



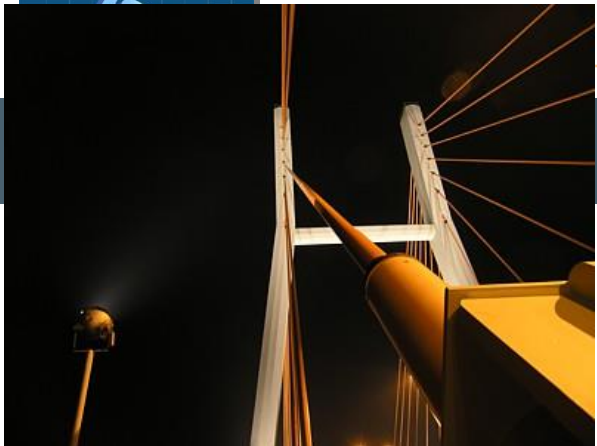
# Modelowanie Dyskretne

Wstęp i motywacja

Prof. dr hab. inż. **Łukasz Madej**  
Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania  
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Budynek B5  
p. 716  
[lmadej@agh.edu.pl](mailto:lmadej@agh.edu.pl)  
[home.agh.edu.pl/~lmadej](http://home.agh.edu.pl/~lmadej)







**Metale**

**Kompozyty**

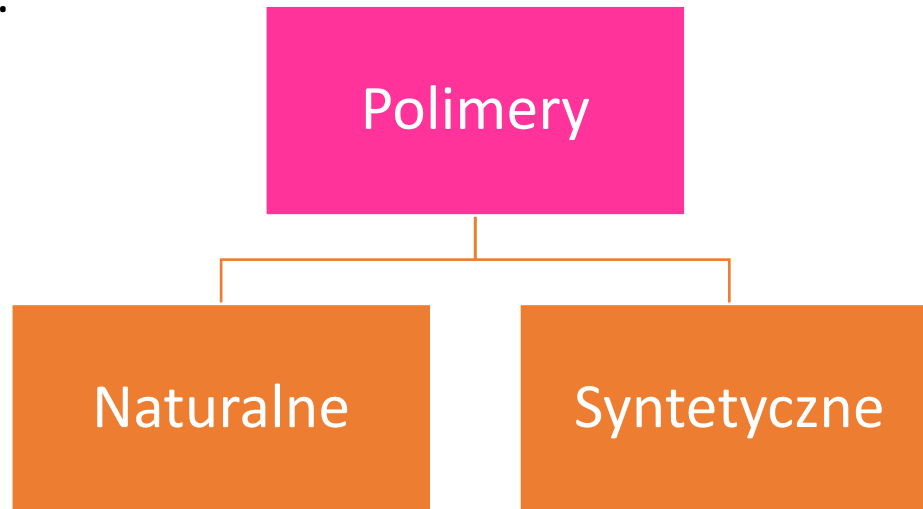
**Ceramika**

**Polimery**





**Polimery** - substancje chemiczne, materiały organiczne tworzone przez C, H i inne pierwiastki niemetaliczne. Zbudowane są z cząsteczek o długich łańcuchach utworzonych z merów.



Polimery naturalne są jednym z podstawowych budulców organizmów żywych.

Polimery syntetyczne są podstawowym budulcem tworzyw sztucznych, a także wielu innych powszechnie wykorzystywanych produktów chemicznych takich jak: farby, lakiery, oleje przemysłowe, środki smarujące, kleje itp.





## Właściwości:

- dobra odporność na korozję,
- mała przewodność cieplna
- i elektryczna,
- mała gęstość,
- możliwe własności termoplastyczne



## Wybrane polimery

- polietylen (PE) – folie,
- polipropylen (PP) – wykładziny, rury, pojemniki, zabawki
- polistyren (PS) – tworzywo konstrukcyjne, kruche ale wytrzymałe na zgniatanie
- poli(tereftalan etylenu) – (PET) – plastikowe butelki,
- poli(chlorek winylu) (PCW, PVC) - panele podłogowe, rurki i węże, składnik klejów i lakierów
- nylon – liny i sztuczne włókna
- kauczuk syntetyczny – cała grupa polimerów o własnościach elastycznych
- polilaktyd (PLA) – biodegradowalny - medycyna, druk 3D, produkty jednorazowe.





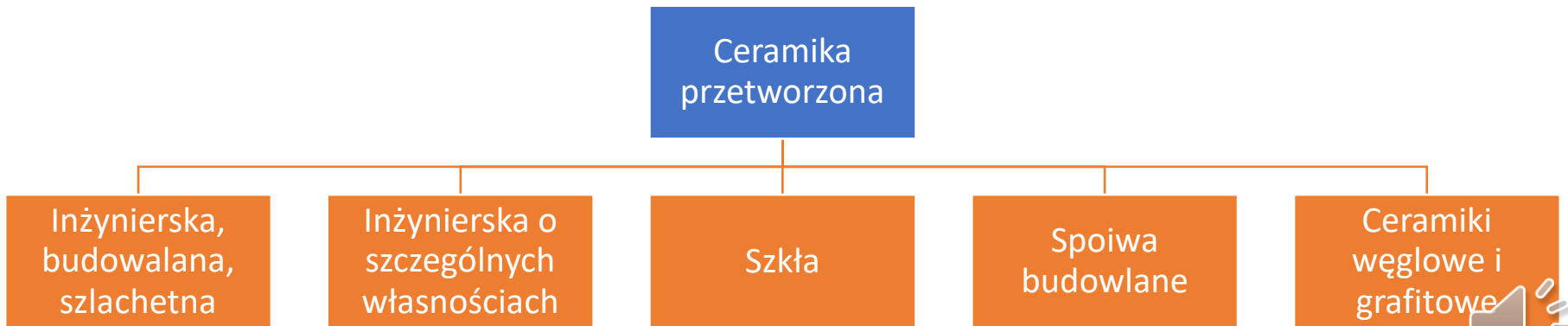


**Materiały ceramiczne** - wszystkie tworzywa i wyroby nieorganiczno-niemetaliczne, w trakcie otrzymywania których istotnym procesem jest obróbka cieplna w temperaturze powyżej kilkuset stopni Celsjusza.

Materiały bazują na wiązaniach jonowych. Głównie są to tlenki lub związki z C,N,P i S.

W wysokich temperaturach zachodzi zjawisko spiekania, w wyniku którego otrzymuje się materiał o pożądanej gęstości, znacznie mniejszej od gęstości surowca, ze względu na usunięcie wody podczas obróbki termicznej.

Niektóre wyroby ceramiczne po wypaleniu pokrywa się szkliwem.





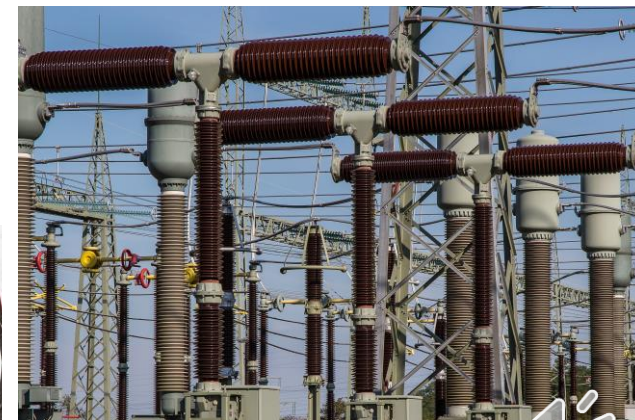
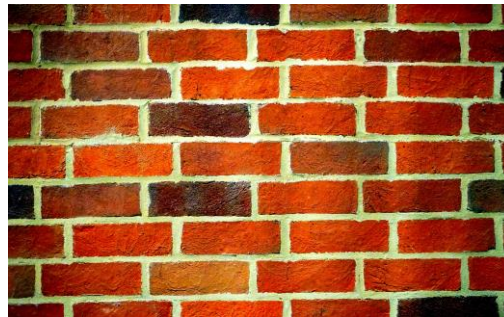
## Właściwości:

- odporność na działanie wysokich temperatur,
- odporność na działanie czynników chemicznych,
- dobre właściwości mechaniczne,
- dobre właściwości dielektryczne i izolacyjne
- duża twardość (odporność na ścieranie, ognioodporność).



## Cermika powstaje z:

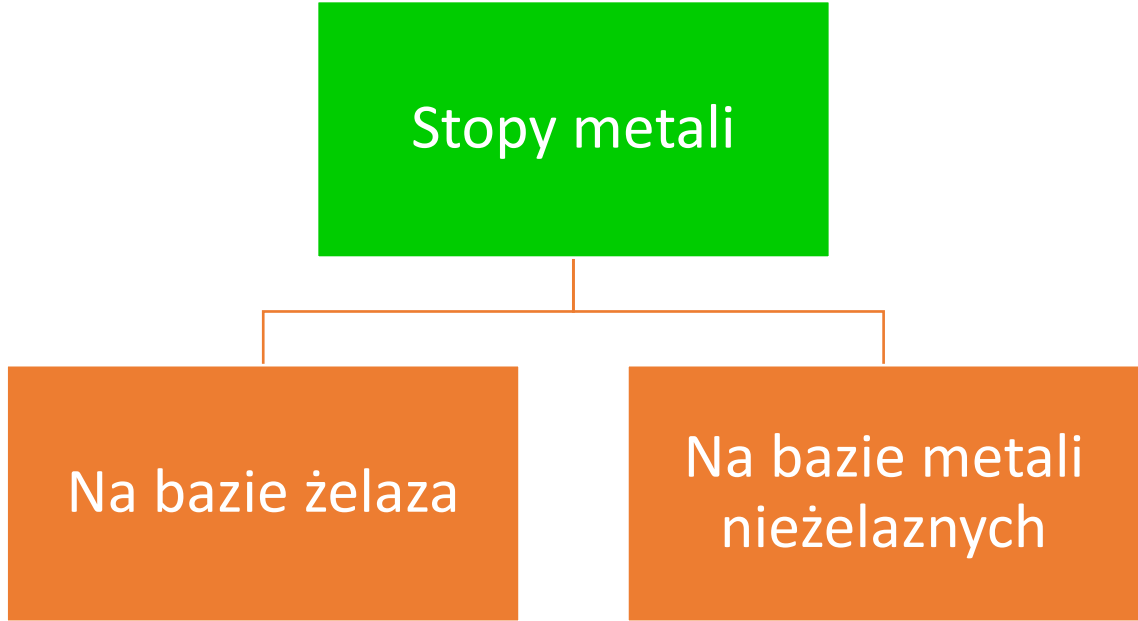
- gliny,
- kwarcu,
- skalenia,
- kaolinitu,
- tlenków glinu, tytanu, cyrkonu i innych pierwiastków,
- węglików,
- borków,
- azotków,
- siarczków.





**Metale** – materiał, najczęściej krystaliczny z wiązaniami metalicznymi (z 103 pierwiastków aż 80 należy do tej grupy).

**Stop metali** - tworzywo o właściwościach metalicznych, w którego strukturze metal jest osnową, a poza nim występuje co najmniej jeden dodatkowy składnik, zwany dodatkiem stopowym. Dodatki są wprowadzane w celu poprawienia wytrzymałościowych właściwości materiału.







## Właściwości:

- plastyczność
- sprężystość
- dobre przewodnictwo elektryczne oraz ciepłe
- nieprzezroczystość
- metaliczny połysk
- duża wytrzymałość mechaniczna
- łatwość obróbki

## Stop metali

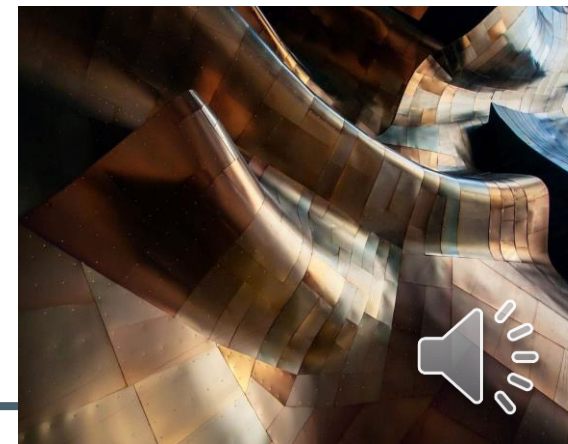
- stopy żelaza z węglem
- stopy aluminium
- stopy magnezu
- stopy miedzi
- stopy niklu
- stopy ołowiu
- stopy rtęci







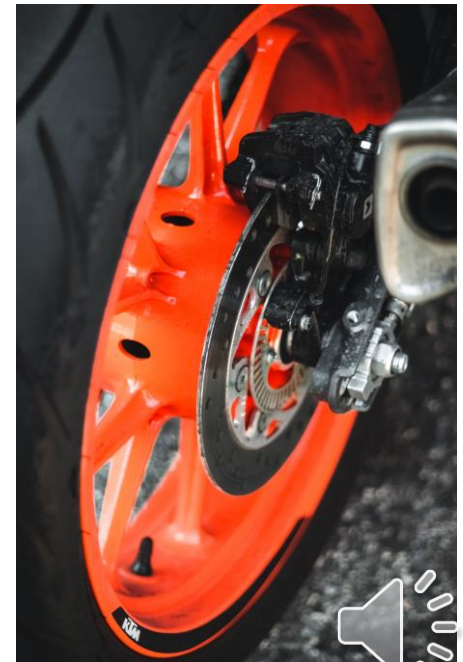
# Materiały konstrukcyjne stosowane w budownictwie i architekturze







