



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

KATEDRA TECHNIK WYTWARZANIA I AUTOMATYZACJI

Przedmiot:

Obróbka skrawaniem i narzędzia

Temat ćwiczenia:

Frezowanie

Numer ćwiczenia:

5

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie odmian frezowania, parametrów skrawania, narzędzi frezarskich, budowy i zasady działania frezarki konwencjonalnej jak również praktyczne poznanie wszystkich rodzajów zabiegów możliwych do wykonania na frezarce.

2. Wyposażenie stanowiska

- frezarka konwencjonalna,
- oprzyrządowanie dodatkowe,
- narzędzia frezarskie jednolite i składane,
- instrukcja do ćwiczenia.

3. Przebieg ćwiczenia

- zapoznanie się z rodzajami i budową narzędzi do frezowania,
- omówienie sposobów mocowania narzędzi we wrzecionie,
- zapoznanie się z budową i zasadą działania frezarki konwencjonalnej,
- przeprowadzenie operacji obróbkowych:
 - a) frezowania współbieżnego
 - b) frezowania przeciwbieżnego

Uwagi:

Po wykonaniu ćwiczenia należy sporządzić sprawozdanie wg wytycznych zawartych w niniejszej instrukcji.

1. Wprowadzenie

Frezowanie – rodzaj obróbki skrawaniem, w którym praca narzędzia nie jest ciągła. Narzędziem jest frez wieloostrzowy o kształcie bryły obrotowej. Jego ostrza mogą być wykonane na powierzchni walcowej, walcowo – czołowej, czołowej, obu czołowych, a także na powierzchni stożkowej lub kształtowej. Na powierzchni walcowej ostrza mogą być wykonane jako proste bądź śrubowe.

Praca narzędzi nie jest ciągła, to znaczy, że równocześnie pracuje tylko część ostrzy. Powoduje to polepszenie warunków chłodzenia. Z drugiej strony przy frezowaniu grubość warstwy skrawanej przez poszczególne ostrza jest zmienna, a więc i przekrój warstwy skrawanej oraz wióra zmieniają się podczas obróbki. Powoduje to zmianę obciążenia i wpływa ujemnie na żywotność narzędzia.

Podczas frezowania ruchem głównym jest ruch obrotowy frezu, natomiast ruch posuwowy jest to ruch przedmiotu obrabianego lub frezu.

2. Klasyfikacja odmian frezowania

Klasyfikacja odmian toczenia może być dokonywana na podstawie zróżnicowanych kryteriów:

a) pod względem technologicznym:

- frezowanie walcowe (obwodowe) – oś frezu zajmuje położenie równoległe do powierzchni obrobionej,
- frezowanie czołowe - oś frezu zajmuje położenie prostopadłe do powierzchni obrobionej,
- frezowanie skośne – oś frezu tworzy z powierzchnią obrobioną kąt różny od 0° do 90° ,

b) pod względem konstrukcyjnym:

- frezowanie pełne (trzystronne) – gdzie jednocześnie powstają trzy powierzchnie obrobione
- frezowanie niepełne (dwustronne) – gdzie jednocześnie powstają dwie powierzchnie obrobione
- frezowanie swobodne (jednostronne) – gdzie powstaje jedna powierzchnia obrobiona

c) pod względem kinematycznym

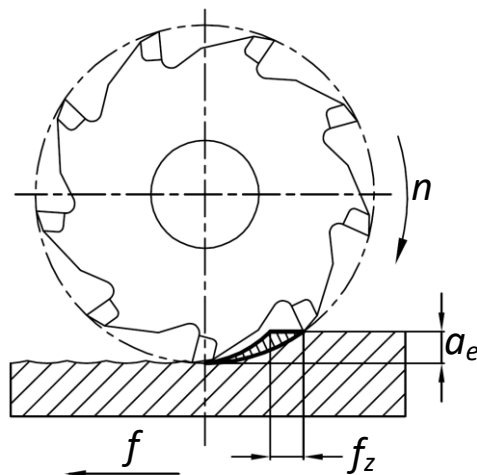
- frezowanie współbieżne
- frezowanie przeciwbieżne

Frezowanie obwodowe (walcowe)			
Frezowanie czołowe			
Frezowanie skośne			
	Frezowanie pełne	Frezowanie niepełne	Frezowanie swobodne

Rys. 1. Klasyfikacja odmian frezowania

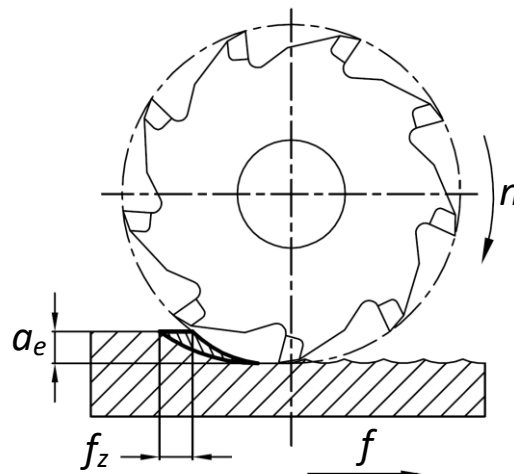
2.1. Frezowanie walcowe

- Frezowanie walcowe współbieżne – występuje, gdy kierunek ruchu przedmiotu obrabianego jest zgodny z kierunkiem obrotu frezu. Przy frezowaniu współbieżnym grubość warstwy skrawanej jest największa na początku pracy ostrza i najmniejsza na końcu. W wyniku takiego rozkładu warstwy skrawanej opory skrawania również osiągają wartość od największej do najmniejszej na końcu pracy ostrza. Frezowanie współbieżne charakteryzuje się udarową pracą, co może powodować skrócenie żywotności narzędzia oraz lepszą jakością powierzchni obrobionej ze względu na odprowadzanie wiórów z strefy obróbki.



