



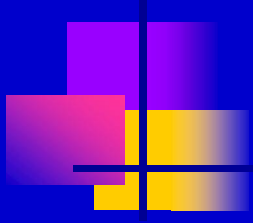
# MATERIAŁY WĘGLOWE

---



# Główne zastosowania

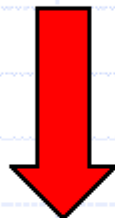
- Materiały porowate: konstrukcyjne, izolacyjne
- Włókna węglowe do zbrojenia lamintów (kompozytów) oraz rzadziej osnowa w kompozytach
- Materiały biomedyczne
- Materiały izolacyjne i chemoodporne
- Materiały specjalne (nanomateriały)



- **Materiały nieorganiczne można otrzymywać drogą pirolizy (termicznej przebudowy) materiałów organicznych**
- **Procesy takie mogą prowadzić do otrzymywania materiałów o zmiennej budowie od form bezpostaciowych do krystalicznych**
- **Przykładem takich tworzyw są materiały węglowe**

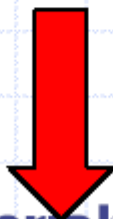
## Otrzymywanie tworzyw węglowych

**Materiał organiczny  
(prekursor)**  
pak, żywice, polimery usieciowane



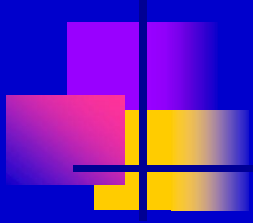
piroliza,  
karbonizacja do 1200°C

**Materiały węglowe  
(częściowo bezpostaciowe)**



grafityzacja, 2000°C

**Materiały grafitowe  
(wysoki stopień krystaliczności)**

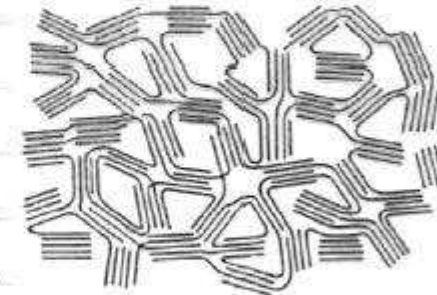


- **Krystalizacja materiałów węglowych w formy krystaliczne, grafitowe wymaga wysokich temperatur w zakresie 2000 – 3000°C**
- **Materiały otrzymywane ze związków organicznych w niższych temperaturach mają budowę pośrednią, związaną ze strukturą wyjściowego prekursora**

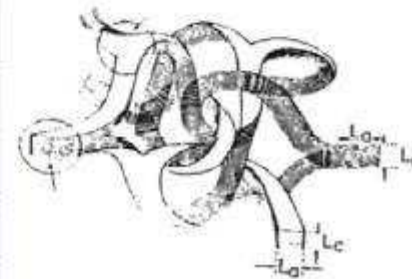
Sadza -karbonizacja metanu lub olei



Węgiel pirolityczny

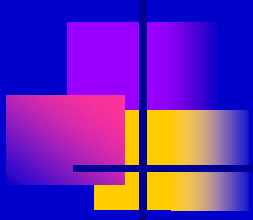


Węgiel szklisty



# Materiały porowate konstrukcyjne

- Wyjściowe materiały węglowe mają porowatą strukturę – pory zajmują od 10–30 % objętości. Wypełnia się je impregnatami, którymi mogą być:
  - żywice syntetyczne
  - metale- np. antymon
- Impregnaty, oprócz funkcji uszczelniania struktury, powodują polepszenie własności wytrzymałościowych, odporności na ścieranie. Jednocześnie impregnaty determinują temperaturę zastosowania, dlatego do pracy w wysokich temperaturach stosuje się tworzywa nieimpregnowane, o większej zawartości grafitu.
- Ze względu na własności fizyczne wśród tworzyw węglowo-grafitowych rozróżnia się:
  - twarde materiały węglowo-grafitowe
  - elektrografity





Właściwości	Tworzywa węglowo-grafitowe		
	Impregn. żywicą	Impregn. antymonem	Bez impregnacji
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	1.82	2.25	1.68
Twardość	110 HRB	115 HRB	95 HRB
Wytrzymałość na zginanie [Mpa]	75	95	35
Wytrzymałość na ściskanie [Mpa]	200	260	100
Moduł Younga E [GPa]	27	30	9
Współcz. liniowej rozszerzaln. cieplnej $\alpha$ [10 <sup>-6</sup> /K]	5.0	4.0	3.7
Współcz. przewodzenia ciepła $\lambda$ [W/mK]	14	20	25
Odporność na szoki termiczne [°C]	200	250	250
Odporność temperaturowa w atm. utleniającej [°C]	200	400	500
Odporność temperaturowa w atm. redukującej [°C]	200	550	2500

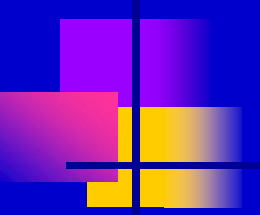


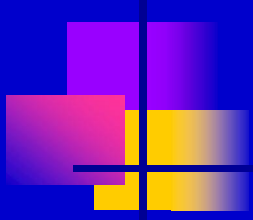
# Materiały węglowe izolacyjne i chemoodporne

