



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



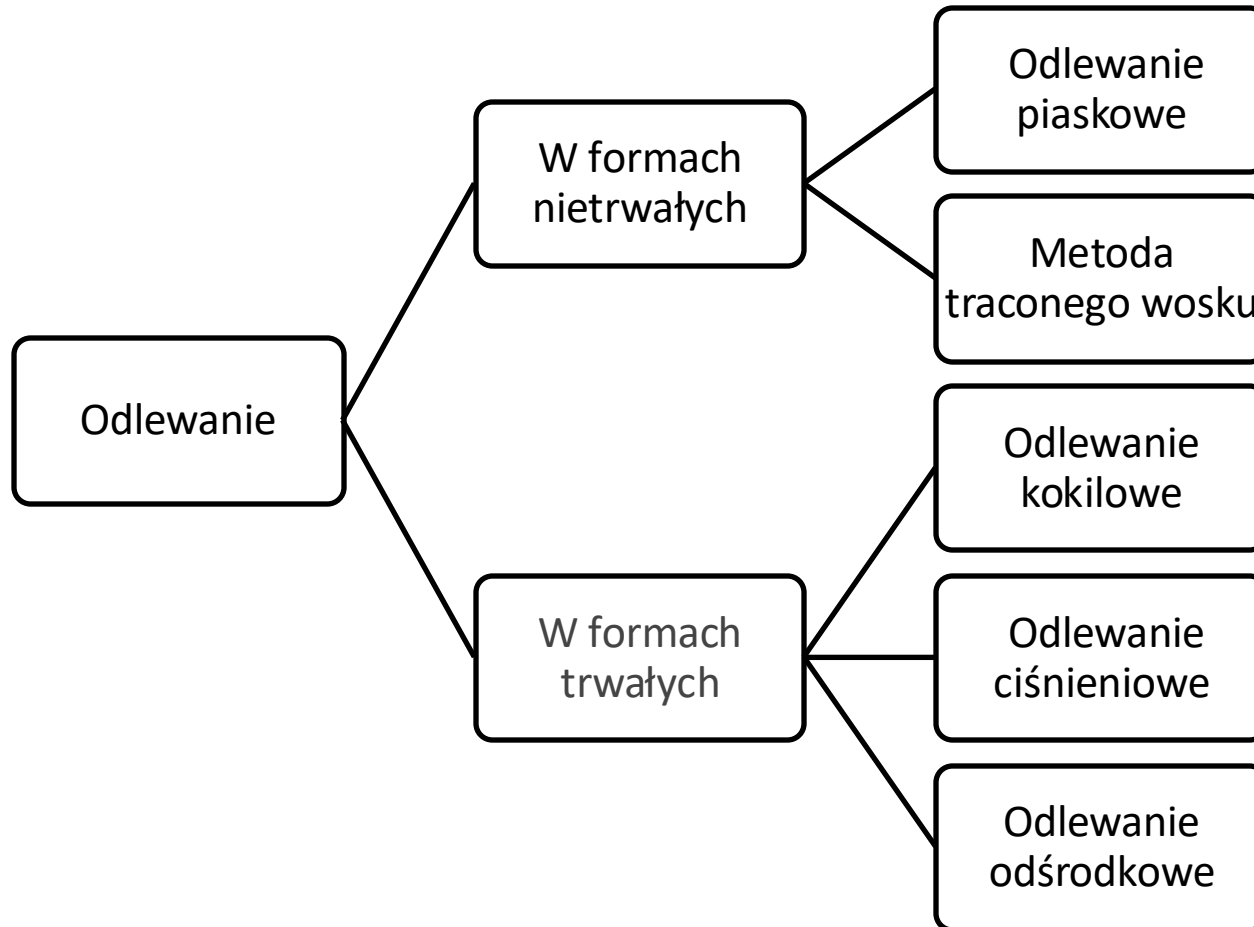
**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Projektowanie elementów odlewanych