Rys. 2. Frezowanie walcowe współbieżne

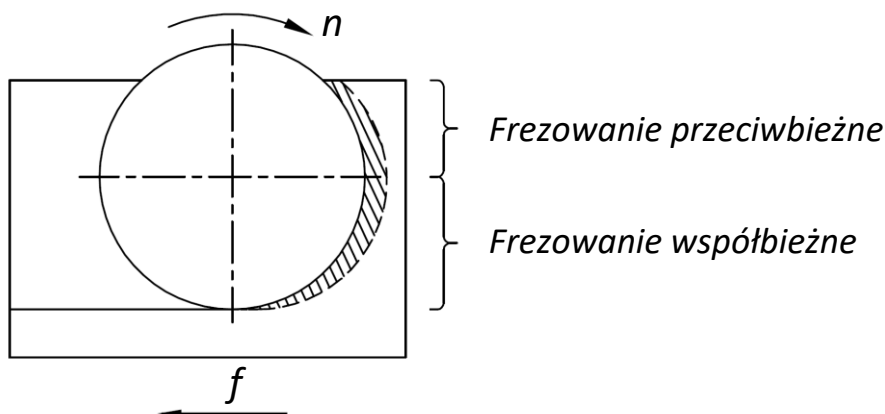
- Frezowanie walcowe przeciwbieżne – występuje, gdy kierunek ruchu przedmiotu obrabianego jest przeciwny do kierunku obrotu frezu. Przy frezowaniu przeciwbieżnym grubość warstwy skrawanej rośnie od wartości zerowej do wartości maksymalnej, co wpływa na zmienny charakter oporów. W początkowej fazie skrawania krawędź skrawająca trze o powierzchnię obrobioną, dopóki wzrastający nacisk krawędzi skrawającej nie stanie się odpowiedni do rozpoczęcia procesu skrawania. W wyniku zjawiska tarcia krawędź skrawająca zużywa się bardziej niż w trakcie skrawania materiału. Z kinematyki frezowania przeciwbieżnego wynika, że materiał obrobiony usuwany jest przed narzędzie, co może prowadzić do zalepiania rowków wiórowych. Ponadto występuje pogorszenie warunków chłodzenia oraz wzrost chwilowych oporów skrawania, co prowadzi do zmniejszenia trwałości narzędzia.



Rys. 3. Frezowanie walcowe przeciwbieżne

2.2. Frezowanie walcowo – czołowe

Frezowanie walcowo – czołowe – jest odmianą frezowania, w której mogą wystąpić dwie kinematyczne odmiany: frezowanie współbieżne i przeciwbieżne. Stosunek udziału frezowania współbieżnego i przeciwbieżnego jest uzależniony od szerokości skrawania. Znacząco wpływa to na charakter procesu skrawania, opory skrawania, chropowatość powierzchni oraz trwałość narzędzia.

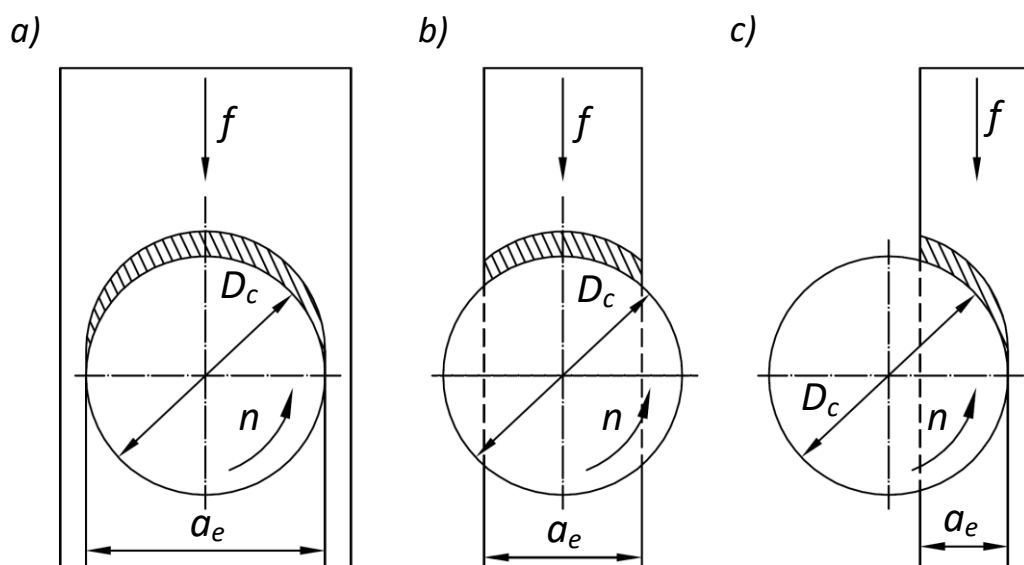


Rys. 4. Frezowanie walcowo – czołowe przeciw - współbieżne

2.3. Frezowanie czołowe

Ze względu na ustawienie osi narzędzia względem przedmiotu obrabianego można wyróżnić następujące odmiany frezowania czołowego:

- Frezowanie pełne – przy którym szerokość frezowania jest równa wartości średnicy narzędzia.
- Frezowanie niepełne symetryczne - szerokość frezowania jest mniejsza od średnicy narzędzia, przy symetrycznym ustawieniu narzędzia względem przedmiotu.
- Frezowanie niepełne niesymetryczne – przy którym szerokość frezowania jest mniejsza od średnicy narzędzia, a ustawienie narzędzia względem części obrabianej jest niesymetryczne.



Rys. 5. Frezowanie czołowe: a) pełne, b) niepełne symetryczne c) niepełne niesymetryczne

3. Parametry technologiczne frezowania

W procesie frezowania ruch główny obrotowy wykonuje narzędzie, natomiast ruch posuwowy może wykonywać narzędzie lub przedmiot obrabiany. Tak jak przy toczeniu, niektóre parametry technologiczne są jednocześnie wielkościami nastawczymi na maszynie. Do parametrów technologicznych frezowania zalicza się:

- **Prędkość obrotowa** – prędkość obrotowa wrzeciona frezarskiego

$$n \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$$

- **Średnica frezu** – średnica narzędzia

$$D_c \text{ [mm]}$$

- **Prędkość skrawania** - prędkość skrawania v_c przy frezowaniu nazywamy drogę przebytą w ciągu jednej minuty przez punkt krawędzi skrawającej, leżący na obwodzie frezu, względem przedmiotu obrabianego. Prędkość skrawania w procesie frezowania jest z reguły stała i wyraża się wzorem:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

gdzie:

D_c – średnica frezu [mm],

n – prędkość obrotowa [obr/min].

- **Posuw na obrót** – jest to przemieszczenie narzędzia lub przedmiotu obrabianego przypadające na jeden obrót frezu.

$$f = \left[\frac{mm}{obr} \right]$$

- **Prędkość posuwu** – chwilowa prędkość ruchu posuwowego narzędzia lub przedmiotu obrabianego w ciągu jednej minuty:

$$v_f = f \cdot n \left[\frac{mm}{min} \right]$$

gdzie:

f – posuw [mm/obr],

n – prędkość obrotowa [obr/min].