---

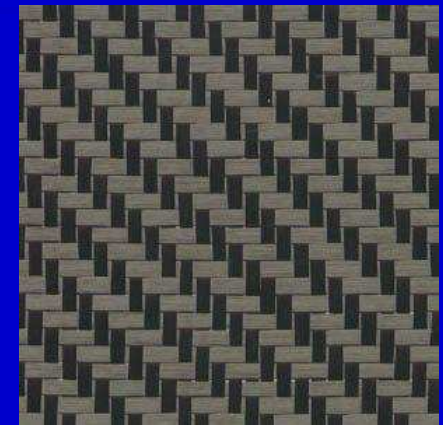
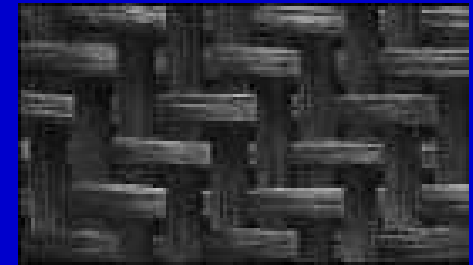
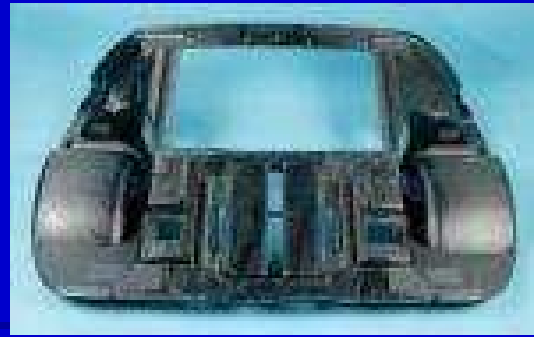
- Płytki węglowe (Apollo)
- Materiały porowate (odpowiednik wełny mineralnej)
- Wykładziny i płytki chemoodporne

# Włókna węglowe w kompozytach

- 
- Pierwsze włókna węglowe wytwarzano przez tzw. karbonizację włókien nitrocelulozowych. Obecnie materiałem wyjściowym są rozmaite włókna organiczne, jak np. lignina czy sztuczny jedwab, ale najlepsze własności wykazują włókna węglowe wyprodukowane z wysokiej jakości włókien poliakrylonitrylowych (PAN), znanych w kraju pod nazwą „anilany”.
  - Włókna węglowe wykazują bardzo słabą zdolność do wiązania się z osnową polimerową, ponieważ są źle zwilżalne przez żywice. W celu polepszenia tej cechy, przed zalaniem żywicą powierzchnię włókna poddaje się utlenianiu. Jeśli po utlenieniu powierzchni włókno ma być przechowywane przez pewien czas, należy pokryć je odpowiednią preparacją zabezpieczającą jego powierzchnię przed pochłanianiem wilgoci, a także zmniejszającą podatność włókna na pękanie w czasie wytwarzania kompozytu lub w czasie pracy.

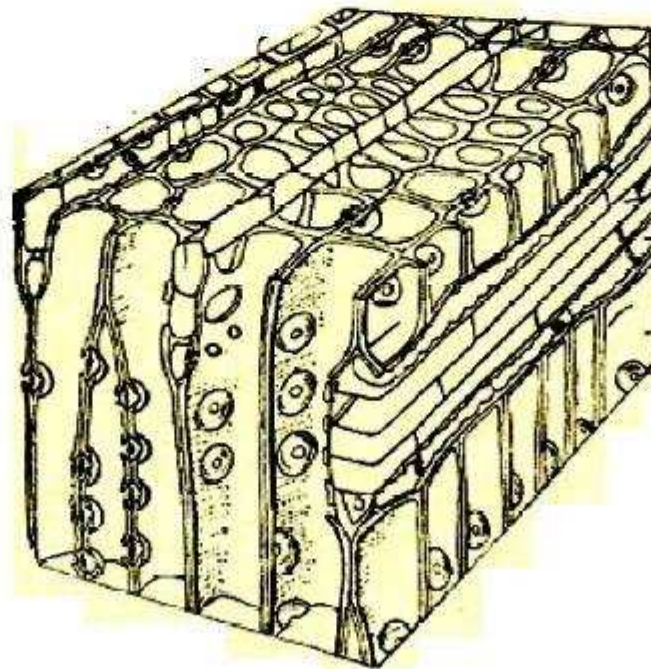


- Włókna węglowe cechują małą gęstość, wysoka wytrzymałość na rozciąganie i wysoki moduł Younga, wysoką wytrzymałość zmęczeniową oraz wytrzymałość na pełzanie, dobrze tłumią drgania i są bardzo odporne na ścieranie, mają również dużą stabilność wymiarową, małą przewodność cieplną w niskich temperaturach, są odporne na nagłe zmiany temperatury, na działanie wielu ośrodków chemicznych, charakteryzują się dobrą przewodnością elektryczną itd.
- Kompozyty zbrojone włóknem węglowym znajdują szerokie zastosowanie w budowie samolotów i śmigłowców, na odpowiedzialne części, np. elementy kadłuba, pokrycia skrzydła, lotki, klapy, stery, łopaty wirnika, osłony przyrządów, elementy tapicerki i in.