dr inż. Michał Batsch

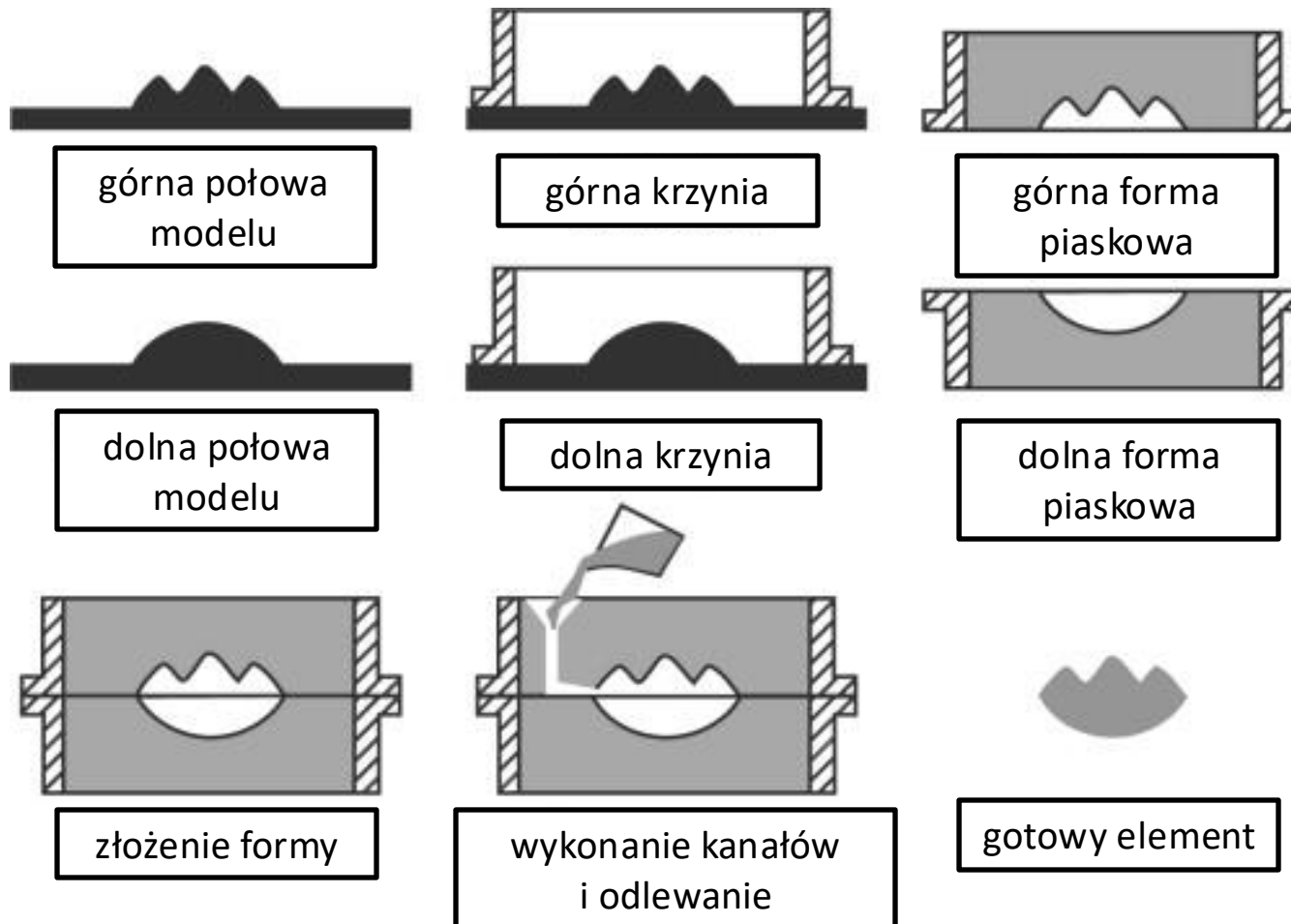
Przegląd metod odlewania

Odlewanie to proces technologiczny polegający na wypełnieniu uprzednio przygotowanej formy (odzwierciedlającej geometrię przyszłego wyrobu) płynnym tworzywem (najczęściej metalem lub stopem, ale także tworzywem sztucznym, gipsem czy ceramiką), które po zakrzepnięciu zachowuje kształt gniazda formy.