- **Posuw na ostrze (zęb)** – jest to przemieszczenie narzędzia lub przedmiotu obrabianego przypadające na jedno ostrze frezu. Posuw ten możemy wyrazić zależnością:

$$f_z = \frac{f}{z} = \frac{v_f}{z \cdot n} \left[\frac{mm}{z} \right]$$

gdzie:

z – ilość ostrzy narzędzia

f – posuw [mm/obr],

n – prędkość obrotowa [obr/min],

v_f – prędkość posuwu [mm/min]

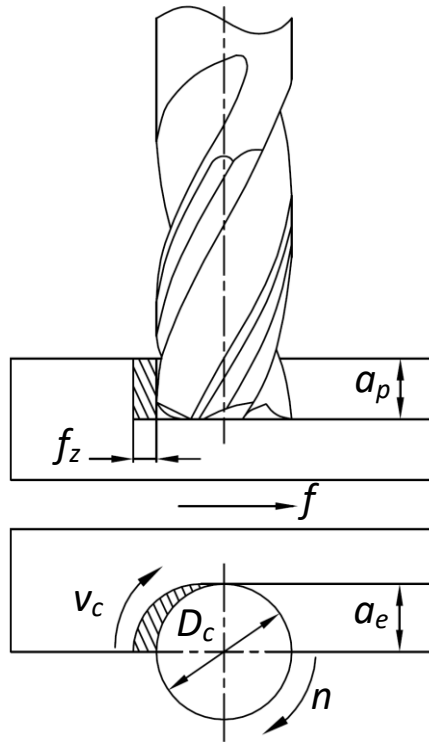
- **Szerokość skrawania** – wymiar odpowiadający długości zetknięcia frezu z materiałem obrabianym, mierzona w kierunku promieniowym narzędzia:

$$a_e \text{ [mm]}$$

- **Głębokość skrawania** – wymiar naddatku usuwanego podczas jednego przejścia frezu, mierzona na kierunku osiowym narzędzia:

$$a_p \text{ [mm]}$$

Parametry technologiczne przedstawiono na rys. 7.

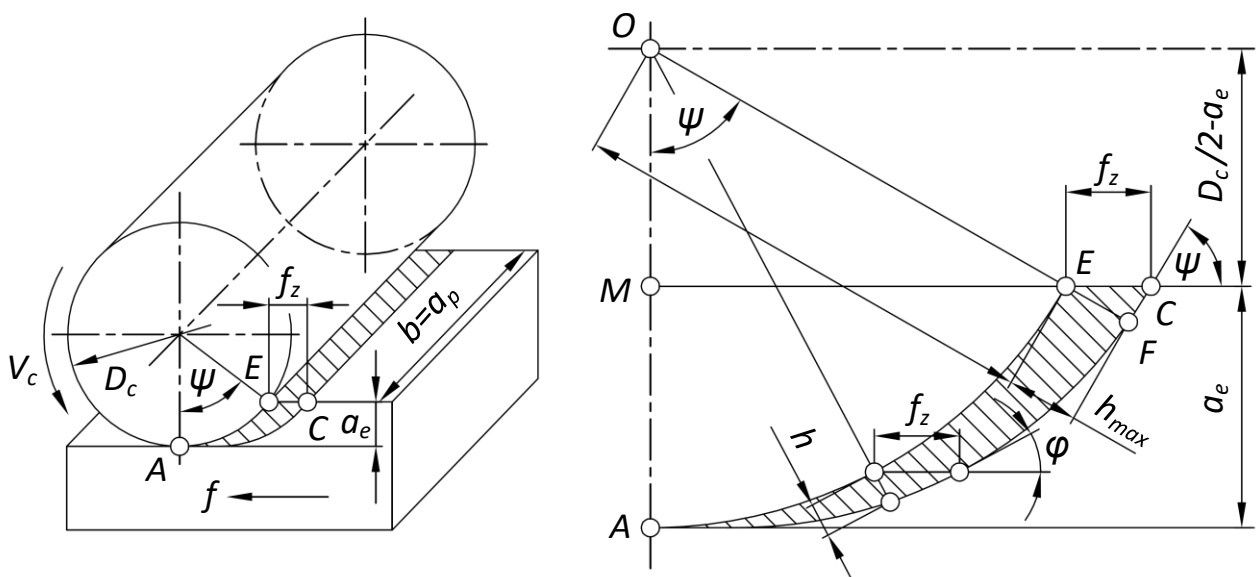


Rys. 7. Parametry technologiczne procesu frezowania

4. Przekrój warstwy skrawanej

Podczas procesu frezowania przekrój warstwy skrawanej jest wartością zmienną, gdyż zmieniają się parametry geometryczne: grubość h i szerokość b warstwy skrawanej. Na rys. 8 przedstawiono zależności między parametrami skrawania, a parametrami geometrycznymi warstwy skrawanej podczas frezowania walcowego, a na rys. 9 dla frezowania czołowego.

a) przekrój warstwy skrawanej w frezowaniu walcowym



Rys. 8. Geometria warstwy skrawanej w frezowaniu walcowym

Analizując warstwę skrawaną widać, że wartość grubości warstwy skrawanej h zmienia się od wartości zerowej w punkcie A do wartości maksymalnej w punkcie E.

- **Maksymalna grubość warstwy skrawanej:**

$$h_{max} = 2f_z \sqrt{\frac{a_e}{D_c} - \frac{a_e^2}{D_c^2}} \text{ [mm]}$$

gdzie:

f_z – posuw jednostkowy na ostrze [mm],

a_e – szerokość skrawania [mm],

D_c – średnica frezu [mm].

- **Szerokość warstwy skrawanej:**

$$b = a_p \text{ [mm]}$$

gdzie:

a_p – głębokość frezowania [mm].