**Materiały biomimetyczne** – tworzywa otrzymane przez przekształcenie z materiałów organicznych bez zniszczenia struktury i mikrostruktury

Wycinek drewna sosny



cewka

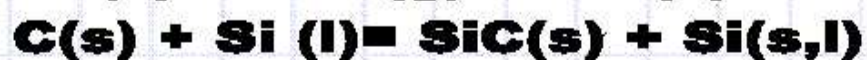
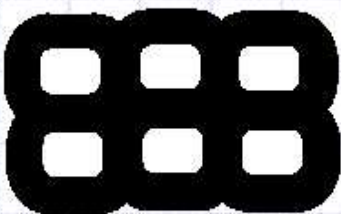


Drewno

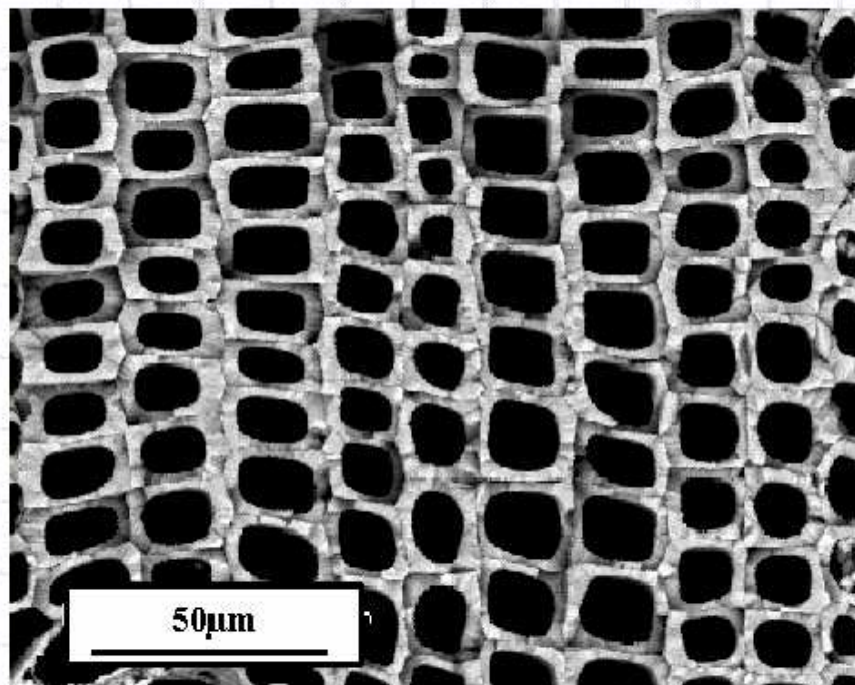
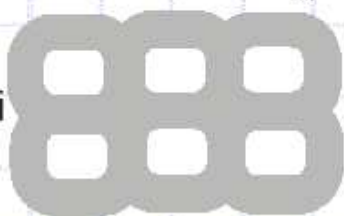


Dehydratacja  
+ piroliza

Węgiel



SiC lub SiC + Si



Biomimetyczny filtr z SiC

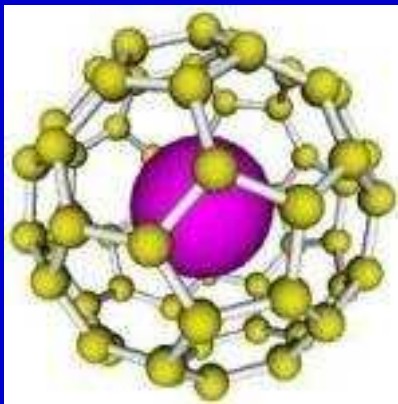
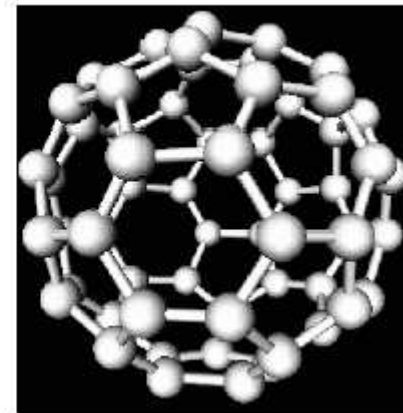
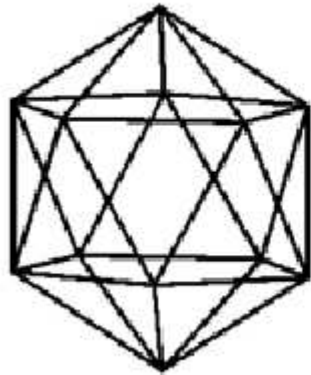
# Materiały biomedyczne

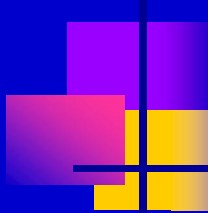
- Dobra biogodność w środowisku tkanek.
- Obojętność elektryczna warunkująca dobrą hemozgodność.
- Dobre własności fizykochemiczne.
- Odporność na działanie promieniowania jonizującego i niejonizującego.
  
- Biomateriały węglowe jako materiały funkcjonalne można podzielić na:
  - Warstwy węglowe.
  - Materiały kompozytowe.
  
- Implanty węglowe stosowane są głównie na protezy ścięgien oraz więzadeł, elementy zespälające kości.



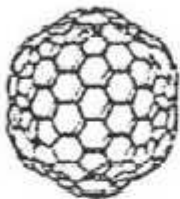


# Fulereny

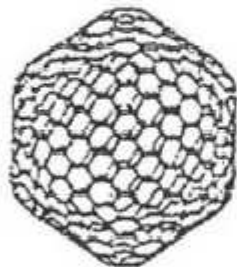
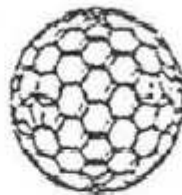