# Przemysł samochodowy







# Przemysł maszyn ciężkich







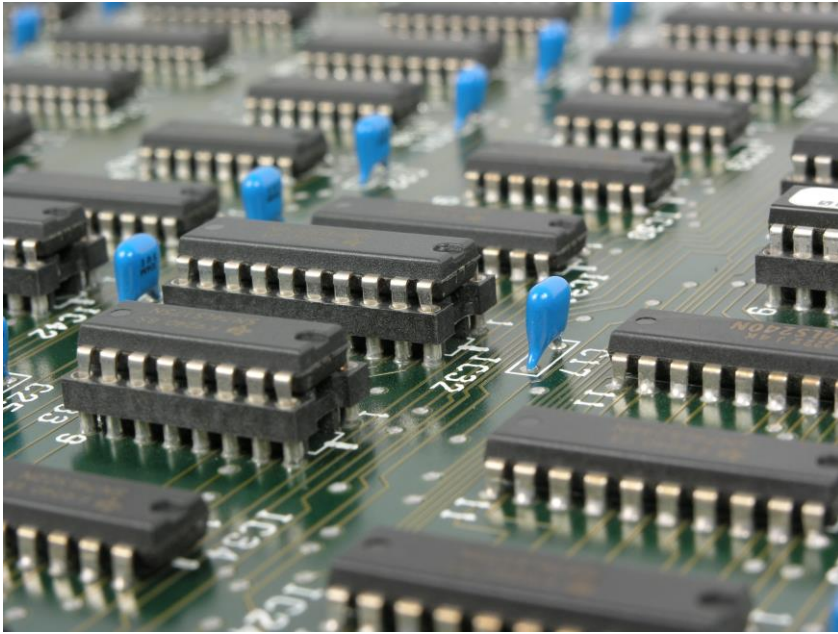
# Przemysł lotniczy i kosmiczny





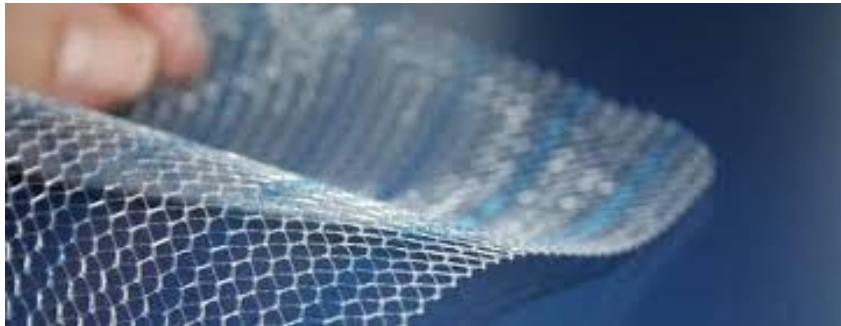


# Elektronika



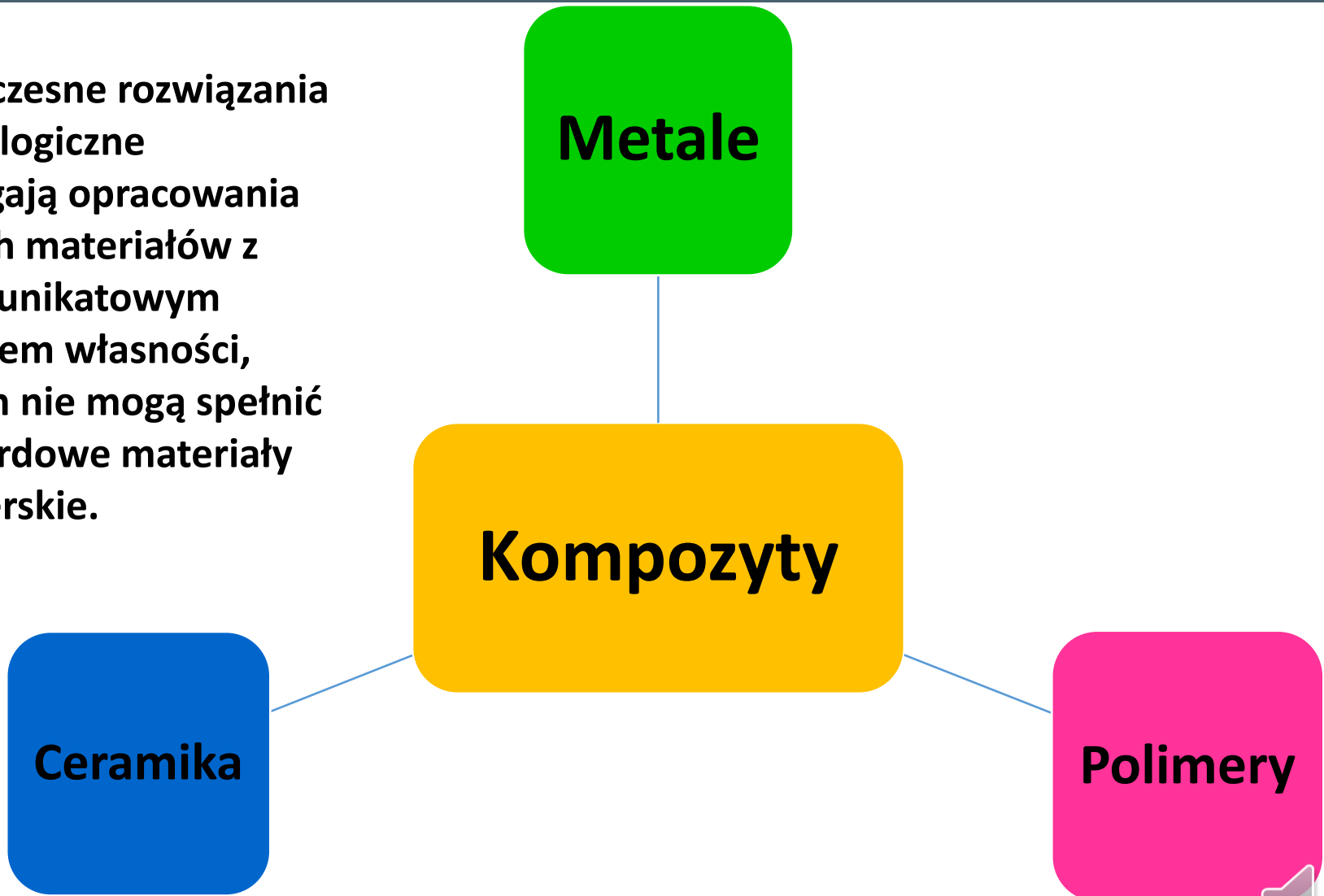


# Medycyna





Współczesne rozwiązania technologiczne wymagają opracowania nowych materiałów z często unikatowym zestawem własności, których nie mogą spełnić standardowe materiały inżynierskie.

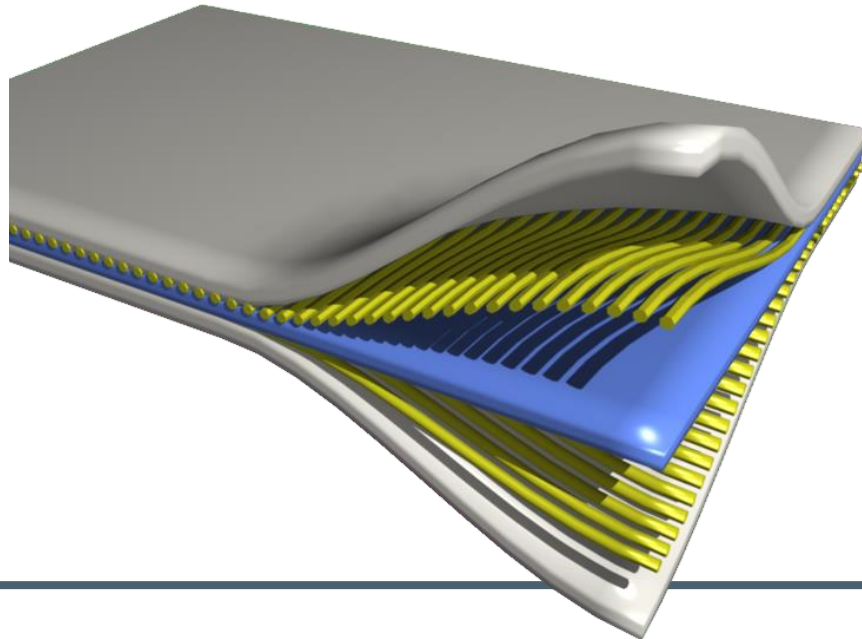




**Materiał kompozytowy (kompozyt)** – materiał o strukturze niejednorodnej, złożony z dwóch lub więcej komponentów (faz) o różnych właściwościach.

Właściwości kompozytów nigdy nie są sumą czy średnią właściwości jego składników.

Najczęściej jeden z komponentów stanowi lepiszcze, które gwarantuje jego spójność, twardość i elastyczność, a drugi, tzw. komponent konstrukcyjny zapewnia odporność na ściskanie/rozciąganie.

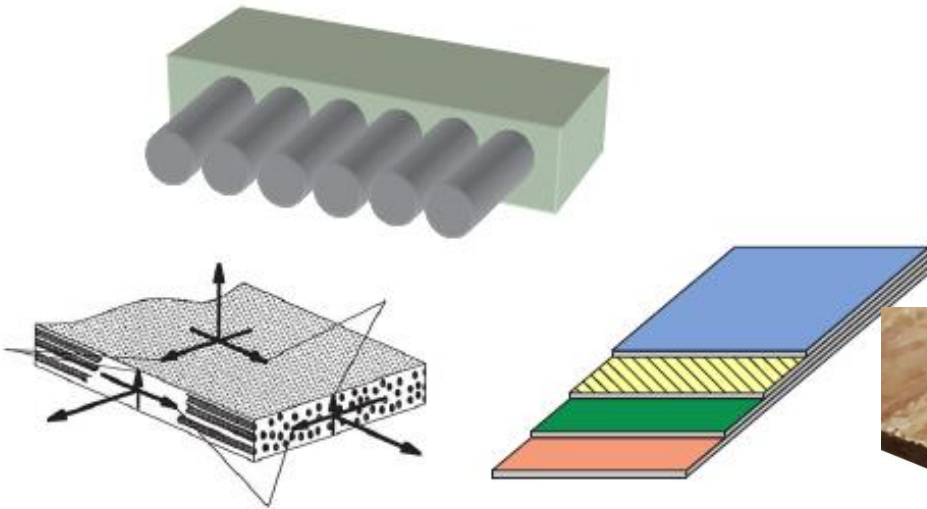






**kompozyty strukturalne** – zbudowane z ciągłych struktur komponentów konstrukcyjnych – warstwy (np. sklejka), pręty (np. żelbet) lub regularne struktury trójwymiarowe np. przypominające plaster miodu,

**laminaty** – składają się z włókien zatopionych w lepiszczach – w zależności od sposobu uporządkowania włókien rozróżnia się taśmy jednokierunkowe – włókna ułożone w jednym kierunku – tkaniny kompozytowe – w dwóch prostopadłych kierunkach – maty – krótkie nieuporządkowane włókna, np. pykret,

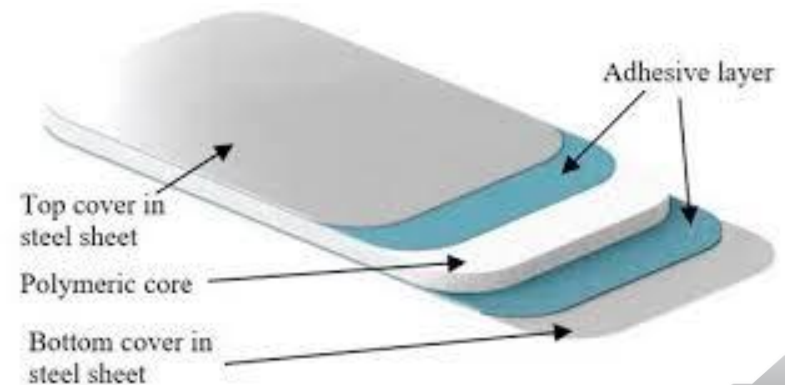
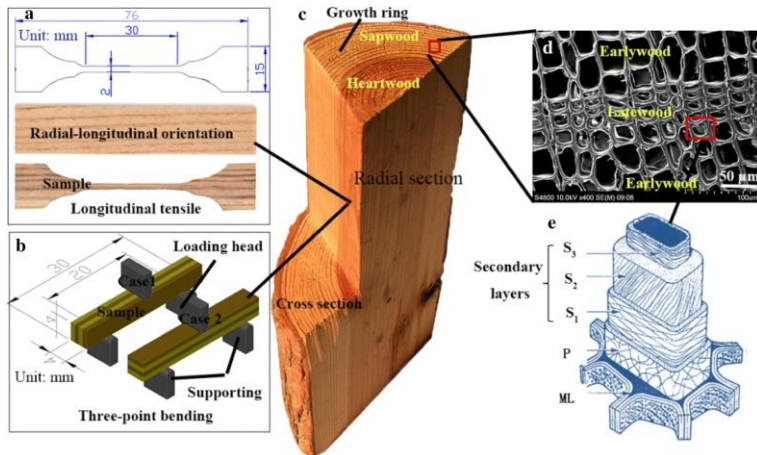











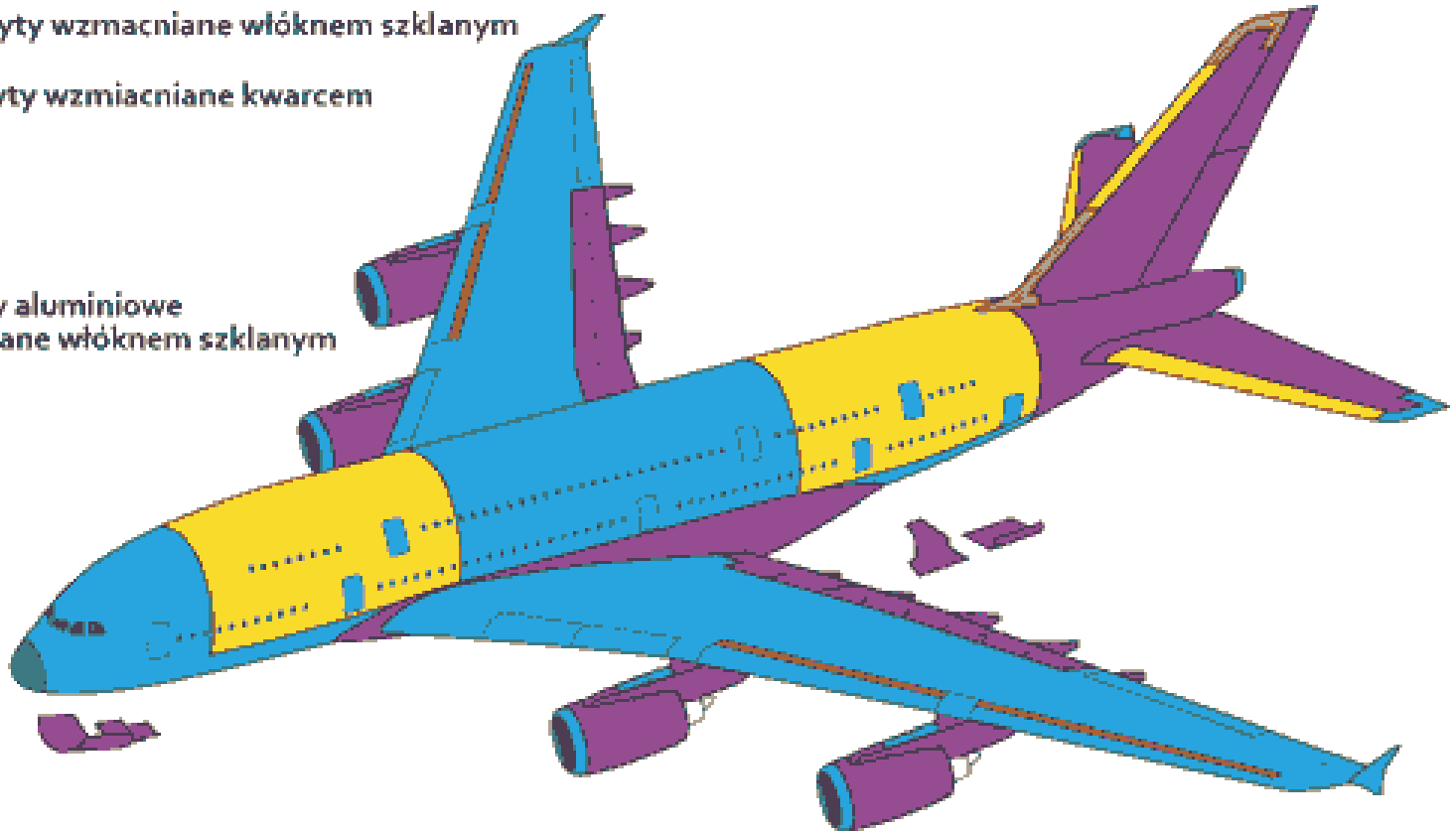
**mikrokompozyty i nanokompozyty** – regularna struktura dwóch lub więcej składników jest zorganizowana już na poziomie nadcząsteczkowym – tego rodzaju kompozyty występują w organizmach naturalnych – np. drewno – jest rodzajem mikrokompozytu, w skład którego wchodzi zorganizowane w skręcone pęczki włókna celulozowego, „sklejone” ligniną – współcześnie próby sztucznego otrzymywania tego rodzaju kompozytów są prowadzone w ramach badań nanotechnologicznych,

**stopy strukturalne** – które są rodzajem stopów metali, metali z niemetalami, polimerów między sobą oraz polimerów z metalami i niemetalami o bardzo regularnej mikrostrukturze – przykładem tego rodzaju kompozytu jest stal damasceńska i duraluminium.