- **Maksymalny przekrój warstwy skrawanej:**

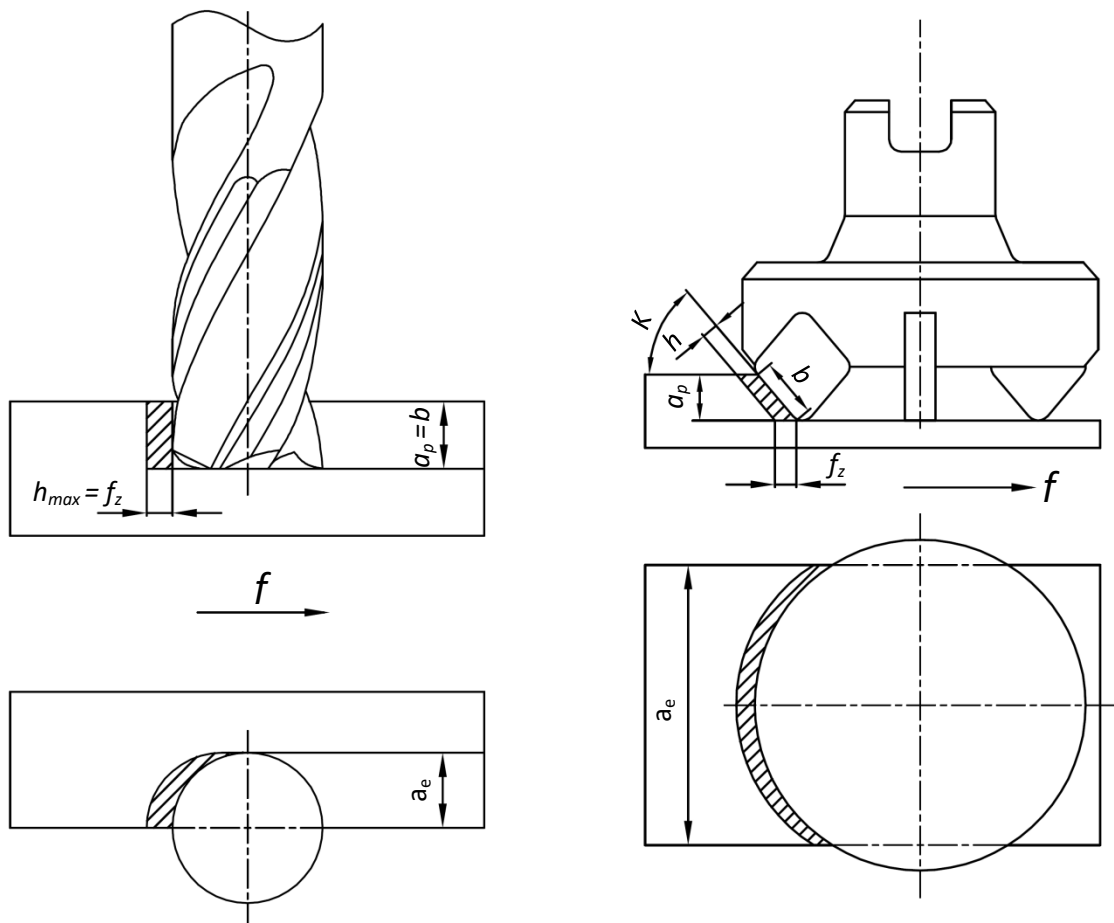
$$A_{max} = b \cdot h_{max} \text{ [mm}^2\text{]}$$

gdzie:

b – szerokość warstwy skrawanej [mm],

h_{max} – maksymalna grubość warstwy skrawanej [mm].

b) przekrój warstwy skrawanej w frezowaniu czołowym



Rys. 9. Geometria warstwy skrawanej w frezowaniu czołowym

- **Maksymalna grubość warstwy skrawanej:**

$$h_{max} = f_z \cdot \sin K \text{ [mm]}$$

gdzie:

f_z – posuw jednostkowy na ostrze [mm],

K – kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej [mm].

- **Szerokość warstwy skrawanej:**

$$b = \frac{a_p}{\sin K} \text{ [mm]}$$

gdzie:

a_p – głębokość skrawania [mm],

K – kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej [mm].

- **Maksymalny przekrój warstwy skrawanej:**

$$A_{max} = b \cdot h_{max} \text{ [mm}^2\text{]}$$

gdzie:

b – szerokość warstwy skrawanej [mm],

h_{max} – maksymalna grubość warstwy skrawanej [mm].

5. Siła, moment i moc frezowania w frezowaniu walcowym

W wyniku realizacji procesu skrawania pomiędzy narzędziem i przedmiotem obrabianym oddziałuje siła skrawania F_c , której wartość maksymalną można obliczyć z następującej zależności:

$$F_{czmax} = b \cdot h_{max} \cdot k_c \text{ [N]}$$

gdzie:

F_{czmax} – maksymalna siła skrawania na ostrze [N],

h_{max} – maksymalna grubość warstwy skrawanej [mm],

b – szerokość warstwy skrawanej [mm],

k_c – opór właściwy skrawania [MPa].

Aby móc zrealizować proces skrawania niezbędne jest dostarczenie do procesu odpowiedniej ilości mocy. Jest ona potrzebna m. in. do pokonania sił tarcia i odkształcenia materiału.

$$P_c = \frac{F_{czmax} \cdot v_c}{60000} \text{ [kW]}$$

gdzie:

F_{czmax} – maksymalna siła skrawania na ostrze [N],

v_c – prędkość skrawania [m/min].

Moc silnika obrabiarki musi być większa od mocy P_c ze względu na straty w układach mechanicznych:

$$P_s = \frac{1,15 \cdot P_c}{\eta} [kW]$$

gdzie:

P_c – moc skrawania [kW],

η – współczynnik sprawności układu napędowego frezarki $\approx (75 \div 85)$.

W związku z realizacją procesu skrawania na wrzecionie frezarki powstaje moment obrotowy, który można obliczyć z zależności:

$$M_c = \frac{F_{czmax} \cdot \frac{D_c}{2}}{1000} [Nm]$$

gdzie:

F_{czmax} – maksymalna siła skrawania na ostrze [N],

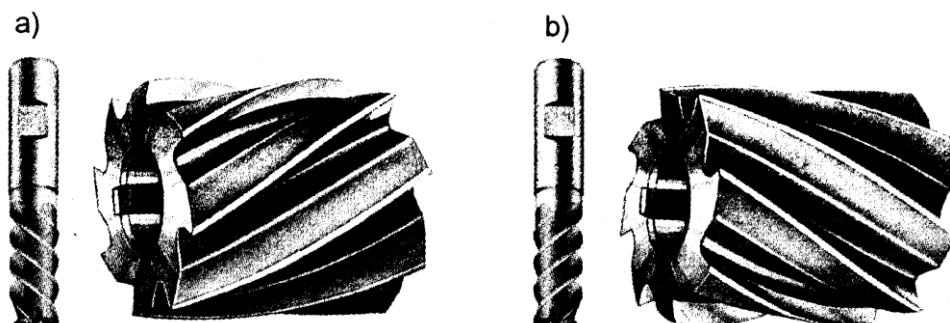
D_c – średnica frezu [mm].