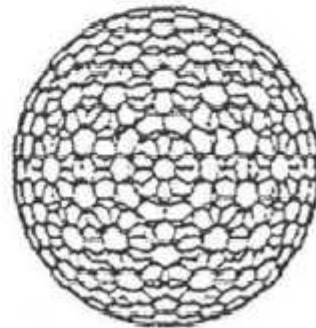
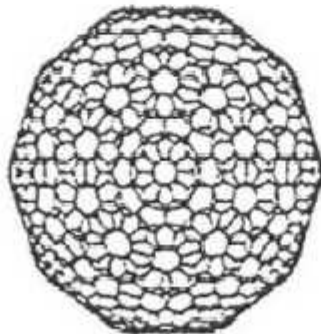
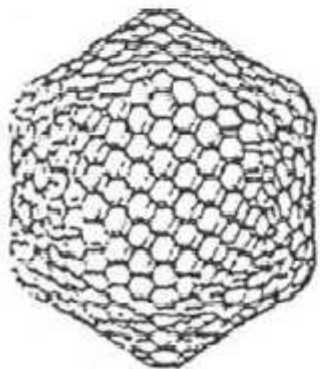
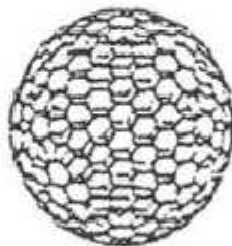
C<sub>180</sub>



C<sub>240</sub>



C<sub>540</sub>



C<sub>960</sub>



# Nanorurki węglowe

- **Nanorurki jednowarstwowe** (SWNT) – zbudowane z jednej warstwy atomów, zwiniętej w rurkę o średnicy rzędu nanometra. W przeciwieństwie do nanorurek wielowarstwowych wykazują bardzo przydatne własności elektryczne, dzięki czemu są rozważane jako główny kandydat do tworzenia przyszłych układów elektronicznych.
- **Nanorurki wielowarstwowe** (MWNT) - zbudowane z wielu warstw atomów, ułożonych w odstępach podobnie jak w graficie. Ich własności zależą od liczby warstw. Nanorurki dwuwarstwowe (DWNT) są szczególnie interesujące ponieważ zachowują przydatne własności jednowarstwowych, a jednocześnie są od nich znacznie odporniejsze chemicznie.
- **Fuleryty** – materiały uzyskiwane przez sprasowanie nanorurek w wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Część nanorurek łączy się wtedy ze sobą za pomocą wiązań  $sp^3$ . Uzyskany w ten sposób materiał może przewyższać twardością diament, a jednocześnie nie ma struktury krystalicznej i dzięki temu nie jest kruchy.
- **Nanotorusy** - nanorurki zwinięte w kształt **torusa**. Nanotorusy są badane ze względu na zaskakujące własności magnetyczne.



## ■ **Własności mechaniczne**

- Nanorurki są jednymi z najwytrzymalszych i najsztwniejszych znanych materiałów. Wytrzymałość na rozciąganie nanorurek wielowarstwowych sięga 63 GPa. Dla porównania hartowana stal osiąga wytrzymałość rzędu 1,2 GPa. W połączeniu z niewielką gęstością rzędu 1,3-1,4 g/cm<sup>3</sup> daje to najlepszy rezultat spośród znanych ludzkości materiałów.
- Nanorurki nie są natomiast wytrzymałe na zgniatanie. Z powodu elastyczności i pustej struktury łatwo wyginają się i odkształcają pod wpływem sił ściskających lub zginających.

## ■ **Własności kinetyczne**

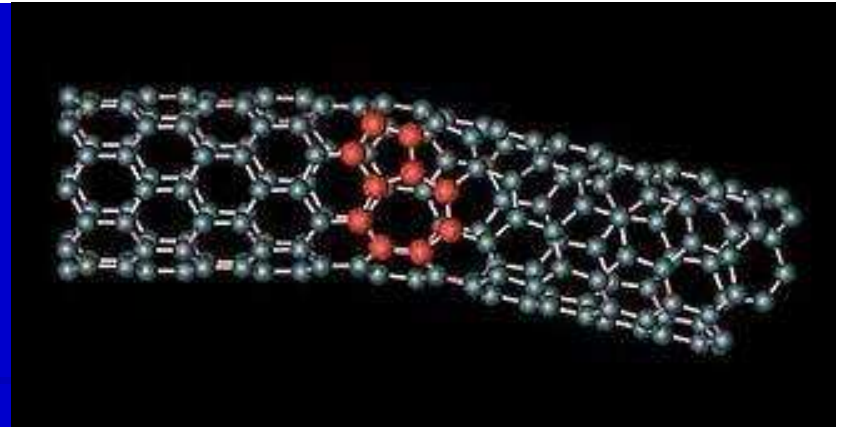
- W nanorurkach wielowarstwowych, wewnątrz warstwy mogą ślizgać się prawie bez tarcia wewnątrz zewnętrznych, tworząc idealne atomowe łożyska. Własności te wykorzystano do konstrukcji pierwszych prostych molekularnych mechanizmów: nanorotorów i nanopotencjometrów.

## ■ **Własności elektryczne**

- Nanorurki mogą być dobrymi przewodnikami lub półprzewodnikami. W teorii nanorurki mogą przewodzić prąd o 1000-krotnie większym natężeniu niż przewody metalowe o analogicznej masie. Dzięki zastosowaniu nanorurek udało się stworzenie tranzystora, który do zmiany stanu (włączony/wyłączony) potrzebuje zaledwie jednego elektronu.

## ■ **Własności cieplne**

- Wszystkie nanorurki znakomicie przewodzą ciepło wzdłuż swojej struktury, natomiast bardzo słabo przewodzą ciepło w poprzek. Przewiduje się że nanorurki węglowe mogą przewodzić do 6000 W/m•K w temperaturze pokojowej. Dla porównania miedź, uznawana za znakomity przewodnik ciepła przewodzi 385 W/m•K. Nanorurki wytrzymują temperatury do 2800 stopni w próżni i do około 750 stopni w powietrzu.



