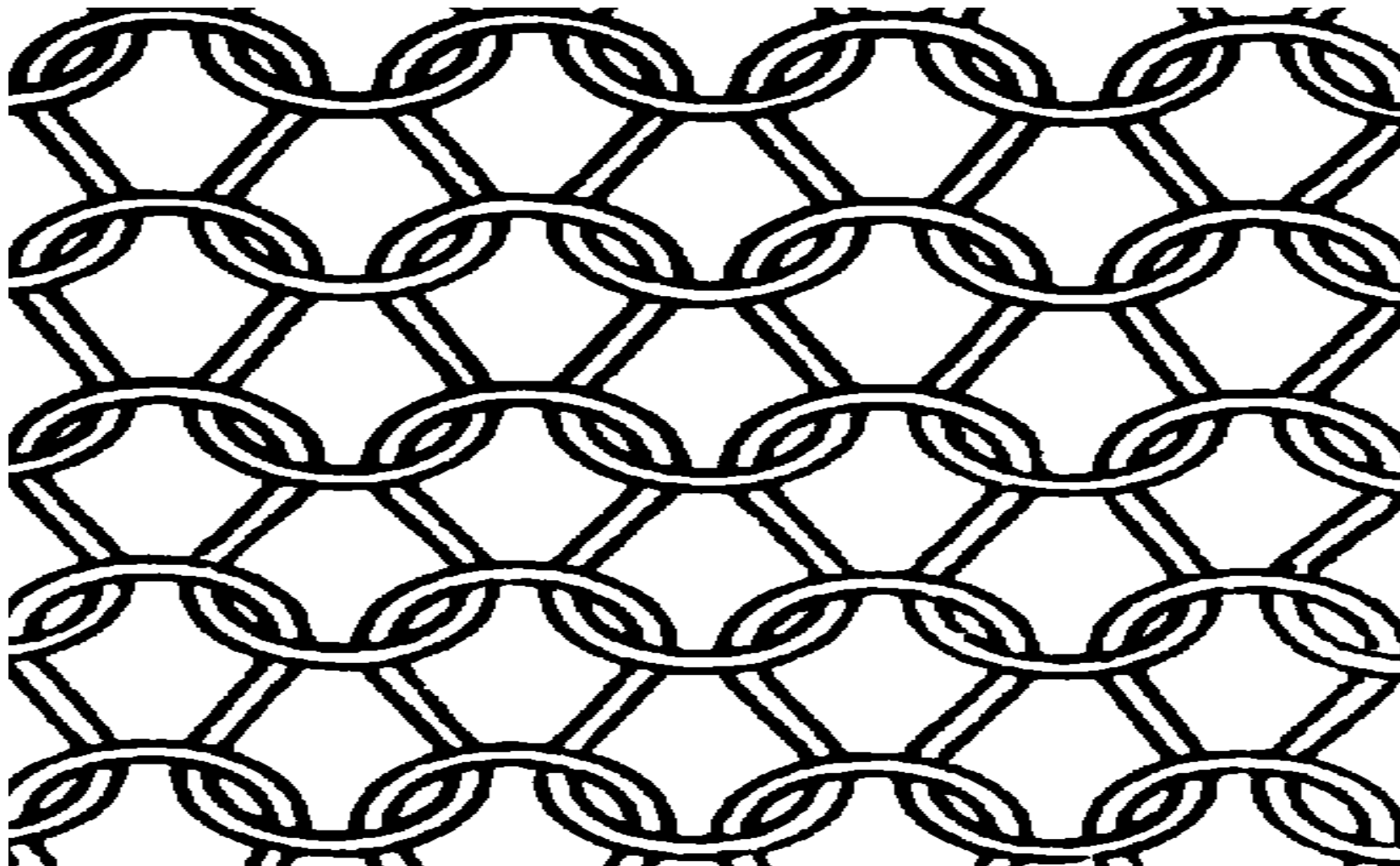


Rodzaje tkanin

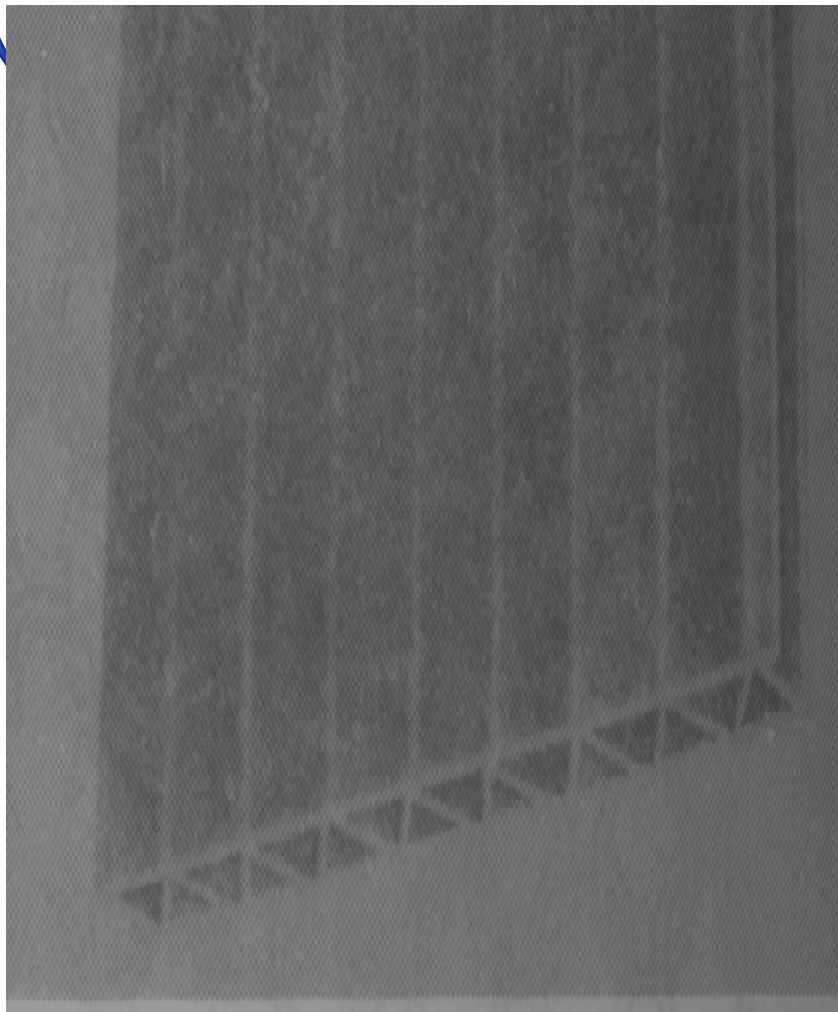
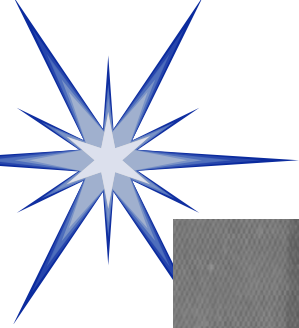


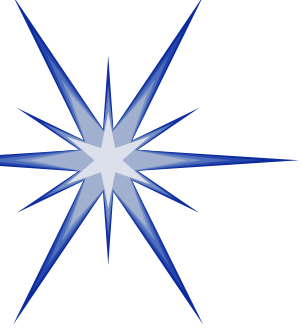


Dzianina szklana



Tkaniny „przestrzenne”





Kompozyty przyszłości

Włókna ceramiczne: monokryształy o średnicy 1 μm . Niezwykle duża wytrzymałość na rozciąganie do 20000 MPa. Moduł Younga do 700 GPa. Wytrzymałość względna do 9.09, dla Kevlaru 2.1, dla włókien węglowych 1.2, dla szkła 1, dla stali 0.5.

Stosowane w przemyśle kosmicznym, nadal

W fazie testów.