6. Narzędzia frezarskie

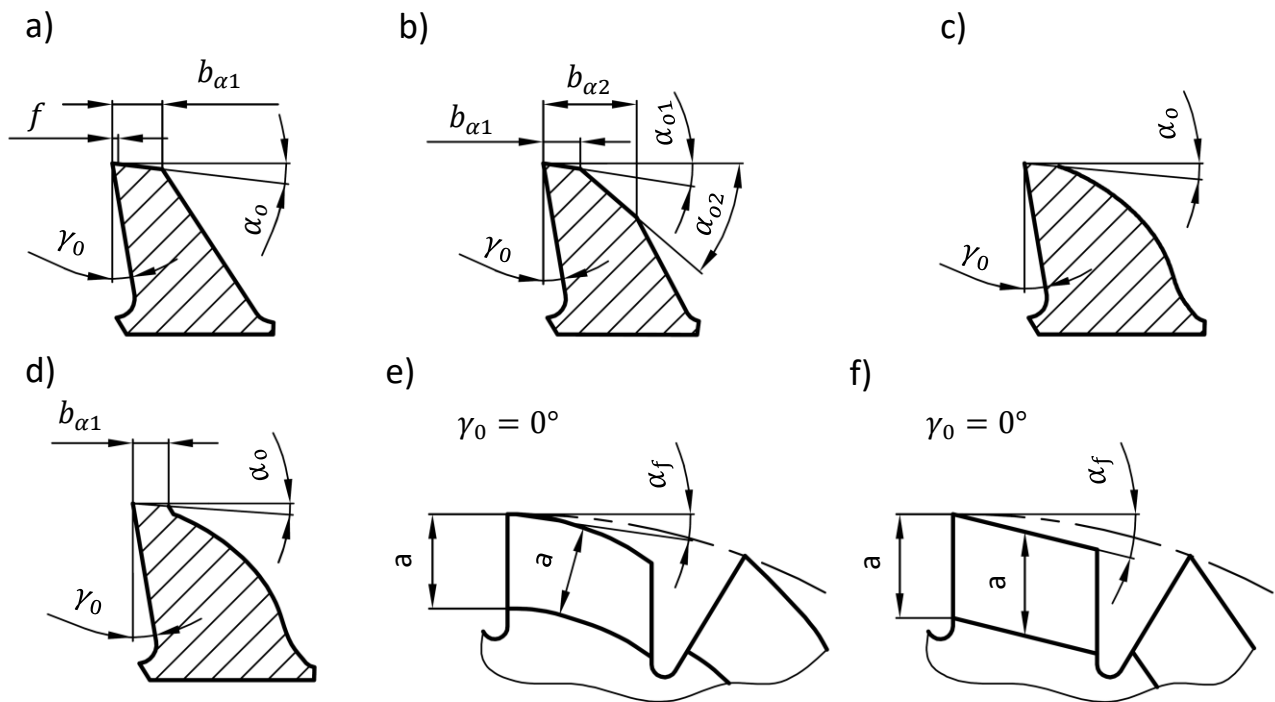
Frez to narzędzie wieloostrowe, który pracuje zawsze w takim układzie kinematycznym, że wykonuje ruch główny, ruch obrotowy. Ruchy posuwowe może wykonywać przedmiot obrabiany, narzędzie lub jednocześnie narzędzie i przedmiot obrabiany. Ostrza frezu zazwyczaj mają cykliczny, przerywany kontakt z obrabianą powierzchnią, wynikły z jego obrotów i charakteru pracy w tym sposobie obróbki skrawaniem.

Frezy należą do grupy narzędzi o najbardziej zróżnicowanej budowie. Istnieje wiele kryteriów ich podziału. Obok kryteriów, według których można dzielić także inne narzędzia, jak np. budowa (jednolite, składane) czy materiał ostrza, można wyróżnić kryteria odnoszące się głównie do frezów:

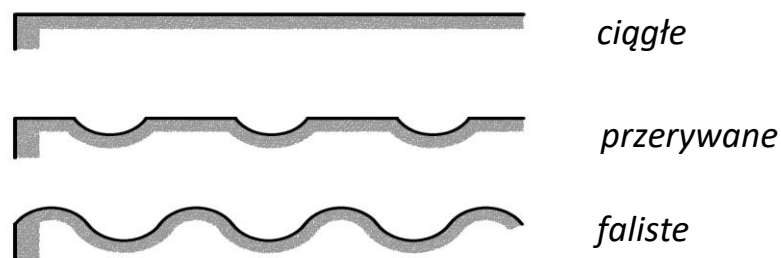
- Geometria ostrzy – frezy z geometrią podwójnie dodatnią, podwójnie ujemną, dodatnio – ujemną.
- Kształt ostrzy (rys.11): frezy z ostrzami ścinowymi, zataczanymi.
- Rodzaj krawędzi (rys. 12): ciągła, przerywana, falista.
- Kierunek pracy (rys. 10) : prawozwojne, lewozwojne.
- Miejsce usytuowania ostrzy: czołowe, walcowe, walcowo –czołowe.
- Sposób kształtowania: punktowe, kształtowe, obwiedniowe.
- Sposób mocowania: trzpieniowe, nasadzone.



Rys. 10. Frezy a) lewozwojne, b) prawozwojne



Rys. 11. Zarys ostrzy frezów: a) jednościenne, b) dwuścienne, c) łukowe, d) łukowe z łysinką, e) zataczane krzywoliniowe (wg. Spirali Archimedes), f) zataczane prostoliniowo