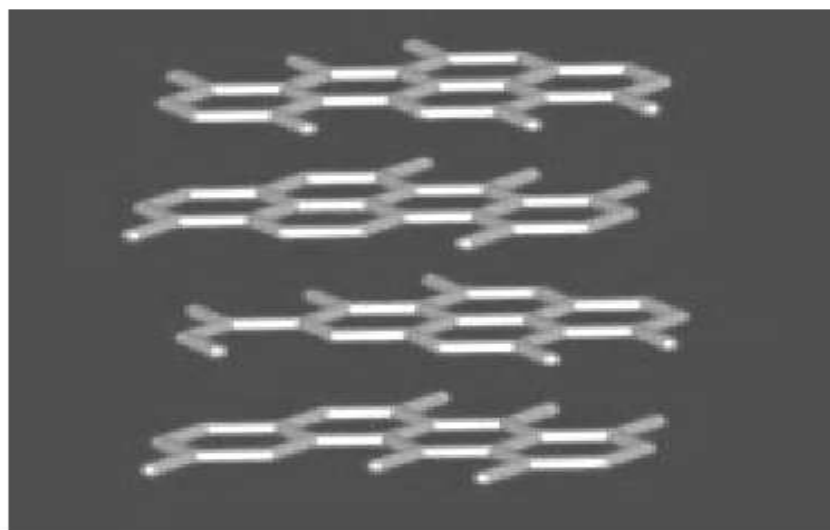
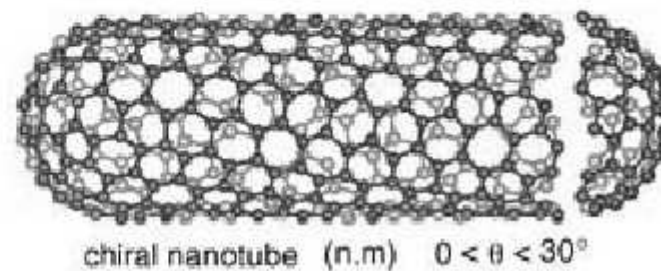
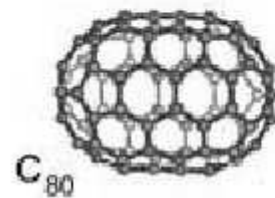
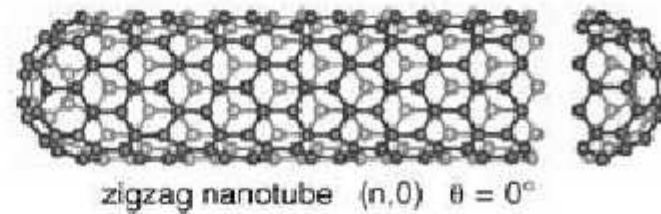
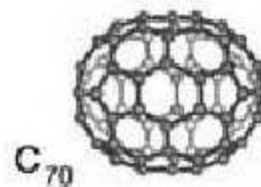
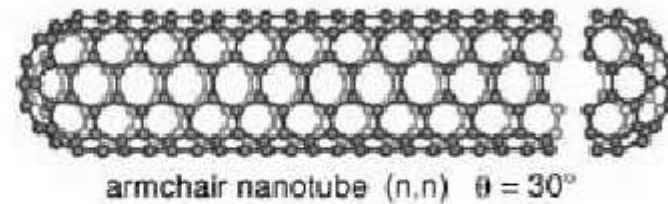
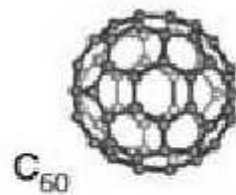
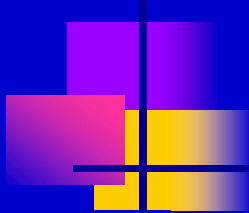
## ■ **Konstrukcje**