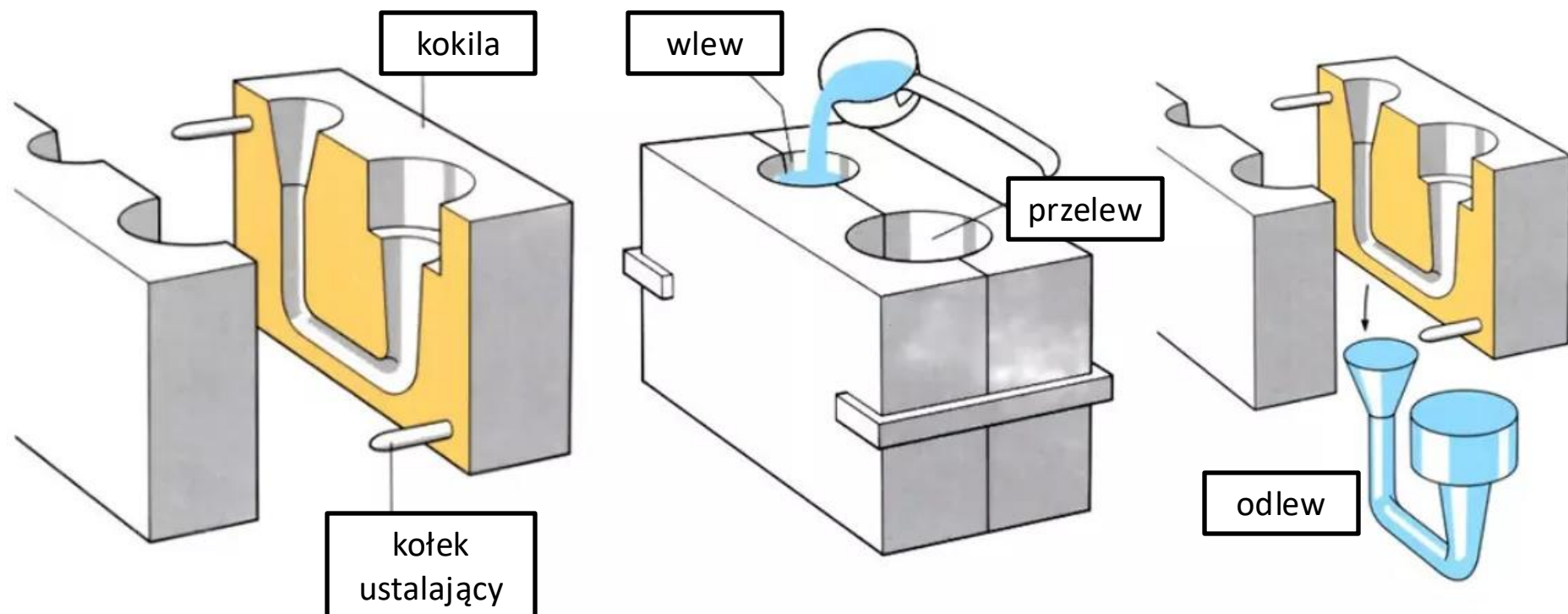
Odlewanie piaskowe

Odlewanie piaskowe to technologia wytwarzania odlewów w formach nietrwałych, wykonanych z masy formierskiej (najczęściej mieszanki piarku kwarcowego, lepiszcza i wody). Po zakrzepnięciu metalu forma jest niszczona w celu wyjęcia gotowego detalu.



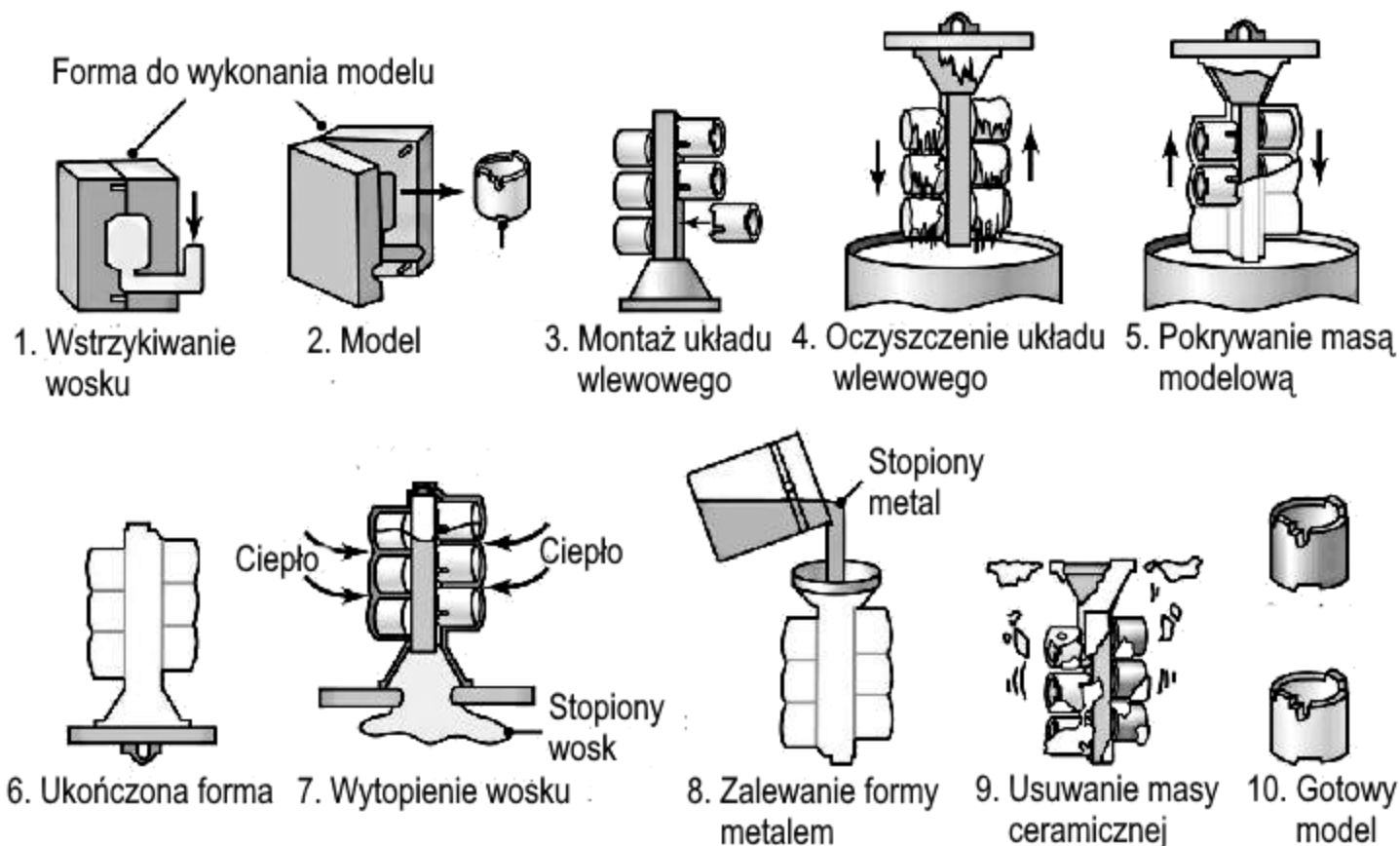
Odlewanie kokilowe

Odlewanie kokilowe to proces odlewania grawitacyjnego do form trwałych, zwanych kokilami. Formy te są wykonane z metalu (stali lub żeliwa), co pozwala na ich wielokrotne wykorzystanie (nawet do kilkunastu tysięcy razy) bez konieczności niszczenia formy po każdym odlewie.