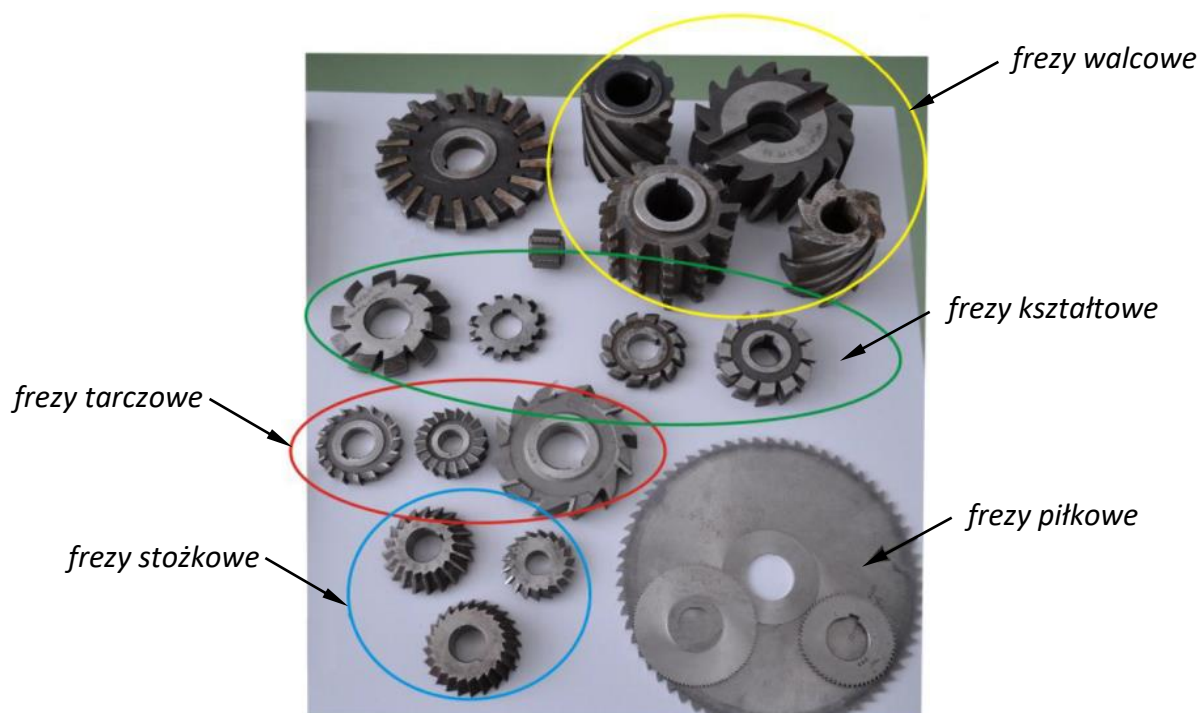


Rys. 12. Rodzaje krawędzi skrawających frezów

Do najczęściej spotykanych rodzajów frezów zalicza się:

- **Frezy walcowe** – służą do kształtowania powierzchni płaskich. Ich ostrza mają kształt linii śrubowej i znajdują się jedynie na zewnętrznej powierzchni walcowej. Czoła frezów walcowych nie skrawają. Pochylenie krawędzi skrawającej ma na celu zmniejszenie drgań narzędzia podczas cyklicznego zagłębiania się i wychodzenia ostrzy z materiału. Na rys. 14 pokazano różne geometrie frezów walcowych.
- **Frezy walcowo – czołowe** – frezy wytwarzane są jako trzpieniowe lub nasadzone. Skrawają one ostrzami, których krawędzie usytuowane są śrubowo na powierzchni walcowej oraz prostoliniowo na powierzchni czołowej frezu. Frezy tego typu konstruowane są jako: frezy jednolite, z ostrzami w postaci listew śrubowych wykonanych ze stali szybko tnącej lub węglików spiekanych lutowanych do korpusu lub mocowanych mechanicznie, z ostrzami wymiennymi.

- **Frezy trzpieniowe (palcowe)** – stosowane do wykonywania rowków, kanałków, powierzchni bocznych. Frezy trzpieniowe o małych średnicach nazywane są często frezami palcowymi. Frezy palcowe są wykonane w odmianie: walcowej z ostrzami śrubowymi usytuowanymi tylko na powierzchni walcowej i skrawają one wówczas tylko powierzchnie boczną; walcowo – czołowej, która umożliwia również frezowanie wgłębne ostrzami znajdującymi się na powierzchni czołowej frezu. Frezy tego typu mogą mieć przynajmniej jedno ostrze centralne dochodzące do osi frezu na powierzchni czołowej, lub ostrza usytuowane są w pierścieniowym, zewnętrznym obszarze czoła frezu. Frezy trzpieniowe wytwarzane są z wieloma wersjami zakończeń powierzchni czoła frezu. Mogą być z zakończeniem płaskim lub kształtowym (kula, stożek), na rys. 15 przedstawiono zestaw frezów trzpieniowych (palcowych).
- **Frezy tarczowe** – są przeznaczone do wykonywania wszelkiego rodzaju kanałków i podcięć. Rozróżnia się frezy z ostrzami znajdującymi się tylko na powierzchni walcowej lub na powierzchni walcowej i obu czołowych. Frezy tarczowe produkuje się w odmianie jednolitej bądź składanej z płytkami wymiennymi. Na rys. 14 i 16 pokazano frezy tarczowe w obu odmianach.
- **Frezy piłkowe** – służą głównie do przecinania, wykonywania nacięć i kanałków. Frezy piłkowe odznaczają się małą szerokością w stosunku do swojej średnicy, wykonuje się je jako: jednolite, z ostrzami z węglika spiekanego wlutowanymi w stalowy korpus, składane. Na rys. 14 pokazano frezy piłkowe.
- **Frezy kształtowe** – występują w odmianie trzpieniowej lub walcowej. Frezy kształtowe wykonuje się jako narzędzia specjalne, ukształtowane ostrza odwzorowują kształt narzędzia w przedmiocie obrabianym. Do tego typu narzędzi możemy zaliczyć m.in. frezy krążkowe modułowe do kształtowania wrębu koła zębatego, frezy półokrągłe do frezowania prowadnic półokrągłych wklęsłych i wypukłych. Na rys. 14 pokazano frezy kształtowe.



Rys. 14. Zestaw frezów monolitycznych



Rys. 15. Zestaw frezów trzpieniowych (palcowych)