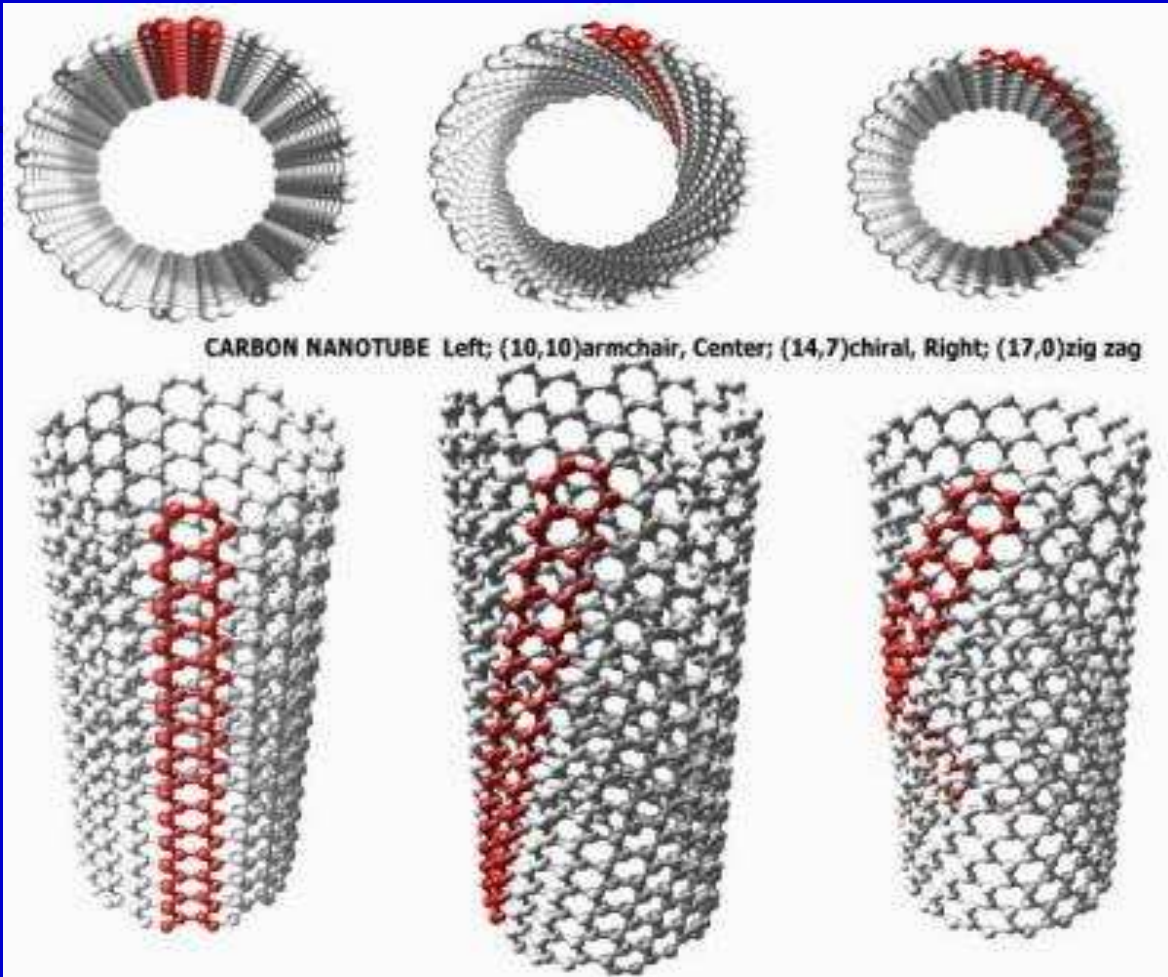
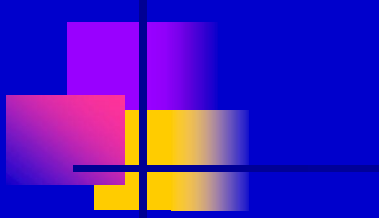
- Choć włókna utworzone z nanorurek mogą nie mieć aż tak dobrych parametrów jak pojedyncze nanorurki, wciąż mogą znacznie przewyższać współcześnie używane materiały. Obecnie pierwsze takie materiały zostały już wytworzone. Na Tour de France 2006 Floyd Landis korzystał z roweru którego konstrukcję wzmocniono nanorurkami. Pozwoliło to zmniejszyć masę ramy roweru do jednego kilograma.

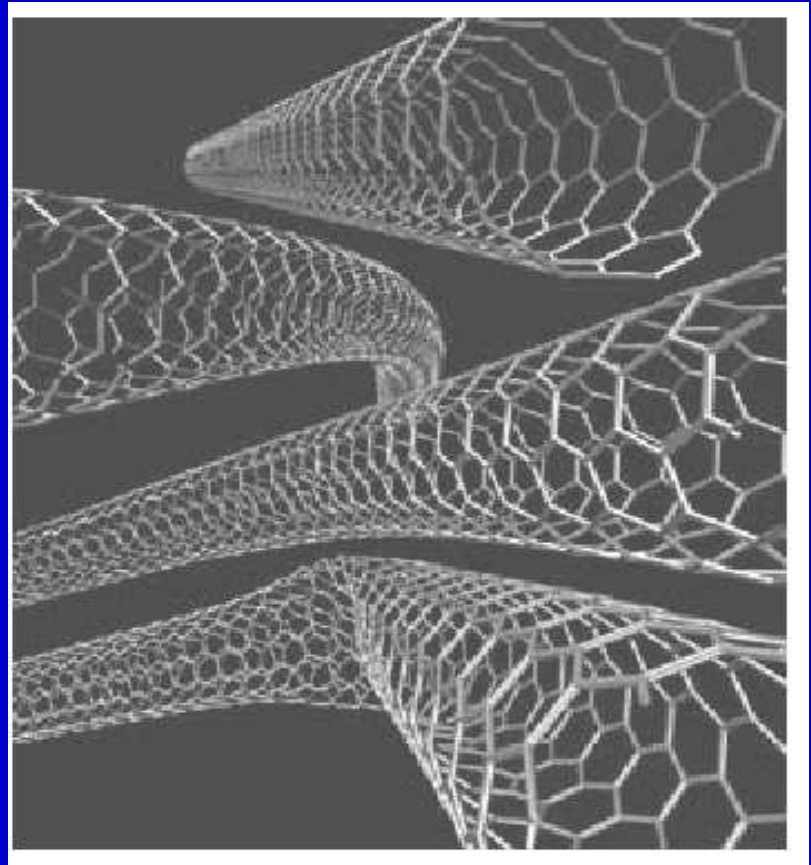
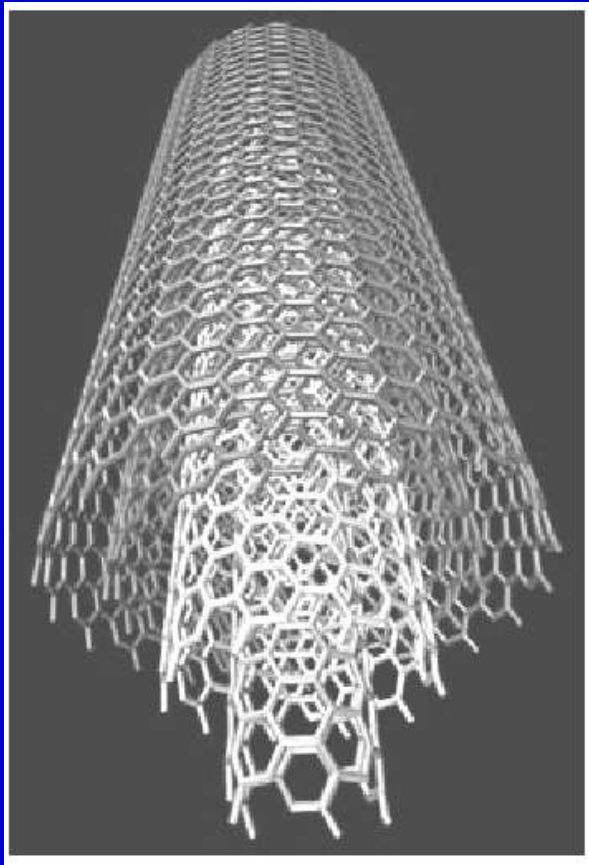
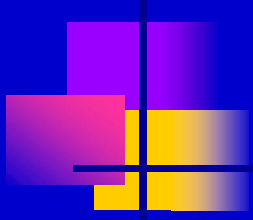
## ■ **Układy elektroniczne**