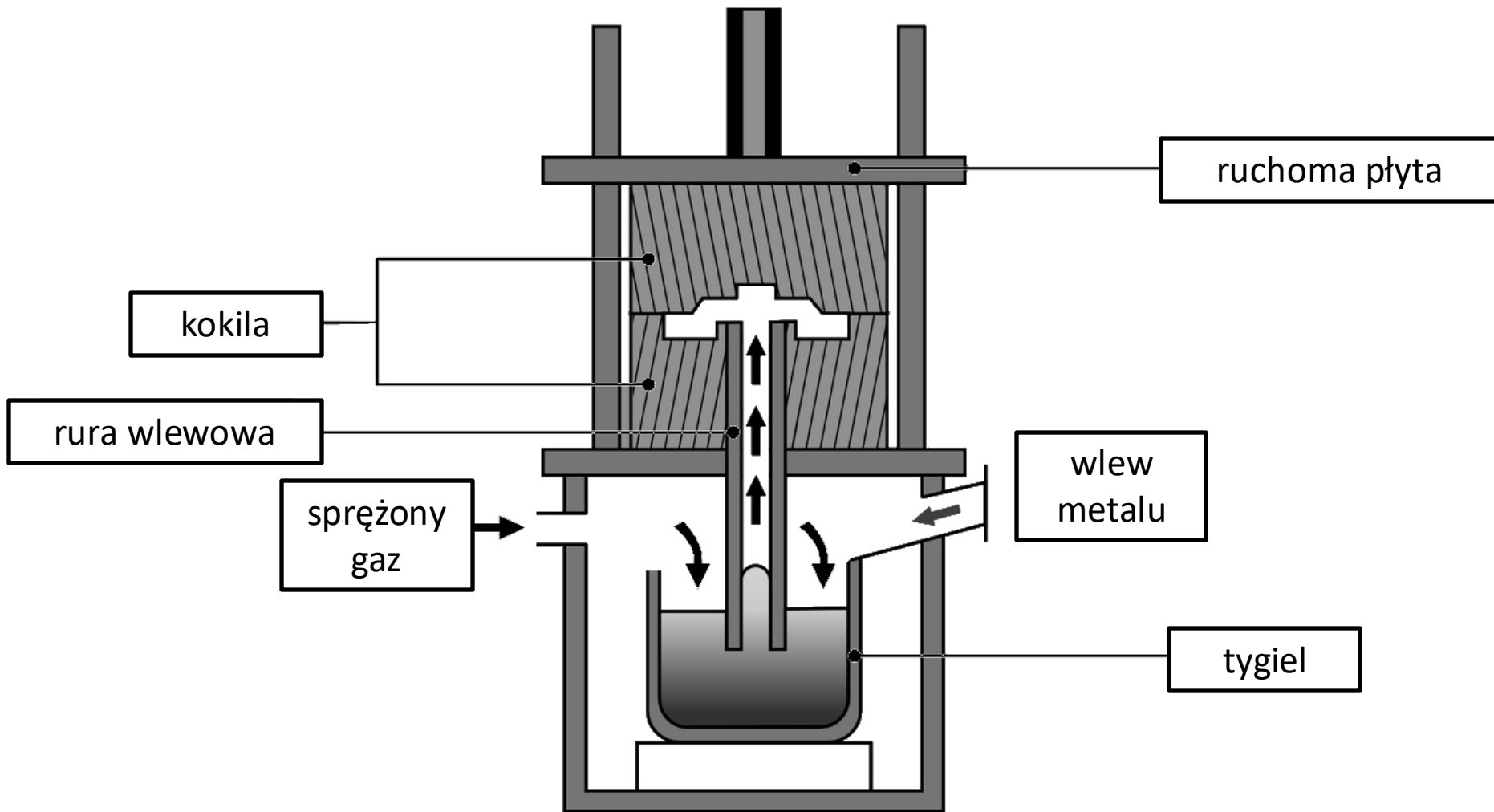
Odlewanie metodą traconego wosku

Odlewanie metodą traconego wosku to proces polegający na wykonaniu jednorazowego modelu z materiału topliwego (zazwyczaj wosku), który zostaje otoczony ceramiczną masą ogniotrwałą. Po utwardzeniu ceramiki, wosk jest wytapiany, pozostawiając wewnątrz pustą formę gotową do zalania metalem.



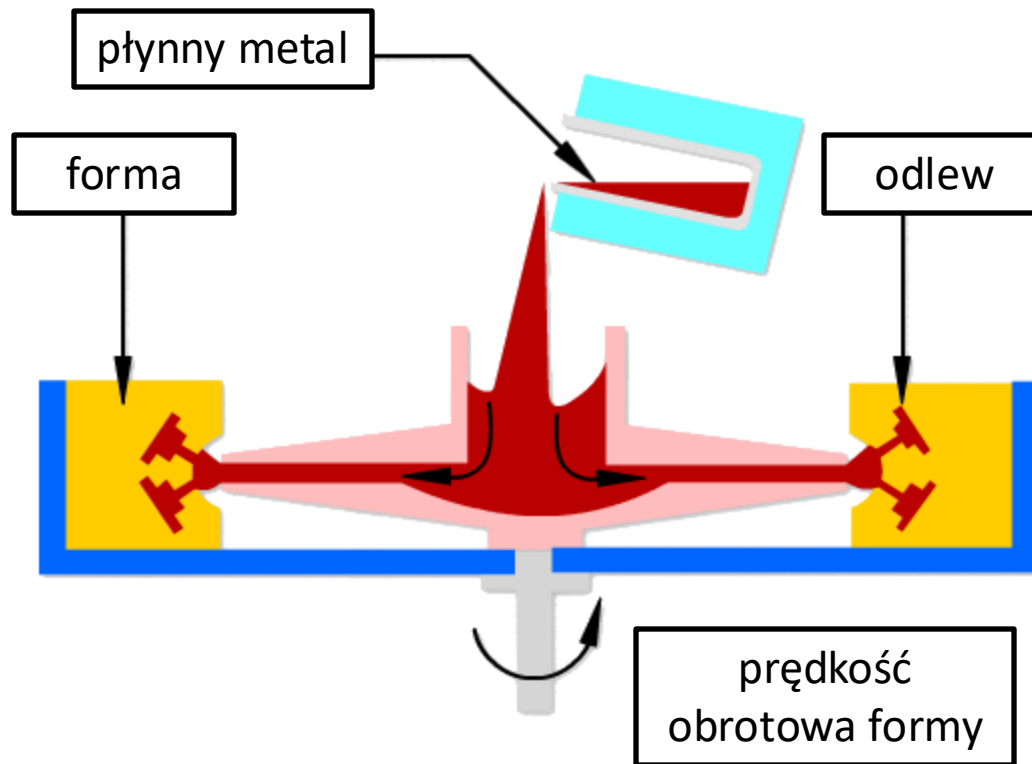
Odlewanie ciśnieniowe

Odlewanie ciśnieniowe polega na wymuszonym wprowadzeniu ciekłego metalu do stalowej formy pod wysokim ciśnieniem (od kilku do kilkuset MPa). Proces ten odbywa się na specjalnych maszynach ciśnieniowych.



Odlewanie odśrodkowe

Odlewanie odśrodkowe polega na wprowadzaniu ciekłego metalu do formy wirującej wokół własnej osi (poziomej lub pionowej). Siła odśrodkowa dociska metal do ścianek formy, co pozwala na formowanie detali bez użycia rdzeni wewnętrznych.



Wytyczne do projektowania odlewów piaskowych

Unikanie ostrych kątów i skomplikowanych węzłów

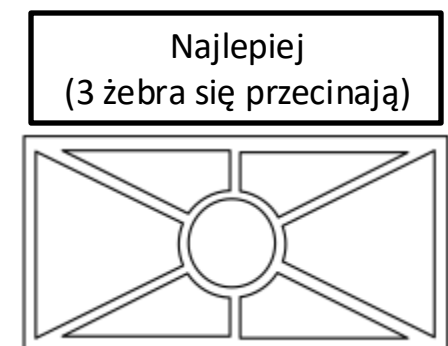
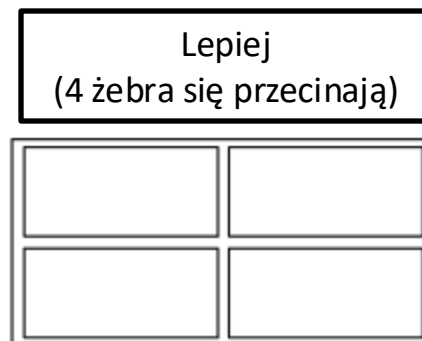
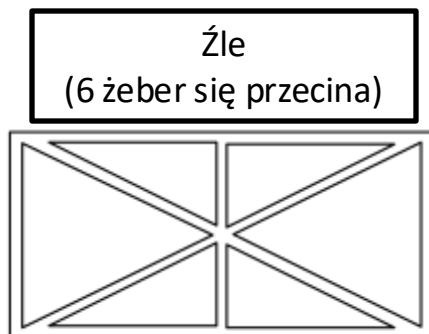
Struktura krystaliczna metalu zależy od kształtu przekroju. Kryształy rosną prostopadle do ścianek formy.

Jednolity przekrój zapewnia równomierne chłodzenie i stałe właściwości materiałowe.

Ostre kąty powodują zaburzenia cieplne:

- Hot spots (Węzły cieplne): Miejsca, gdzie piasek kumuluje zbyt dużo energii, opóźniając krzepnięcie.
- Chilled areas (Miejsca przechłodzone): Zewnętrzne narożniki oddają ciepło w dwóch płaszczyznach, co tworzy niejednorodną, osłabioną strukturę ziarnistą.

Należy minimalizować liczbę ścianek zbiegających się w jednym punkcie. Zamiast "krzyża", lepiej zaprojektować otwór w środku.



Wytyczne do projektowania odlewów piaskowych

Jednolita grubość ścianek

Spójność wymiarowa to klucz do uniknięcia wad odlewniczych.

- Równomierne chłodzenie redukuje naprężenia i ryzyko pęknięć.
- Jeśli masywne sekcje są nieuniknione, muszą być dostępne dla nadlewów, które uzupełnią ubytki metalu.
- Zbyt cienkie ścianki mogą spowodować zastygnięcie metalu przed wypełnieniem formy (niedolewy). Koszt złomowania wadliwych odlewów jest wyższy niż zysk z oszczędności materiału.

Minimalne ekonomiczne grubości ścianek dla różnych długości sekcji			
Stop ogólny	Grubość dla sekcji o długości 2,5 cm lub mniej (mm)	Grubość dla sekcji o długości od 2,5 do 15 cm (mm)	Grubość dla sekcji o długości powyżej 15 cm (mm)
Żeliwo sferoidalne	4,8	12,5	19,0
Żeliwo szare	4,0	9,5	19,0
Żeliwo ciągliwe	3,3	6,4	14,0
Stale węglowe	8,0	12,5	25,0
Aluminium	4,0	8,0	16,0
Magnez	4,0	8,0	16,0

Wytyczne do projektowania odlewów piaskowych

Proporcje ścianek wewnętrznych i rdzeni

Ścianki wewnętrzne oddają ciepło wolniej niż te stykające się bezpośrednio z formą zewnętrzną.

- Grubość ścianek wewnętrznych powinna wynosić ok. 80% grubości ścianek zewnętrznych.
- Rdzenie piaskowe muszą być masywniejsze niż otaczający je metal. Mały rdzeń szybko się przegrzewa, co spowalnia krzepnięcie metalu wokół niego i prowadzi do wad.

Wytyczne do projektowania odlewów piaskowych

Skurcz metalu i kierunkowe krzepnięcie

Projektant musi przewidzieć, jak metal będzie się zachowywał podczas stygnięcia.

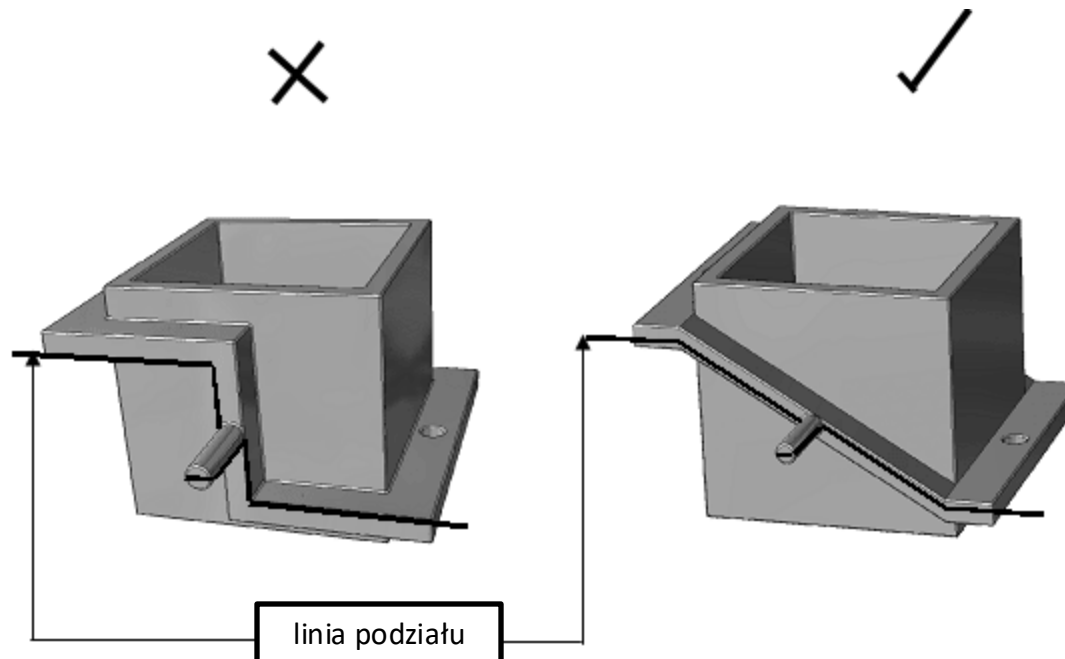
- Kierunkowość: Idealny element ma przekroje malejące wraz z oddalaniem się od układu wlewowego lub nadlewu.
- Kompensacja skurczu: Różne stopy kurczą się inaczej (np. staliwo znacznie bardziej niż żeliwo szare). Projektant musi znać metodę zasilania odlewu, by właściwie dobrać wymiary.

Wytyczne do projektowania odlewów piaskowych

Płaszczyzna podziału

Im prostsza linia podziału formy, tym tańszy i dokładniejszy odlew.