Rys. 16. Zestaw frezów składanych

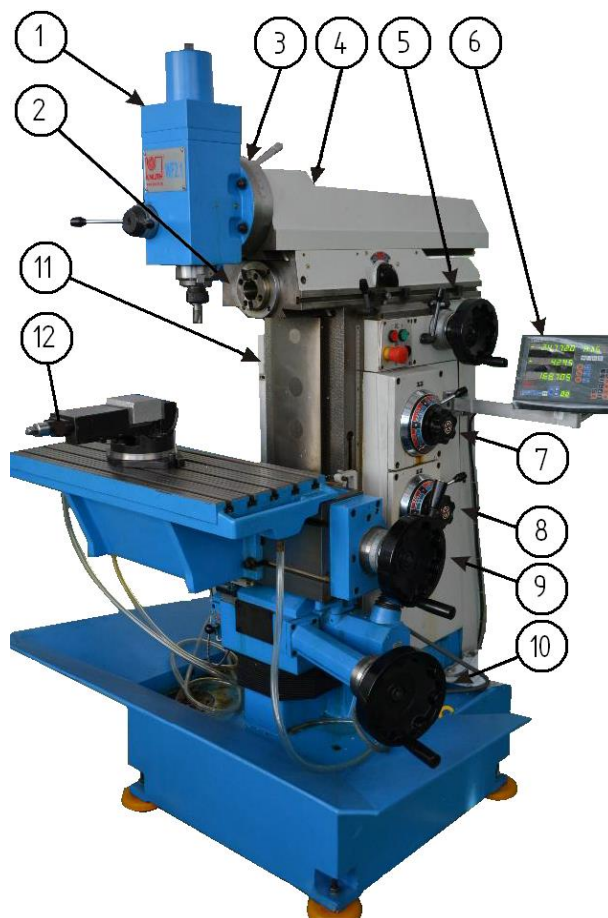
7. Mocowanie narzędzi frezarskich

Mocowanie frezów zależy do ich konstrukcji. Do tego celu stosuje się różne trzpienie i oprawki. Stożki w gnieździe wrzeciona frezarki SK, o zbieżności 7:24 służą do mocowania i ustalania trzpienia w osi wrzeciona. Stożek ten jest mocowany śrubą przechodzącą przez wrzeciono, natomiast moment obrotowy z wrzeciona przenoszony jest przez kamienie zabierakowe umieszczone na powierzchni czołowej końcówki wrzeciona. Do zalet tego systemu mocowania można zaliczyć: proste wykonanie, symetryczną konstrukcję, zdolność samocentrowania. Na rys. 17 przedstawiono trzpienie frezarskie do mocowania frezów.



Rys. 17. Trzeź frezarskie

8. Stanowisko laboratoryjne



Rys. 18. Budowa uniwersalnej frezarki wspornikowej: 1 – wrzeciono pionowe, 2 – wrzeciono poziome, 3 – podziałka skrętu osi pionowej wrzeciona, 4 – belka wspornikowa, 5 – posuw ręczny poprzeczny, 6 – wyświetlacz pozycji, 7 – skrzynka prędkości obrotowej wrzeciona, 8 – skrzynka posuwów, 9 – posuw ręczny wzdłużny, 10 – posuw ręczny pionowy, 11 – korpus, 12 – wspornik

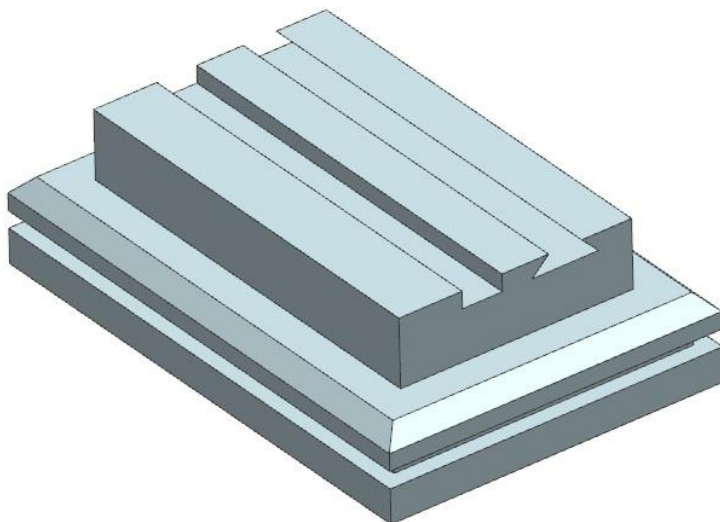
Frezarki odznaczają się uniwersalnością zastosowania, po tokarkach są obrabiarkami najbardziej rozpowszechnionymi. Stosowanie narzędzi wielostrzowych oraz dużych wartości parametrów skrawania czyni frezarki obrabiarkami o dużej wydajności.

Ruch główny wykonuje wrzeciono wraz z zamocowanym w nim narzędziem, ruch posuwu, zazwyczaj prostoliniowy, wykonuje stół frezarski z zamocowanym na nim przedmiotem obrabianym. Napęd posuwów (wzdłużnego i poprzecznego) we frezarkach najczęściej jest nie zależny od napędu wrzeciona i realizowany jest odrębnym silnikiem.

Najbardziej są rozpowszechnione frezarki wspornikowe tzw. konsolowe. Frezarki tego typu mogą mieć oś wrzeciona usytuowaną poziomo lub pionowo. Na rys. 18 przedstawiono frezarkę uniwersalną KNUT WF 2.1 z możliwością usytuowania osi wrzeciona pionowo, poziomo lub skośnie do przedmiotu obrabianego.

Na prowadnicach korpusu (11) przesuwa się pionowo wspornik (12) zwany konsolą, na którym umieszczony jest stół z możliwością przesuwu wzdłużnego. W górnej części znajduje się belka wspornikowa (4) z zamocowanym wrzecionem pionowo –skrętnym. Belka wspornikowa realizuje dwa zadania, po pierwsze wykonuje przesuw poprzeczny narzędzia, po drugie podtrzymuje narzędzie w konfiguracji poziomej wraz zainstalowaną na prowadnicach podtrzymałą.

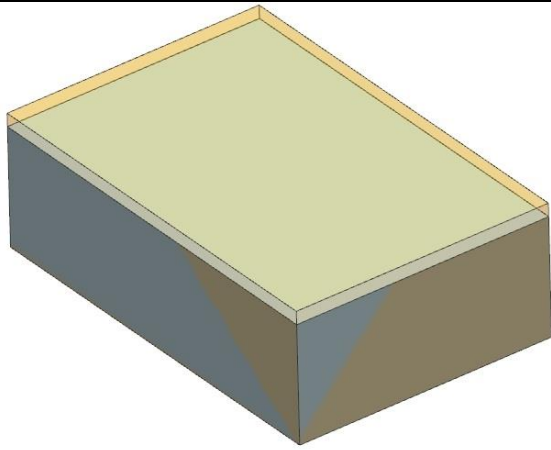
9. Wykonanie przedmiotu z zastosowaniem różnych operacji frezarskich