- Jedną z głównych przeszkód przed budowaniem większych układów był brak technologii do tworzenia nanorurek w wystarczających ilościach. W 2001 roku IBM zademonstrował metodę wytwarzania tranzystorów na masową skalę, w procesie nazwanym "konstruktywną destrukcją". Metoda ta umożliwiła stworzenie układu zawierającego ponad miliard właściwie ułożonych złącz z nanorurek. Niewłaściwe łącza można było usunąć korzystając ze standardowej litografii. W 2004 roku uzyskano pierwszy układ pamięci oparty o nanorurki.

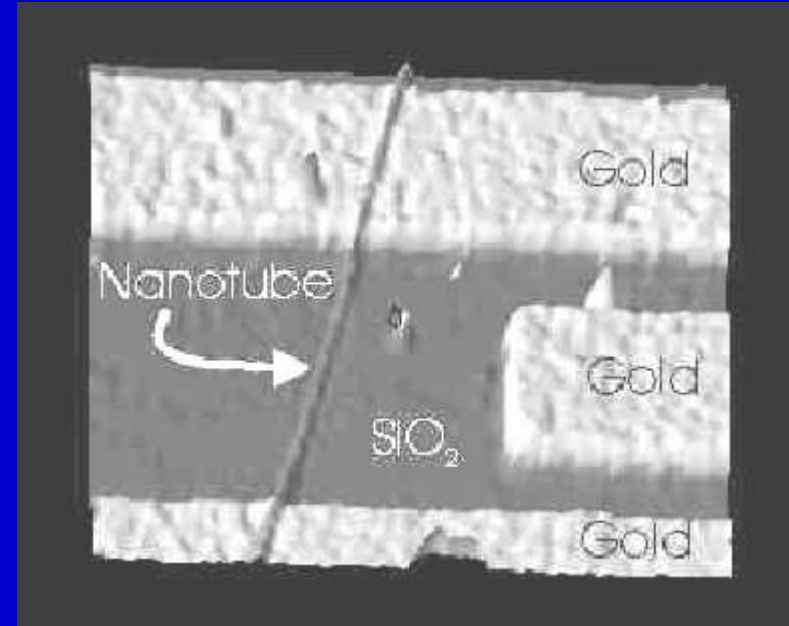
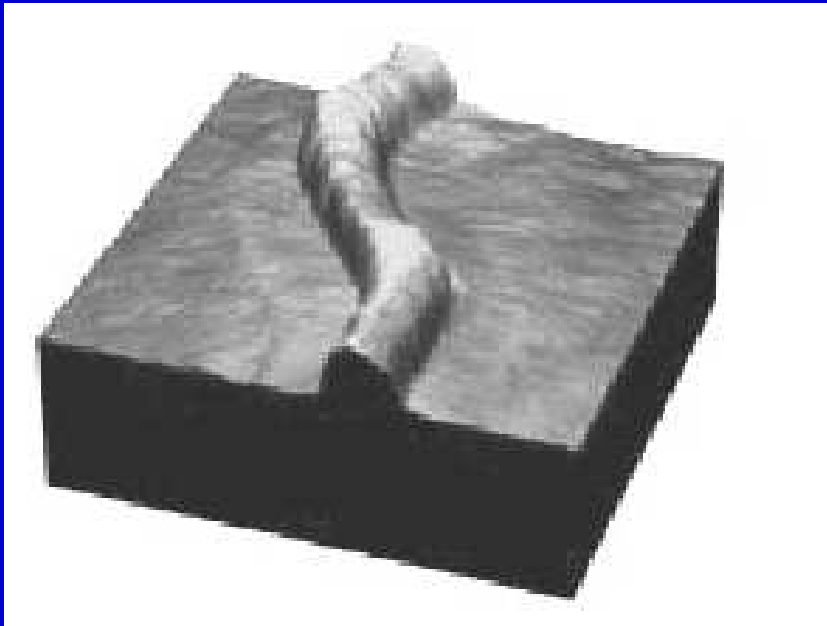
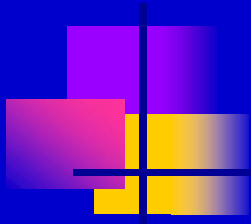


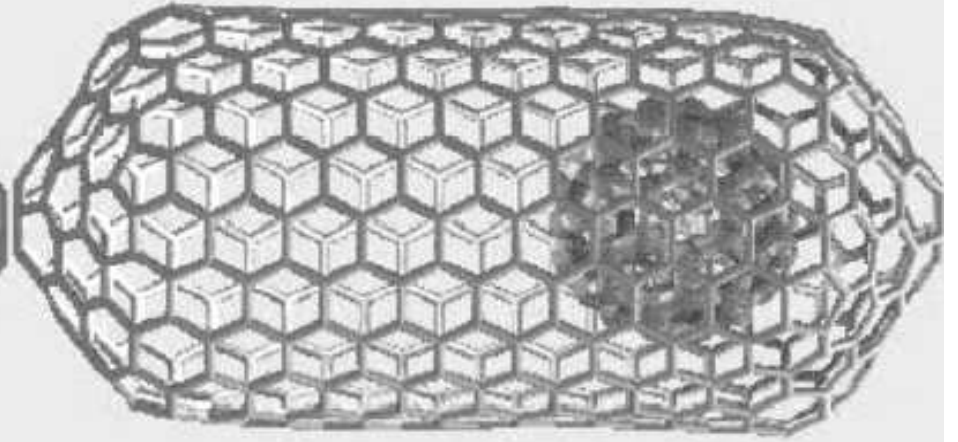
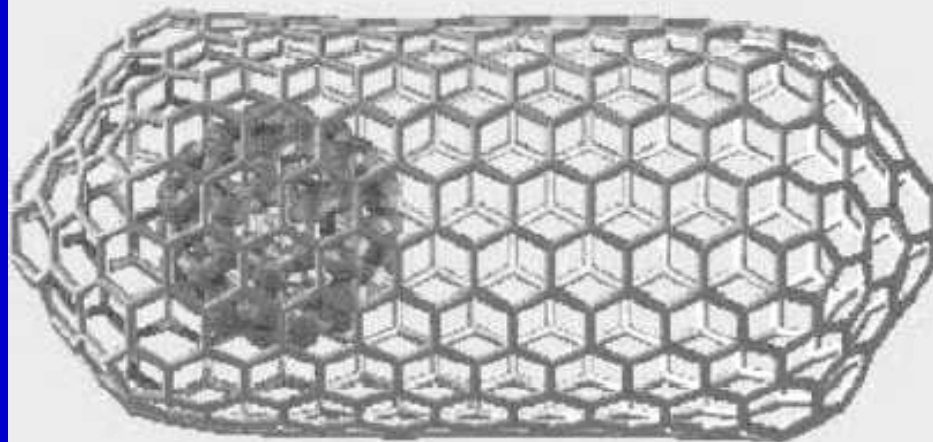
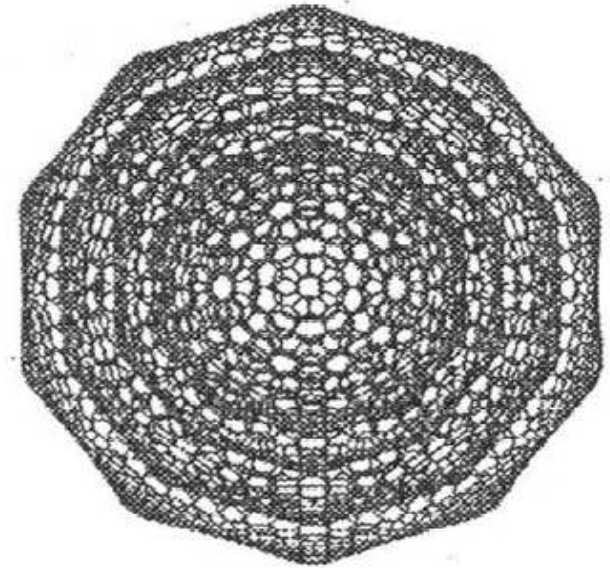
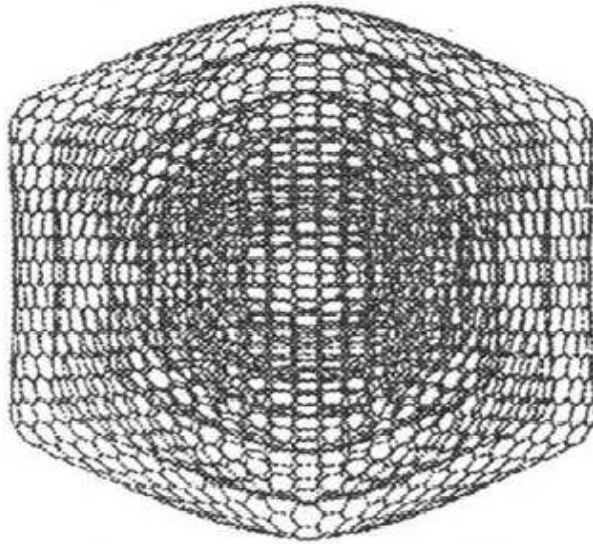
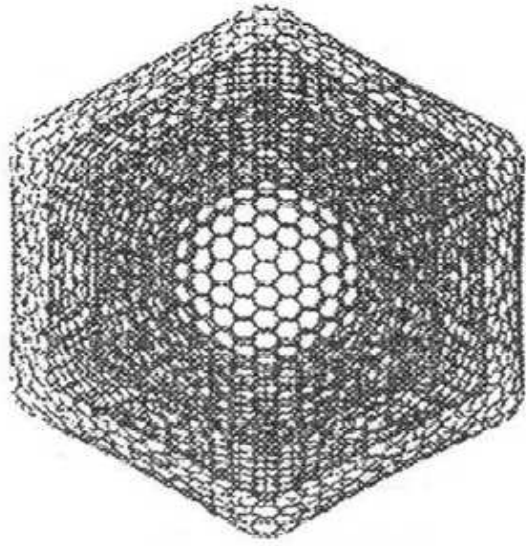


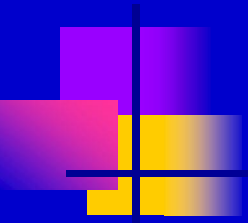










- 
- Ułożenie względem siebie nanorurek węglowych