-  Kompozyty wzmacniane włóknem szklanym
-  Kompozyty wzmacniane kwarcem
-  CFRP
-  Metal
-  Laminaty aluminiowe wzmacniane włóknem szklanym



CRFP - Tworzywo sztuczne wzmocnione włóknem węglowym



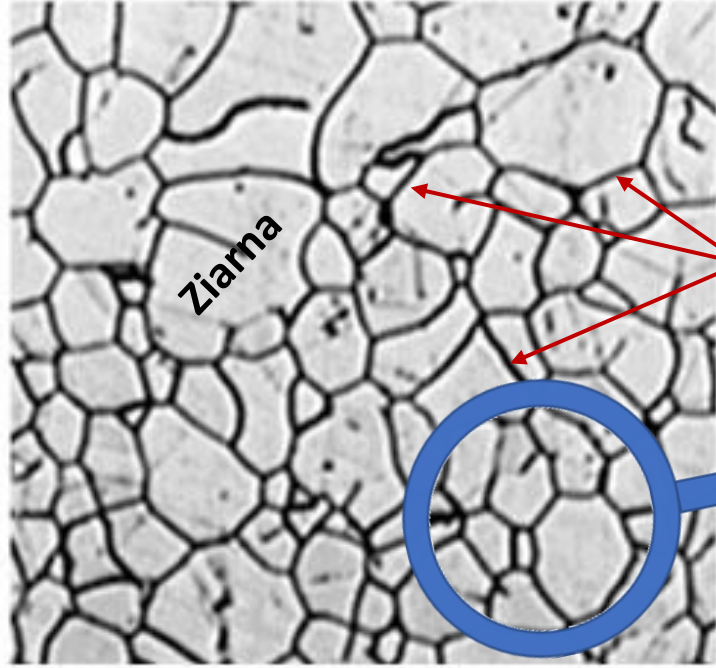


# Metale

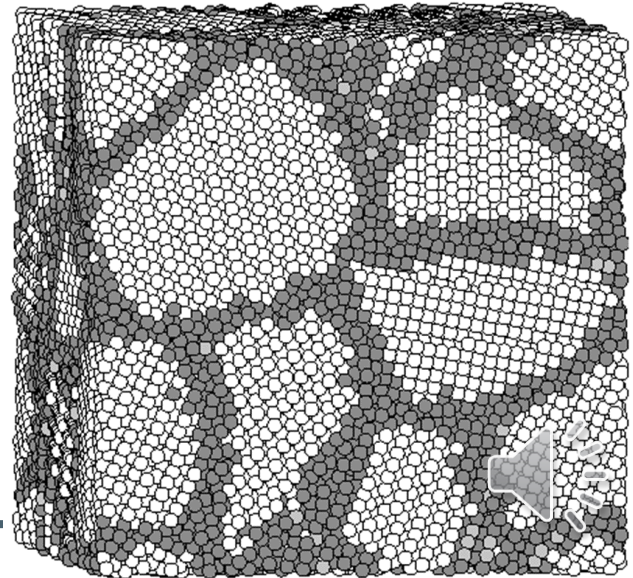


Skąd biorą się ich własności? Dlaczego zachowują się w określony sposób?





Granice ziaren







## Wiązania między atomami:

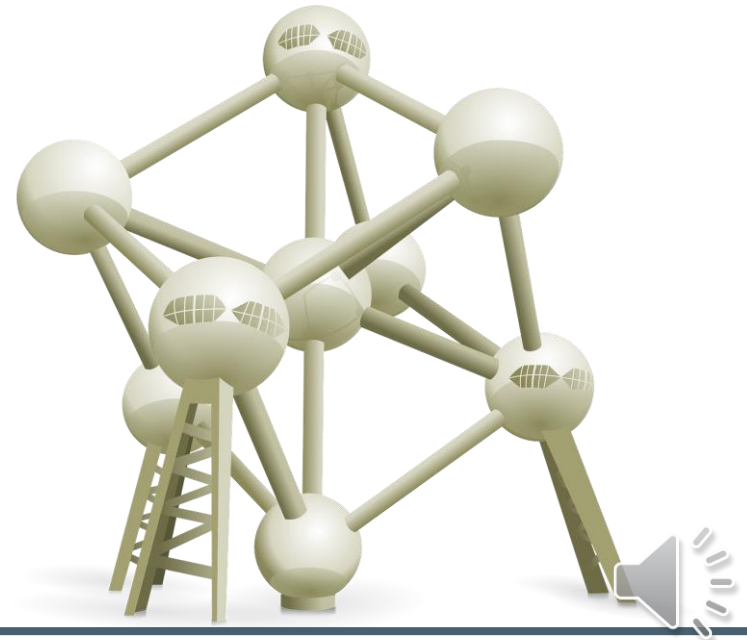
jonowe

kowalencyjne

metaliczne

Van der Waalsa

- 7 układów krystalograficznych
- 14 typów sieci (Bravais'go)







# 7 układów krystalograficznych

# 14 typów sieci (Bravais'go)

**układ regularny**  
 $a = b = c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$   
 np. NaCl

**układ tetragonalny**  
 $a = b \neq c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$   
 np. Hg(CN)<sub>2</sub>

**układ heksagonalny**  
 $a = b \neq c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$   
 np. PbI<sub>2</sub>

**układ rombowy**  
 $a = b \neq c$   
 $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$   
 np. NaNO<sub>3</sub>

**układ trygonalny**  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$   
 np. K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

**układ jednoskośny**  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$   
 np. K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]

**układ trójskośny**  
 $a \neq b \neq c$   
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$   
 np. CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O

**Układ regularny**  
 P, F, I

**Układ heksagonalny**  
 H

**Układ tetragonalny**  
 P, I

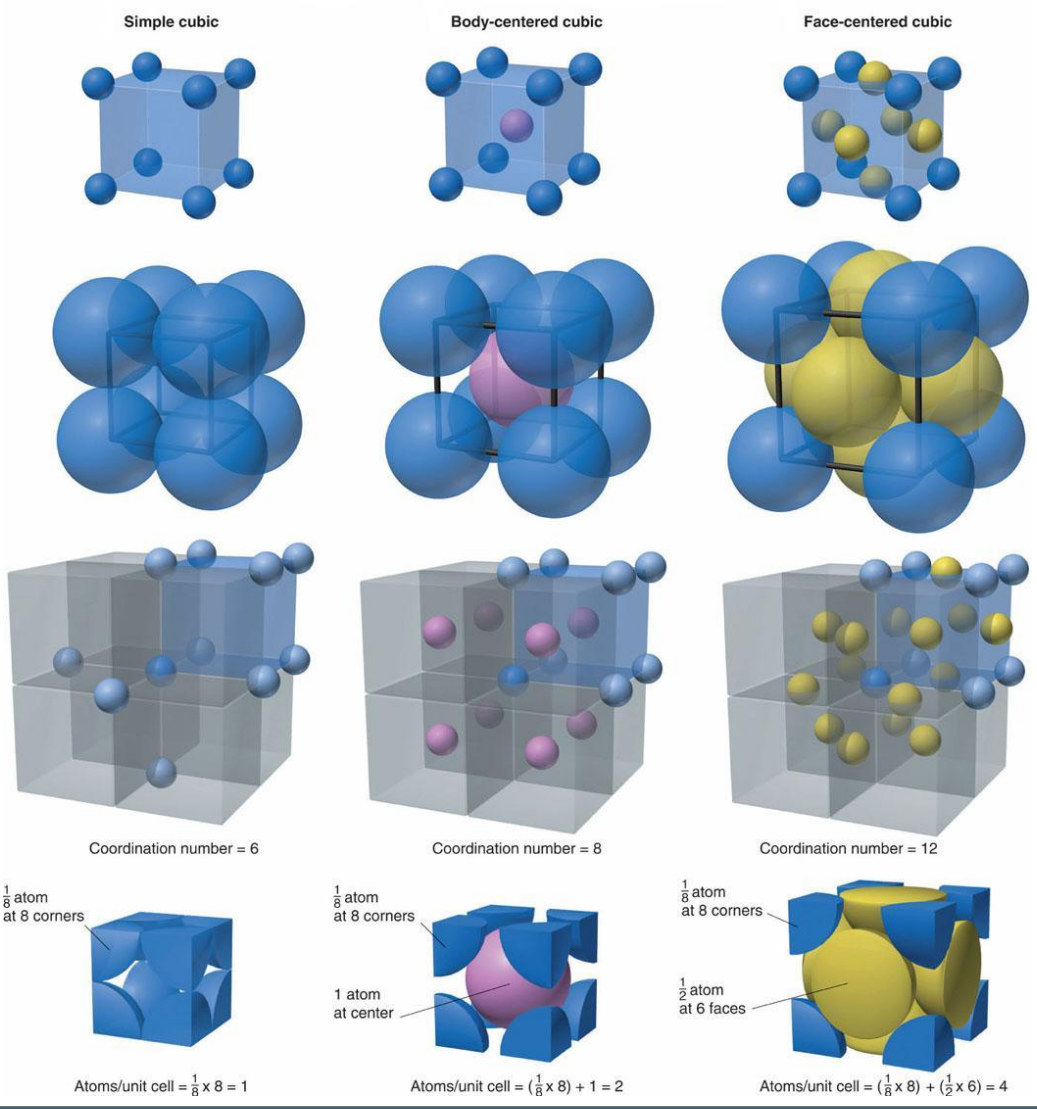
**Układ trygonalny (romboedryczny)**  
 R

**Układ rombowy**  
 P, C, F, I

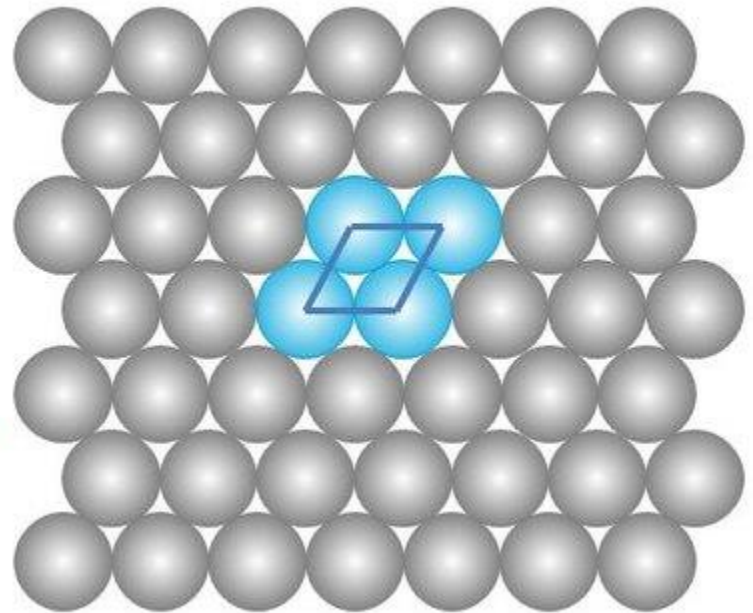
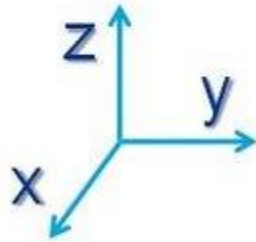
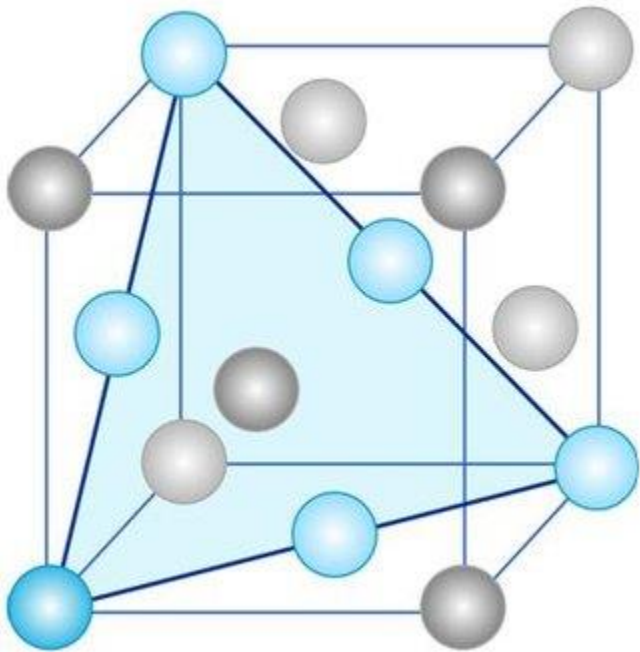
**Układ jednoskośny**  
 P, C

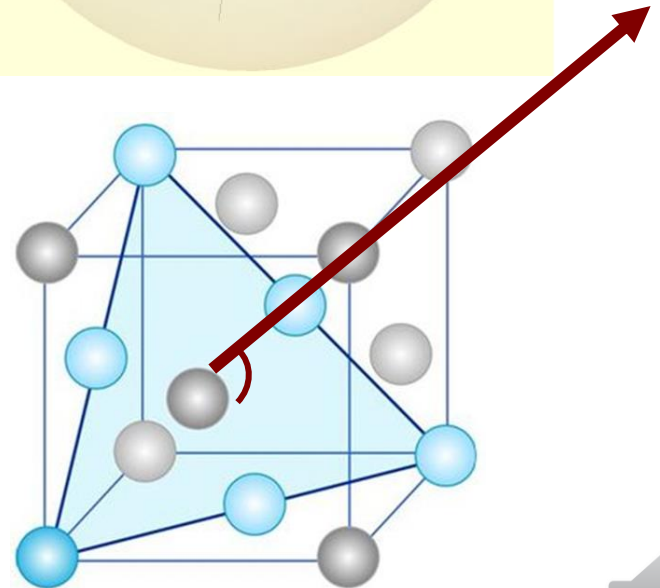
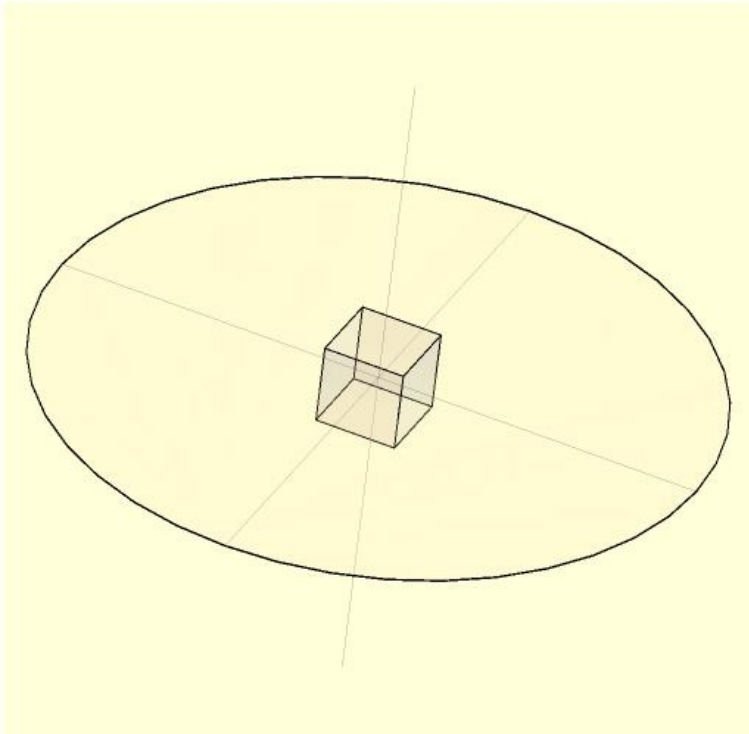
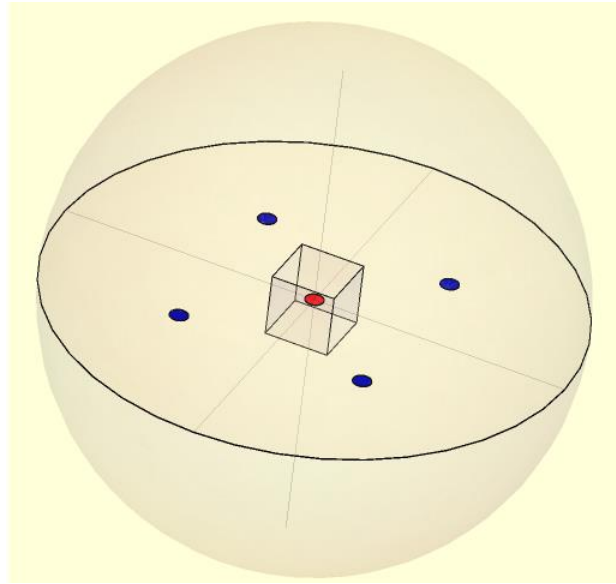
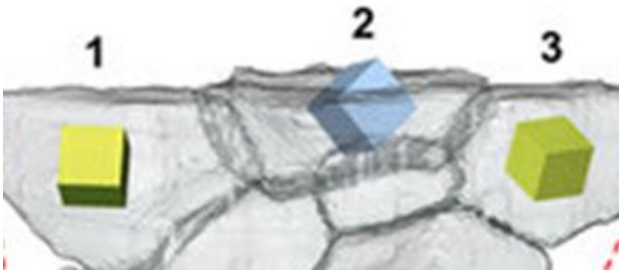
**Układ trójskośny**  
 P