- Linia prosta - prostsze modele, mniejsze koszty i mniejsza liczba braków.
- Płaszczyznę podziału najlepiej umieścić w najmniej krytycznych miejscach detalu:
 - Wymiary przechodzące przez linię podziału są najtrudniejsze do kontrolowania.
 - Na linii podziału powstaje wypływka, której usuwanie generuje koszty.



Wytyczne do projektowania odlewów piaskowych

Naddatki na obróbkę i tolerancje

Odlew piaskowy rzadko jest produktem gotowym – zazwyczaj wymaga skrawania.

Naddatek to dodatkowa warstwa materiału kompensująca nierówności. Zależy od wielkości odlewu:

- Małe odlewy (<15 cm): ok. 2.5 mm.
- Duże odlewy (>250 cm): nawet do 25 mm.

Tolerancje liniowe:

- Standardowo +/- 1 mm dla małych detali, rosnące wraz z wymiarem.

Tolerancje dodatkowe:

- Należy doliczyć błędy wynikające z przesunięcia skrzynek formierskich (na linii podziału) oraz przesunięcia rdzenia.

Wytyczne do projektowania odlewów wykonywanych metodą wosku traconego

Swoboda projektowa i precyzja

Metoda traconego wosku oferuje większą swobodę projektowania niż jakakolwiek inna operacja formowania metali.

- **Złożoność:** Możliwość tworzenia niezwykle skomplikowanych i precyzyjnych kształtów.
- **Wysoka temperatura:** Metoda idealna dla stopów o wysokiej temperaturze topnienia (np. stale superodporne), które są trudne do obróbki skrawaniem.
- **Net Shape:** Części są odlewane z tak wąskimi tolerancjami, że obróbka mechaniczna jest ograniczona do minimum, a niekiedy zbędna.

Wytyczne do projektowania odlewów wykonywanych metodą wosku traconego

Wzorzec woskowy

Kluczem do zrozumienia ograniczeń tej metody jest fakt, że wzorce woskowe (modele) są produkowane metodą wtryskiwania.

- Wytyczne z wtryskiwania: Skoro model woskowy powstaje w matrycy, musi on dawać się z niej łatwo usunąć.
- Jednolita grubość ścianek: Zapewnia równomierne chłodzenie wosku w formie, co minimalizuje odkształcenia (paczenie się) modelu jeszcze przed zalaniem go metalem.
- Płaska linia podziału: Dla każdego elementu modelu woskowego warto dążyć do płaskiej płaszczyzny podziału matrycy, co znacząco obniża koszty oprzyrządowania.

Wytyczne do projektowania odlewów wykonywanych metodą wosku traconego

Integracja zasad odlewania piaskowego

Mimo precyzji, fizyka metalu pozostaje niezmienna. Zasady dobrego odlewania piaskowego znajdują tu swoje zastosowanie:

- Minimalizacja masy niefunkcjonalnej: Usuwanie zbędnego materiału ułatwia zasilanie odlewu metalem przez układ wlewowy.
- Promienie i zaokrąglenia: Stosowanie dużych promieni ułatwia płynięcie metalu i drastycznie redukuje koncentrację naprężeń w gotowym detalu.
- Węzły cieplne: Unikanie nagłych zmian przekrojów zapobiega porowatości.

Wytyczne do projektowania odlewów wykonywanych metodą wosku traconego

Możliwości i ograniczenia gabarytowe

Choć metoda wosku traconego, ma swoje ekonomiczne i fizyczne granice:

- Zakres wagowy: Od skrajnie małych elementów (0.5 g) do dużych bloków (100 kg). Jednak proces jest najbardziej efektywny dla części o wadze poniżej 5 kg.
- Grubość sekcji:
 - Minimum: od 0.25 mm do 1 mm (zależnie od stopu).
 - Maksimum: około 75 mm (powyżej tej grubości pojawiają się problemy z chłodzeniem i skurczem).
- Koszty dodatkowe: Oddzielne rdzenie, występy oraz podcięcia są możliwe, ale znacząco podnoszą koszt produkcji ze względu na skomplikowanie matryc woskowych.

Wytyczne do projektowania odlewów ciśnieniowych

Grubość ścianek i struktura materiału

W odlewnictwie ciśnieniowym projektować konstrukcje cienkościennie o jednolitej grubości. Zalecane grubości ścianek:

- Cynk (Zn): 1.0 - 1.5mm (najcieńsze, doskonała płynność),
- Aluminium (Al) / Magnez (Mg): 30-50% grubiej niż cynk (ok. 1.3 - 2.2 mm),
- Miedź (Cu): 2.0 - 3.0 mm (trudniej płynie, wyższa temp. topnienia).

Cienkie ścianki mają strukturę drobnoziarnistą, co zapewnia wysoką wytrzymałość i minimalną porowatość. W grubych przekrojach środek krzepnie wolniej, tworząc strukturę gruboziarnistą z porowatością.

Wytyczne do projektowania odlewów ciśnieniowych

Projektowanie wypustek i żeber

Źle zaprojektowane elementy wystające (żebra, "wysepki", naby itp.) powodują wady nazywane węzłami cieplnymi. Nagromadzenie materiału w miejscu połączenia chłodzi się wolniej, co prowadzi do:

- Wciągnięć: Zapadnięcia powierzchni.
- Kawitacji wewnętrznej: Pustych przestrzeni w środku materiału.

Grubość wypustki w miejscu połączenia ze ścianką główną nie powinna przekraczać 80% grubości tej ścianki.

Wytyczne do projektowania odlewów ciśnieniowych

Geometria a otwieranie formy (unikanie podcięć)

Projektant musi widzieć detal w kontekście demontażu połówek formy.

- Elementy wystające ze ścianek bocznych nie powinny zasłaniać się nawzajem w kierunku otwierania matrycy.
- Unikanie suwaków (Side-pulls) - jeśli elementy "zachodzą" na siebie, powstają blokady, które wymagają stosowania drogich mechanizmów bocznych w formie.
- Można stosować "schodkową" linię podziału, która przechodzi przez środki izolowanych wypustek.

Wytyczne do projektowania odlewów ciśnieniowych

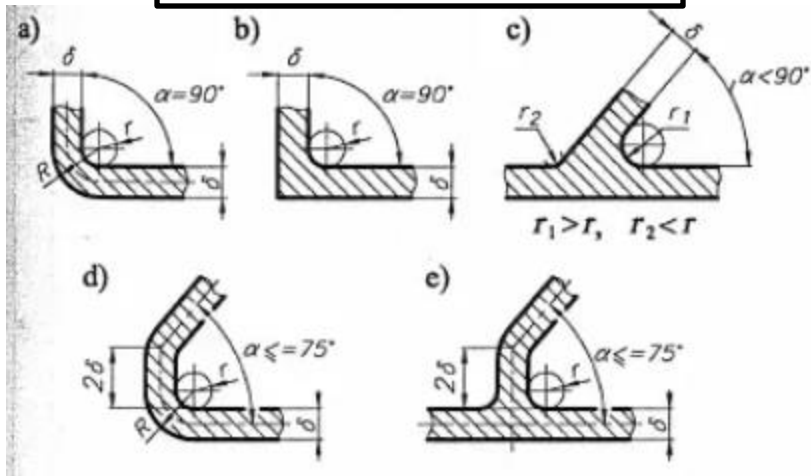
Kieszenie wewnętrzne i podcięcia

Zakaz podcięć wewnętrznych

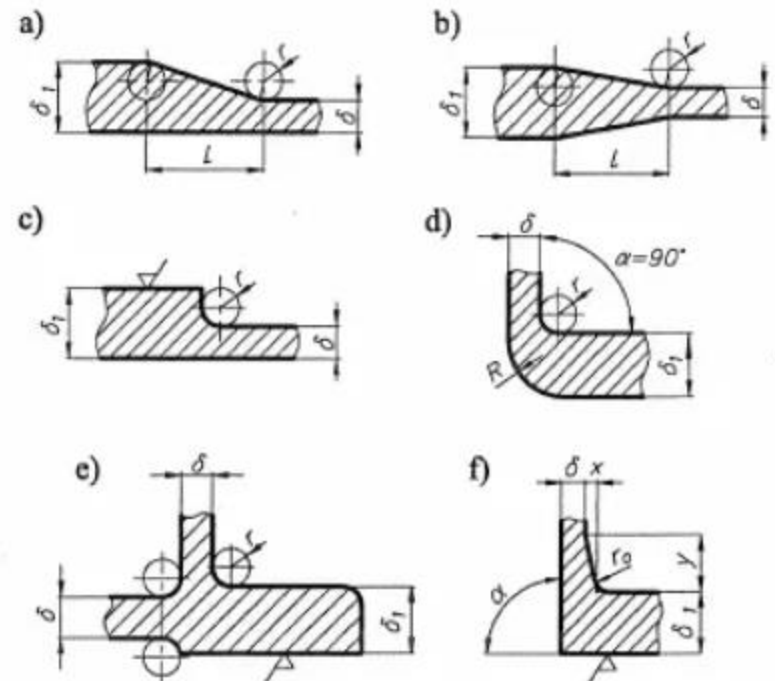
W odlewaniu ciśnieniowym (w przeciwieństwie do piaskowego) prawie niemożliwe jest stosowanie ruchomych rdzeni wewnętrznych, które mogłyby zostać "wyciągnięte" ze środka bryły. Takie kształty (np. gwinty wewnętrzne, rowki pod uszczelki wewnątrz otworu) muszą być wykonane poprzez wtórną obróbkę skrawaniem (CNC). Każde podcięcie wewnętrzne to dodatkowy, znaczący koszt produkcji.

Wytyczne geometryczne

Promienie wyokrągłeń



Łączenie ścian o różnej grubości



Pochylenia odlewnicze

Materiał	Pochylenie	Kąt, st	δ , mm
Żeliwo	1:5 (1:10)	11,5° (5°)	< 25
Staliwo	1:10 (1:20)	5° (3°)	> 25
Odlewnicze stopy kolorowych metali	1:100	0,5°	



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Michał Batsch