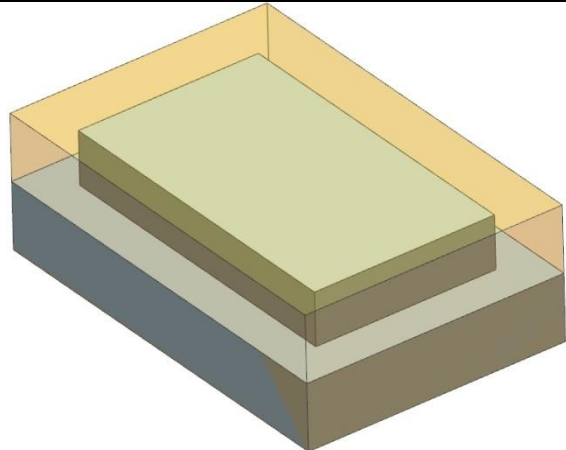
Rys. 19. Widok przedmiotu po obróbce

Lista operacji do wykonania:

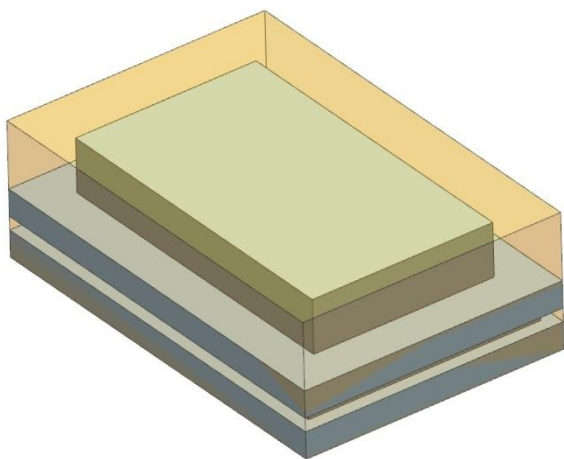
1. Planowanie powierzchni czołowej kostki frezem czołowym
2. Frezowanie walcowo-czołowe powierzchni bocznych kostki
3. Frezowanie rowka na powierzchniach bocznych frezem tarczowym
4. Frezowanie rowka prostokątnego na powierzchni czołowej frezem palcowym
5. Frezowanie rowka kształtowego typu jaskółczy ogon na powierzchni czołowej
6. Fazowanie krawędzi frezem kształtowym



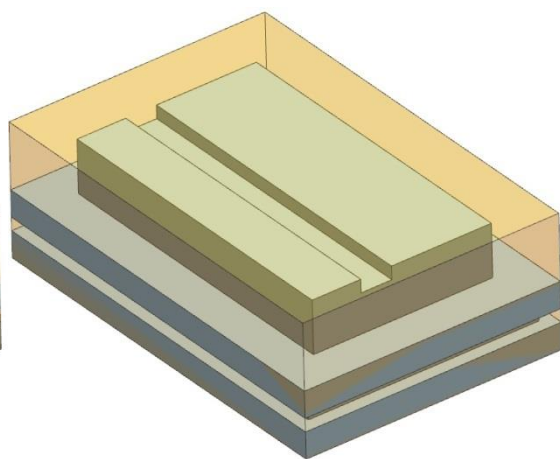
Planowanie



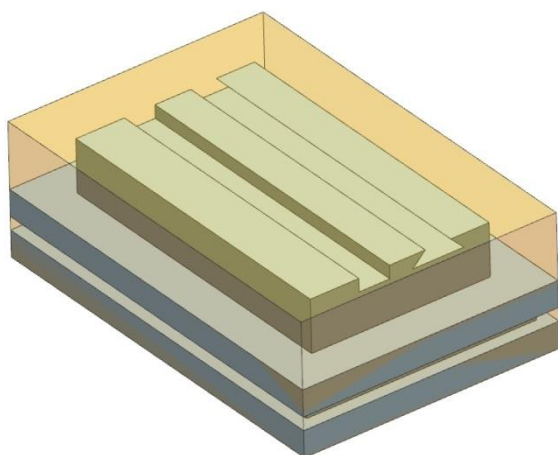
Frezowanie walcowo-czołowe powierzchni bocznych



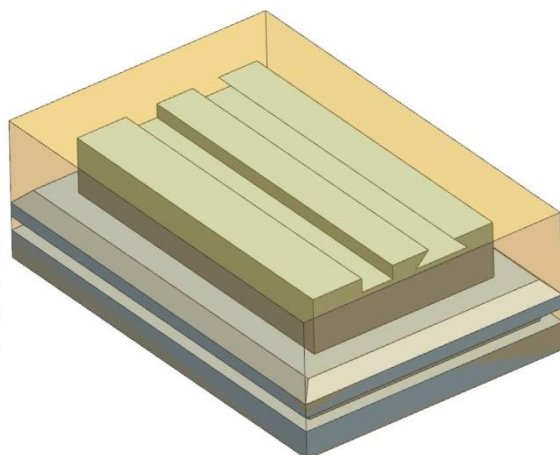
Frezowanie rowka
na powierzchniach bocznych



Frezowanie rowka prostokątnego



Frezowanie rowka kształtowego



Fazowanie

SPRAWOZDANIE

Nazwisko i Imię:	
Przedmiot:	OBRÓBKA SKRAWANIEM I NARZĘDZIA
Ćwiczenie:	Frezowanie

1. Przeprowadzić obliczenia parametrów skrawania dla podanych danych.

$D_c = \dots\dots\dots$ mm

$n = \dots\dots\dots$ obr/min

$f = \dots\dots\dots$ mm/ostrze

$z = \dots\dots\dots$

2. Przeprowadzić obliczenia siły, mocy i momentu frezowania.

Materiał obrabiany:

$k_c' = \dots\dots\dots$ MPa

$R_m = \dots\dots\dots$ MPa

$HB = \dots\dots\dots$

3. Porównać chropowość powierzchni po frezowaniu współbieżnym i przeciwbieżnym.

Narzędzie:		Z =		D =	
Materiał obrabiany:		R _m =		Twardość	

Frezowanie współbieżne									
Lp.	a _e [mm]	a _p [mm]	n [obr/min]	v _c [m/min]	v _f [mm/min]	f _n [mm/obr]	f _z [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1.									
2.									
3.									

Frezowanie przeciwbieżne									
Lp.	a _e [mm]	a _p [mm]	n [obr/min]	v _c [m/min]	v _f [mm/min]	f _n [mm/obr]	f _z [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1.									
2.									
3.									

Przeprowadzić stosowane obliczenia parametrów technologicznych i przedstawić na wykresach zależność chropowości powierzchni w funkcji posuwu.

4. Wykonać rysunek ustawienia narzędzia do realizacji podanej operacji frezarskiej.

Operacja frezarska: