



www.cncmodern.pl  
www.trenercnc.pl



**E-BOOK\***

# OPERATOR PROGRAMISTA

OBRABIAREK  
STEROWANYCH  
NUMERYCZNIE

**CNC**

*Wiesław Łoza*

\*Kopiowanie, przetwarzanie, rozpowszechnianie tych materiałów w całości lub w części bez zgody Autora jest zabronione.

## O Autorze

Absolwent Uniwersytetu Rzeszowskiego kierunku: Edukacja Techniczno - Informatyczna, specjalność: Diagnostyka materiałów i konstrukcji wspomagana komputerowo oraz nauczanie przedmiotów technicznych i informatycznych. W swojej pracy magisterskiej opisał możliwości zastosowania i wykorzystania sond pomiarowych RENISHAW, na przykładzie centrum obróbczego MAZAK Variaxis 630-5X, z układem sterowania Mazatrol 640 M.



Związany z obrabiarkami i przemysłem CNC od 2005 roku, pierwsze kroki w branży to stanowisko operatora CNC w przemyśle lotniczym. Po ukończeniu studiów pedagogicznych rozpoczął pracę jako Trener, prowadząc szkolenia z obsługi i programowania obrabiarek CNC. Nauczyciel przedmiotów zawodowych branży mechanicznej w Zespole Szkół Zakładu Doskonalenia Zawodowego w Rzeszowie, Instruktor na kursach w Ośrodku Kształcenia Zawodowego ZDZ. Pomysłodawca i założyciel Niepublicznej Placówki Kształcenia CNC MODERN, w której zdobywa się fachową wiedzę oraz praktyczne umiejętności. Potwierdzeniem tego są referencje oraz opinie Klientów, które znajdują się na stronie <https://cncmodern.pl/referencje/>

W trakcie swojej pracy dydaktyczno-zawodowej miał styczność z wieloma branżami m.in: motoryzacyjną, stoczniową, matrycową i wielu innych, realizując szkolenia dla firm produkcyjnych i ośrodków szkoleniowych na terenie całej Polski.

Więcej informacji o Autorze na stronie <https://trenercnc.pl/>

Kontakt za pośrednictwem poczty elektronicznej: [cncmodern@o2.pl](mailto:cncmodern@o2.pl)

## Spis treści

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>O Autorze .....</b>                                                           | <b>2</b>  |
| <b>WPROWADZENIE .....</b>                                                        | <b>5</b>  |
| <b>I. BUDOWA OBRABIAREK SKRAWAJĄCYCH .....</b>                                   | <b>7</b>  |
| 1.1. Podstawowe zasady BHP podczas obsługi maszyn – obrabiarek CNC .....         | 7         |
| 1.2. Obrabiarki konwencjonalne – wprowadzenie .....                              | 10        |
| 1.3. Charakterystyka obrabiarek sterowanych numerycznie NC/CNC .....             | 11        |
| 1.4. Obrabiarki uniwersalne, a obrabiarki CNC - porównanie .....                 | 14        |
| 1.5. Zastosowanie osi sterowanych numerycznie.....                               | 16        |
| 1.5.1. Definicja układu współrzędnych .....                                      | 16        |
| 1.5.2. Zasada sterowania numerycznego .....                                      | 18        |
| 1.6. Odmiany konstrukcyjne obrabiarek CNC .....                                  | 19        |
| 1.6.1. Tokarki .....                                                             | 19        |
| 1.6.2. Frezarki .....                                                            | 20        |
| 1.6.3. Centra obróbcze .....                                                     | 21        |
| 1.6.4. Centra tokarskie .....                                                    | 23        |
| 1.6.5. Inne maszyny sterowane komputerowo .....                                  | 24        |
| 1.7. Punkty charakterystyczne obrabiarki CNC .....                               | 26        |
| 1.7.1. Układy współrzędne MKS i WKS.....                                         | 28        |
| 1.8. Poszczególne zespoły i podzespoły obrabiarek.....                           | 29        |
| 1.9. Uzbrojenie obrabiarek CNC .....                                             | 36        |
| 1.9.1. Oprzyrządowanie narzędziowe tokarek.....                                  | 37        |
| 1.9.2. Przyrządy - uchwyty tokarskie .....                                       | 40        |
| 1.9.3. Oprzyrządowanie narzędziowe frezarek.....                                 | 43        |
| 1.9.4. Przyrządy - uchwyty frezarskie .....                                      | 45        |
| 1.10. Sposoby pomiaru przedmiotu obrabianego.....                                | 47        |
| 1.10.1. Pomiary detalu z wykorzystaniem sond pomiarowych .....                   | 47        |
| 1.10.2. Pomiary detalu z wykorzystaniem czujnika 3D i krawędziowego .....        | 49        |
| 1.11. Metody określania wymiarów narzędzi przy toczeniu i frezowaniu.....        | 50        |
| 1.11.1. Wprowadzanie wymiarów narzędzi do obrabiarki .....                       | 51        |
| 1.11.2. Określanie wymiarów narzędzi z użyciem sond pomiarowych.....             | 52        |
| 1.12. Rodzaje komputerowych układów sterowania.....                              | 54        |
| 1.12.1. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania SINUMERIK 808D ..... | 55        |
| 1.12.2. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania FANUC Oi Mate .....  | 58        |
| 1.12.3. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania MAZATROL 640M .....  | 62        |
| 1.12.4. Wprowadzanie i wysyłanie danych w układach CNC.....                      | 67        |
| <b>II. TECHNOLOGIA OBRÓBK SKRAWANIEM .....</b>                                   | <b>69</b> |
| 2.1. Technologia obróbki skrawaniem – podstawowe definicje .....                 | 69        |
| 2.2. Sposoby obróbki skrawaniem .....                                            | 70        |
| 2.3. Materiały narzędziowe .....                                                 | 74        |
| 2.4. Oznaczenia kodowe narzędzi skrawających wg ISO .....                        | 76        |
| 2.5. Budowa narzędzi skrawających tokarskich.....                                | 77        |
| 2.6. Klasyfikacja noży tokarskich oraz ich zastosowanie .....                    | 80        |
| 2.7. Parametry skrawania w toczeniu.....                                         | 82        |
| 2.8. Budowa narzędzi skrawających frezarskich.....                               | 84        |
| 2.9. Klasyfikacja narzędzi frezarskich oraz ich zastosowanie .....               | 85        |
| 2.10. Technologia obróbki otworów .....                                          | 88        |
| 2.11. Parametry skrawania we frezowaniu.....                                     | 92        |

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>III. METROLOGIA WARSZTATOWA .....</b>                                                  | <b>95</b>  |
| 3.1. Ogólne definicje w metrologii warsztatowej.....                                      | 95         |
| 3.2. Kontrola jakości produkcji .....                                                     | 97         |
| 3.3. Zasady użytkowania narzędzi pomiarowych oraz ich wzorcowanie .....                   | 93         |
| 3.4. Ogólna klasyfikacja przyrządów pomiarowych .....                                     | 99         |
| 3.5. Podstawowe przyrządy do wykonywania pomiarów warsztatowych .....                     | 101        |
| 3.5.1. Przyrządy suwmiarkowe – klasyfikacja, budowa, zastosowanie .....                   | 101        |
| 3.5.2. Przyrządy mikrometryczne – klasyfikacja, budowa, zastosowanie .....                | 105        |
| 3.5.3. Czujniki i przyrządy czujnikowe – klasyfikacja, budowa, zastosowanie .....         | 107        |
| 3.5.4. Narzędzia do pomiaru kąta .....                                                    | 109        |
| 3.5.5. Wzorce miar .....                                                                  | 109        |
| 3.5.6. Sprawdziany i płytki wzorcowe.....                                                 | 111        |
| 3.5.7. Przyrządy cyfrowe.....                                                             | 113        |
| 3.6. Dobór przyrządów pomiarowych – zasady pomiaru.....                                   | 114        |
| 3.7. Konserwacja – przechowywanie narzędzi i przyrządów pomiarowych.....                  | 115        |
| 3.8. Metody pomiarowe i błędy pomiarów .....                                              | 116        |
| <b>IV. PODSTAWY PROGRAMOWANIA OBRABIAREK CNC .....</b>                                    | <b>119</b> |
| 4.1. Ogólne informacje dotyczące programowania obrabiarek CNC.....                        | 119        |
| 4.2. Metody programowania obrabiarek CNC .....                                            | 120        |
| 4.3. Budowa oraz struktura programu sterującego .....                                     | 123        |
| 4.4. Funkcje przygotowawcze i pomocnicze.....                                             | 128        |
| 4.5. Sposób wymiarowania .....                                                            | 130        |
| 4.6. Definiowanie płaszczyzn.....                                                         | 131        |
| 4.7. Interpolacje.....                                                                    | 131        |
| 4.8. Kompensacja promienia narzędzia.....                                                 | 138        |
| 4.9. Programowanie ręczne tokarki na przykładzie układu sterowania SINUMERIK 808D .....   | 139        |
| 4.10. Programowanie ręczne frezarki na przykładzie układu sterowania SINUMERIK 808D ..... | 142        |
| <b>V. RYSUNEK TECHNICZNY .....</b>                                                        | <b>145</b> |
| 5.1. Wprowadzenie do rysunku technicznego.....                                            | 145        |
| 5.2. Zastosowanie norm w rysunku technicznym .....                                        | 146        |
| 5.3. Rzutowanie prostokątne .....                                                         | 147        |
| 5.4. Przekroje .....                                                                      | 148        |
| 5.5. Wymiarowanie .....                                                                   | 150        |
| 5.6. Rysowanie połączeń uproszczonych.....                                                | 152        |
| 5.6.1. Oznaczenia gwintów.....                                                            | 152        |
| 5.7. Tolerowanie wymiarów oraz pasowania części maszyn .....                              | 154        |
| 5.8. Definicje i tolerancje odchyłek kształtu i położenia .....                           | 160        |
| 5.9. Chropowatość powierzchni .....                                                       | 163        |
| 5.10. Dokumentacja warsztatowa.....                                                       | 168        |
| <b>LITERATURA .....</b>                                                                   | <b>178</b> |



## WPROWADZENIE

Oddzielenie wióra w procesie skrawania wymaga ruchu narzędzia i przedmiotu obrabianego. Ruch ten uzyskiwany jest na specjalnie do tego celu skonstruowanym urządzeniu - obrabiarce. Jedną z pierwszych typów obrabiarki była tokarka - naciskając nogą pedał urządzenia, wprowadzano kawałek drewna w szybki ruch obrotowy. Do kawałka tego przykładano dłuto, skrawając go, aby nadać mu cylindryczny kształt. W taki oto sposób powstawały różne elementy potrzebne do życia codziennego między innymi: elementy mebli itp. Proces ten nazwano toczeniem, ponieważ materiał obrabiany należało obracać. Z biegiem lat siła mięśni ludzkich została zastąpiona inną energią, ale generalna idea budowy obrabiarki związana z wspomnianym wyżej ruchem narzędzia i przedmiotu pozostała bez zmian. Konstrukcja obrabiarki przeszła dynamiczny rozwój, który trwa do chwili obecnej i decyduje między innymi o dokładności i szybkości wykonania przedmiotu.

Obróbka różnych materiałów to skomplikowany proces, aby uzyskać pożądane kształty, wymiary i chropowatość powierzchni. Praca ręczna w tym przypadku mija się z celem, jest mało wydajna, dokładna i powtarzalna jak również nie opłacalna ze względów ekonomicznych.

Pomysł numerycznego sterowania obrabiarek NC powstał w Cambridge w latach 1945/50 w MIT (Massachusetts Institute of Technology). Zamówione przez US Air Force (lotnictwo Stanów Zjednoczonych) integralne części samolotów miały być odtąd wytwarzane jako jednolite elementy z wyłączeniem technologii spawania i nitowania. Niezbędne do frezowania wzorniki i modele były bardzo skomplikowane, a ich przygotowanie przy użyciu konwencjonalnych maszyn było bardzo czasochłonne i kosztowne.

Tak powstała pierwsza obrabiarka NC (Numerical Control) - frezarka pionowa, do której niezbędne informacje były wprowadzane przy użyciu kart dziurkowanych.

Wraz z powstaniem nowych podzespołów elektronicznych oraz mikrokomputerów w latach 70 na bazie istniejących układów sterowania numerycznego (NC) utworzono komputerowe sterowanie numeryczne (CNC – Computer Numerical Control).

Intensywny i regularny rozwój komputerowych układów sterowania zwiększa potencjał zastosowania obrabiarek i pozwala na obróbkę skomplikowanych elementów z różnych materiałów. Nowe wyzwania spowodowały przeobrażanie się prostego układu sterowania, do złożonego systemu sterowania, który podczas pracy monitoruje diagnostykę stanu obrabiarki i parametry obróbki. Rezultatem tego jest zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu różnego rodzaju obrabiarek i maszyn CNC, takich jak: tokarki, frezarki, centra obróbkowe, waterjety, plotery, szlifierki, plazmy, lasery i wiele innych. Wykonywana obróbka jest zaprogramowana w odpowiedni sposób, w którym podaje się określone parametry geometryczne oraz technologiczne przyszłego wyrobu. Program jest zapisany w odpowiednim języku programowania – kodzie, a następnie rozkodowany (odczytywany) w układzie sterowania numerycznego np. SINUMERIK, FANUC, MAZATROL, HAAS, HEIDENHAIN itp.

Taka metoda produkcji ma bardzo dużo zalet, przede wszystkim umożliwia wysokiej jakości produkcję seryjną. W obecnej erze szybkiego rozwoju, wiele zakładów z branży produkcyjnej dąży do automatyzacji procesów wytwarzania, co wiąże się z zakupem najnowocześniejszych maszyn oraz koniecznością zatrudnienia wysokiej klasy specjalistów.

Książka zawiera podstawowe informacje dla operatorów i programistów obrabiarek CNC. Każdy, kto chce pracować na tym stanowisku musi posiadać odpowiednie umiejętności i wiedzę z następujących tematów: rysunku technicznego, przyrządów pomiarowych, budowy obrabiarek, narzędzi skrawających i doboru parametrów technologicznych.

Istotnym elementem jest również znajomość funkcji przygotowawczych oraz pomocniczych, które są wykorzystywane podczas obsługi i programowania obrabiarek - maszyn CNC.

Z powodu różnych rozwiązań konstrukcyjnych, układów sterowania i innych właściwości dla obróbki skrawaniem, celem tego podręcznika jest przedstawienie następujących zagadnień:

- zasady BHP i P.POŻ. podczas obsługi obrabiarek CNC;
- budowa obrabiarek sterowanych numerycznie oraz ich wyposażenie;
- podstawy technologii obróbki skrawaniem;
- przyrządy i narzędzia wykorzystywane w pomiarach warsztatowych;
- podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie;
- rysunek techniczny maszynowy.

Podręcznik został opracowany, dla już pracujących oraz przyszłych operatorów obrabiarek CNC, stanowi podstawową oraz uzupełniającą literaturę. Może on być wykorzystywany na różnorodnych kursach z zakresu obsługi i programowania obrabiarek sterowanych numerycznie.

Treść podręcznika i przedstawione tematy pozwalają na zdobycie podstawowej wiedzy, która jest niezbędna każdemu operatorowi podczas pracy z obrabiarkami - maszynami CNC. Książka zawiera informacje pozwalające na opracowanie nieskomplikowanych procesów technologicznych oraz pisanie programów w oparciu o programowanie ręczne i warsztatowe.

Kilkunastoletnie doświadczenie teoretyczne oraz praktyczne Autora nabyte na produkcji, pozwoliło odpowiednio dobrać treści i przedstawić je w sposób jasny i zrozumiały. Istotną rolę odegrało również wykształcenie pedagogiczne oraz praca dydaktyczna w szkolnictwie zawodowym i wyższym.

Celem tego podręcznika jest wprowadzenie czytelnika do obsługi i programowania obrabiarek sterowanych numerycznie: tokarek i frezarek CNC.

*„Ambicja bez wiedzy jest jak łódź na piasku”*

Powodzenia!

*Wiesław Łoza*

# I. BUDOWA OBRABIAREK SKRAWAJĄCYCH

## 1.1. Podstawowe zasady BHP podczas obsługi maszyn – obrabiarek CNC

Obsługa każdej maszyny - obrabiarki wymaga odpowiednio wykwalifikowanych pracowników. Brak podstawowych umiejętności, kwalifikacji oraz nieuwaga, mogą być przyczyną różnych wypadków. Pracownik bez szkolenia - uprawnień stanowi zagrożenie dla siebie i współpracowników. Niewłaściwa obsługa maszyny, może również spowodować utratę gwarancji.

***Zabroniona jest samodzielna obsługa maszyn CNC w przypadku braku przeszkolenia oraz pewności, że taką maszynę jesteśmy w stanie obsługiwać.***

Wiedzę praktyczną zdobywa się na drodze doświadczenia będącego wynikiem długiego czasu pracy z maszynami CNC. Każda zmiana stanowiska pracy - obrabiarki powinna rozpocząć się szkoleniem.

Należy bezwzględnie przestrzegać zasad dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy podczas obsługi obrabiarek - maszyn CNC. Wszystkie niebezpieczeństwa, występujące w obrębie maszyn, nie mogą być lekceważone, gdyż może to prowadzić do poważnych wypadków.

Podczas pracy z maszynami - obrabiarkami CNC występuje szereg różnych zagrożeń, takich jak:

- niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym;
- niebezpieczeństwo poważnych obrażeń ciała;
- niebezpieczeństwo zatrucia oparami;
- niebezpieczeństwo pożaru, itp.

Przy każdej maszynie znajduje się stanowiskowa instrukcja BHP, której przestrzegania wymaga się bezwzględnie od każdego operatora.

### INSTRUKCJA BHP Przy obsłudze Tokarki CNC

#### WARUNKI DOPUSZCZENIA PRACOWNIKA DO PRACY

- obsługa maszyny może być prowadzona wyłącznie przez upoważniony i przeszkolony personel,
- obsługa została zapoznana z DTR maszyny i ją zrozumiała

#### CZYNNOŚCI PRZED ROZPOCZĘCIEM PRACY

- dokonać kontroli ogólnego stanu technicznego obrabiarki,
- przed włączeniem maszyny sprawdzić poziomy napłnienie maszyny i w razie potrzeby uzupełnić niedobory,
- sprawdzić maszynę pod względem wycieków i usunąć ich przyczynę

#### ZASADY I SPOSOBY BEZPIECZNEGO WYKONYWANIA PRACY

##### ZABRANIA SIĘ:

- Obsługiwać maszynę z rozpuszczonymi włosami oraz z nałożoną biżuterią,
- Siegać ręką lub manipulować jakimś przedmiotem w obszarze elementów maszyny będących w ruchu lub obracających się elementów mocowania obrabianego detalu,
- Programowania prędkości obrotowych, które są wyższe niż podana maksymalna prędkość obrotowa zastosowanych zamocowań,
- Wszelkiej przeróbki lub pozbawiania działania wyposażenia zabezpieczającego, np. zabezpieczające wyłączniki pozycyjne, blokady, osłony,
- Zamalowywać lub usuwać tabliczki ostrzegawcze oraz Informacyjne,
- Toczenia materiałów ceramicznych i drewna sklejonego żywicami syntetycznymi,
- Przeprowadzania zmian oprogramowania (software) na sterownikach programowanych,
- Stosować urządzenia wytwarzające fale elektromagnetyczne (np. aparaty komórkowe, spawarki elektryczne itp.) w odległości mniejszej niż 2 m od maszyny,
- Użytkowania maszyny z uszkodzoną szybą zabezpieczającą z PW (poliwęglan)
- Eksploatować maszynę z uszkodzonymi szybami okiennymi w kabinie,
- Zażywania leków zmniejszających zdolność koncentracji lub wydłużających czas reakcji,
- Wykonywania prac spawalniczych przy maszynie,
- Wchodzić do komory maszynowej.

Rys. 1.1. Instrukcja BHP przy obsłudze tokarki CNC

Miejsca gdzie stoją i pracują maszyny sterowane numerycznie powinny być odpowiednio zabezpieczone, tak aby spełnione były zasady bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisy przeciwpożarowe.

**Zanim rozpoczniesz pracę na obrabiarce, zapoznaj się z:**

- przepisami BHP i P.POŻ obowiązującymi na stanowisku pracy;
- DTR obrabiarki – (dokumentacja techniczno-ruchowa).

Należy odnaleźć wszystkie oznaczenia, które mogą przyczynić się do zagwarantowania naszego bezpieczeństwa.



Rys. 1.2. Apteczka pierwszej pomocy oraz telefony alarmowe znajdujące się w widocznych miejscach



Rys. 1.3. Oznaczenia o niebezpieczeństwach występujących podczas pracy na obrabiarkach CNC



Pracując na stanowisku operatora obrabiarek CNC, stosuj odpowiednie środki ochrony indywidualnej: odzież, okulary, ochronniki słuchu, rękawice, buty ochronne, kask itp.



Rys. 1.4. Środki ochrony indywidualnej na stanowisku operatora maszyn CNC

**Przed rozpoczęciem pracy na obrabiarce sprawdź:**

- stan osłon, czy nie są uszkodzone;
- poziom płynów eksploatacyjnych (oleju, chłodziwa);
- działanie przycisków awaryjnych tzw. grzybka (okrągły, czerwony przycisk na pulpicie);
- alarmy wyświetlane na monitorze.

**Przed uruchomieniem obrabiarki w trybie automatycznym sprawdź:**

- numer – nazwę wybranego programu do układu sterowania;
- rejestry narzędziowe (tabela wymiarów narzędzi oraz tabela ich zużycia);
- przesunięcia punktu zerowego (tabela G54 – G59);
- zamocowanie przyrządów, materiału obrabianego, narzędzi skrawających;
- ustawienie głowicy narzędziowej.

**Pracownikowi podczas obsługi obrabiarki zabrania się:**

- obsługiwać maszynę z nałożoną biżuterią (obrączka, zegarek itp.);
- przebudowywać urządzenia zabezpieczające (przyciski awaryjne, osłony, blokady itp.);
- stosować urządzenia wytwarzające fale elektromagnetyczne - telefony komórkowe;
- wchodzić do przestrzeni roboczej maszyny;
- obsługiwać maszynę z uszkodzonymi szybami okiennymi w osłonach (kabinie);
- zażywać leków (używek) zmniejszających zdolność koncentracji.

Podczas wykonywania pierwszego elementu przeprowadź symulację obróbki. Możesz również skorzystać z funkcji SINGLE BLOCK realizując program blok po bloku (linijka po linijce), pamiętaj o zmniejszeniu prędkości posuwu. Obserwuj pracę obrabiarki, zachowaj szczególną ostrożność aż do wykonania gotowego detalu, nie wykonuj czynności, których nie jesteś pewien.

Obsługując maszynę w przypadku stwierdzenia awarii lub kolizji zatrzymaj obrabiarkę przyciskiem STOP lub przyciskiem bezpieczeństwa (tzw. grzybek awaryjny), a o zaistniałej sytuacji poinformuj przełożonego. Nigdy nie podejmuj samodzielnej naprawy obrabiarki, gdyż tym zajmują się odpowiednie działy m.in utrzymanie ruchu bądź serwis danego producenta maszyny. Po wykonaniu powierzonych zadań posprzątaj stanowisko pracy.

## 1.2. Obrabiarki konwencjonalne – wprowadzenie

Obrabiarki konwencjonalne to maszyny technologiczne służące do wytwarzania różnego rodzaju części, konstrukcji, maszyn i urządzeń, w celu nadania im określonych kształtów, wymiarów i chropowatości powierzchni. Główna zasada działania obrabiarek polega na tym, że żądany kształt przedmiotu obrabianego uzyskuje się zawsze z wykorzystaniem ruchów narzędzia i przedmiotu.

Podstawowymi zaletami obrabiarek skrawających są:

- możliwość uzyskania przedmiotów o dużej dokładności wymiarowo - kształtowej i bardzo dobrej jakości powierzchni;
- możliwość wykonania różnymi metodami obróbki dość złożonych kształtów, na przedmiocie obrabianym poprzez sprzężenie ruchów przedmiotu i narzędzia.

Głównymi wadami kształtowania przedmiotów - elementów na obrabiarkach skrawających są:

- duży ubytek materiału obrabianego, który w czasie obróbki zostaje przekształcony w wióry;
- mniejsza wydajność w porównaniu do innych sposobów obróbki, jak np. obróbka plastyczna;
- zużycie dużej ilości energii do wyprodukowania danego wyrobu.

Do najpopularniejszych obrabiarek konwencjonalnych zalicza się między innymi: tokarki, frezarki, wytaczarki, dłutownice, przeciągarki pionowe, strugarki, wiertarki kadłubowe, szlifierki itp.



Rys. 1.5. Przykład tokarki (po lewej) i frezarki (po prawej) konwencjonalnej [7]

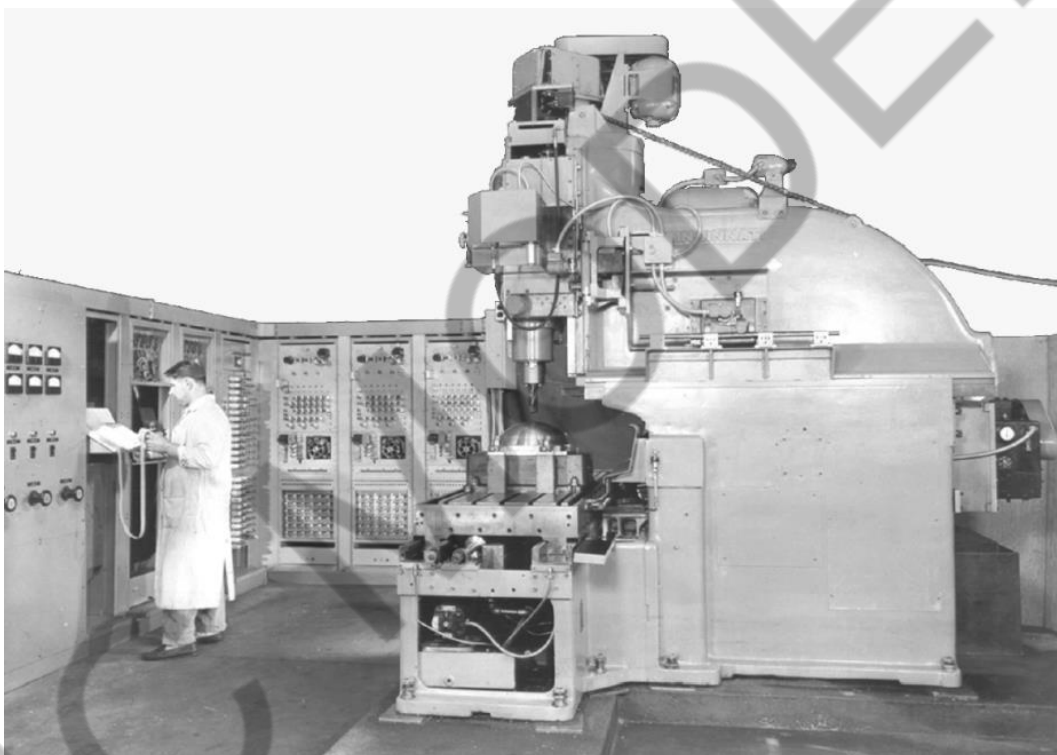
W obrabiarkach konwencjonalnych zastosowano ręczny układ sterowania (manualny), w których bardzo duży wpływ na poprawny przebieg procesów ma praca ludzka (czynnik ludzki). Wszystkich ustawień dokonuje się ręcznie, za obsługę maszyny odpowiedzialny jest pracownik. Analizuje on konkretne zlecenie na podstawie rysunku wykonawczego, ustawia pokrętła dźwigni obrabiarki zgodnie z wytycznymi danego procesu obróbki. Człowiek dokonuje pomiaru wykonywanych elementów, decyduje w dużym stopniu o przebiegu procesu jak również uruchamia i wyłącza urządzenie.

### 1.3. Charakterystyka obrabiarek sterowanych numerycznie NC/CNC

Obrabiarką sterowaną numerycznie (NC) nazywa się obrabiarkę, której obróbka odbywa się w trybie automatycznym. Sterowanie numeryczne określa system sterowania, w którym wszystkie informacje potrzebne do wykonania przedmiotu są podawane w postaci zakodowanych symboli alfanumerycznych, według zapisanego programu. Wszystkie informacje zawarte w programie obróbki są podawane na nośniku informacji za pomocą liczb, stąd nazwa sterowanie numeryczne, oznaczane NC (z ang. Numerical Control - sterowanie liczbowe).

Pierwsza obrabiarka ze sterowaniem numerycznym NC powstała w roku 1953, gdzie programy były zapisane na karcie perforowanej. Od tego czasu zmieniły się bardzo cechy zewnętrzne obrabiarek NC, jednak ich zasada działania pozostała bez zmian.

Główną istotną zmianą było zastosowanie na początku lat 70-tych komputera jako jednostki wykonawczej (CNC, ang. Computer Numerical Control).



Rys. 1.6. Pierwsza obrabiarka ze sterowaniem numerycznym (NC) [20]

Obecnie w produkcji głównie znajdują zastosowanie obrabiarki CNC. Są one wyposażone w komputerowe sterowanie numeryczne, oznacza to że sterowanie numeryczne, zawiera mikroprocesor (komputer) wraz z pamięcią i tzw. program obsługujący do kierowania pracą komputera zewnętrznego przejmując on wszystkie funkcje sterownicze i regulacyjne maszyny. Porównując sterowania można stwierdzić iż sterowanie CNC łączy funkcje klasycznego sterowania NC z przetwarzaniem danych realizowanych za pomocą komputera zewnętrznego. Programy przekazywane są przez zewnętrzne nośniki informacji (np. pendrive, karty pamięci itp.) i przechowywane w wewnętrznej pamięci urządzenia. Układy sterowania CNC mogą współpracować z różnymi obrabiarkami oraz maszynami.

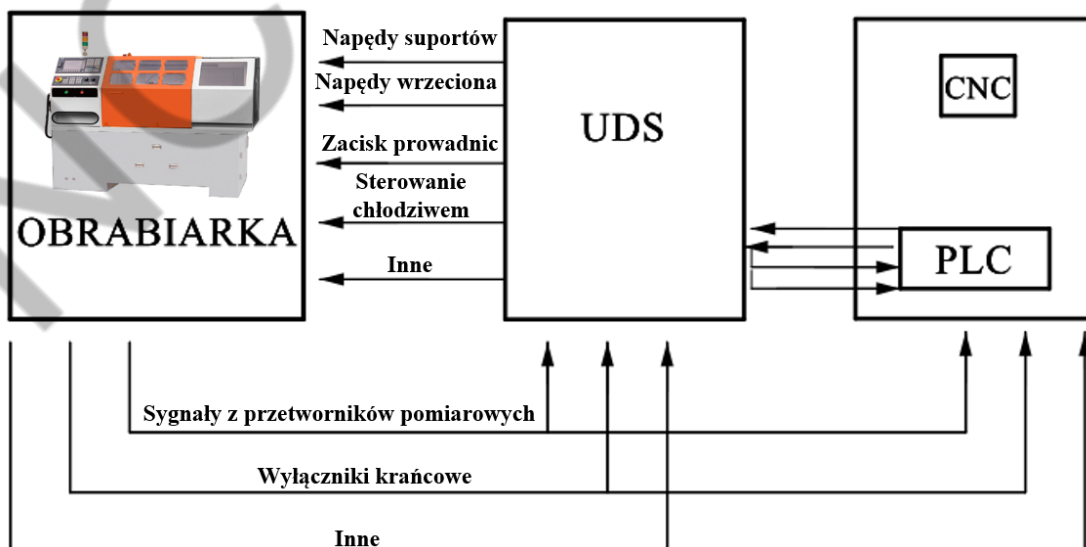
Praca z wykorzystaniem obrabiarki wyposażonej w system sterowania komputerowego jest mniej czasochłonna i bardziej opłacalna. Ponadto jakość przedmiotów poddanych obróbce jest bardzo precyzyjna i porównywalna, zmniejszona jest również ilość braków produkcyjnych. Zdecydowanie wyższa elastyczność produkcji oraz krótsze cykle o charakterze produkcyjnym to kolejne walory pracy przy użyciu obrabiarek CNC.



Rys. 1.7. Przykład tokarki (po lewej) i frezarki (po prawej) sterowanej numerycznie CNC [8]

Konfiguracja obrabiarki CNC obejmuje wymianę informacji pomiędzy:

- układem komputerowego sterowania numerycznego CNC, który odczytuje zapisany program w formie symbolicznej;
- PLC programowalnym sterownikiem logicznym - interfejs przetwarza sygnały z układu CNC na język UDS;
- UDS układem dopasowującym – sterującym, służy do sterowania elementami wykonawczymi obrabiarki;
- obrabiarką.



Rys. 1.8. Podglądowy schemat działania obrabiarki CNC [4]

### Cechy współczesnych maszyn CNC to:

- bezstopniowa regulacja prędkości obrotowej i posuwów;
- napęd przenoszony za pomocą śrub tocznych;
- eliminowanie prowadnic ślizgowych na rzecz tocznych;
- eliminowanie przekładni zębatych;
- kompaktowa konstrukcja o zamkniętej przestrzeni roboczej;
- konstrukcja modułowa o elastycznie dobieranej konfiguracji elementów składowych;
- automatyczny nadzór i diagnostyka;
- duża moc (jako suma mocy poszczególnych napędów);
- osiąganie znacznych wartości parametrów obróbki (np. duże prędkości obrotowe);
- obróbka równoległa z wykorzystaniem wielu wrzecion i/lub suportów narzędziowych;
- złożona kinematyka pracy (uchylne głowice narzędziowe, stoły obrotowo-uchylne, obróbka pięcioosiowa, obrabiarki o strukturze równoległej);
- magazyny narzędziowe z automatyczną wymianą narzędzi;
- systemy narzędziowe z narzędziami składanymi;
- automatyczny pomiar narzędzi;
- kodowanie narzędzi;
- automatyczna wymiana przedmiotu obrabianego;
- automatyczny pomiar przedmiotu obrabianego;
- automatyczne usuwanie wiórów, itp. [20]

Występowanie powyższych cech w konkretnej obrabiarce często zależy od tego, w jak dużym stopniu jest ona przystosowana do pracy automatycznej.

Maszyny CNC pozwalają na zwiększenie wydajności pracy poprzez szybszą obróbkę, skrócenie czasów ustawczych, pomocniczych.

Szczególne znacznie mają następujące czynniki:

- automatyzacja wszystkich ruchów i czynności;
- możliwość programowania ręcznego bezpośredniego na obrabiarce;
- zapisywanie typowych przypadków obróbki przedmiotów w formie podprogramów;
- elastyczność sterowania w sensie łatwego i szybkiego przeprogramowania, łatwa zmiana toru ruchu narzędzia względem przedmiotu, a także swobodny wybór kolejności ruchów;
- niezbyt pracochłonne przygotowanie programu i taki jego zapis, aby było to opłacalne już przy niewielkich seriach, a nawet pojedynczych przedmiotach;
- możliwość optymalizacji programów;
- automatyczne uruchamianie wszystkich funkcji obrabiarki i bezpośrednia interwencja po stwierdzeniu błędów i zakłóceń;
- uniwersalne zastosowanie narzędzi w systemach uchwytów;
- jednakowa jakość przedmiotów obrabianych przy niewielkim udziale wadliwych;
- wyższa dokładność obróbki dzięki wysokiej dokładności obrabiarki rzędu (0,001 mmm);
- większa przepustowość;
- automatyczny nadzór (temperatury skrawania, stan narzędzi);
- zastosowanie narzędzi napędzanych obrotowo;
- zastosowanie wymiennych systemów palet.

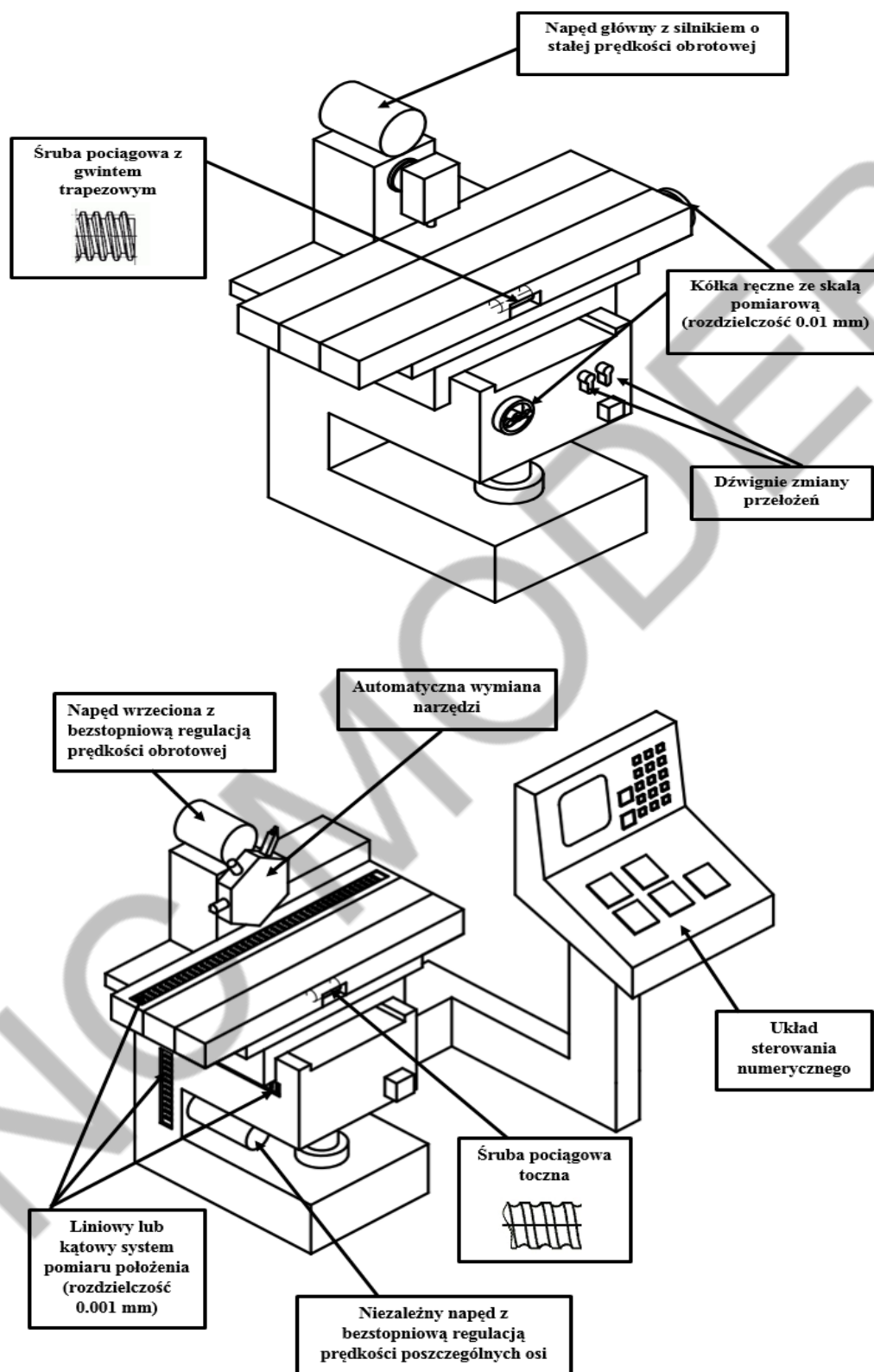


## 1.4. Obrabiarki uniwersalne, a obrabiarki CNC - porównanie

Tabela 1.1. Różnice pomiędzy obrabiarkami

| OBRABIARKI KONWENCJONALNE                                                                                                                              | OBRABIARKI CNC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dane wejściowe</b>                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Pracownik na podstawie zlecenia i rysunku ręcznie uruchamia maszynę, zakłada i zdejmuje przedmiot obrabiany i narzędzia.                               | Programy sterujące mogą być przekazywane do układu sterowania CNC poprzez nośniki pamięci np.: karta, pendrive lub złącze bezpośrednie. Poszczególne programy CNC są przechowywane w pamięci wewnętrznej lub na dysku twardym układu sterowania maszyny.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Sterowanie</b>                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Pracownik ręcznie ustawia parametry technologiczne: obroty, posuw. Wykonuje obróbkę detalu zadając ręcznie przemieszczenia suportów przy pomocy kółek. | Połączony z systemem mikrokomputer dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu przejmuje wszystkie funkcje sterownicze i nastawcze maszyny, wykorzystując pamięć wewnętrzną dla programów i podprogramów, danych technologicznych, narzędzi i ich wymiarów korekcyjnych, a także cykli stałych. W systemie CNC zintegrowane jest często oprogramowanie do diagnozowania błędów.                                                                                                                                                                   |
| <b>Kontrola</b>                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Pracownik mierzy i sprawdza przy użyciu przyrządów pomiarowych (np. suwmiarka) element obrabiany pod względem dokładności wymiarowej.                  | Dzięki informacji zwrotnej zespołu pomiarowego i zespołów napędowych z silnikami o regulowanej liczbie obrotów, obrabiarka w trakcie pracy zapewnia dokładność wymiarową przedmiotu obrabianego. Zintegrowane czujniki pomiarowe zapewniają kontrolę wymiarów podczas obróbki. Obrabiarki wyposażone w sondy umożliwiają dokonywanie pomiarów obrabianych elementów w trakcie obróbki, bez konieczności używania przyrządów pomiarowych. Podczas pracy automatycznej maszyny istnieje możliwość edycji innych programów technologicznych. |

W budowie obrabiarek konwencjonalnych a CNC występują duże różnice, wiele z nich w sposób podglądowy zostało przedstawione na poniższych rysunkach.