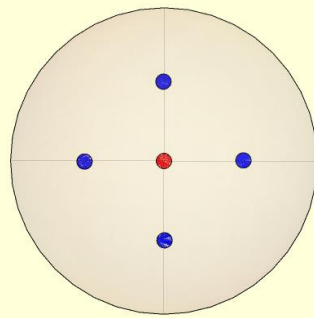
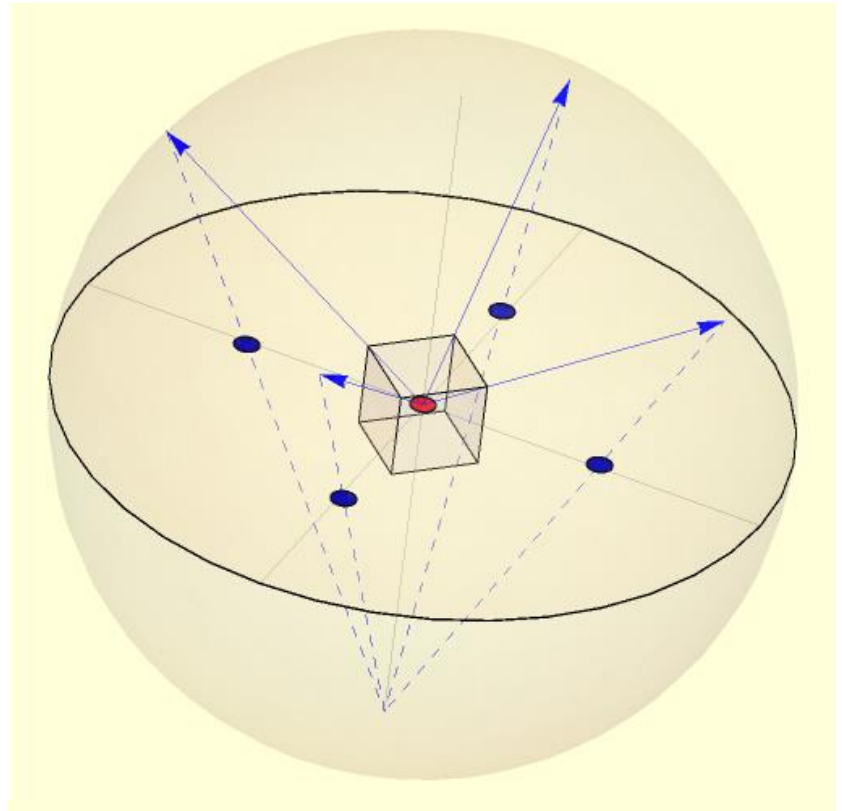
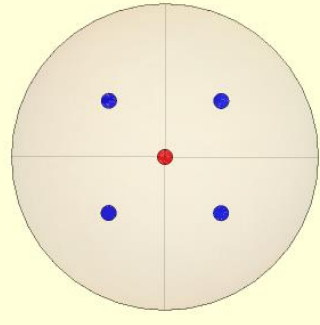
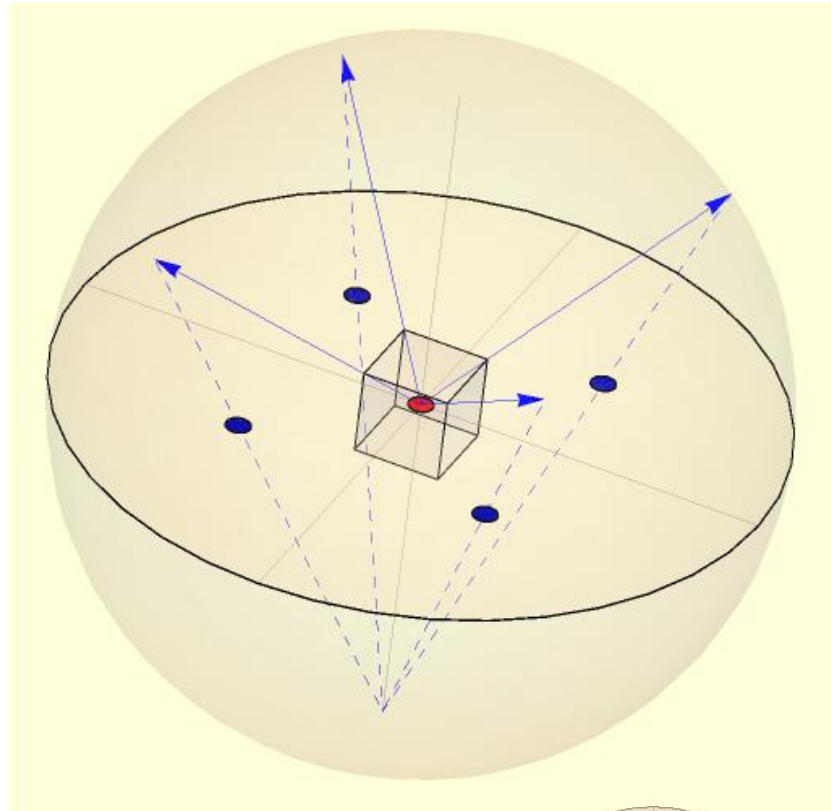




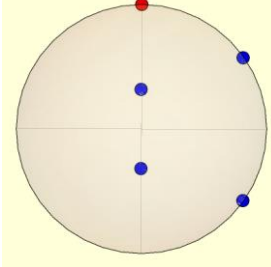
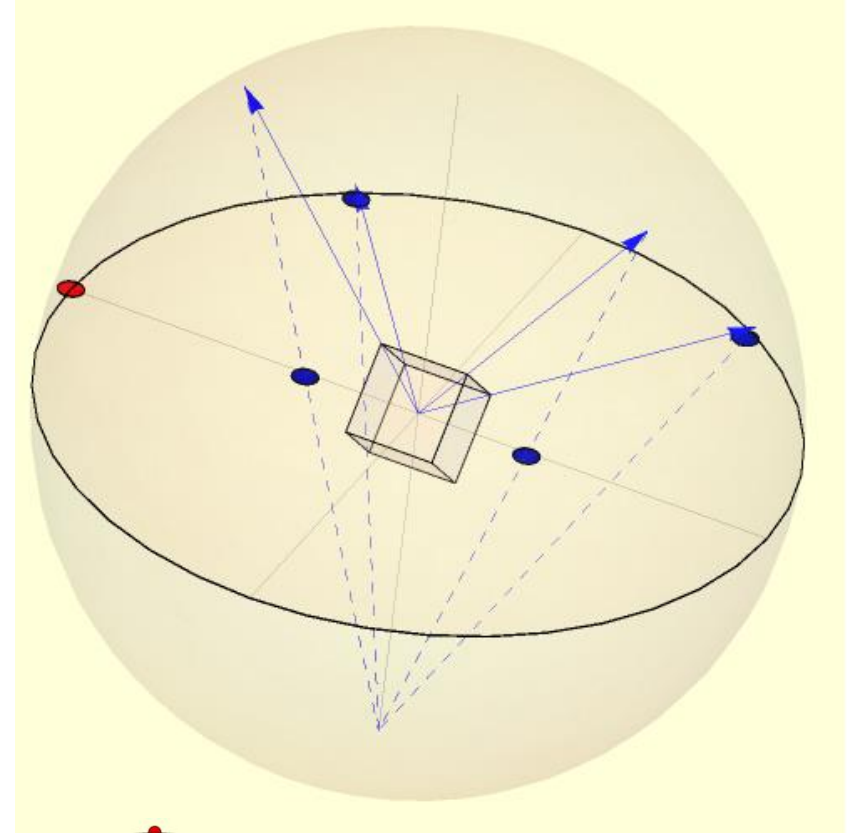
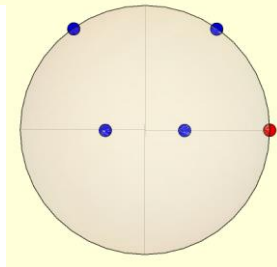
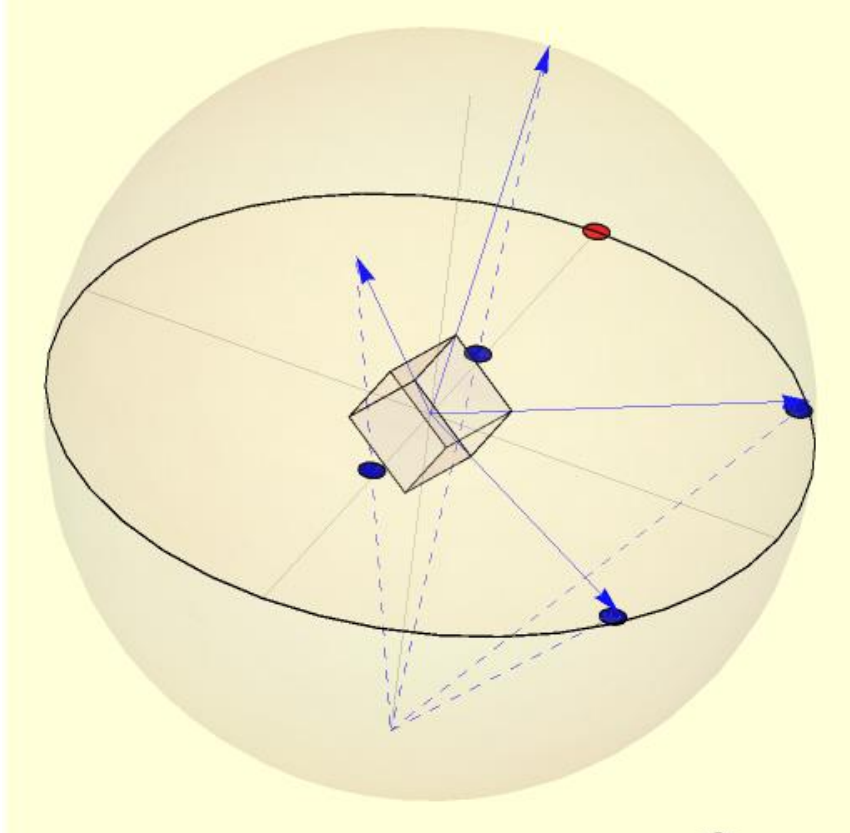
What gives metals their strength?





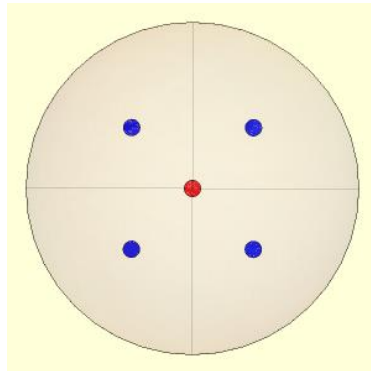
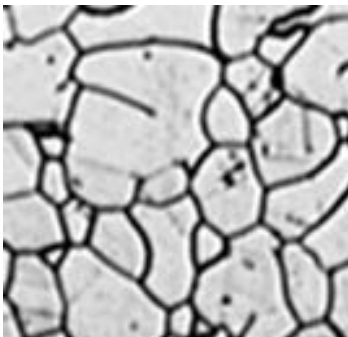
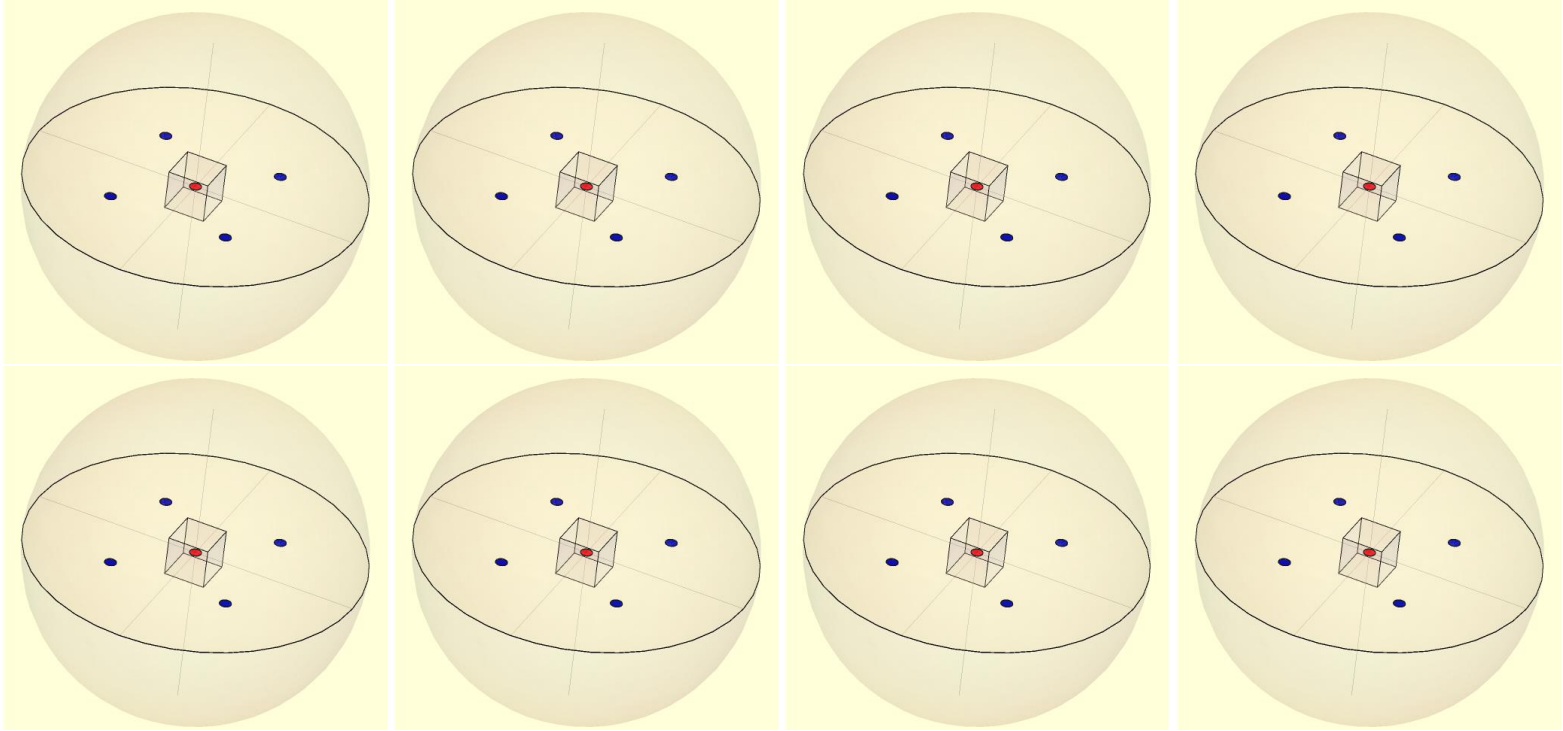


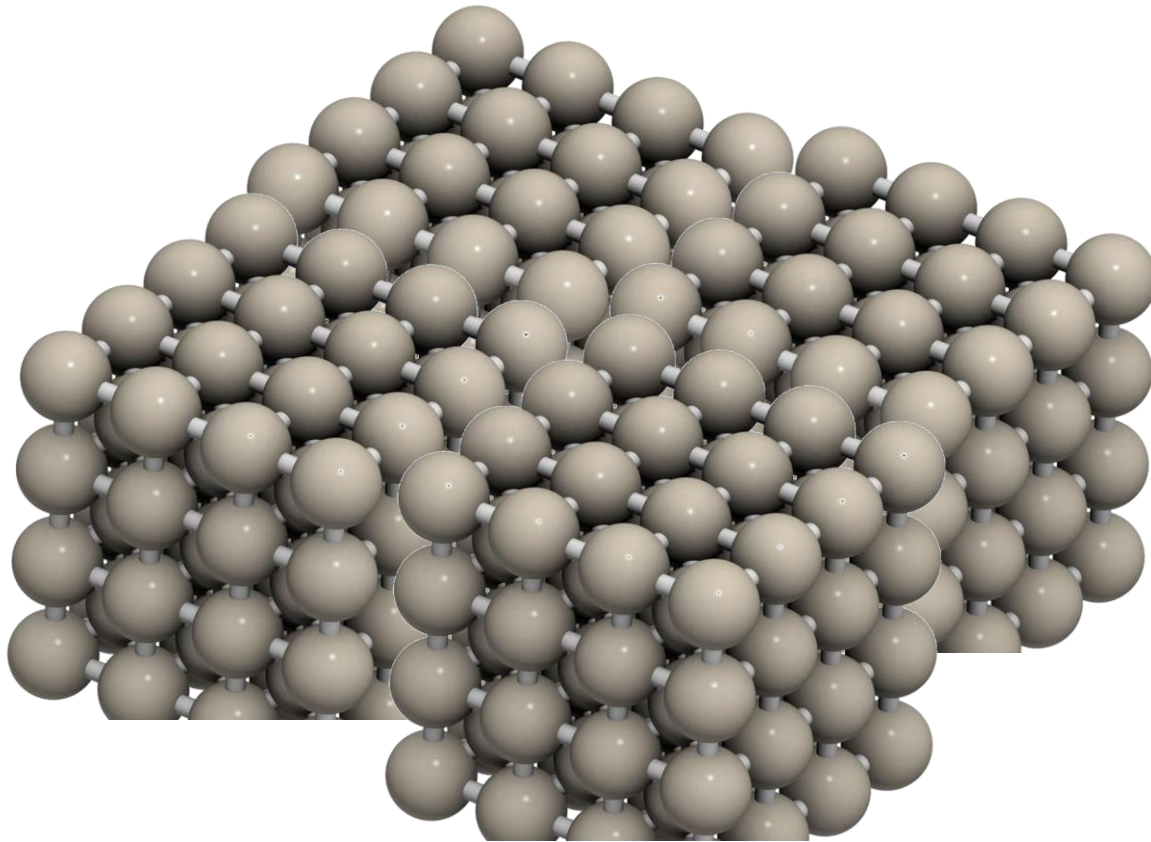






# 8 ziaren

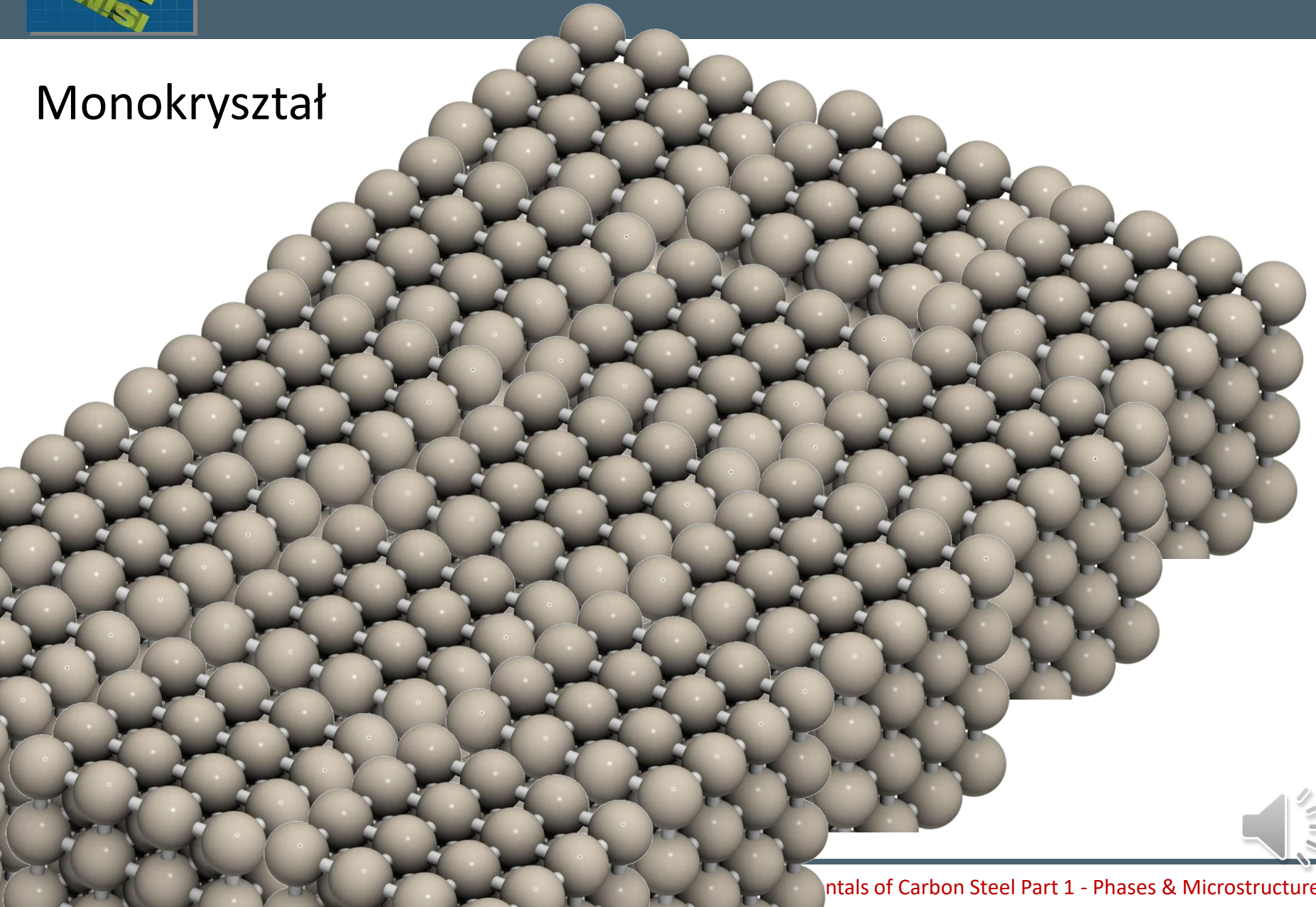




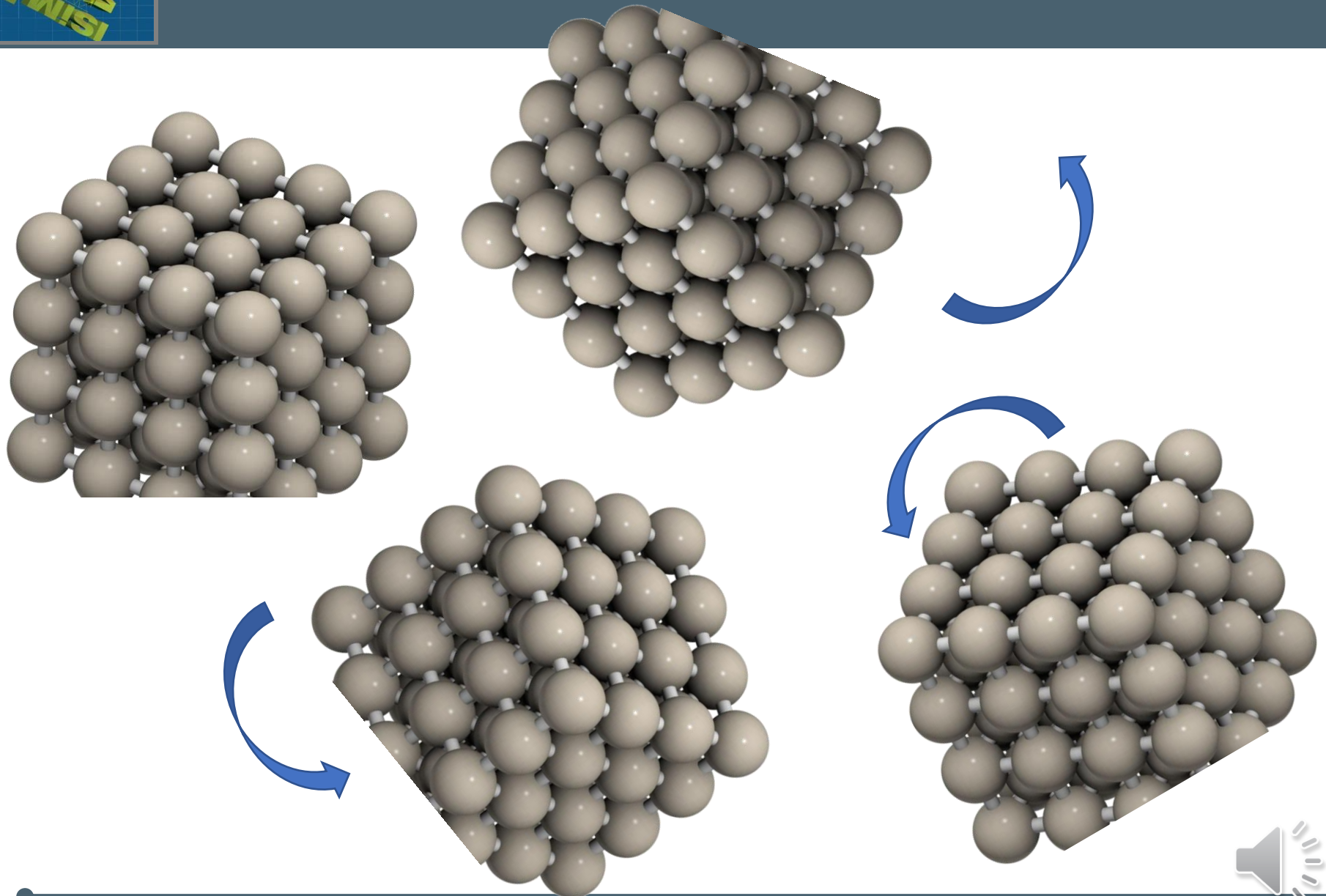


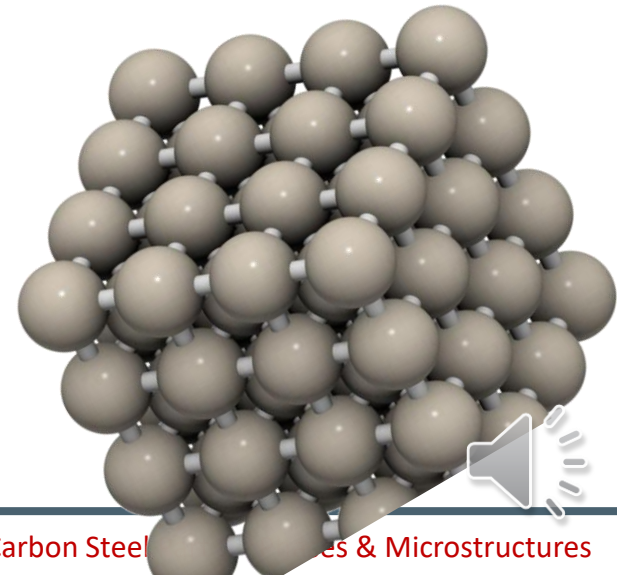
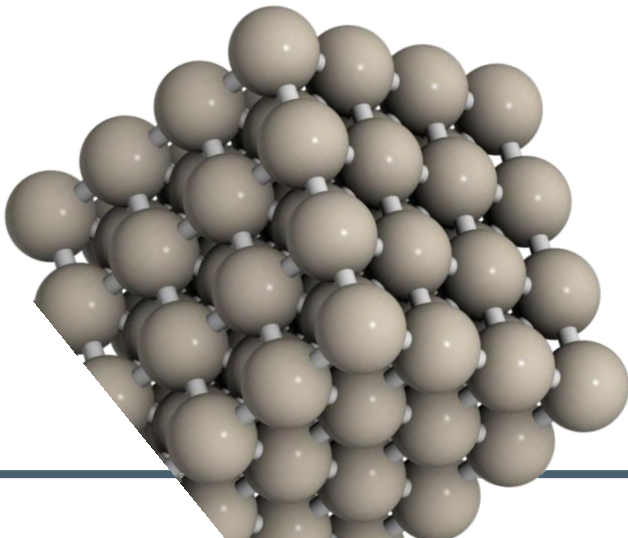
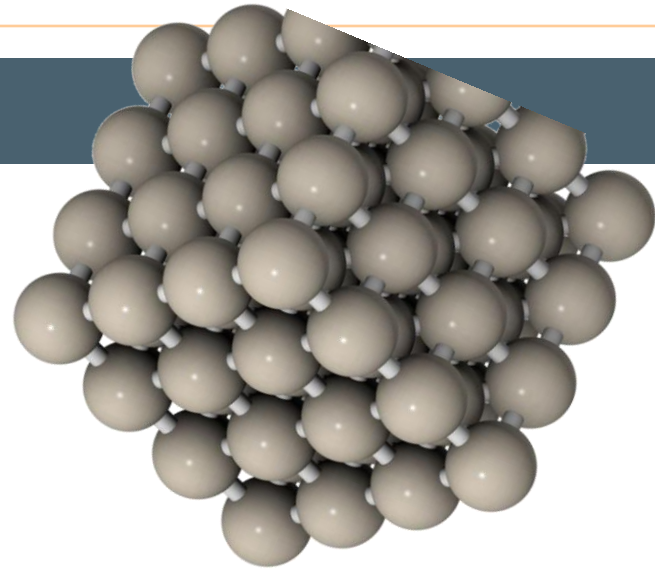
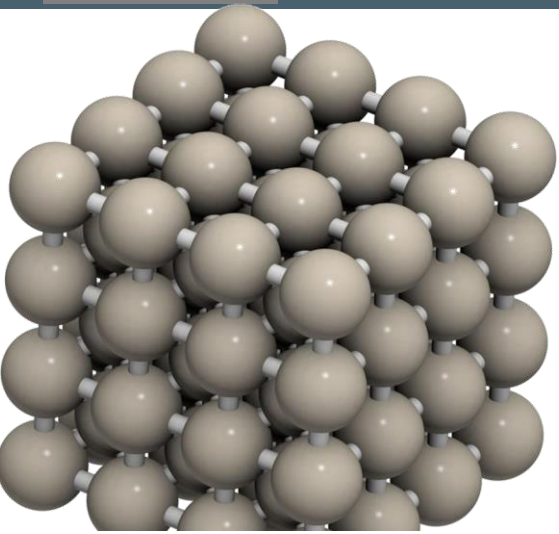


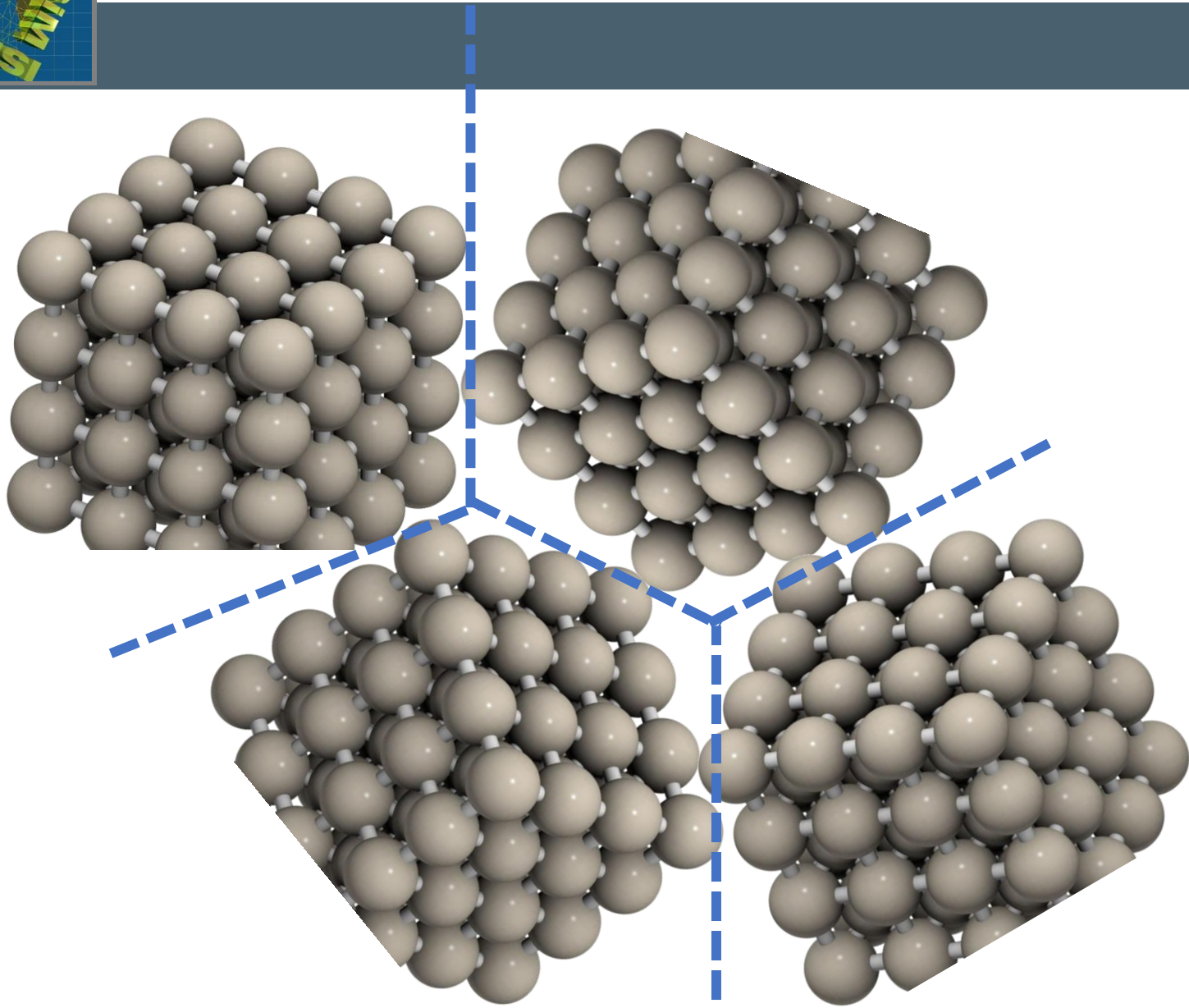
# Monokryształ



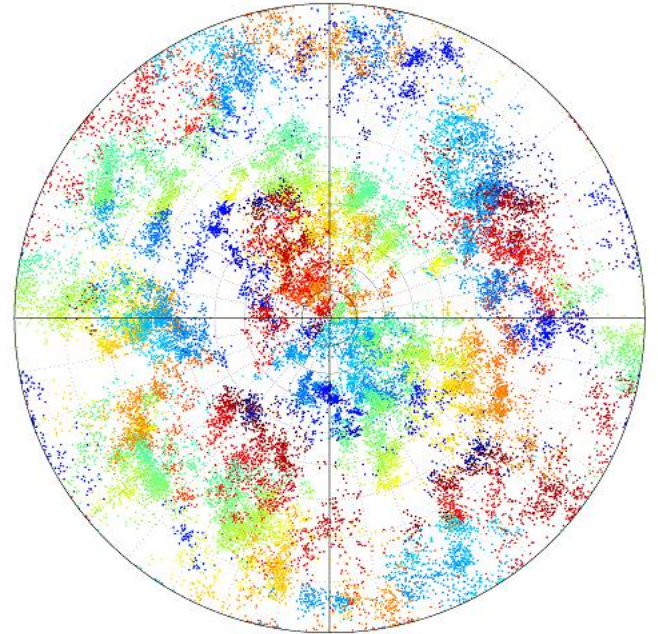
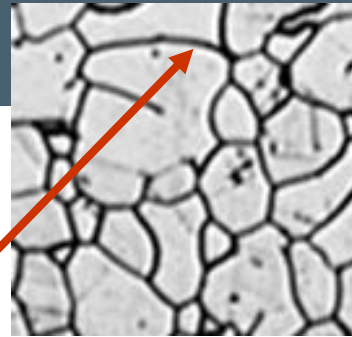
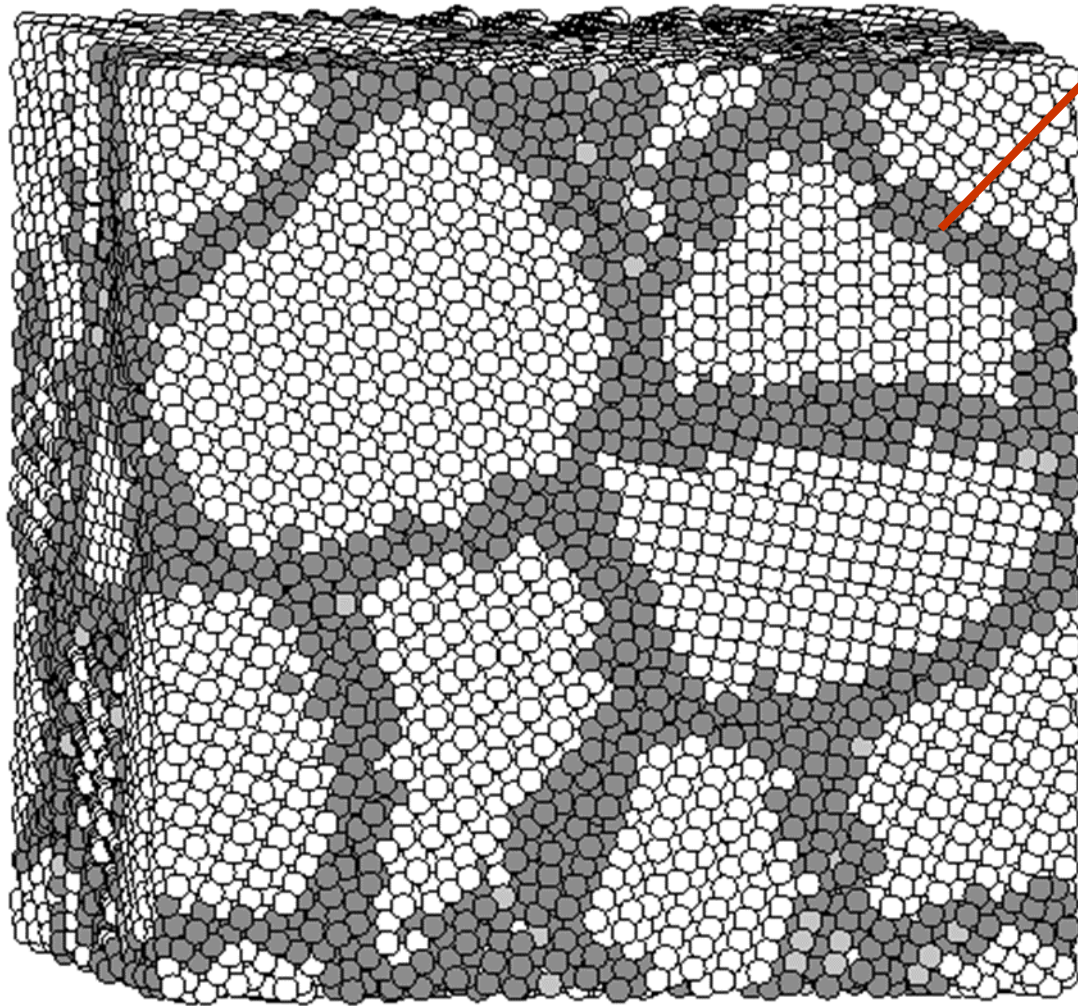








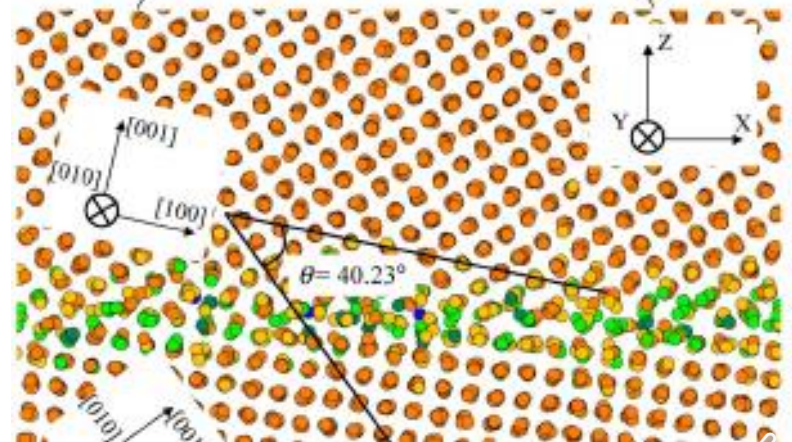
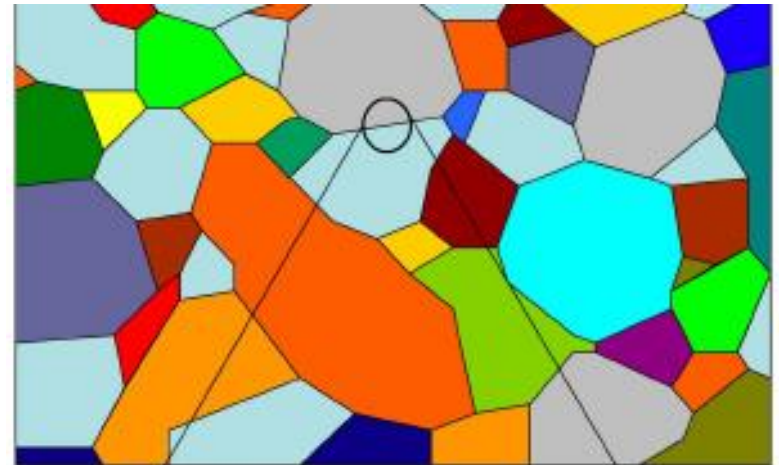
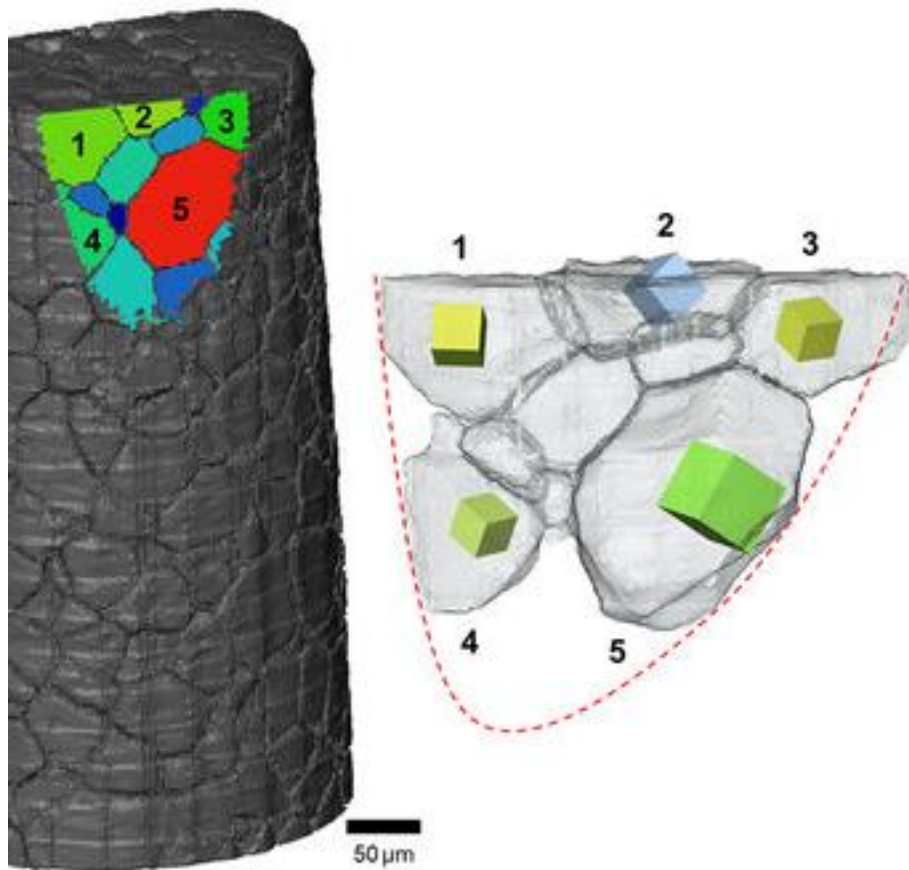








# Polikryształ





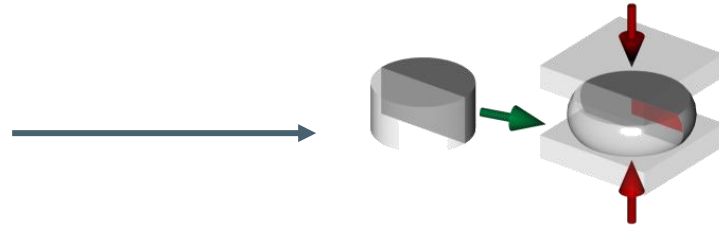
**Jak ocenić zachowanie się materiału  
np. ocenić jego wytrzymałość na odkształcenie?**



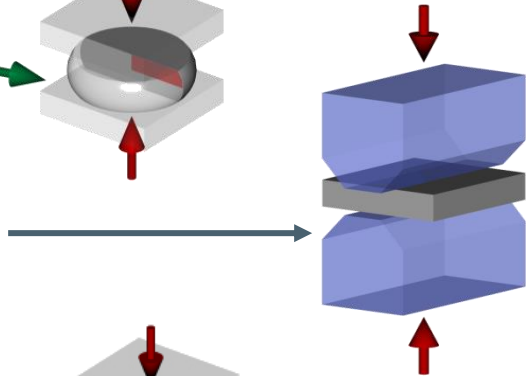


# Badania eksperymentalne

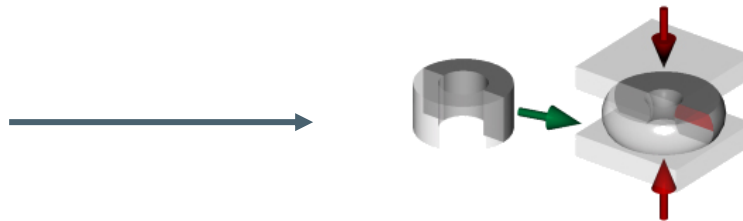
Spęcznie próbek osiowosypetrycznych



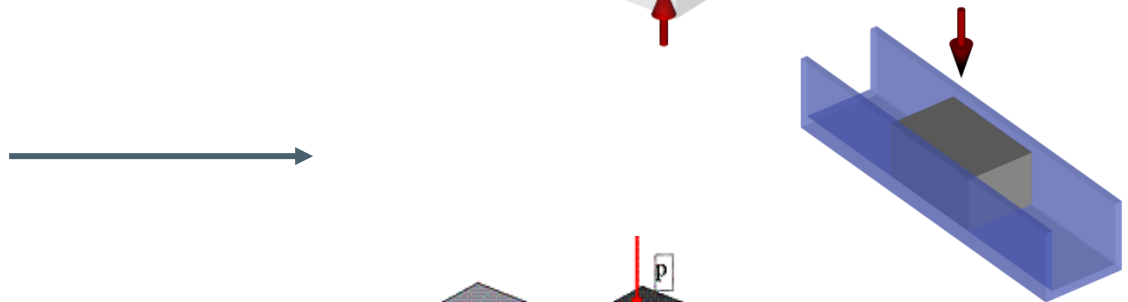
Spęcznie w płaskim stanie odkształcenia



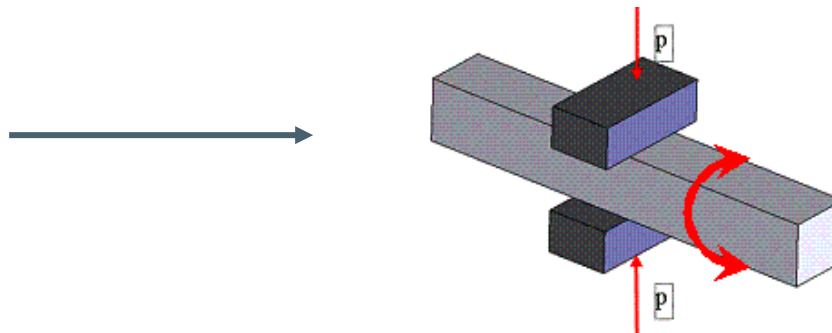
Spęcznie pierścieni



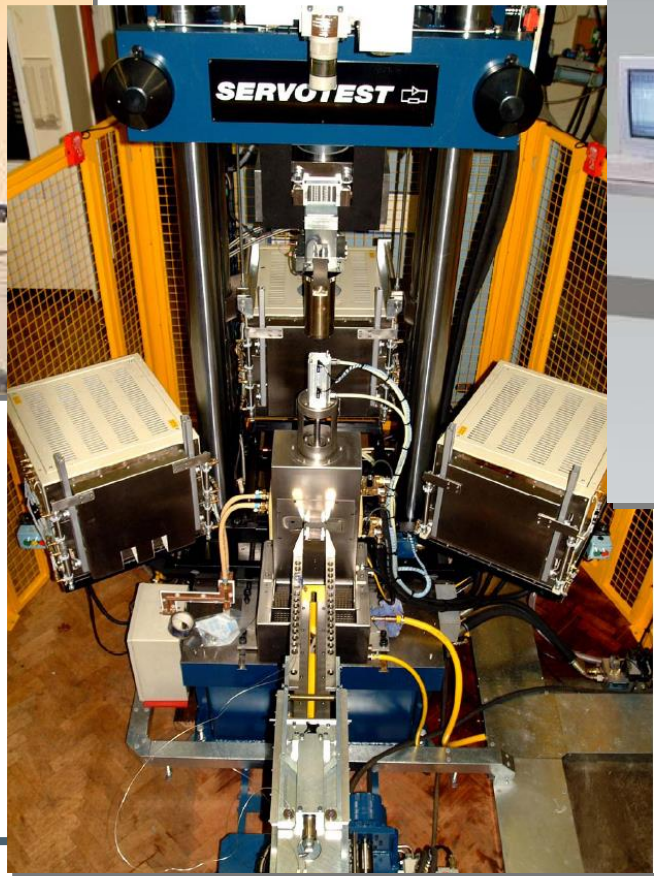
Próba kanalikowa



Próba MaxStrain











Maszyna wytrzymałościowa

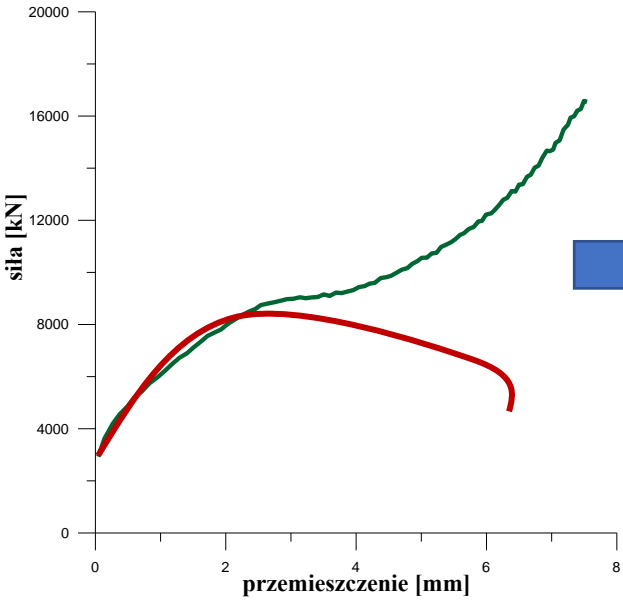


# Krzywe umocnienia

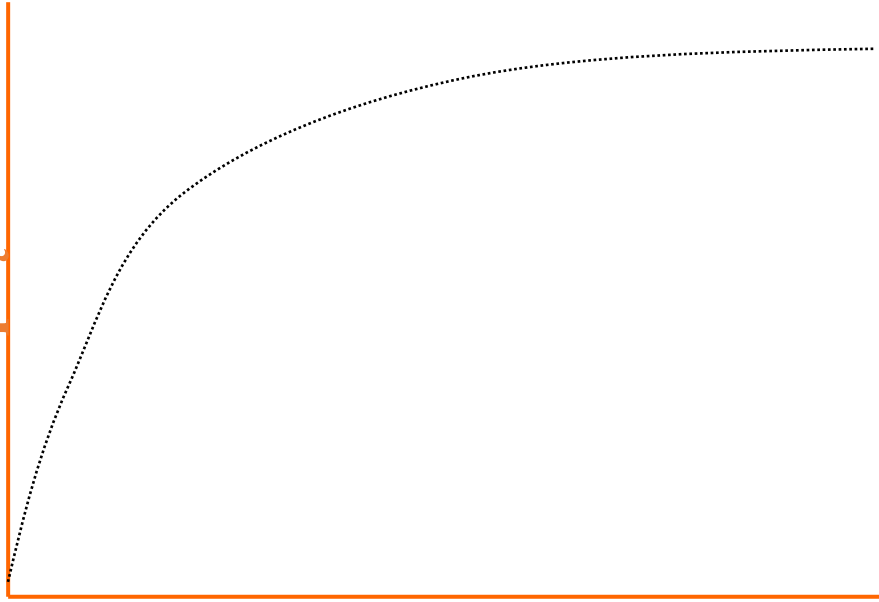


Test jednoosiowego rozciągania

Zależność siła od przesunięcia



naprężenie

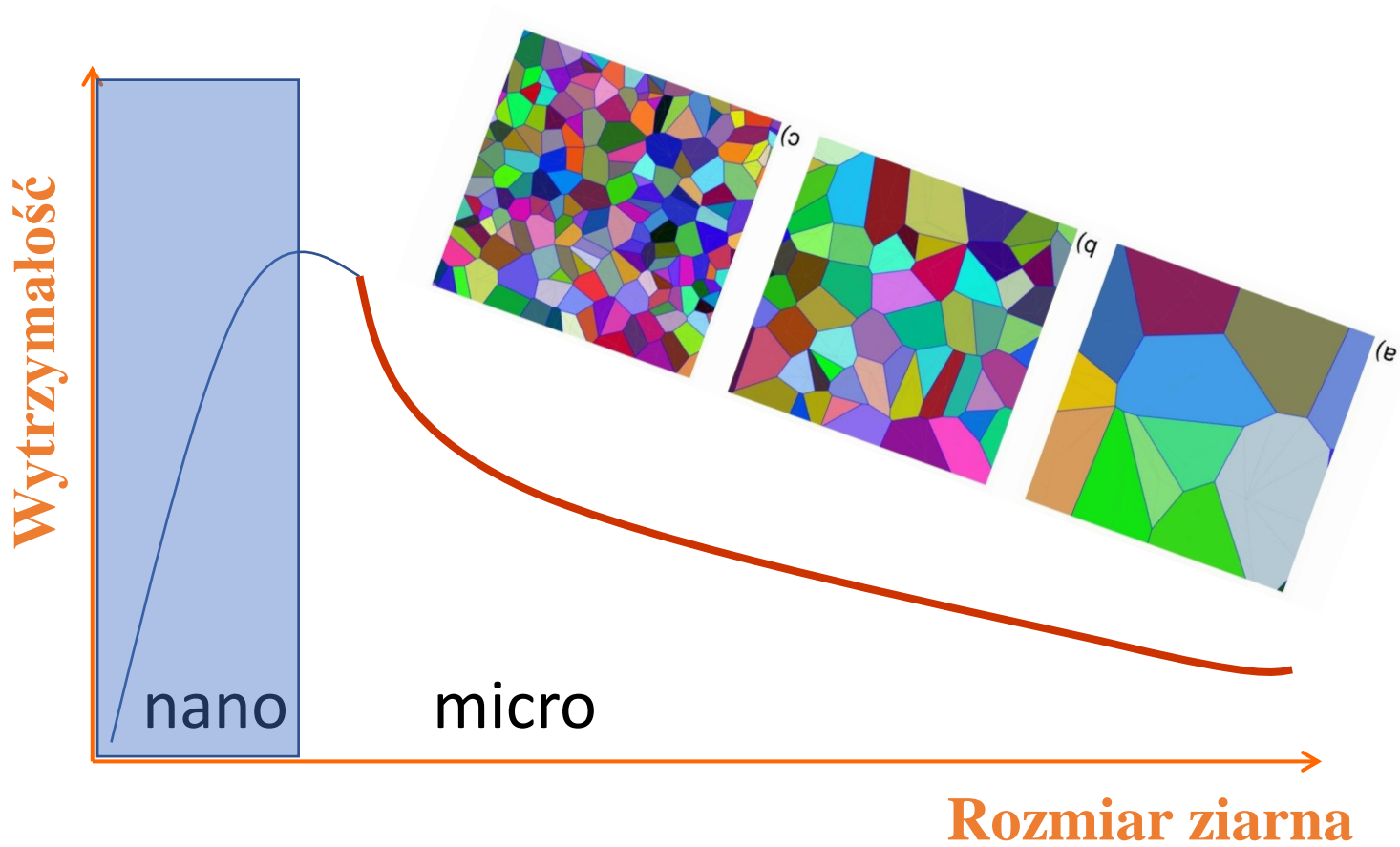




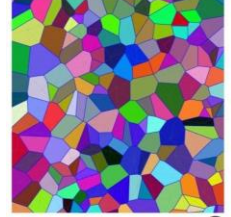
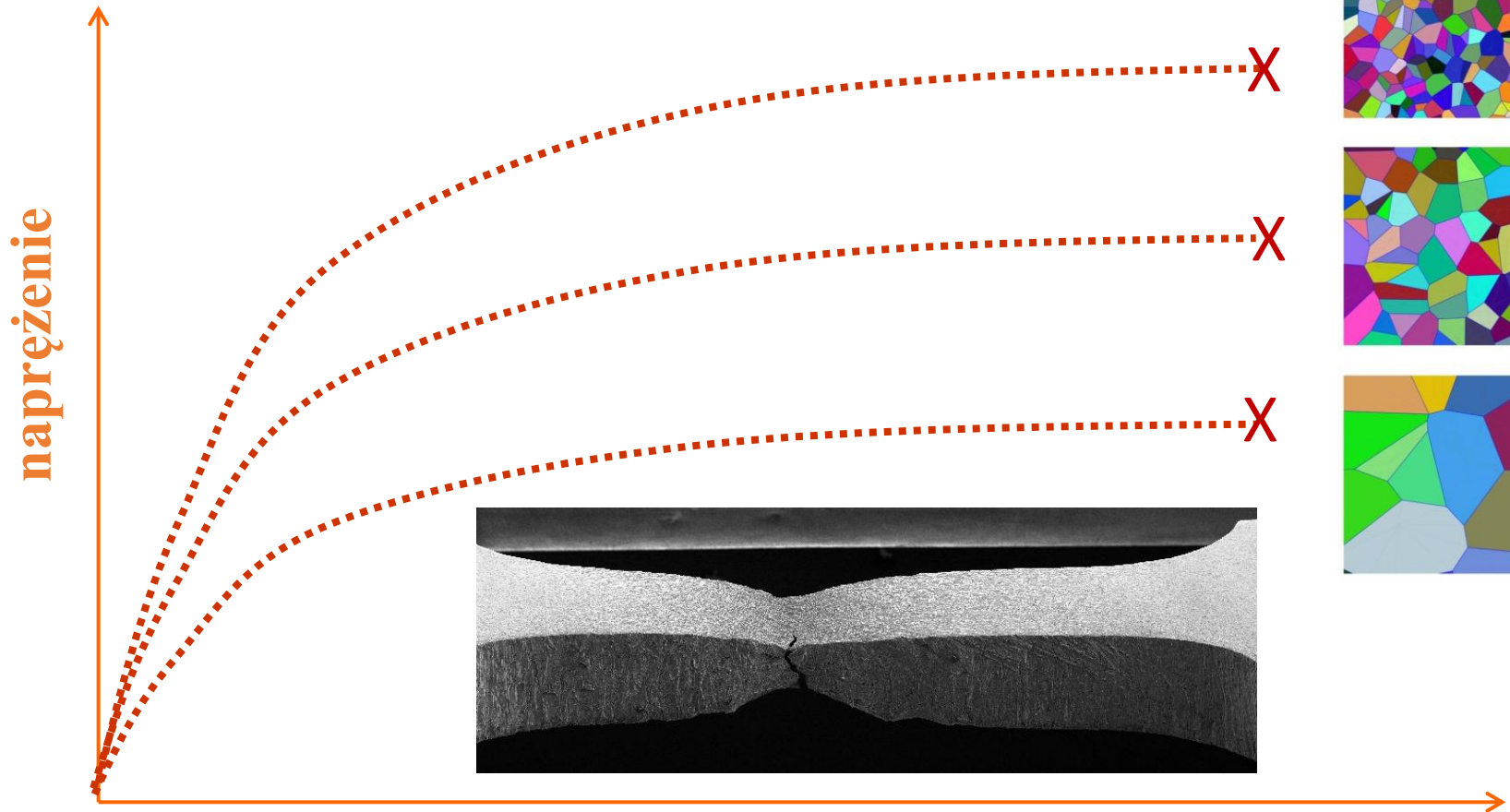
**Jaką rolę odgrywa mikrostruktura materiału?**

**Czy kształt i rozmiar ziaren wpływają na wytrzymałość materiału?**

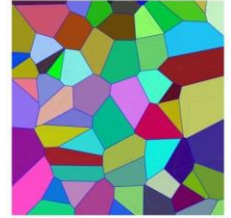








c)



b)



a)

odkształcenie



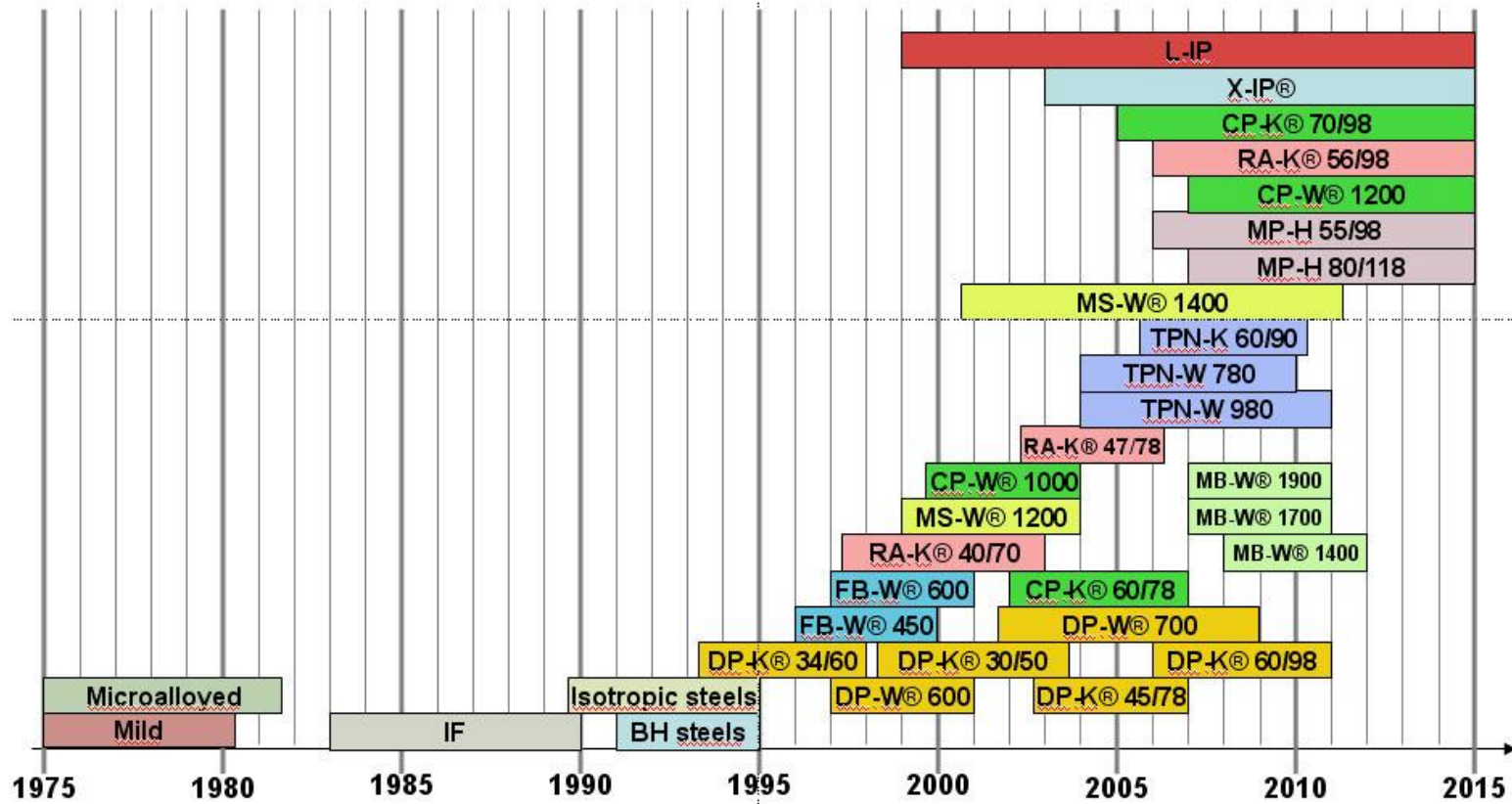


**Własności użytkowe materiałów inżynierskich  
zależą bezpośrednio od budowy i morfologii  
ich mikrostruktury!!!**





Jaroni U., Imlau K.P., Osburg B.: Neue Lösungsansätze für innovative Produkte und Umformtechnologien im Automobilbau, Proc. ASK25, Aachen, 2010, pp. 3-14.



Nowe materiały takie jak np.: stale DP (dual phase), bainityczne, AHSS (advanced high strength steels), IF (interstitial free), czy też nowoczesnych stopów aluminium, magnezu i miedzi.



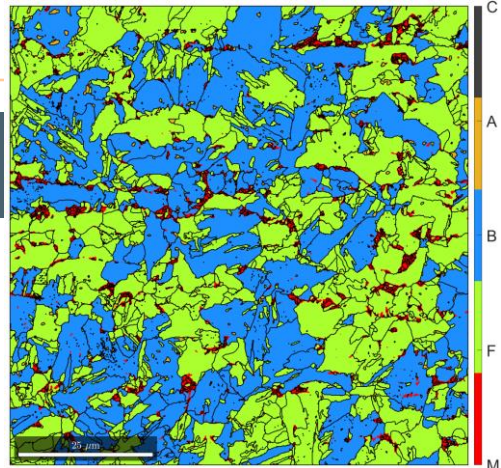




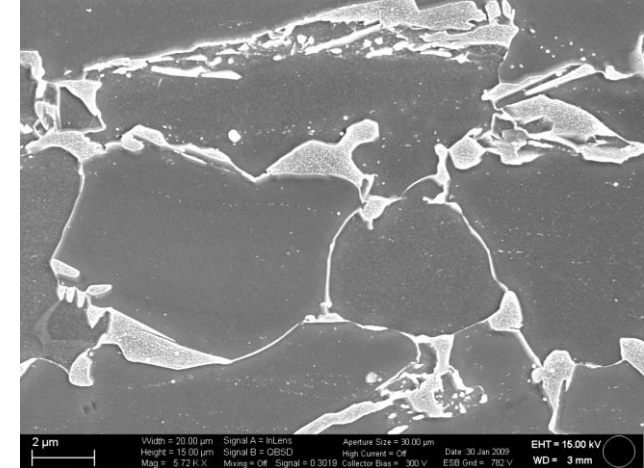
**Miedź OFHC**



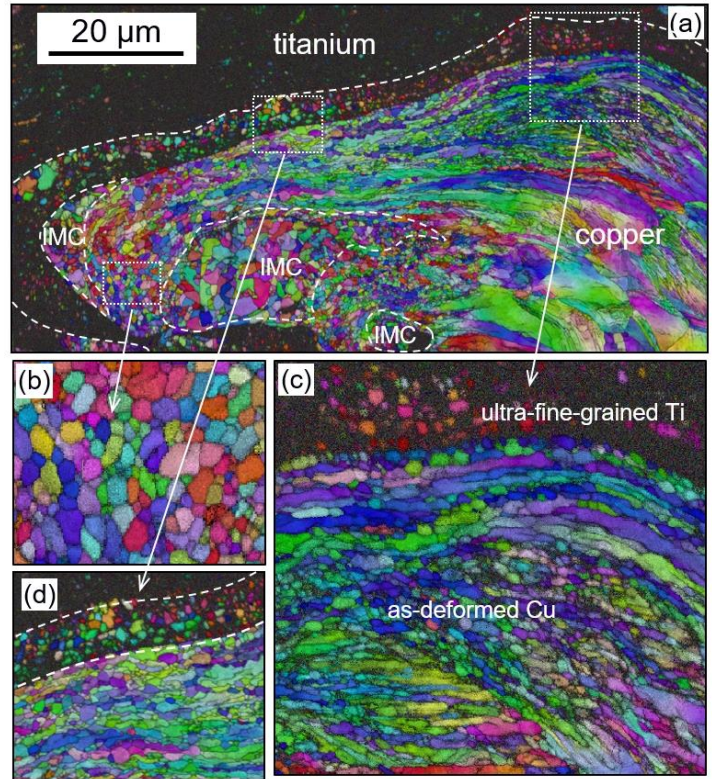
**Badania własne**



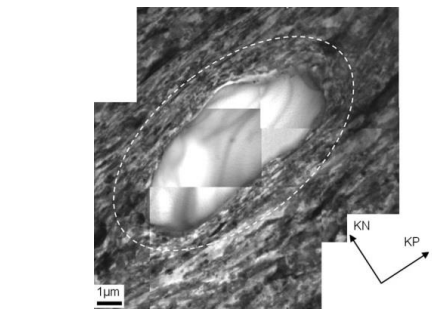
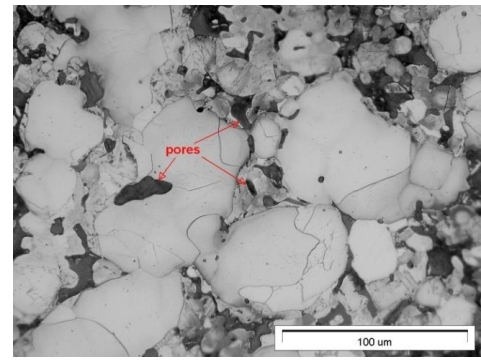
**CP - Aachen**



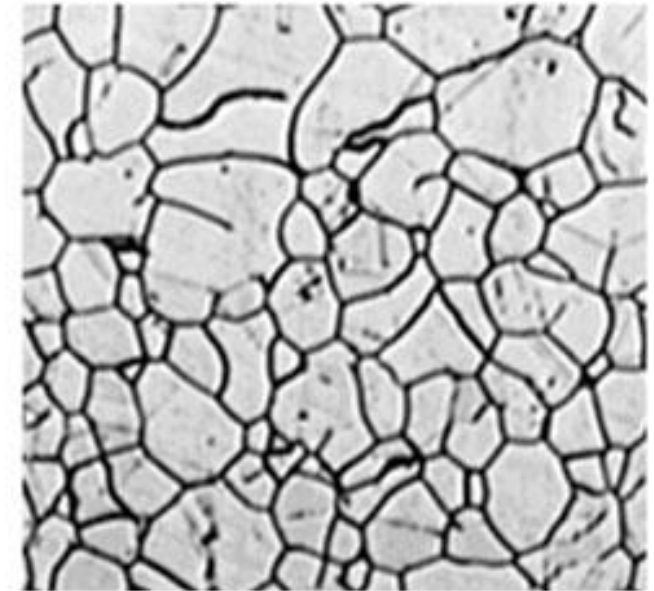
**Stal DP (zdjęcie udostępnione przez prof. Romana Kuziaka, Instytut Metalurgii Żelaza IMŻ)**



**Struktura po spaniu wybuchowym (zdjęcie udostępnione przez prof. Henryka Paula, Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN)**



**Wtrącenie w stopie aluminium (zdjęcie udostępnione przez prof. Henryka Paula, Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN)**



**Fe30Ni (Fang Bai Microstructural evolution in a model Fe-30Ni alloy during plane strain compression, praca doktorska, Uniwersytet Sheffield)**



Modelowanie dyskretne

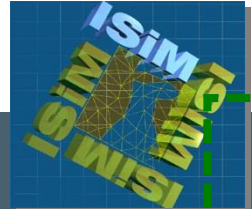


modelowanie wieloskalowe i  
techniki wirtualizacji materiałów

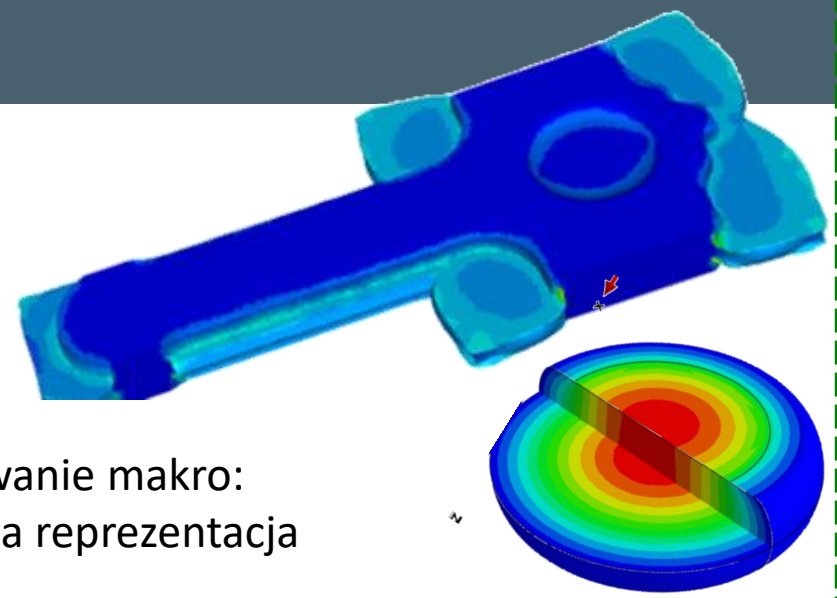




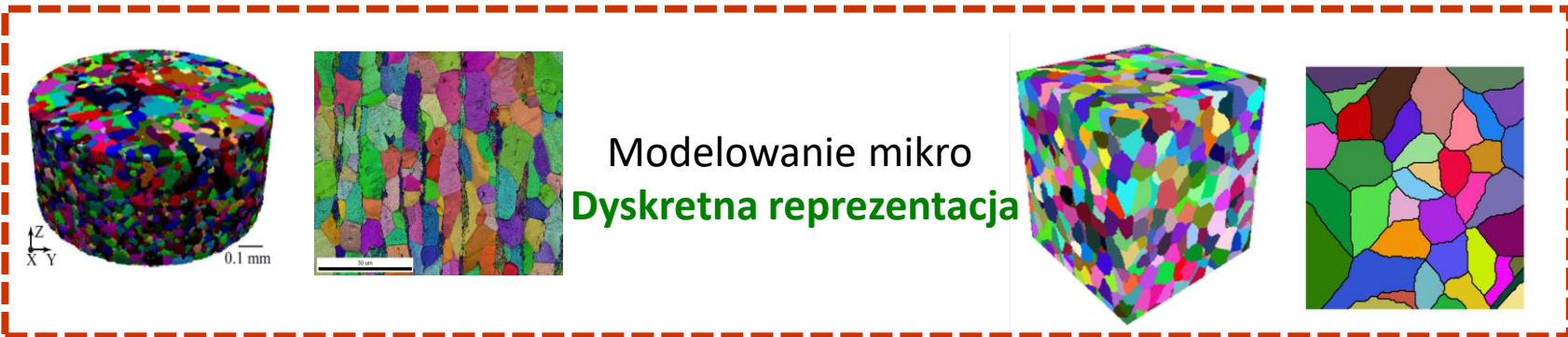
**Modelowanie wieloskalowe**



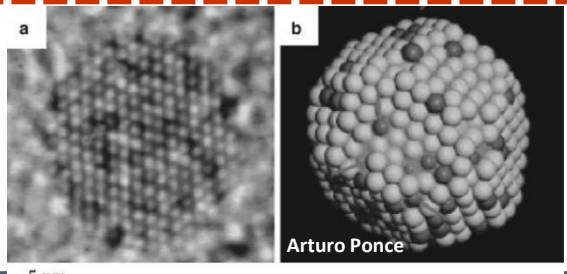
macro  
mezo  
micro  
nano



Modelowanie makro:  
kontynualna reprezentacja



Modelowanie mikro  
Dyskretna reprezentacja



Arturo Ponce