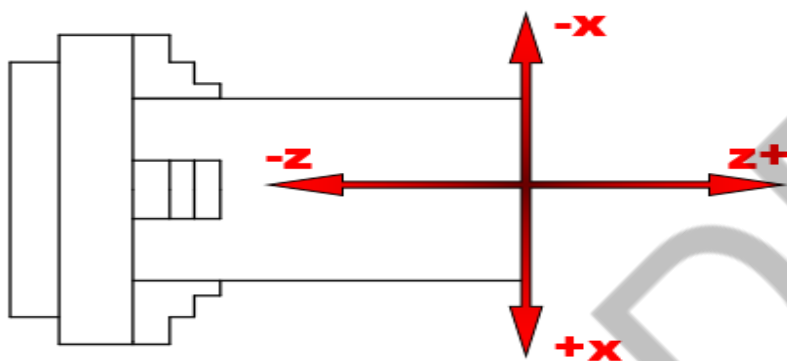


Rys. 1.9. Porównanie obrabiarki konwencjonalnej i obrabiarki sterowanej numerycznie [5]

## 1.5. Zastosowanie osi sterowanych numerycznie

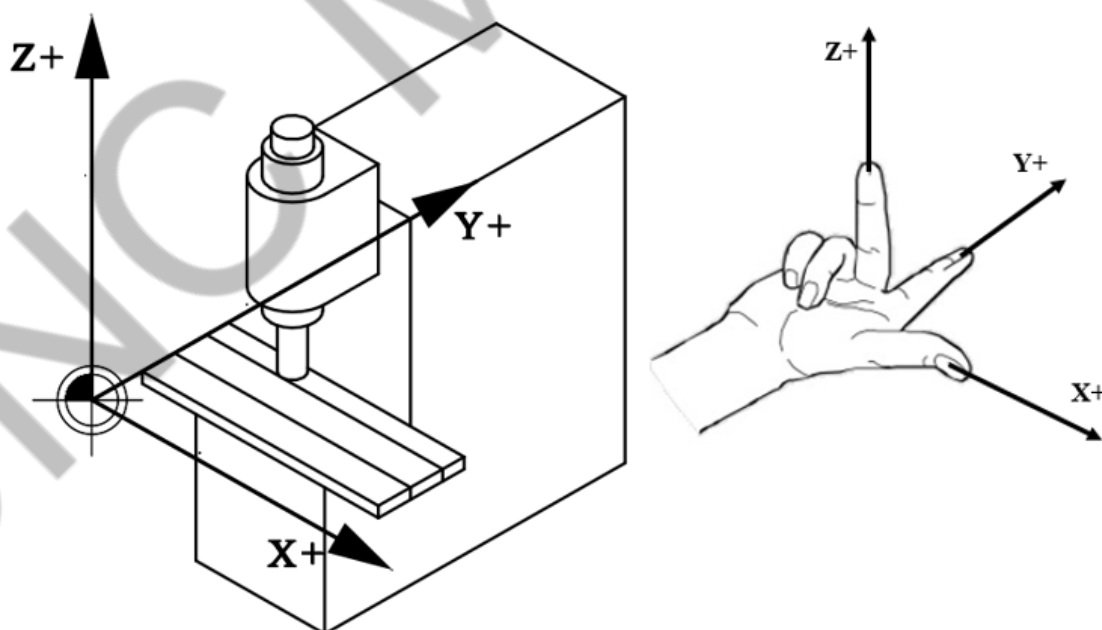
Pod pojęciem osi sterowanej numerycznie należy rozumieć każdy ruch sterowany w sposób ciągły, liniowy lub obrotowy. W skład tych ruchów wchodzi zarówno osie ruchów posuwowych, jak również napędy wrzecion, które są bezstopniowe z możliwością kątownego pozycjonowania wrzeciona.

Aby nazwać obrabiarkę sterowaną numerycznie musi ona posiadać co najmniej dwie osie, np. tokarka oś X i Z.



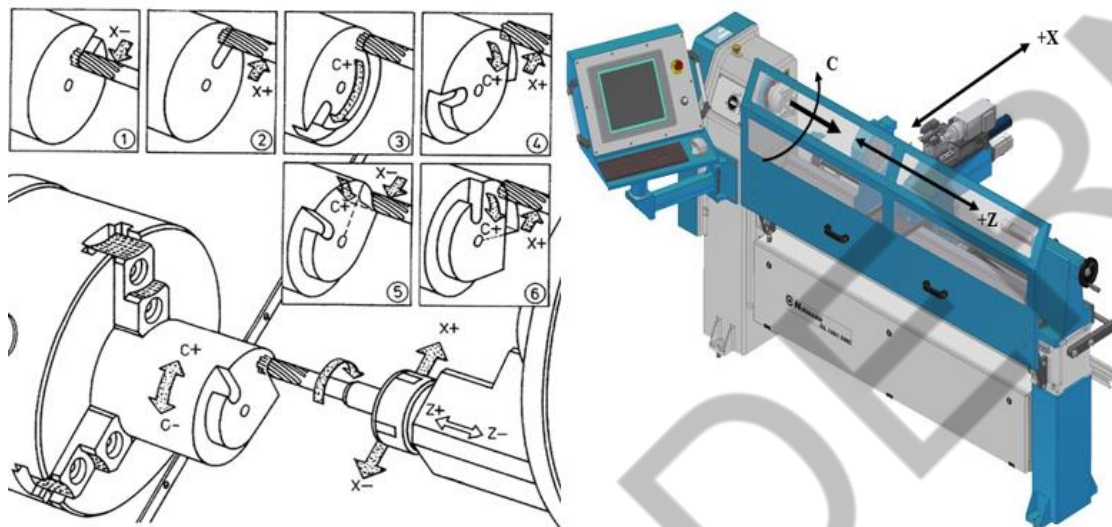
Rys. 1.10. Układ i oznaczenie osi sterowanych tokarki CNC

W obrabiarkach sterowanych numerycznie najczęściej stosowany jest układ kartezjański prawoskrętny X,Y,Z, wraz z obrotami wokół osi, które oznaczane są: A,B,C.



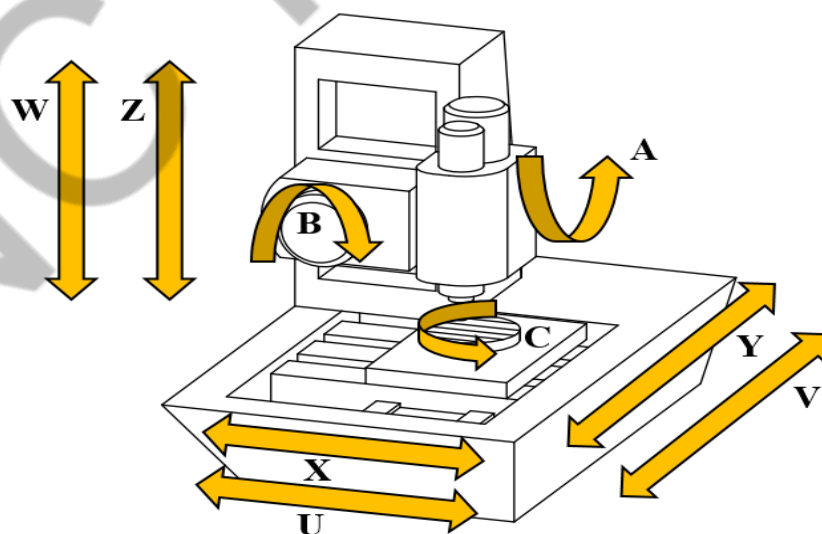
Rys. 1.11. Przykład kierunku osi sterowanych we frezarce pionowej, reguła trzech palców w celu określenia układu osi na obrabiarce [9]

Jako pierwsza definiowana jest oś Z, która pokrywa się z osią wrzeciona głównego (przedmiotowego, narzędziowego) lub jest do niej równoległa. Następnie określany jest kierunek osi X. Jest on prostopadły do kierunku osi Z. W trzeciej kolejności wyznacza się kierunek osi Y. Zwroty osi należy tak ustalić, aby spełnić warunek prawoskrętności.



Rys. 1.12. Rozmieszczenie osi sterowanych w tokarce z dodatkową osią C [5]

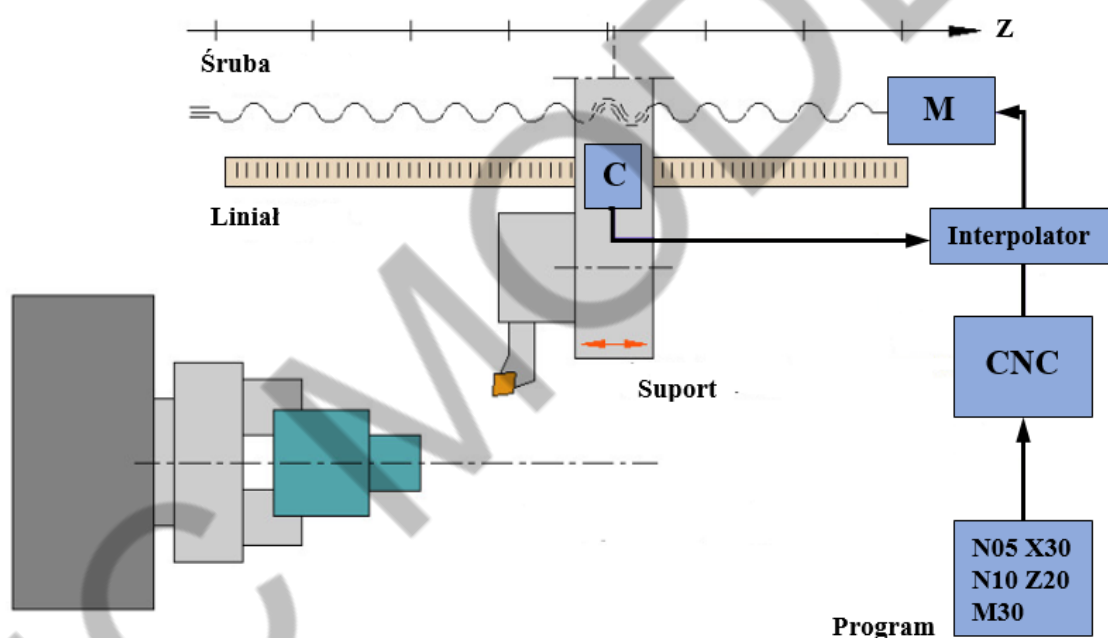
Współczesne obrabiarki posiadają dużą liczbę osi sterowanych numerycznie, dzięki czemu możliwe jest wykonywanie skomplikowanych operacji technologicznych. W zależności od rodzaju maszyny (tokarka, frezarka) zasada ta może odnosić się do wrzeciona przedmiotowego lub wrzeciona narzędziowego. Kierunek dodatni danej osi to kierunek, w którym narzędzie odsuwa się od przedmiotu obrabianego w trakcie obróbki. W przypadku dodatkowych elementów sterowanych w sposób ciągły wykonujących ruchy w kierunkach zgodnych z układem podstawowym wykorzystuje się oznaczenia osi U, V, W lub X1, X2, Y1, Z1, itp.



Rys. 1.13. Układ konstrukcyjny obrabiarki z dodatkowymi osiami U,W,V [5]

### 1.5.1. Zasada działania sterowania numerycznego

Przykład tokarki w dwóch osiach przedstawia najprostszy sposób sterowania numerycznego. Program sterujący jest rozkodowywany w układzie CNC i przesyłany za pomocą odpowiednich impulsów do interpolatora, którego zadaniem jest przekształcanie tych impulsów na określone przyrosty (premieszczenia) współrzędnych w osiach X i Z. Położenie suportów mierzone jest w danym momencie za pomocą układów pomiarowych. W przypadku wystąpienia różnicy między położeniem zadanym przez interpolator, a położeniem odczytanym z urządzeń pomiarowych, silnik odpowiedzialny za położenie danej osi X lub Z zaczyna się obracać i przesuwa za pośrednictwem przekładni śrubowej odpowiedni suport do uzyskania właściwej wartości położenia. Po osiągnięciu położenia zadanego następuje zatrzymanie posuwu. Układy napędowe stosowane w obrabiarkach CNC pracują głównie w układzie automatycznej regulacji i są nazywane serwomechanizmami lub serwonapędami. Zasada działania takich urządzeń polega na tym, że potrzebują do wykonania ruchu niezerowej różnicy między chwilowym położeniem zadanym, a rzeczywistym odczytanym. Powoduje to, że stół lub suport obrabiarki opóźnia się względem punktu określającego ich zadane położenie. Wartość tego opóźnienia nosi nazwę uchybu nadążania. Szczególnie ważne jest, aby uchyb nie przekraczał wartości dopuszczalnych, czyli tolerancji wymiarowej oraz był taki sam we wszystkich osiach.



Rys. 1.14. Zasada działania układu numerycznego, C- przetwornik pomiarowy, M- napęd osi [20]

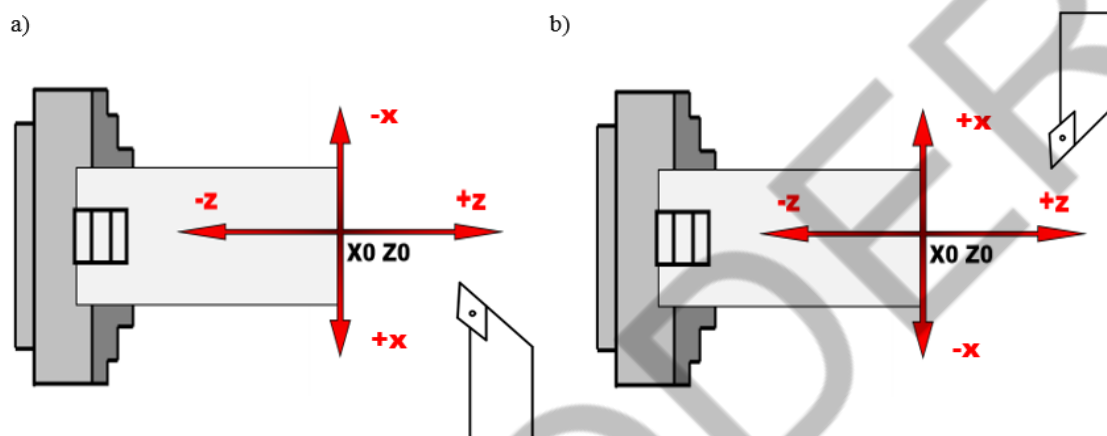
Istotnym elementem funkcjonowania obrabiarek CNC jest założenie pewnego układu współrzędnych, w którym odbywa się sterowanie. Jest to najprostszy sposób w celu określenie względnych położenia narzędzia i przedmiotu obrabianego, wymaganych dla przeprowadzenia obróbki i uzyskania odpowiednich jej efektów.



## 1.6. Odmiany konstrukcyjne obrabiarek CNC

### 1.6.1. Tokarki

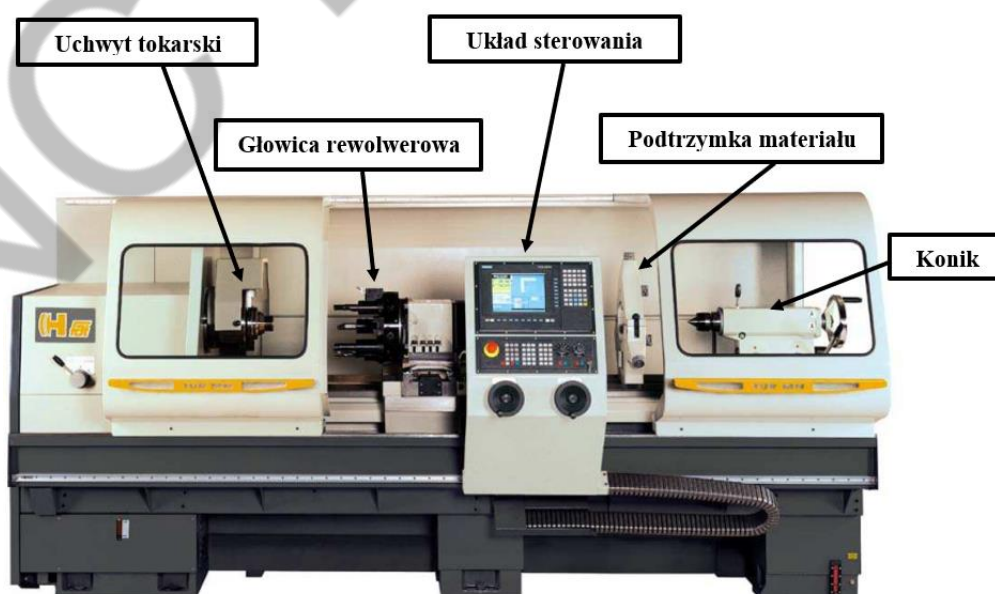
Tokarki CNC stanowią grupę obrabiarek skrawających, przeznaczonych głównie do obróbki przedmiotów w kształcie brył obrotowych. Poza toczeniem na tokarce można również wykonywać: wiercenie, gwintowanie, wytaczanie, frezowanie, rozwieranie. Tokarki sterowane numerycznie mają co najmniej 2 osie sterowane X i Z, ale możemy również spotkać tokarki z większą liczbą osi.



Rys. 1.15. Układ i oznaczenie osi tokarki CNC: a) poniżej osi toczenia, b) powyżej osi toczenia

Wśród tokarek można wyróżnić wiele odmian konstrukcyjnych:

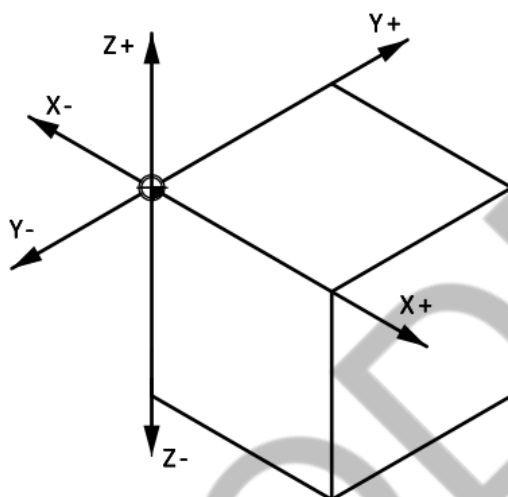
- tokarki poziome, pionowe (karuzelowe) - podział ze względu na położenie osi wrzeciona;
- tokarki kłowe, uchwytywowe i prętowe - podział ze względu na rodzaj przedmiotu obrabianego;
- tokarki jedno i wielowrzecionowe;
- automaty i półautomaty tokarskie;
- inne [5].



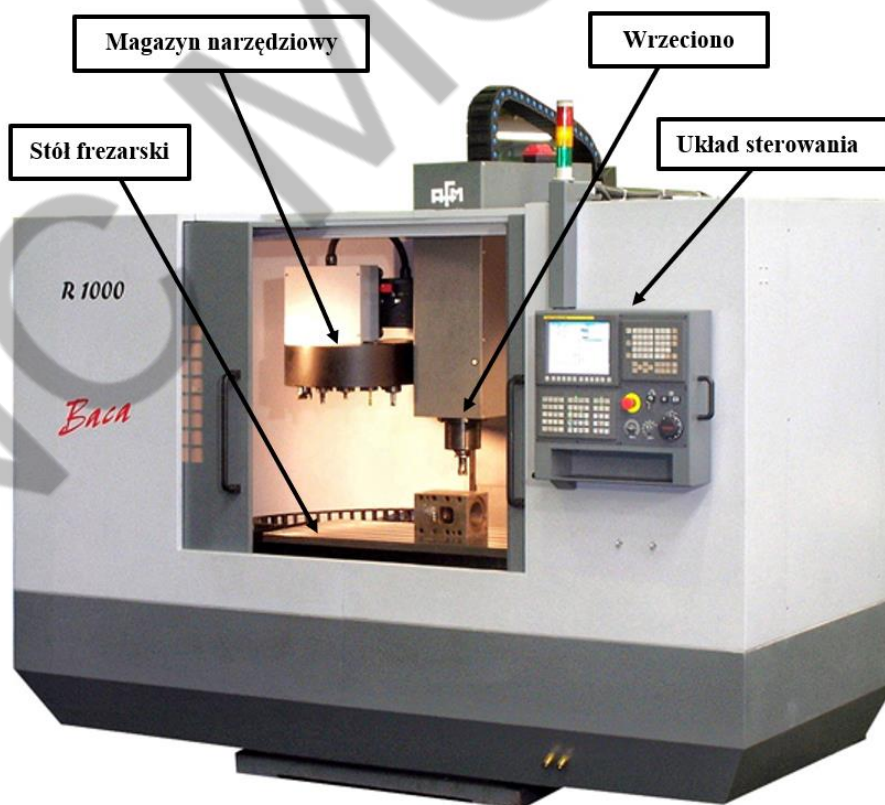
Rys. 1.16. Budowa tokarki sterowanej numerycznie

### 1.6.2. Frezarki

Frezarki CNC są to obrabiarki skrawające, przeznaczone m.in. do obróbki płaszczyzn, powierzchni kształtowych, rowków za pomocą narzędzi frezarskich. Na frezarce możemy wykonać: frezowanie, wiercenie, gwintowanie, pogłębianie, rozwiercanie. Ruch główny wykonuje narzędzie zamocowane we wrzecionie, natomiast ruchy posuwowe najczęściej przedmiot usytuowany na przesuwym stole. Spotyka się również takie rozwiązania, gdzie przemieszcza się całe wrzeciono.

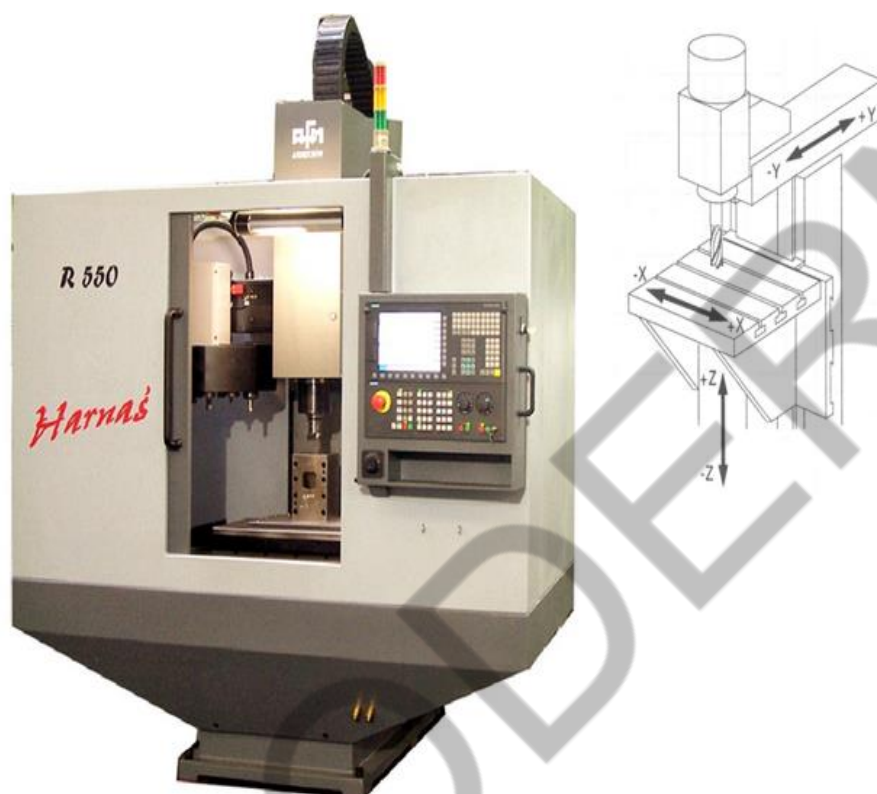


Rys. 1.17. Układ i oznaczenie osi frezarki CNC

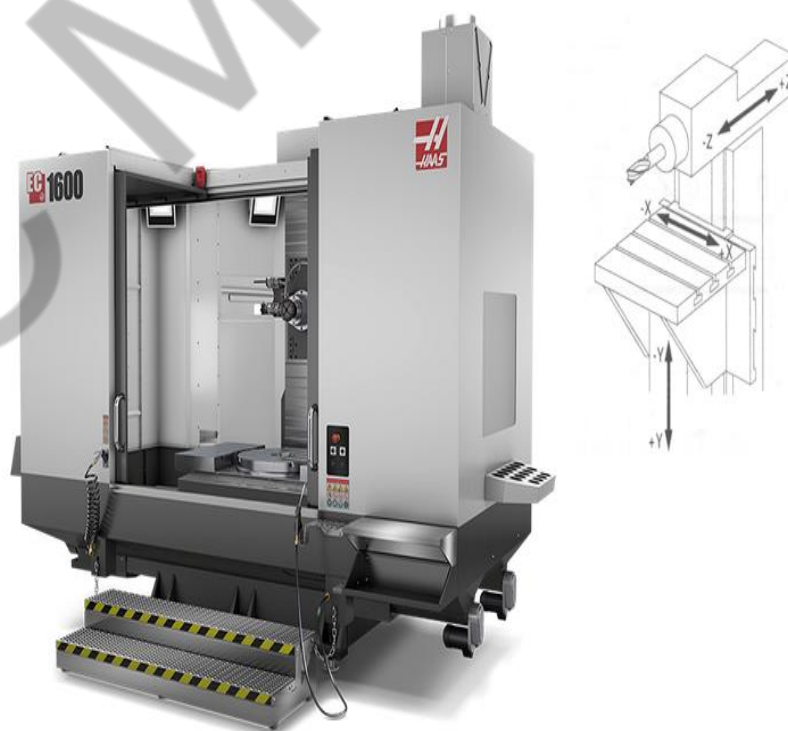


Rys. 1.18. Budowa frezarki sterowanej numerycznie

Ze względu na położenie osi wrzeciona wyróżnia się następujące typy frezarek: pionowe i poziome.



Rys. 1.19. Przykład frezarki pionowej [22]



Rys. 1.20. Przykład frezarki poziomej [22]

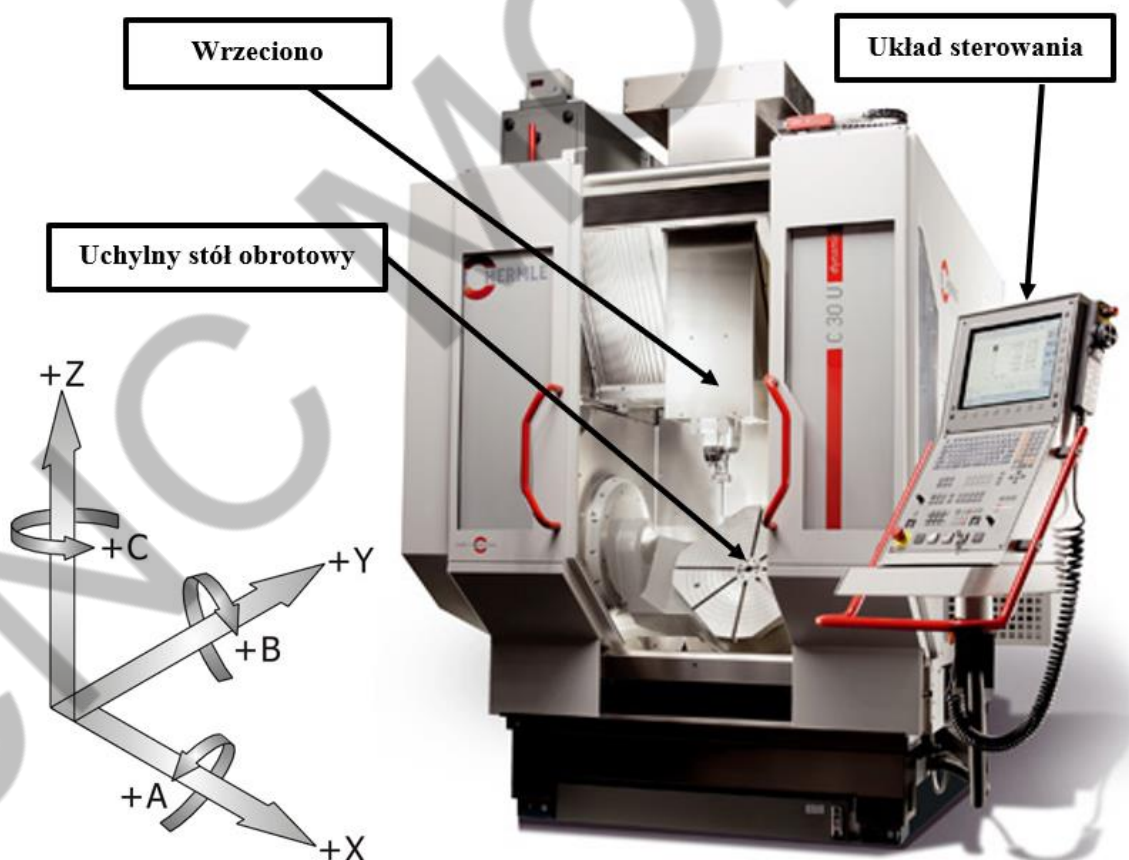
### 1.6.3. Centra obróbcze

Centra obróbcze (obróbkowe) to obrabiarki sterowane numerycznie (wielozadaniowe) gdzie, w jednym zamocowaniu umożliwiają wykonywanie dużej liczby zabiegów obróbkowych. Posiadają obszerne magazyny narzędzi, które są w stanie pomieścić 100 i więcej narzędzi tak, aby po obróbce uzyskać przedmiot w pełni lub w dużej części obrobiony. W ich wyposażeniu znajdują się: systemy paletowe (zmiennicze palet) z automatyczną ich wymianą oraz sondy do pomiaru narzędzi i przedmiotu obrabianego, co w znacznym stopniu przyspiesza proces obróbki.

Obrabiarki te wykorzystywane są głównie w produkcji przedmiotów o złożonych kształtach, na których trzeba wykonać wiele różnorodnych zabiegów takich jak: frezowanie, wiercenie, pogłębianie, gwintowanie, wytaczanie, rozwieranie otworów czy frezowanie płaszczyzn pod kątem.

Podwyższoną wydajność i dokładność obróbki można uzyskać na centrach obróbkowych zapewniających 5-osiową obróbkę jednocześnie. Uchylny stół obrotowy o dużej sztywności pozwala na kompletną obróbkę zgrubną i wykończeniową przedmiotów o bardzo złożonych kształtach. Tego typu maszyny znajdują zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu m.in: lotniczy, samochodowy, stoczniowy, maszynowy i wielu innych.

Centrum obróbcze charakteryzuje się dużą liczbą osi sterowanych. W układzie prostokątnym można wyróżnić trzy ruchy prostoliniowe wzdłuż osi X, Y, Z oraz trzy ruchy obrotowe A, B, C.



Rys. 1.21. Budowa centrum obróbczego oraz układ i oznaczenie osi



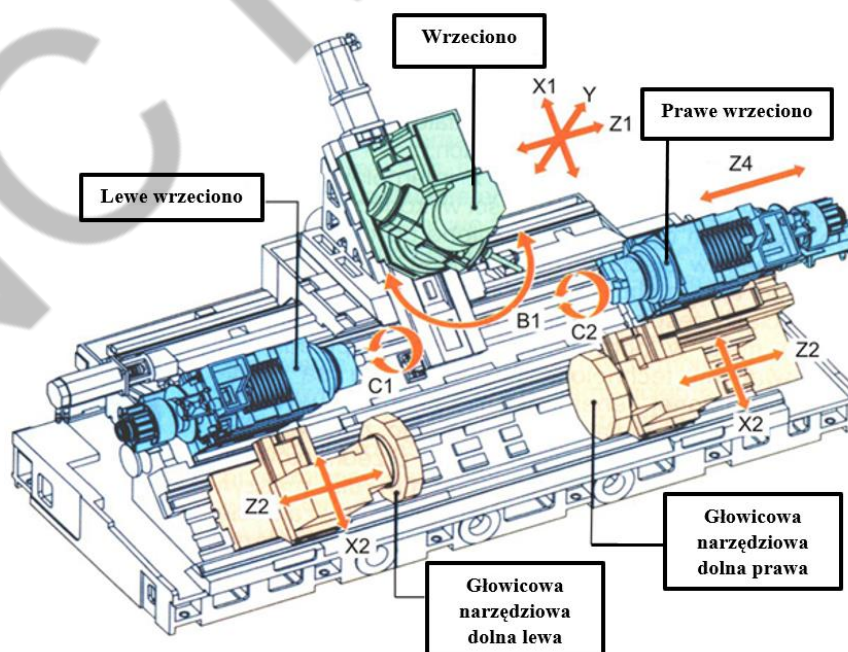
#### 1.6.4. Centra tokarskie

Centra tokarskie CNC to obrabiarki, które poza możliwością samego toczenia, wykonują również: frezowanie, wiercenie, pogłębianie, gwintowanie, wytaczanie, rozwiercanie. W swoim wyposażeniu posiadają również drugie wrzeciono. Można wyróżnić dwa podstawowe typy centrów tokarskich CNC: poziomy oraz pionowy, które różnią się ułożeniem osi obrotu wrzeciona.

Centra tokarskie dysponują sporymi możliwościami technologicznymi, zastosowanie większej liczby osi pozwala wykonywać skomplikowane elementy.



Rys. 1.22. Budowa centrum tokarskiego



Rys. 1.23. Układ konstrukcyjny tokarki sterowanej numerycznie w 11 osiach [5]



### 1.6.5. Inne maszyny sterowane komputerowo

Wraz z rozwojem układów CNC rośnie liczba maszyn sterowanych numerycznie. W nowych konstrukcjach tych urządzeń sterowanie przejmuje komputer, przez co zwiększa się produktywność stanowiska, precyzja wytwarzanych części oraz zminimalizowane zostają błędy operatora podczas obróbki. Maszyny, w których coraz częściej stosuje się komputerowe sterowanie numeryczne to:

#### **Szlifierka**

Szlifierka CNC to maszyna przeznaczona do obróbki wykańczającej powierzchni przedmiotów wcześniej obrobionych innymi metodami. Znajduje zastosowanie w produkcji precyzyjnych elementów, m.in. części maszyn i urządzeń, podzespołów dla przemysłu motoryzacyjnego, energetycznego, czy też różnego rodzaju narzędzi i oprzyrządowania. Podstawowym zadaniem technologicznym szlifierek jest obróbka powierzchniowa (po szlifowaniu uzyskujemy bardzo dobrą jakość powierzchni). Szlifierki ze względu na wykonywane zadania technologiczne można podzielić na szlifierki: do wałków, bezkłowe, do otworów, kłowe z nadstawką do szlifowania otworów, do narzędzi, do płaszczyzn, pracujące obwodem ściernicy oraz czołem ściernicy, ze stołem prostokątnym lub obrotowym.

#### **Elektrodrażarka**

Elektrodrażarka CNC służy do usuwania materiału, działa na zasadzie elektrodrażenia, która wykorzystuje zjawisko obróbki elektroerozyjnej. Wyładowania elektryczne, które powstają pomiędzy elektrodą (drutem) i materiałem obrabianym za sprawą elektrodrażarki, powodują powstawanie w nim ubytków. Metody erozyjne są wykorzystywane w obróbce bardzo twardych materiałów oraz miejscach gdzie obróbka skrawaniem byłaby trudna przy uzyskaniu bardzo dużej gładkości powierzchni np. wykonanie otworu o średnicy 0,05 mm. Elektrodrażarki znajdują zastosowanie w produkcji: wykrojników, matryc, form wtryskowych, tłoczników, itp. Wyróżniamy następujące metody elektrodrażenia: wgłębne oraz drutowe.

#### **Wypalarka plazmowa**

Wypalarka plazmowa CNC to urządzenie przeznaczone do cięcia plazmowego przy wykorzystaniu palnika. Proces ten polega na wykorzystaniu wysokiej temperatury plazmy oraz dużej prędkości wylotowej gazów. Umożliwia wycinanie określonych elementów o skomplikowanym kształcie. Materiały umieszcza się na powierzchni roboczej stołu CNC, następnie do sterownika urządzenia wgrywa się program cięcia. Po uruchomieniu programu następuje automatyczne wypalanie (cięcie) elementów na odpowiednie wymiary, zgodnie z programem. Palnikiem plazmowym można wycinać wszystkie materiały przewodzące prąd elektryczny m.in. stal konstrukcyjną, stal wysokostopową oraz metale nieżelazne.

#### **Laser**

Laser CNC to maszyna, w której można precyzyjnie wyciąć niestandardowe kształty, zapewnia szybką i bardzo efektywną pracę. Laser to punktowe wyprowadzanie energii przyjmującej postać gorącego strumienia tnącego, przy czym wiązka laserowa powstaje w wyniku wyładowań elektrycznych zachodzących w mieszaninie gazów technicznych. Samo cięcie polega na roztopieniu bądź odparowaniu obrabianego surowca. Do cięcia laserem używa się gazu technicznego o dużej czystości m.in. (helu, azotu oraz dwutlenku węgla). Reaguje on z żelazem, dzięki czemu dostarcza dodatkową dawkę energii, przyspieszając produkcję. Laser znajduje szeroki zakres zastosowania względem rodzajów i właściwości materiałów poddawanych obróbce.

## Waterjet

Waterjet CNC wykorzystuje technologie strumienia wody o ekstremalnie wysokim ciśnieniu (nawet 4000 atmosfer) w celu przecięcia twardych i grubych materiałów (kamień, metal, szkło, drewno, tworzywa sztuczne itp.) z dokładnością nawet do 0,1 milimetra. By uzyskać tak wysokie ciśnienie należy sprężyć wodę za pomocą specjalnych pomp, a następnie skierować ją do sterowanej komputerowo głowicy tnącej. W kolejnym etapie woda trafia na stół roboczy, na którym znajduje się materiał poddawany obróbce.

Podczas cięcia miękkich i cienkich materiałów sama woda całkowicie wystarcza, jednak w przypadku twardszego i grubszego surowca, konieczne jest użycie wody z domieszką środka ściernego (garnetu). Garnet można porównać do piasku z tym, że jest on zdecydowanie twardszy i ma ostrzejsze krawędzie.

Waterjet w porównaniu z innymi metodami cięcia przecina materiały znacznie grubsze niż może to wykonać laser czy cięcie plazmą. Dodatkowo materiał nie jest poddawany działaniu wysokiej temperatury, jak to bywa przy cięciu termicznym. Dzięki temu przycinany surowiec nie jest narażony na uszkodzenia mechaniczne w postaci rys czy mikropęknięć.

## Ploter

Ploter CNC to maszyna frezująca, która znajduje zastosowanie w wielu branżach m.in. stolarskiej i reklamowej. Może on wykonywać: cięcie folii, kartonu, papieru, frezowanie, wycinanie, wiercenie, grawerowanie w płytach z tworzyw sztucznych, aluminium, kompozytów. W wersjach 3D plotery wykorzystywane są do wykonywania modeli odlewniczych, do termo formowania czy laminowania, modelowania płaskorzeźb, makiet przestrzennych, prezentacji trójwymiarowych. Są to najtańsze z obecnych na rynku obrabiarek sterowanych komputerowo. Stoły ploterów frezujących są najczęściej wyposażone w stoły z rowkami teowymi, co daje dużą uniwersalność lub w systemy próżniowego mocowania materiału, co znacznie ułatwia mocowanie dużych i cienkich płyt.

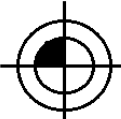
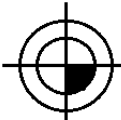


Rys. 1.24. Przykładowe maszyny CNC: wycinarka laserowa firmy Kimla (po lewej stronie), szlifierka CNC do płaszczyzn firmy Cormak (po prawej stronie)

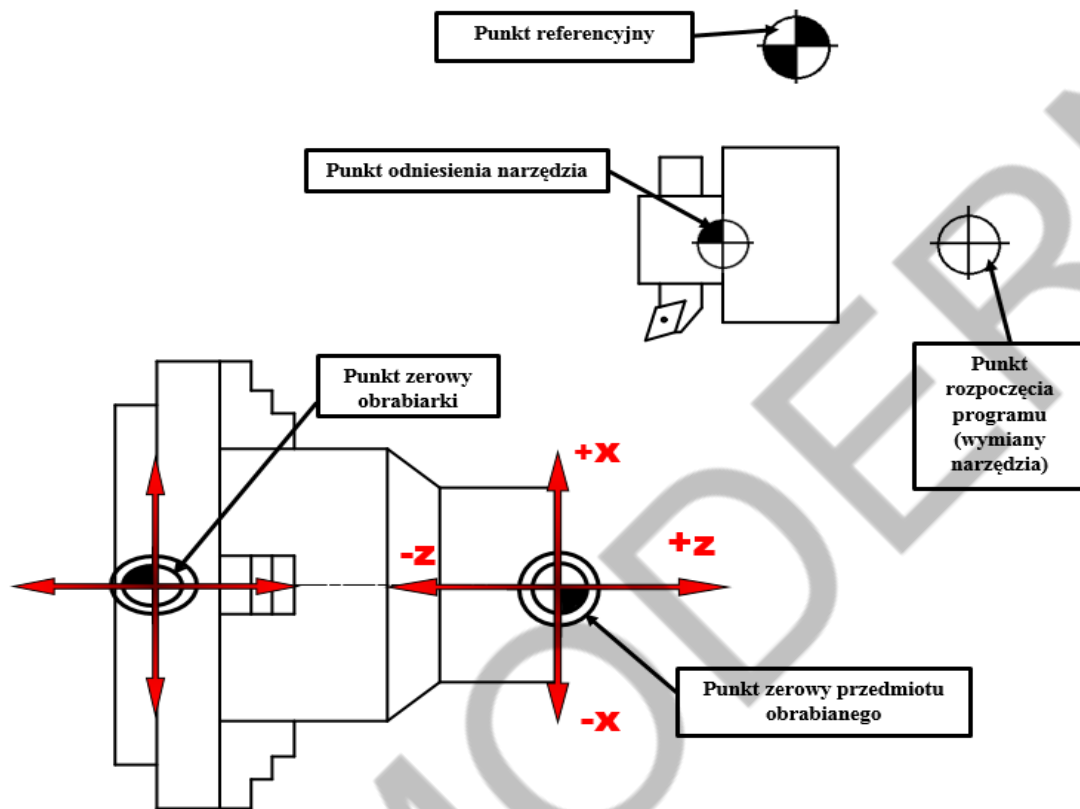
## 1.7. Punkty charakterystyczne obrabiarek CNC

W każdej obrabiarce sterowanej numerycznie występują układy współrzędnych oraz punkty charakterystyczne, są one wykorzystywane do ustawienia i programowania obrabiarek CNC.

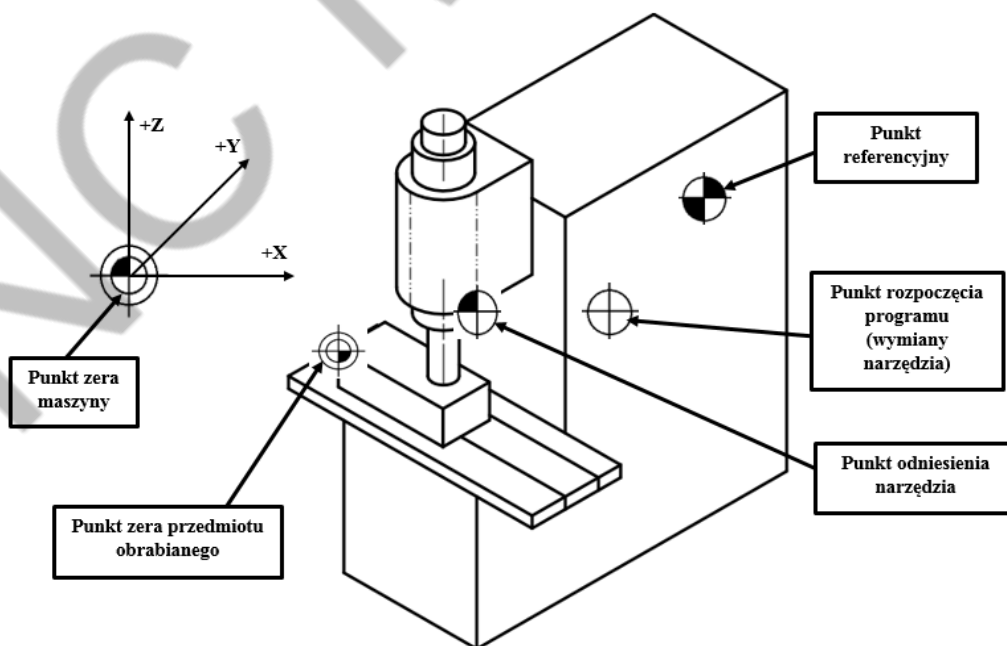
Tabela 1.2. Symbole i opis punktów charakterystycznych obrabiarek CNC

| SYMBOL                                                                              | NAZWA                                        | DEFINICJA                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Punkt referencyjny<br>(wyjściowy obrabiarki) | Punkt, na który należy najechać po każdorazowym uruchomieniu maszyny oraz po odblokowaniu grzybka.<br>Wykonujemy to w maszynach, które posiadają przyrostowy układ pomiaru położenia. |
|   | Punkt zerowy obrabiarki                      | Punkt, w którym znajduje się początek układu współrzędnych maszynowych, jego położenie jest stałe i niezmiennie, ustalone przez producenta.                                           |
|  | Punkt zerowy przedmiotu<br>obrabianego       | Punkt względem, którego pisany i realizowany jest program.                                                                                                                            |
|  | Punkt odniesienia narzędzia                  | Punkt stały, który znajduje się na powierzchni głowicy tokarki, frezarki od którego mierzymy narzędzia.                                                                               |
|  | Punkt rozpoczęcia programu                   | Punkt, w którym narzędzie musi znajdować się przed rozpoczęciem programu.                                                                                                             |
|                                                                                     | Punkt wymiany narzędzia                      | Punkt, w którym następuje bezpieczna (bezkolizyjna) wymiana narzędzia.                                                                                                                |

Punkty charakterystyczne i układy są związane z obrabiarką, przedmiotem obrabianym oraz narzędziem. Rozmieszczenie tych punktów jest bardzo ważną informacją zarówno dla operatora jak i programisty.



Rys. 1.25. Punkty charakterystyczne tokarki CNC [23]



Rys. 1.26. Punkty charakterystyczne frezarki CNC [23]

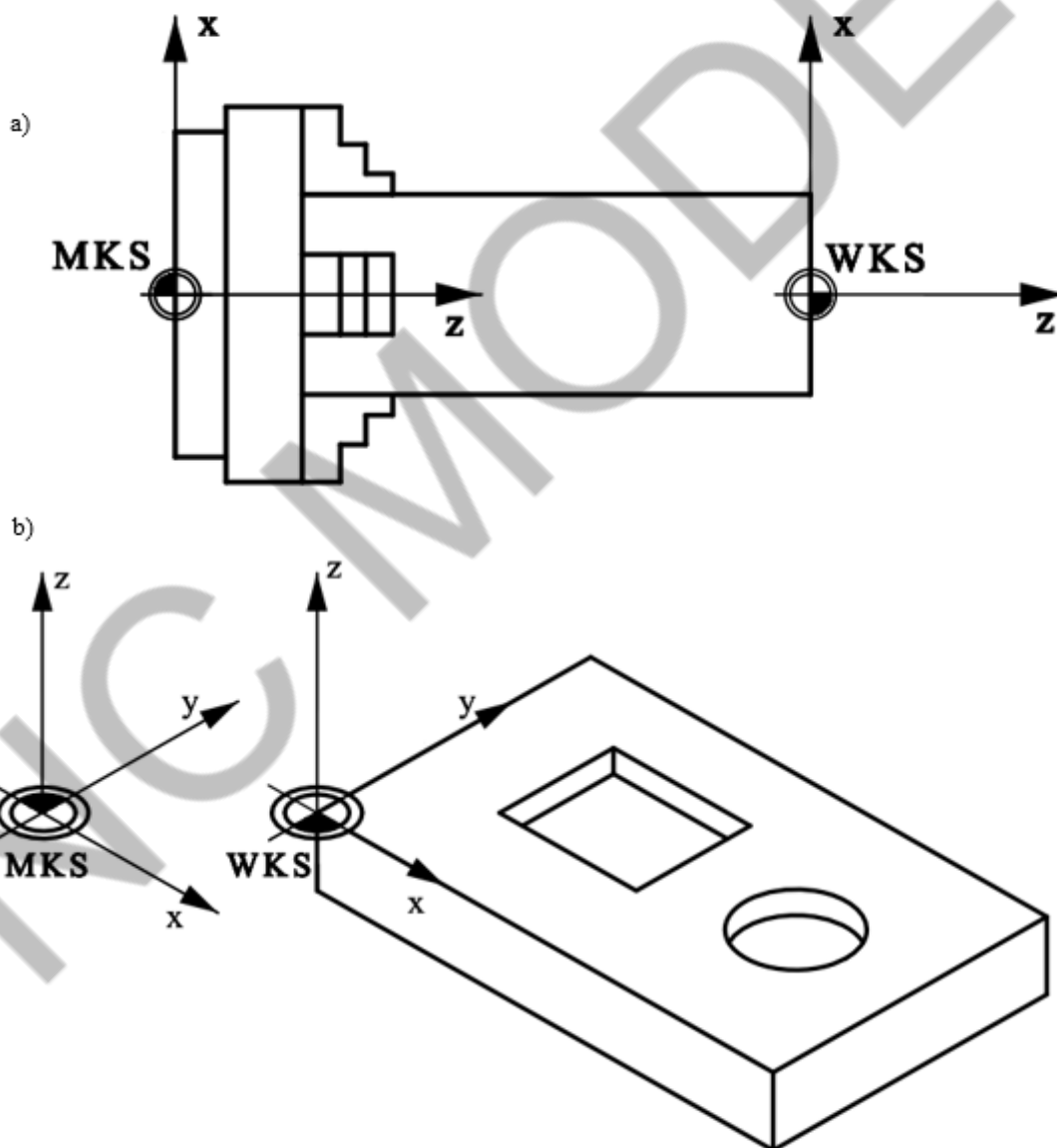
### 1.7.1. Układy współrzędne MKS i WKS

W celu określenia parametrów geometrycznych ruchu narzędzia względem przedmiotu obrabianego wyróżnia się:

- układ współrzędnych przedmiotu WKS;
- maszynowy układ współrzędnych MKS.

**Układ współrzędnych przedmiotu (WKS)** – prostokątny, prawoskrętny układ współrzędnych, związany z przedmiotem obrabianym, służy do programowania obróbki, zapisanej w postaci programu sterującego.

**Maszynowy układ współrzędnych (MKS)** – układ współrzędnych, który tworzą osie sterowane numerycznie obrabiarki lub innego urządzenia sterowanego numerycznie. Układ ten związany jest z prowadnicami, łożyskowaniem i innymi elementami konstrukcji posiadającymi niezależne napędy i układy pomiarowe.



Rys. 1.27. Maszynowy układ współrzędnych MKS oraz układ współrzędnych przedmiotu WKS na przykładzie: a) tokarki, b) frezarki [9]

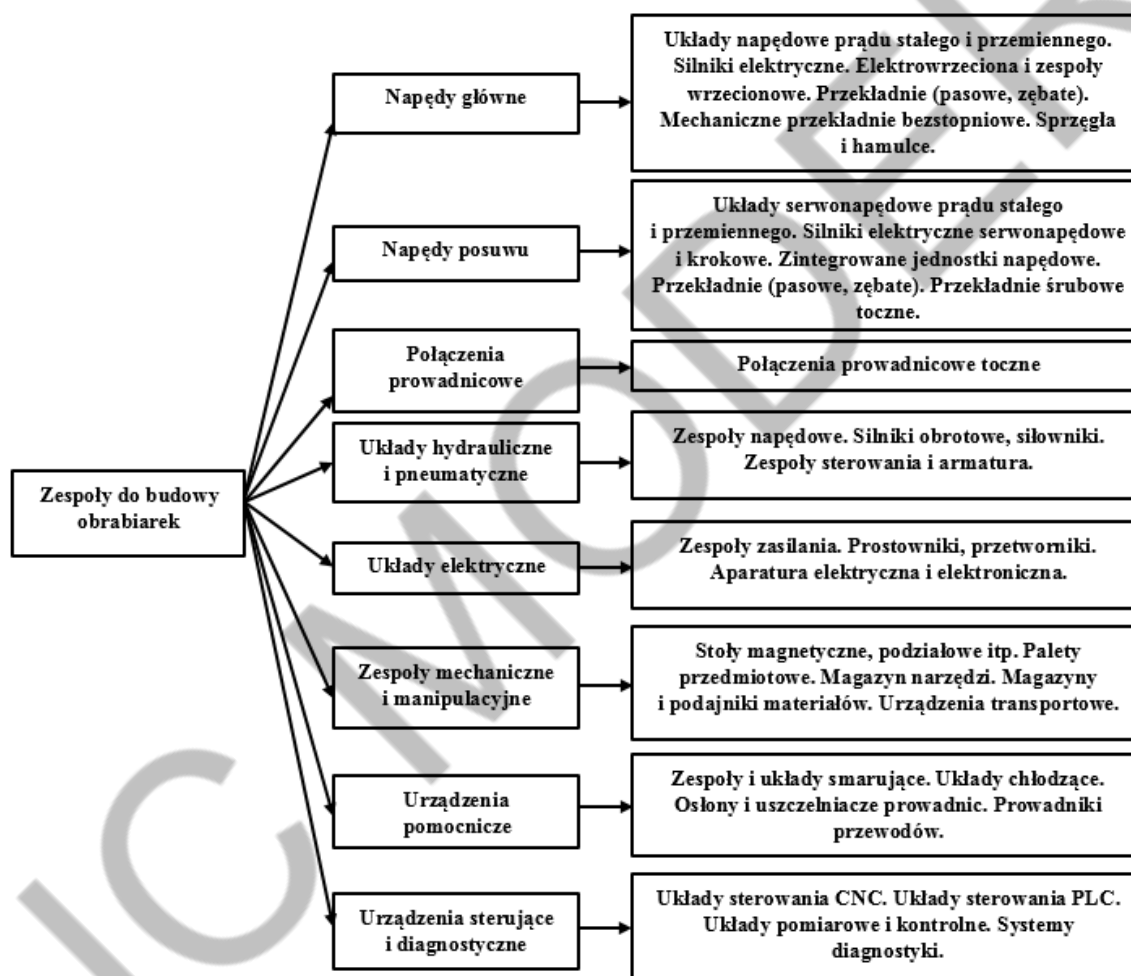


## 1.8. Poszczególne zespoły i podzespoły obrabiarek

### Zespoły funkcjonalne obrabiarek CNC

Obrabiarki to złożone maszyny konstrukcyjne zawierające szereg funkcjonalnych zespołów umożliwiających realizację złożonej kinematyki oraz możliwości kształtowania części maszyn.

Do zespołów tych należą przede wszystkim: korpusy, zespoły napędowe, połączenia prowadnicowe, układy hydrauliczne, pneumatyczne i elektryczne, zespoły mechaniczne i manipulacyjne, urządzenia sterujące i diagnostyczne oraz urządzenia pomocnicze rozszerzone o roboty, manipulatory, zmieniacze palet itp.



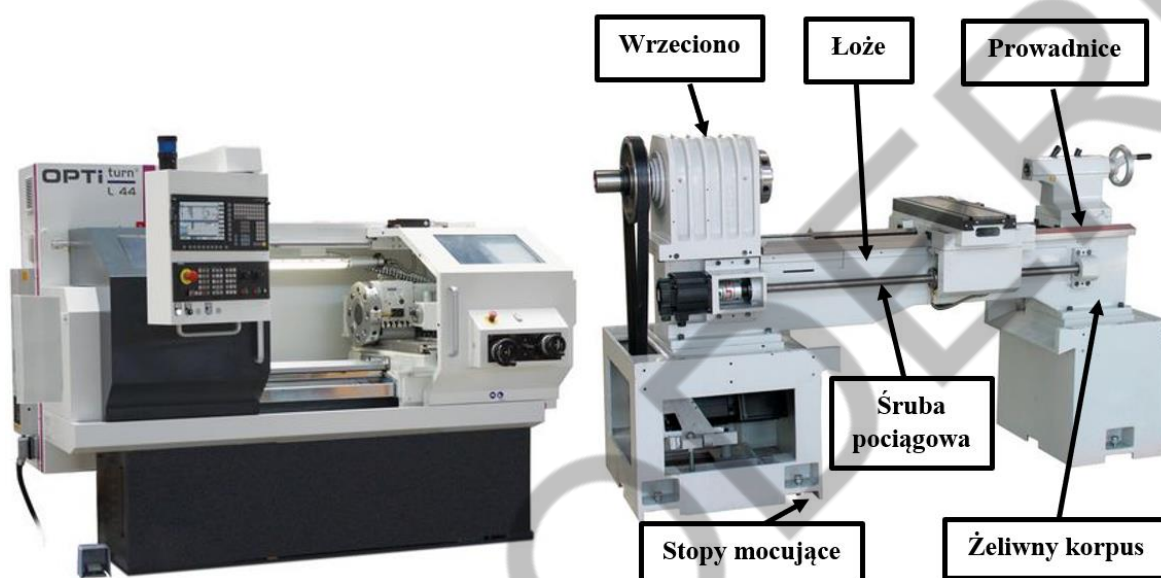
Rys. 1.28. Podstawowe zespoły budowy obrabiarki [26]

### Korpusy i połączenia prowadnicowe

Korpusy obrabiarek CNC są elementami, które łączą poszczególne zespoły i podzespoły w jedną funkcjonalną całość, pozwala to na prawidłowe działanie maszyny. Obrabiarka CNC zazwyczaj posiada kilka korpusów: jeden jest główny (nieruchomy), który stanowi podstawową konstrukcję nośną maszyny. Pozostałe to korpusy pomocnicze wykonujące ruchy posuwowe i przesuwowe, służące do ustalania i zamocowania przedmiotów obrabianych lub narzędzi oraz korpusy zespołów napędowych m.in. wrzecienniki.

Najczęściej spotykane rodzaje korpusów w obrabiarkach to:

- jednolite korpusy z żeliwa szarego;
- stalowe korpusy spawane;
- korpusy z polimerobetonu;
- korpusy kompozytowe;
- korpusy zespolone [4].



Rys. 1.29. Główne zespoły tokarki CNC [10]

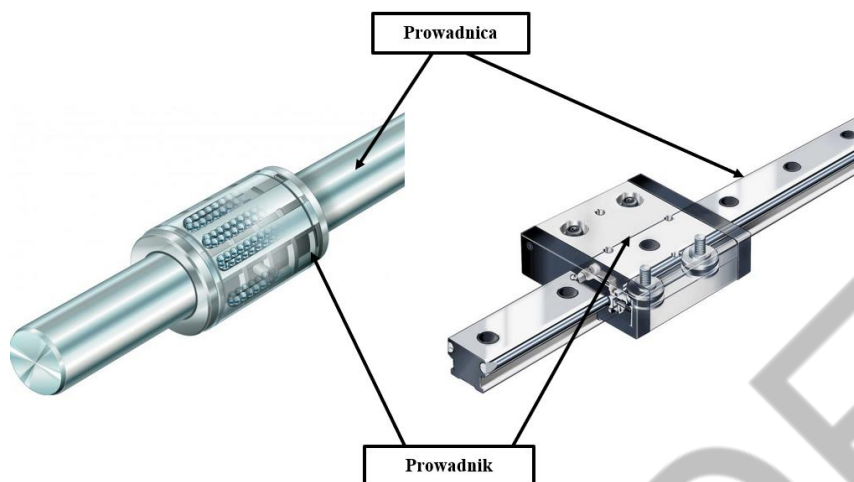
Kolejnymi istotnymi elementami decydującymi o wydajności, jakości obrabiarki sterowanej numerycznie są prowadnice. Typ i konstrukcja wykorzystanych prowadnic odpowiada za dokładność uzyskiwanych wymiarów. W budowie obrabiarek sterowanych numerycznie, najczęściej występują prowadnice, które możemy podzielić na:

- ślizgowe z nakładkami przeciwciernymi;
- toczne;
- hydrostatyczne, w których olej dostarczany jest pod ciśnieniem.

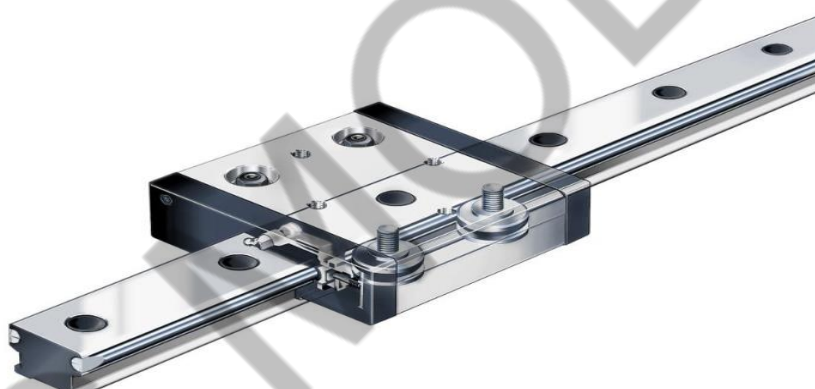
Połączenia prowadnicowe stanowią odpowiednio ukształtowane powierzchnie korpusów nazywane prowadnicą (element nieruchomy) i prowadnikiem (element ruchomy). Umożliwiają zmianę wzajemnego położenia zespołów i podzespołów maszyny. W skład połączenia prowadnicowego wchodzi zwykle dwie prowadnice.

Połączenia prowadnicowe mają wpływ na uzyskiwane dokładności wymiarowe oraz własności dynamiczne obrabiarki. Powinny charakteryzować się dużą sztywnością i dokładnością geometryczną, odpornością na zużywanie się. Dodatkowo małymi, niezależnymi od prędkości przesuwu oporami ruchu oraz stałymi właściwościami niezależnymi od warunków pracy.

Najpopularniejszym rozwiązaniem stosowanym w nowoczesnych obrabiarkach sterowanych numerycznie są prowadnice toczne, z napędem śrubowo-tocznym w każdej z osi sterowanych numerycznie oraz prowadnice i wózki jezdne.



**Rys. 1.30. Przykład zestawów liniowych: prowadnik - prowadnica [26]**



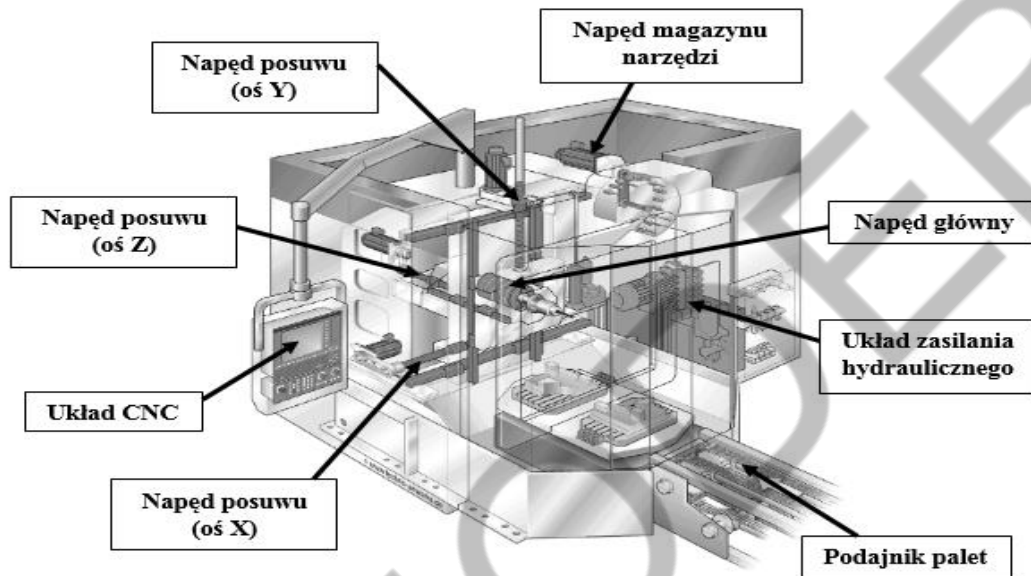
**Rys. 1.31. Przykład prowadnicy ślizgowej liniowej**



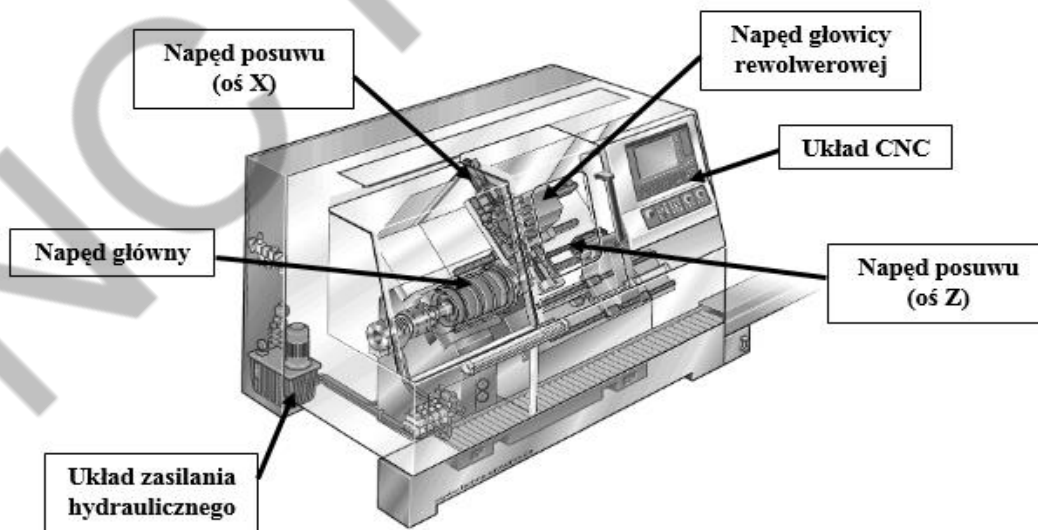
**Rys. 1.32. Przykład prowadnicy tocznej rolkowej**

## Zespoły napędowe

Do zespołów napędowych obrabiarek sterowanych numerycznie zaliczane są: napędy główne, napędy posuwów oraz napędy pomocnicze. Zespoły napędowe charakteryzują się złożoną budową, odgrywają ważną rolę w konstrukcji obrabiarki.



Rys. 1.33. Zespoły napędowe centrum obróbkowego CNC [5]



Rys. 1.34. Zespoły napędowe tokarki CNC [5]

Do najpopularniejszych rodzajów napędów głównych możemy zaliczyć:

- elektromechaniczne z przekładnią stopniową lub bezstopniową;
- hydrauliczne;
- elektryczne z silnikiem prądu stałego i przekładnią stopniową;
- elektryczne z asynchronicznym lub synchronicznym silnikiem prądu przemiennego.

Pojęcie elektrycznego układu napędowego oznacza układ przenoszący energię z sieci elektrycznej do zespołu roboczego maszyny. W jego skład wchodzi:

- układ zasilający i sterujący pracą silnika napędowego;
- silnik napędowy będący źródłem energii mechanicznej;
- przekładnia mechaniczna łącząca silnik z zespołem roboczym maszyny;
- zespół roboczy (np. zespół wrzeciona).

Zalecanymi napędami głównymi są elektryczne napędy prądu przemiennego. W napędach wykonawczych z silnikami prądu przemiennego, zasilanych z falownika częstotliwości o bezstopniowo regulowanej prędkości obrotowej, są stosowane silniki asynchroniczne klatkowe.

Posiadają one w porównaniu do silników prądu stałego wiele zalet:

- nie mają komutatora i szczotek, w wyniku czego cechuje je większa niezawodność i bezobsługowość pracy;
- brak komutatora i uzwojenia w wirniku powoduje, że silniki są bardziej wytrzymałe mechanicznie, dzięki czemu można uzyskać wysokie prędkości obrotowe;
- mogą rozwijać duży moment w szerokim zakresie regulacji prędkości;
- wirniki silników prądu przemiennego mają mniejszy moment bezwładnościowy, przez co można uzyskać większe przyspieszenie w procesie rozruchu i hamowania przy tym samym momencie silnika;
- straty energii w silnikach prądu przemiennego występują głównie w stojanie, dzięki czemu można łatwiej odprowadzić ciepło;
- silniki prądu przemiennego wykazują zdolność do samoczynnego dostosowania się do zmian obciążeń, co powoduje, że nie są wymagane dodatkowe układy regulacyjne.

Zespoły wrzecionowe z napędem elektrycznym występują jako:

- napędy bezpośrednie;
- napędy pośrednie;
- napędy zintegrowane (elektrowrzeciona) [4].

Zaletą napędów bezpośrednich jest ich płynne działanie, nie powodują drgań obrabiarki. Zastosowanie tych napędów ogranicza mały moment przy wysokich prędkościach obrotowych. Taki rodzaj napędu wykorzystywany jest przede wszystkim w małych centrach obróbkowych.

Napęd pośredni składa się z silnika elektrycznego i zespołu przekładni mechanicznych. Zespoły te umożliwiają uzyskanie większego momentu przy tej samej prędkości obrotowej. Dlatego ten rodzaj napędu znajduje zastosowanie w centrach obróbkowych, na których wykonuje się średnią i ciężką obróbkę.

Obecnie w konstrukcji zespołów napędowych obrabiarek wykorzystywane są elektrowrzeciona, które przeznaczone są do obróbki materiałów z dużymi prędkościami skrawania (np. aluminium). Zastosowanie elektrowrzecion pozwala zredukować czas główny obróbki oraz ograniczyć lub wyeliminować dalszą obróbkę wykańczającą.

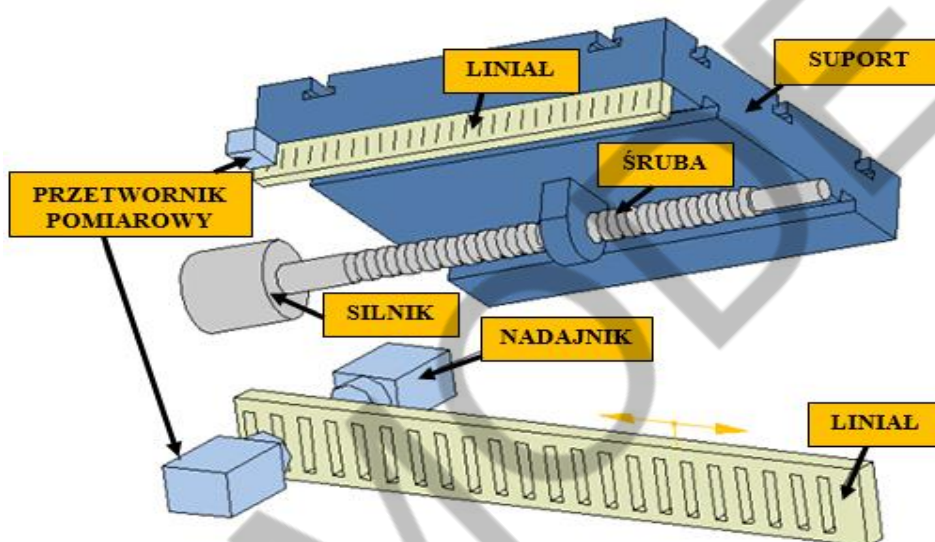


## Układy do odczytu pomiaru położenia i przemieszczenia

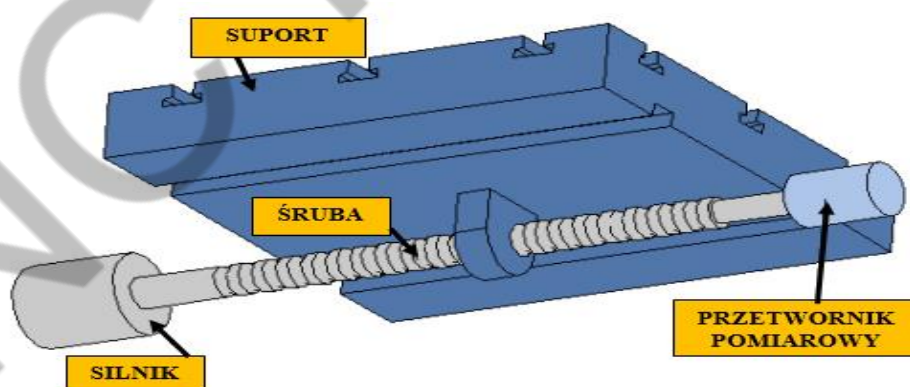
Pomiary położenia i przemieszczenia odnoszą się przede wszystkim do elementów sterowanych obrabiarki CNC. W tym zakresie wyróżnić można pomiary liniowe oraz kątowe, wykorzystujące najczęściej czujniki pomiarowe o dużej dokładności pomiaru. Sygnały z tych czujników wykorzystywane są jako sprzężenie zwrotne do układu sterowania.

Wyróżniamy układy pomiaru położenia:

- układy do pomiarów bezpośrednich - czujnik pomiarowy (liniał pomiarowy) odczytuje wprost położenie danego elementu obrabiarki (np. suportu);
- układy do pomiarów pośrednich – czujnik pomiarowy, mierzy liniowe przemieszczenie stołu za pomocą odczytu kąta obrotu śruby pociągowej - wartość przemieszczenia stołu jest obliczana przez układ pomiarowy.



Rys. 1.35. Napęd z bezpośrednim układem pomiarowym [20]



Rys. 1.36. Napęd z pośrednim układem pomiarowym [20]

Ze względu na charakter pracy układy pomiaru położenia można podzielić na dwa rodzaje:

- absolutne układy pomiaru położenia;
- przyrostowe (inkrementalne) układy pomiaru położenia.

## Urządzenia do wymiany narzędzi

Kluczowym wyposażeniem odróżniającym obrabiarki sterowane numerycznie od obrabiarek konwencjonalnych są urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi. W zależności od typu obrabiarki w większości możemy spotkać: głowice rewolwerowe oraz magazyny narzędzi.

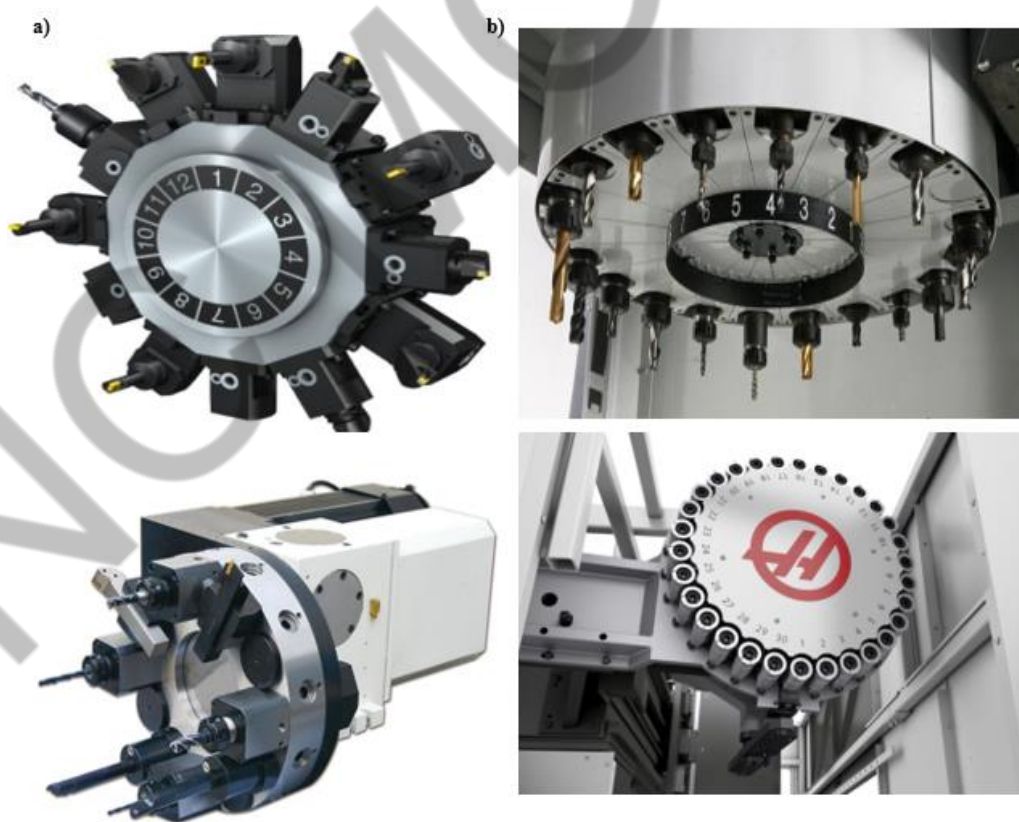
Głowice rewolwerowe znajdują zastosowanie głównie w tokarkach oraz centrach tokarskich. Budowa głowicy oraz liczba miejsc na narzędzia uzależniona jest od rodzaju obrabiarki. Przywołanie odpowiedniego narzędzia odbywa się poprzez obrót głowicy.

Magazyny narzędzi stosowane są we frezarkach oraz centrach obróbkowych. Do typowych konstrukcji magazynów narzędzi zaliczamy:

- magazyny tarczowe;
- magazyny łańcuchowe;
- magazyny kasetowe.

Wymiana narzędzi odbywa się za pomocą systemu chwytaków. Kolejnymi etapami wymiany narzędzia są:

- pozycjonowanie narzędzia w magazynie, obrót chwytaka do pozycji mocującej;
- wyjęcie narzędzia z wrzeciona i magazynu;
- obrót chwytaka w celu zamiany narzędzi;
- mocowanie narzędzia we wrzecionie oraz magazynie narzędzi, wychylenie chwytaka do położenia początkowego [5].



Rys. 1.37. Urządzenia do wymiany narzędzi: a) głowice rewolwerowe, b) magazyny narzędzi

## 1.9. Uzbrojenie obrabiarek CNC

Zanim przystąpimy do wykonywania obróbki, jedną z podstawowych czynności operatora jest uzbrojenie obrabiarki w narzędzia - uchwyty narzędziowe. Czynności te przeprowadza się na podstawie instrukcji - karty uzbrojenia obrabiarki. We frezarkach oraz centrach obróbczych narzędzia montowane są bezpośrednio do wrzeciona lub magazynu narzędzi, według odpowiedniej kolejności. Natomiast w przypadku tokarek noże są mocowane w głowicach narzędziowych. Każde narzędzie przyporządkowane jest do danego numeru w magazynie lub głowicy narzędziowej. Kolejną czynnością jest zamocowanie odpowiedniego uchwytu – przyrządu mocującego przedmiot obrabiany.

Uchwyty i narzędzia stosowane w obrabiarkach sterowanych numerycznie powinny zapewniać:

- uniwersalność;
- ekonomiczną obróbkę całego zbioru przedmiotów;
- dokładne i powtarzalne pozycjonowanie;
- szybkie i bezpieczne mocowanie;
- łatwą wymianę;
- szybkie i dokładne ustawianie na żądany wymiar;
- eliminację ruchów jałowych;
- niezawodność technologiczną;
- sztywność;
- stabilne okresy trwałości ostrzy skrawających;
- wzajemną zamiennność między różnymi typami obrabiarek.

### OUPN - (Obrabiarka - Uchwyt - Przedmiot obrabiany - Narzędzie)

Jednym z podstawowych czynników mających wpływ na dokładność wykonania przedmiotu obrabianego jest sposób ustawienia układu OUPN. Wpływa on na dokładność uzyskiwanych wymiarów oraz decyduje o kosztach obróbki.

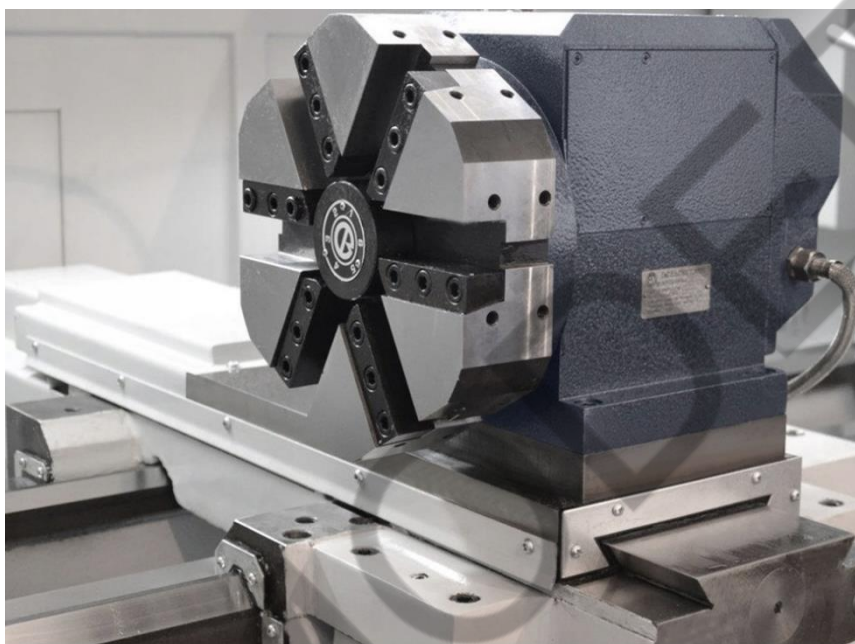
Obrabiarka to jeden z najbardziej istotnych elementów zestawu OUPN. Przystępując do planowania procesu np. obróbki skrawaniem musimy wybrać odpowiedni typ konstrukcyjny obrabiarki. Wybór konkretnej maszyny decyduje o jej możliwościach m.in. konstrukcja, moc napędów, wrzeciono, dokładność, i wielu innych czynników.

Przedmiot obrabiany, obrabiarka, uchwyt i narzędzie tworzą pewien układ. Sztywność tego układu ma duży wpływ na jakość obróbki. Przez sztywność jako czynnik w procesie technologicznym, rozumie się stawianie oporu siłom działającym podczas skrawania. Nawet w przypadku dobrej sztywności całego układu, źle zamocowane imadło lub słabo wyważona oprawka zepsuje cały efekt. Nieodpowiednio wyważona oprawka - trzpień frezarski będzie powodować również większe zużycie narzędzi skrawających.

### 1.9.1. Oprzyrządowanie narzędziowe tokarek

Tokarki sterowane numerycznie wyposażone są najczęściej w głowice rewolwerowe, ale możemy też spotkać imaki narzędziowe w których mocowane są narzędzia skrawające. W zależności od typu głowicy, można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje uchwytów narzędziowych:

- głowica rewolwerowa – narzędzia montowane są bezpośrednio w gniazdach znajdujących się na tarczy narzędziowej i przykręcane są śrubami do głowicy;



Rys. 1.38. Głowica rewolwerowa

- imak narzędziowy – bezpośrednie mocowanie narzędzi za pomocą śrub;



Rys. 1.39. Imak narzędziowy



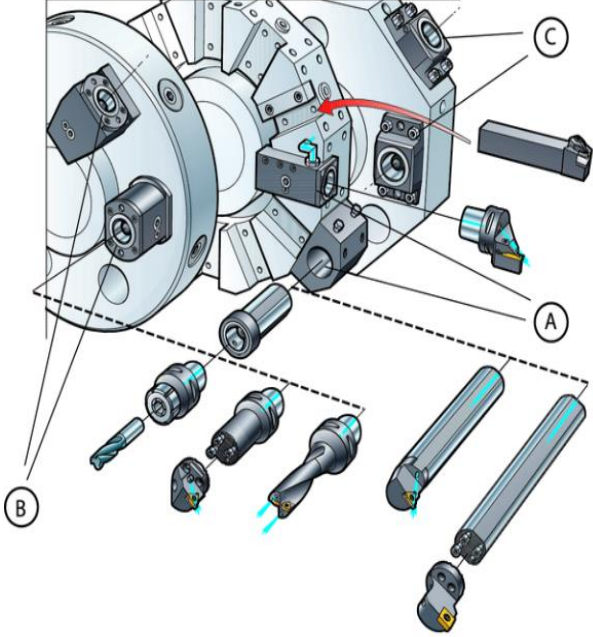
W centrach tokarskich z głowicą rewolwerową możemy wyróżnić wiele rodzajów złączy:

- złącze Coromant Capto Disc Interface (CDI) stosowane jest w obrabiarkach różnego typu zamiast złącza VDI; duży otwór w głowicy rewolwerowej umożliwia zamocowanie mechanizmu napędzanych uchwytów narzędziowych i skrócenie wysięgu oprawek ponad głowicę;
- złącze Coromant Capto to modułowe rozwiązanie narzędziowe z funkcją szybkiej wymiany; złącze to jest zintegrowane z wrzecionem, zwiększa stabilność i wszechstronność zastosowań, np. w obrabiarkach wielozadaniowych, centrach obróbkowych z możliwością toczenia i tokarkach karuzelowych;
- głowica na chwytach tradycyjne przeznaczona dla trzonek o przekroju prostokątnym i cylindrycznych pozwala wyłącznie na stosowanie narzędzi nieobrotowych.

**Tabela 1.3. Rodzaje mocowań na tokarce i w centrach tokarskich (opracowanie własne)**

| NAZWA                                                            | PODGLĄD                                                                              |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Oprawka nożowa poprzeczna typu VDI</b>                        |   |
| <b>Oprawka nożowa wzdłużna typu VDI</b>                          |  |
| <b>Oprawka nożowa wzdłużno-poprzeczna typu VDI</b>               |  |
| <b>Uchwyt mocujący Coromant Capto do mocowania śrubami (CBI)</b> |  |



| NAZWA                                                                                                                                                                                                             | PODGLĄD                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Oprawka do zamocowania wytaczadła typu VDI</b>                                                                                                                                                                 |    |
| <b>Złącze Coromant Capto Disc Interface (CDI)</b>                                                                                                                                                                 |    |
| <b>Złącze z chwytem tradycyjnym</b>                                                                                                                                                                               |   |
| <p><b>Tradycyjna głowica rewolwerowa:</b></p> <p>A – uchwyty typu trzonkowego z chwytem prostokątnym lub cylindrycznym</p> <p>B – uchwyty kątowe i proste (VDI)</p> <p>C – uchwyty z mocowaniem hydraulicznym</p> |  |

### 1.9.2. Przyrządy - uchwyty tokarskie

Proces toczenia polega na wprowadzeniu obrabianego przedmiotu w ruch obrotowy oraz skrawaniu jego powierzchni za pomocą narzędzi. Obrabiany przedmiot powinien być tak zamocowany by uniemożliwić jego przemieszczanie się w trakcie procesu obróbki. Jednym ze sposobów mocowania przedmiotu obrabianego na tokarce jest zastosowanie uchwytów: 3- lub 4-szczękowych samocentrujących. Zapewniają one współosiowość wrzeciona tokarki i przedmiotu pozwalają na szybką jego wymianę. Uchwyty samocentrujące umożliwiają zamocowanie przedmiotów o regularnym przekroju np. o kształcie koła, trójkąta równobocznego, sześciokąta. Uchwyty samocentrujące są wyposażone w różne szczęki: miękkie oraz twarde.



Rys. 1.40. Uchwyty tokarskie

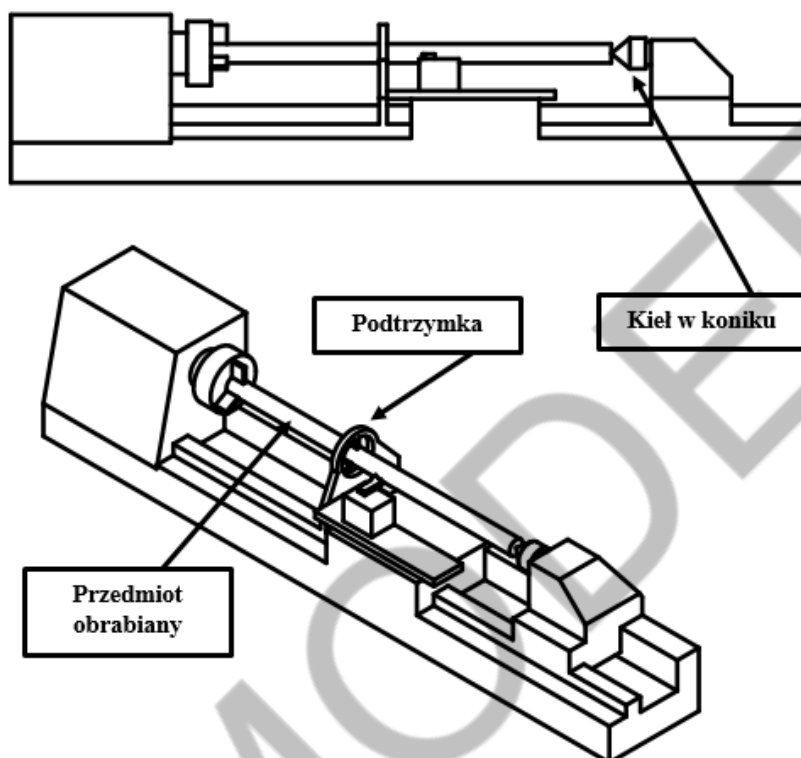
Kolejnym rodzajem montażu detalu może być uchwyt mechaniczny. Zaletą tej metody jest bardziej zautomatyzowana praca na obrabiarce (nie trzeba ciągle używać klucza do mocowania i odkręcania elementów zakładanych w uchwycie). Sterowanie takim uchwycem może się odbywać poprzez odpowiedni przycisk na pulpicie, pedał lub komendę zapisaną w programie obróbkowym. Uchwyty szczękowe z zamocowaniem mechanicznym otrzymują napęd od siłownika hydraulicznego lub pneumatycznego umieszczonego z tyłu wrzeciennika tokarki.



Rys. 1.41. Uchwyt tokarski z zamocowaniem mechanicznym

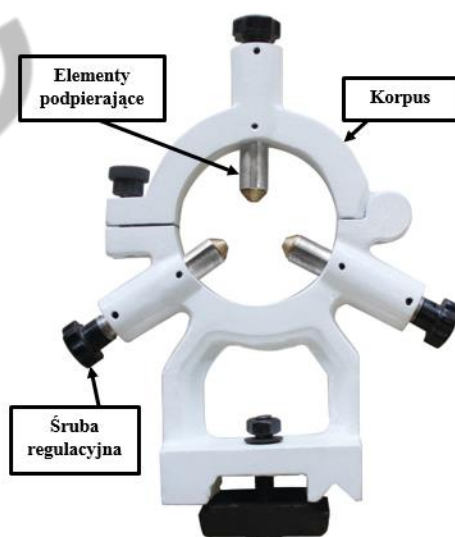
## Elementy podpierające

Mocowanie i ustalenie przedmiotu obrabianego, o małej sztywności, jest możliwe przez zastosowanie kłów. Przedmiot obrabiany jest zamocowany we wrzecionie, a następnie po wykonaniu nakiełków jest podparty konikiem z kłem obrotowym. Zamocowanie przedmiotu w kłach pozwala na uzyskiwanie większych dokładności toczenia.



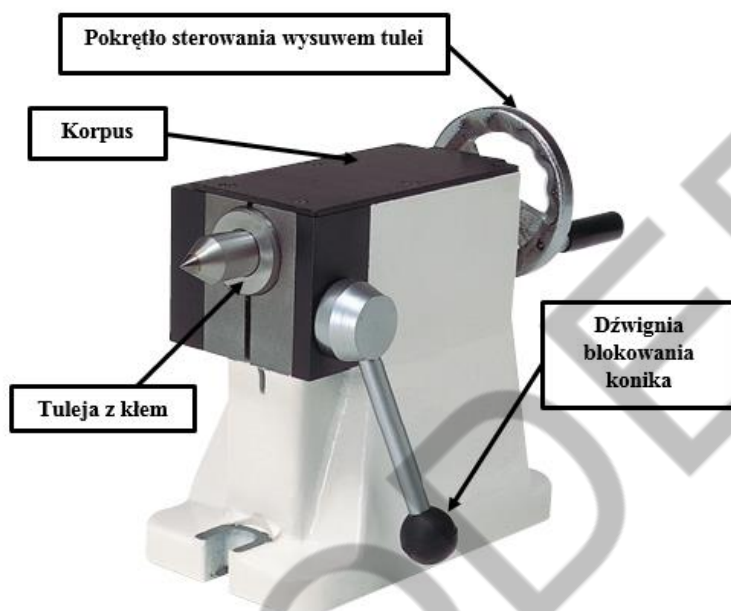
Rys. 1.42. Mocowanie przedmiotu w kłach

Podtrzymka stała jest mocowana na prowadnicach łoża, służy do podtrzymywania przedmiotu obrabianego, aby zapobiec jego ugięciu. Podtrzymka stanowi dodatkowy punkt podparcia.



Rys. 1.43. Budowa podtrzymki stałej

Konik służy do podtrzymywania w kłach długich przedmiotów podczas toczenia oraz do mocowania narzędzi do obróbki otworów takich jak: wiertła, rozwiertaka, gwintownika itp. Tokarki CNC mogą być wyposażone w konik hydrauliczny lub pneumatyczny.



Rys. 1.44. Budowa konika

Kieł tokarski to niezbędny element wyposażenia każdej tokarki. Kły tokarskie służą do prawidłowego mocowania albo podtrzymywania przedmiotu obrabianego np. wałków.

Kły tokarskie ze względu na ich budowę i rodzaj wykonywanej pracy można podzielić na:

- kły tokarskie stałe, mają za zadanie podtrzymać metalowy, nieruchomy albo lekko poruszający się ruchem obrotowym przedmiot, na przykład wałek;
- kły tokarskie obrotowe, stosuje się przy dużych prędkościach obrotowych wrzeciona tokarki oraz do lżejszych robót.



Rys. 1.45. Przykłady kłów tokarskich: kiel tokarski stały, kiel tokarski obrotowy

### 1.9.3. Oprzyrządowanie narzędziowe frezarek

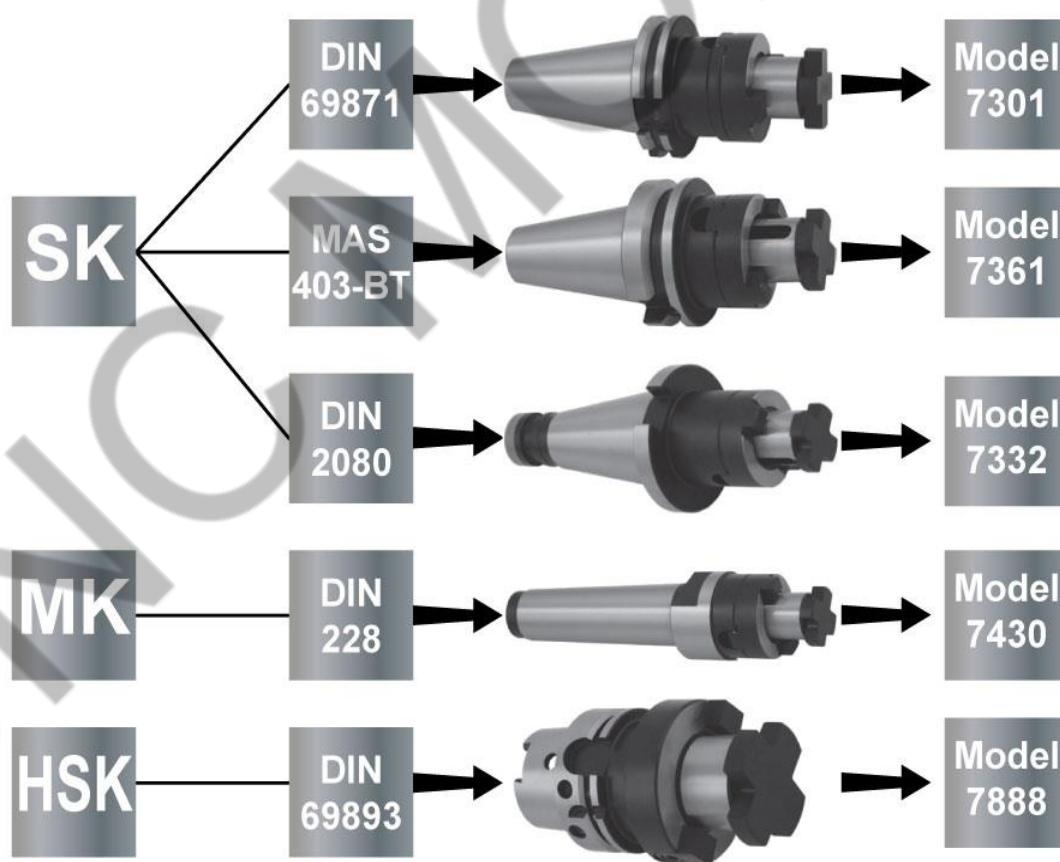
Podczas opracowywania procesu technologicznego - obróbki skrawaniem, należy zwrócić szczególną uwagę na mocowanie narzędzi skrawających. Wybranie odpowiedniego mocowania jest bardzo istotne, gdyż oprawka wraz z narzędziem obraca się wokół własnej osi z dużą prędkością. Wszystkie oprawki muszą być odpowiednio wyważone, aby wyeliminować bicie oprawki narzędziowej.

Dobór konkretnego typu oprawki narzędziowej należy zacząć od sprawdzenia rodzaju stożka wrzeciona obrabiarki. Wyróżniamy następujące rodzaje oprawek narzędziowych:

- SK – jest to chwyt ze stożkiem o zbieżności 7:24 (SK 30, SK 40, SK50);
- HSK – chwyt stosowany w precyzyjnych maszynach CNC (HSK 63A, HSK100A);
- MK – jest to chwyt wykorzystujący stożek Morse’a (głównie maszyny konwencjonalne).

Oprawki frezarskie zaciskowe są narzędziami służącymi jako chwyt dla narzędzi skrawających. Mogą one mocować narzędzia bezpośrednio (w przypadku oprawek z chwytem Weldon lub oprawek wiertarskich) bądź też wykorzystywać do tego celu oprawki zaciskowe ER lub PTEz.

Trzpienie frezarskie służą do zamocowania głowicy frezarskiej we wrzecionie frezarki. Same głowice frezarskie służą do obróbki średnio dokładnej oraz zgrubnej. Trzpienie frezarskie ze względu na mocowanie w maszynie możemy podzielić na 5 rodzajów.



Rys. 1.46. Podział trzpieni frezarskich ze względu na rodzaj stożka [16]



Tabela 1.4. Rodzaje oprawek frezarskich (opracowanie własne)

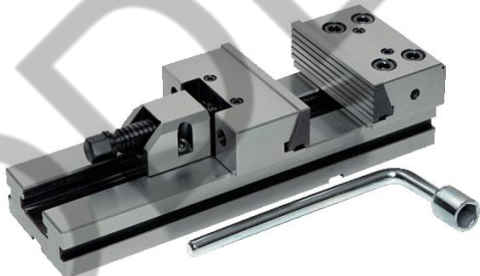
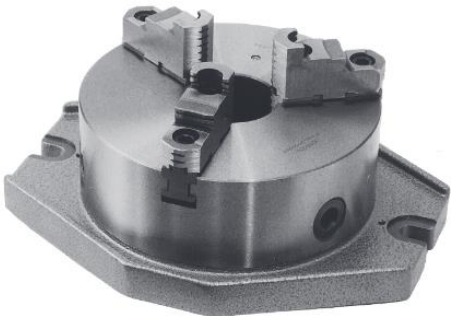
| NAZWA/PODGLĄD                                                                                                                                                                                                                                              | ZASTOSOWANIE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | MONTAŻ                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Oprawka zaciskowa SK (chwyt stożkowy)</b></p>  <p><b>Tulejka zaciskowa ER</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- najpopularniejszy system zacisków narzędzi;</li> <li>- większość prac przy wierceniu i frezowaniu na mniejszych prędkościach obrotowych;</li> <li>- maksymalna prędkość robocza: 30 000 obr/min;</li> <li>- system nakrętek nie zapewnia wysokiej jakości obróbki przy dużych prędkościach obrotowych;</li> <li>- skuteczne mocowanie</li> </ul> <p>W skład oprawki ER wchodzi: tulejki ER (koszyczki), które występują w kilku rozmiarach.</p> | <p>- montaż/demontaż narzędzi odbywa się z użyciem specjalnego klucza</p>                                                 |
| <p><b>Oprawka Weldon HSK</b></p>                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ciężkie prace obróbcze;</li> <li>- głównie do mocowania frezów;</li> <li>- znacząco stabilniejsze od oprawek wykorzystujących tulejki zaciskowe</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>- docisk narzędzia odbywa się przy użyciu śruby wkręcanej, co zapewnia stabilny chwyt</p>                            |
| <p><b>Oprawka termokurczliwa HSK</b></p>                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- obróbka z większą precyzją i posuwem;</li> <li>- wysokiej jakości wyważenie oprawki daje możliwości stosowania narzędzi o bardzo małej średnicy;</li> <li>- wysokie prędkości obrotowe;</li> <li>- posiadanie specjalnego urządzenia do wymiany narzędzi</li> </ul>                                                                                                                                                                             | <p>- urządzenie do mocowania oprawek termokurczliwych</p>                                                               |
| <p><b>Oprawka Hydrauliczna (chwyt stożkowy)</b></p>                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- bardzo łatwe w użyciu;</li> <li>- szybka wymiana narzędzia;</li> <li>- wykorzystywane przy obróbce dokładnej;</li> <li>- wysoka jakość wyważenia, która niesie za sobą redukcję drgań oraz zminimalizowane bicie (poniżej 0.003mm)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                   | <p>- zaciskanie, luzowanie narzędzia odbywa się poprzez dokręcanie, odkręcanie śruby dociskowej przy użyciu klucza</p>  |

#### 1.9.4. Przyrządy - uchwyty frezarskie

We frezarkach CNC do zamocowania detalu obrabianego najczęściej wykorzystuje się:

- imadła maszynowe;
- przyrządy z zamocowaniem za pomocą podciśnienia;
- uchwyty trójszczekowe;
- łapy mocujące;
- systemy paletowe (paleta wraz z przyrządem);
- stoły podziałowe i obrotowe - podstawową ich cechą jest ciągły lub indeksowy ruch obrotowy uzyskiwany za pomocą napędu mechanicznego.

Tabela 1.5. Rodzaje przyrządów frezarskich (opracowanie własne)

| NAZWA                                      | DEFINICJA                                                                                                                                                                                                                                                 | PODGLĄD                                                                              |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Imadła maszynowe</b>                    | Przyrząd, który bezpiecznie i nieruchomo trzyma elementy obrabiane.                                                                                                                                                                                       |   |
| <b>Uchwyty samocentrujące na podstawie</b> | Uchwyty samocentrujące: 2, 3 i 4 szczękowe, które pozwalają na mocowanie okrągłych, kwadratowych lub nieregularnych kształtów obrabianych przedmiotów.<br>Przeznaczone do prac frezarskich, wiertarskich, szlifierskich, traserskich itp.                 |  |
| <b>Uchwyty magnetyczne</b>                 | Mocowanie magnetyczne umożliwia obróbkę skrawaniem detalu z pięciu stron, bez konieczności zmiany mocowania, co w znacznym stopniu skraca czasy przebrojenia maszyny.<br>Na jednej płycie magnetycznej mogą być mocowane zarówno małe, jak i duże detale. |  |

| NAZWA                              | DEFINICJA                                                                                                                                                                                                                                               | PODGLĄD                                                                              |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Łapy mocujące</b>               | <p>Łapy dociskowe są to narzędzia, które spełniają bardzo określoną funkcję w warsztatach, zarówno fabrycznych, jak i domowych. Ich zadaniem jest bezpośrednio mocowanie przedmiotów na stołach frezarek.</p>                                           |    |
| <b>Systemy paletowe</b>            | <p>Palety wymienne szczególnie dobrze nadają się do szybkiej wymiany przyrządów wraz z całą paletą. Czasochłonne ustawianie detali (np. po obróbce) w uchwycie jest prowadzone poza przestrzenią roboczą, w trakcie gdy maszyna obrabia inny detal.</p> |   |
| <b>Stoły podziałowe i obrotowe</b> | <p>Stoły obrotowe wykorzystywane są do: frezowania obwodowego, wykonywania rowków obwodowych i do obróbki ciągłej. Urządzenia podziałowe umożliwiają również obróbkę frezarską z określonym podziałem kątowym.</p>                                      |  |

## 1.10. Sposoby pomiaru przedmiotu obrabianego

### 1.10.1. Pomiary detalu z wykorzystaniem sond pomiarowych

Obecnie wymagania stawiane wyrobom przemysłu maszynowego są coraz wyższe. Jednocześnie konkurencja na rynku zmusza firmy do obniżania kosztów produkcji. Sytuacja ta ma duże znaczenie dla producentów obrabiarek w celu zwiększania automatyzacji całych procesów produkcyjnych oraz jakości wykonywanych wyrobów.

W procesie wytwarzania różnych części metodą obróbki ubytkowej obserwuje się tendencję zmierzającą do maksymalnej automatyzacji procesu skrawania, sprowadzając do minimum czynności przygotowawcze i obsługowe. Istotnym aspektem jest redukcja czasów przestojów maszyn, możliwość obróbki większej liczby detali oraz poprawa kontroli procesu produkcyjnego.

Dzięki zastosowaniu sondy pomiarowej można wykonać pomiar części przed obróbką tj. wyeliminować ręczne ustawianie detalu oraz w trakcie procesu obróbki. W znacznym stopniu ogranicza to wykonywanie manualnych pomiarów przez operatora, przyczynia się do uniknięcia niepotrzebnych błędów, jak chociażby ręczne wpisywanie korekcy.

Sonda za pomocą odpowiedniego oprogramowania automatycznie przelicza i aktualizuje offsety narzędzi, eliminuje duże koszty związane z zakupem przyrządów kontrolno - pomiarowych.

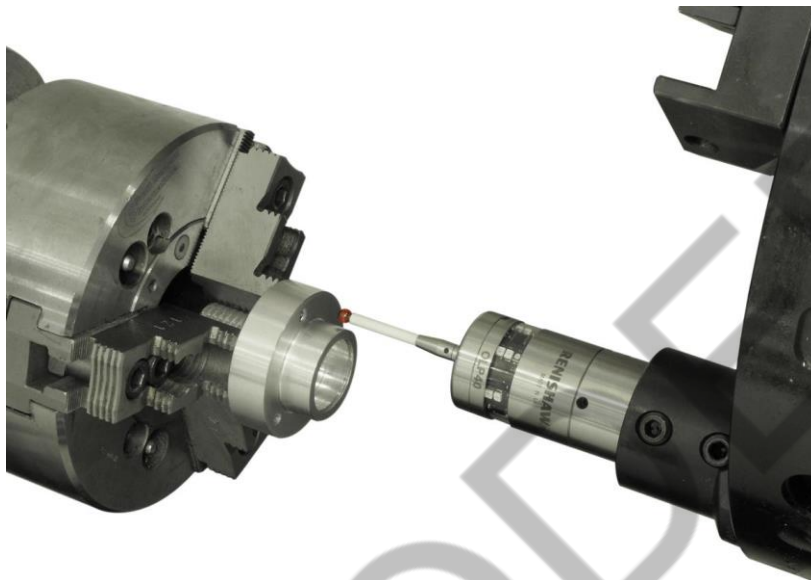


Rys. 1.47. Sonda pomiarowa RENISHAW OMP60 [18]

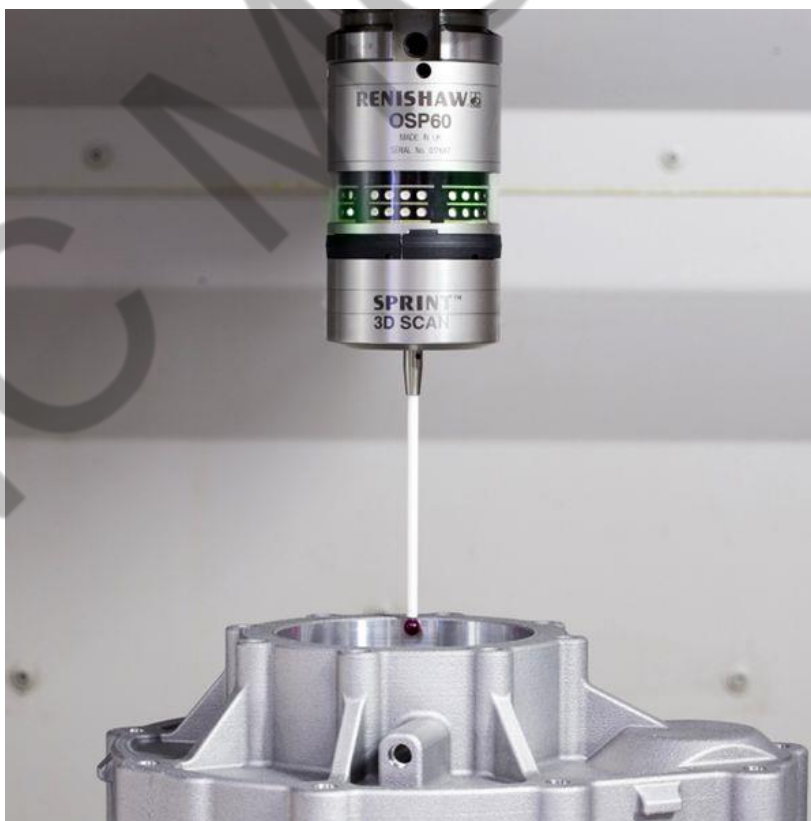
#### Zastosowanie sond pomiarowych powoduje:

- eliminację braków;
- redukcję czasu przestoju obrabiarki;
- eliminację błędów ręcznego ustawiania;
- większą dokładność pomiaru;
- maksimum wydajności;
- zwiększenie automatyzacji i jakości pracy.

Sondy pomiarowe są coraz powszechniej stosowane w obrabiarkach sterowanych numerycznie, stanowią ich standardowe wyposażenie. Pomiar z zastosowaniem sondy pomiarowej polega na doprowadzeniu do styku końcówki trzpienia z przedmiotem obrabianym i zapisaniu współrzędnych wartości wielkości mierzonej. Pomiarów z wykorzystaniem sondy pomiarowej można dokonywać w trybie pracy manualnej i automatycznej obrabiarki.



Rys. 1.48. Przykłady pomiaru detalu z wykorzystaniem sondy pomiarowej na tokarce CNC [18]



Rys. 1.49. Przykłady pomiaru detalu z wykorzystaniem sondy pomiarowej na frezarce CNC [18]



### 1.10.2. Pomiary detalu z wykorzystaniem czujnika 3D i krawędziowego

Pomiar za pomocą czujnika zegarowego 3D rozpoczyna się w momencie dotknięcia krawędzi przez kulkę. Dzięki automatycznemu kompensowaniu średnicy kulki sondy pomiarowej określenie punktu zerowego obrabianego przedmiotu jest szybsze.

Ustawienie wskaźnika w pozycji zero oznacza ustawienie osi wrzeciona dokładnie na krawędzi elementu. Czujniki 3D są wyposażone w wymienne trzpienie pomiarowe różniące się długością, średnicą kulki pomiarowej i przeznaczeniem pomiaru.



Rys. 1.50. Czujnik zegarowy 3D [12]

Wykonanie pomiaru przedmiotu obrabianego możliwe jest również z wykorzystaniem czujnika krawędziowego. Czujniki te służą do ustawienia powierzchni lub krawędzi odniesienia detali obrabianych, ustalania środka otworów centrycznie w stosunku do osi wrzeciona maszyny.

Ustawiak frezarski mechaniczny składa się z dwóch części połączonych sprężyną, pozwala na dokładne pozycjonowanie do 0,01 mm. Po włączeniu obrotów wrzeciona można zauważyć, że obie części czujnika nie zachowują współosiowości wskutek powstałej siły odśrodkowej. W momencie styku końcówki pomiarowej z płaszczyzną detalu następuje wycentrowanie osi wrzeciona z osią końcówki. Aktualną pozycję musimy skompensować o wartość promienia końcówki pomiarowej, gdyż nie jest to rzeczywisty punkt zerowy przedmiotu obrabianego.



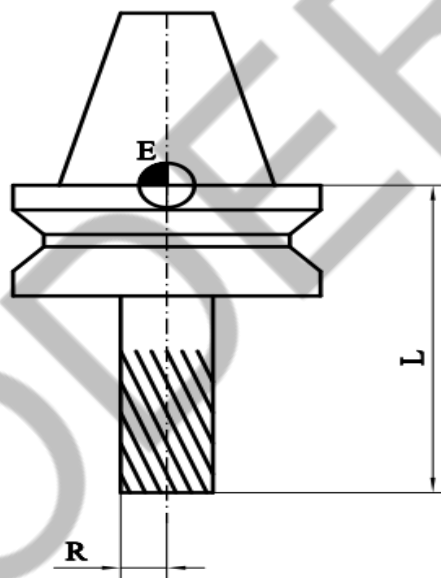
Rys. 1.51. Czujnik krawędziowy [12]

### 1.11. Metody określania wymiarów narzędzi przy toczeniu i frezowaniu

Proces obróbki przedmiotu na obrabiarce sterowanej numerycznie CNC może być wykonywany narzędziami skrawającymi różniącymi się od siebie: wymiarami, średnicą, długością, promieniem. Wykonując obróbkę narzędziami skrawającymi należy uwzględniać ich parametry: wymiary geometryczne, promień. Aby program NC obrabiarki mógł uwzględnić te różnice, konieczne jest podawanie wymiarów narzędzia.

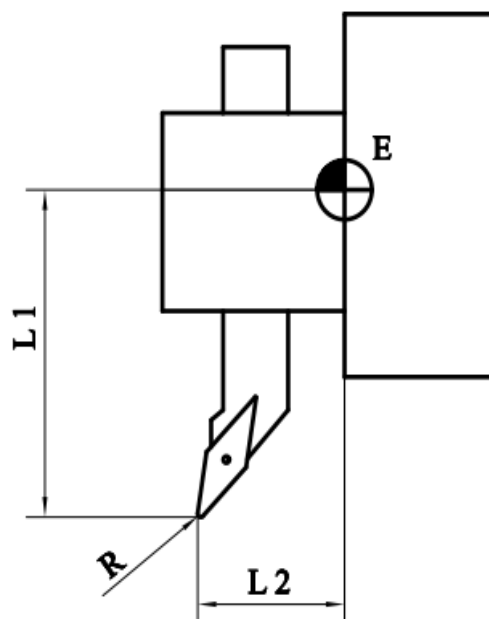
Po zamontowaniu narzędzia dokonujemy jego pomiaru. Dane korekcyjne (wymiarów) zapisane są w rejestrach narzędziowych, w skład których wchodzi: lista narzędzi – ogólne wymiary oraz zużycie narzędzia – wartość zużycia (np. zużycie ostrza).

**E – Punkt odniesienia narzędzia**  
**L – Długość - odległość między wierzchołkiem ostrza i punktem odniesienia narzędzia w osi Z**  
**R – Promień narzędzia frezarskiego**



Rys. 1.52. Zasada wyznaczania długości, promienia narzędzia przy frezowaniu [22]

**E – Punkt odniesienia narzędzia**  
**L1 - Odległość w kierunku osi X pomiędzy punktem odniesienia i teoretycznym punktem wierzchołka ostrza**  
**L2 - Odległość w kierunku osi Z pomiędzy punktem odniesienia i teoretycznym punktem wierzchołka ostrza**  
**R – Promień ostrza**



Rys. 1.53. Zasada wyznaczania wymiarów narzędzia przy toczeniu [22]

### 1.11.1. Wprowadzanie wymiarów narzędzi do obrabiarki

Aby układ sterowania maszyny prawidłowo wykonywał zadania obróbkowe zapisane w programie, należy do listy narzędzi wprowadzić w odpowiednie miejsce, nazwę narzędzia oraz jego wymiary. Podczas dokonywania pomiarów z wykorzystaniem systemów pomiarowych m.in. sond dane te zapisywane są automatycznie.

| Lista narzędzi |     |                   |    |   |          |          |         |   |       | MAGAZYN1 |      | Pomiar narzędzia |
|----------------|-----|-------------------|----|---|----------|----------|---------|---|-------|----------|------|------------------|
| Miej-sce       | Typ | Nazwa narzędzia   | ST | D | Długo. X | Długo. Z | Promień |   |       | Długość  |      |                  |
| 1              |     | ROUGHING_T80 A    | 1  | 1 | 55.000   | 39.000   | 0.800   | ← | 95.0  | 80       | 12.0 |                  |
| 2              |     | DRILL_32          | 1  | 1 | 0.000    | 185.000  | 32.000  |   |       |          |      |                  |
| 3              |     | FINISHING_T35 A   | 1  | 1 | 124.000  | 57.000   | 0.400   | ← | 93.0  | 35       | 12.0 |                  |
| 4              |     | ROUGHING_T80 I    | 1  | 1 | -9.000   | 122.000  | 0.800   | ← | 95.0  | 80       | 10.0 |                  |
| 5              |     | PLUNGE_CUTTER_3 A | 1  | 1 | 85.000   | 44.000   | 0.200   |   | 2.000 |          | 8.0  |                  |
| 6              |     | PLUNGE_CUTTER_3 I | 1  | 1 | -12.000  | 135.000  | 0.100   |   | 3.000 |          | 4.0  |                  |
| 7              |     | FINISHING_T35 I   | 1  | 1 | -12.000  | 122.000  | 0.400   | ← | 93.0  | 35       | 8.0  |                  |
| 8              |     | THREADING_1.5     | 1  | 1 | 100.000  | 0.000    | 0.050   |   |       |          | 6.0  |                  |
| 9              |     | CUTTER_8          | 1  | 1 | 0.000    | 38.000   | 8.000   | 3 |       |          |      |                  |
| 10             |     | DRILL_5           | 1  | 1 | 0.000    | 185.000  | 5.000   |   | 118.0 |          |      |                  |
| 11             |     | BUTTON_TOOL_8     | 1  | 1 | 88.000   | 38.000   | 2.000   |   |       |          |      |                  |
| 12             |     | FINISHING_T35_R   | 1  | 1 | 124.000  | 23.000   | 0.400   | → | 93.0  | 35       | 10.0 |                  |
| 13             |     | PLUNGE_CUTTER_3P  | 1  | 1 | 86.000   | 54.000   | 0.100   |   | 3.000 |          | 5.0  |                  |
| 14             |     |                   |    |   |          |          |         |   |       |          |      |                  |
| 15             |     |                   |    |   |          |          |         |   |       |          |      |                  |
| 16             |     |                   |    |   |          |          |         |   |       |          |      |                  |
| 17             |     |                   |    |   |          |          |         |   |       |          |      |                  |
| 18             |     |                   |    |   |          |          |         |   |       |          |      |                  |

Lista narzędzi

Zużycie narzęd.

Maga-zyn

Przesu. pkt zero

Zmienn. użytko.

SD Dane ustaw.

Rys. 1.54. Lista narzędzi tokarki z układem sterowania SINUMERIK 840D

| Lista narzędzi |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     | BUFFER1                             |                          |
|----------------|-----|------------------|----|---|---------|--------|-------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Miej-sce       | Typ | Nazwa narzędzia  | ST | D | Długość | ∅      |       |   |                                     |                                     |                          |
|                |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     |                                     |                          |
| 1              |     | CUTTER 4         | 1  | 1 | 65.000  | 4.000  |       | 3 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2              |     | CUTTER 6         | 1  | 1 | 120.000 | 6.000  |       | 3 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3              |     | CUTTER 10        | 1  | 1 | 150.000 | 10.000 |       | 4 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4              |     | CUTTER 16        | 1  | 1 | 110.000 | 16.000 |       | 3 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5              |     | CUTTER 20        | 1  | 1 | 100.000 | 20.000 |       | 3 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6              |     | CUTTER 32        | 1  | 1 | 110.000 | 32.000 |       | 3 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7              |     | CUTTER 60        | 1  | 1 | 110.000 | 60.000 |       | 6 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8              |     | FACEMILL 63      | 1  | 1 | 120.000 | 63.000 |       | 6 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9              |     | CENTERDRILL 12   | 1  | 1 | 120.000 | 12.000 | 90.0  |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 10             |     | DRILL 6          | 1  | 1 | 120.000 | 6.000  | 118.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 11             |     | DRILL 10         | 1  | 1 | 120.000 | 10.000 | 118.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 12             |     | PREDRILL 30      | 1  | 1 | 120.000 | 30.000 | 180.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 13             |     | DRILL_Tool       | 1  | 1 | 110.000 | 25.000 |       |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 14             |     | THREAD CUTTER    | 1  | 1 | 110.000 | 20.000 |       | 1 |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15             |     | THREADCUTTER M10 | 1  | 1 | 130.000 | 10.000 | 1.500 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 16             |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     |                                     |                          |
| 17             |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     |                                     |                          |

Lista narzędzi

Zużycie narzęd.

Magazyn

Przesu. pkt zero

Zmienn. użytko.

SD Dane ustaw.

Rys. 1.55. Lista narzędzi frezarki z układem sterowania SINUMERIK 840D

### 1.11.2. Określanie wymiarów narzędzi z użyciem sond pomiarowych

Sondy pomiarowe mają szczególne znaczenie podczas dokonywania pomiarów narzędzi obróbkowych w obrabiarkach CNC, eliminują błędy ręcznego wpisywania wartości korekcy narzędzi tj. ich wymiarów. Umożliwiają skrócenie czasów ustawczych maszyn, jednocześnie zwiększają dokładność i powtarzalność produkcji. Dostępne w sterowaniu cykle pomiarowe można uruchamiać zarówno w trybie manualnym, jak i w automatycznym, pozwalają one na okresową kontrolę narzędzi. Wytrzymała konstrukcja i wysoki stopień ochrony umożliwiają instalowanie sond bezpośrednio w przestrzeni roboczej obrabiarki CNC.

Sonda narzędziowa (stykowa) służy do pomiaru długości i średnicy narzędzi. Użycie odpowiednich cykli pomiarowych, umożliwia ich dokładny pomiar i kontrolę. Sonda działa na zasadzie styku narzędzia z „grzybkiem” w wyniku czego przesyłany jest sygnał do sterowania i następuje pomiar. Wymiary narzędzia zostają automatycznie zapisane w rejestrach narzędziowych.



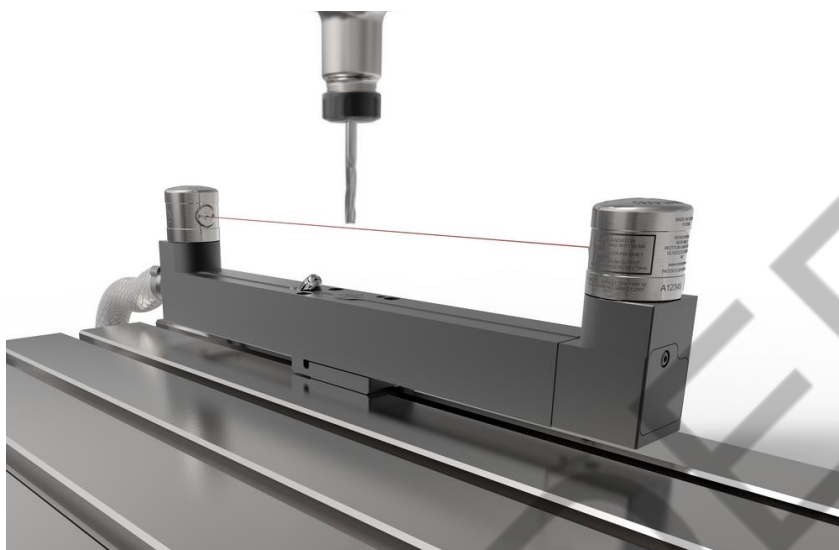
Rys. 1.56. Sonda stykowa TS27R do pomiaru narzędzi frezarskich [17]

### Określanie wymiarów narzędzi frezarskich za pomocą pomiarów bezdotykowych

Nowoczesne systemy ustawiania narzędzi na obrabiarkach CNC umożliwiają również wykonywanie pomiarów bezdotykowych, które w porównaniu do urządzeń dotykowych charakteryzują się:

- pomiary długości i średnicy narzędzi mogą być realizowane przy normalnych prędkościach wrzeciona stosowanych podczas skrawania;
- możliwość szybkiej identyfikacji uszkodzeń nawet po każdym etapie skrawania (skanowanie narzędzia);
- bezpieczne określanie wymiarów narzędzi specjalnych z różnymi powłokami.

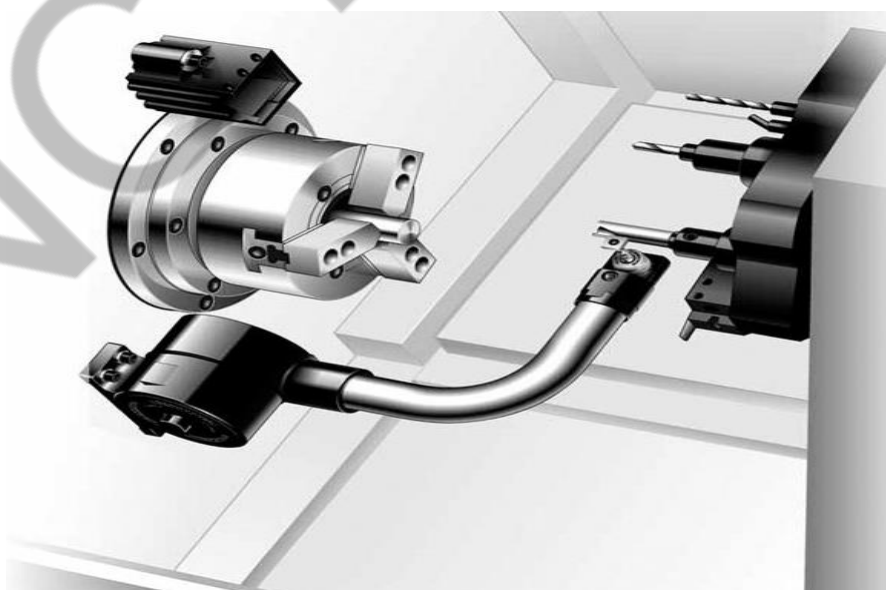
Urządzenia tego typu to systemy laserowe, które zapewniają szybki i dokładny pomiar oraz kontrole zużycia ostrza narzędzi.



Rys. 1.57. Przykład bezdotykowego (laserowego) pomiaru narzędzia [18]

#### Określanie wymiarów narzędzi z użyciem ramienia pomiarowego z sondą RP3

Ramię wraz z sondą RP3 służy do pomiaru narzędzi wykorzystywanych na 2 i 3-osiowych tokarkach CNC. Sonda umożliwia automatyczne wykonywanie pomiarów narzędzi przed obróbką, a także w trakcie procesu, co umożliwia wykrywanie zużywającego się ostrza. Kiedy narzędzie zetknie się z powierzchnią trzpienia pomiarowego, następuje pomiar narzędzia, a wymiary zostają zapisane w rejestrach narzędziowych: lista narzędzi.



Rys. 1.58. Ramię pomiarowe z sondą RP3 [17]



## 1.12. Rodzaje komputerowych układów sterowania

CNC (ang. Computerized Numerical Control) – komputerowe sterowanie urządzeń numerycznych. Układ sterowania numerycznego wyposażony w sterownik, który można dowolnie zaprogramować. Współcześnie produkowane układy sterowania obrabiarek najczęściej budowane są na podstawie komputera PC, który posiada system operacyjny Windows oraz odpowiedni system, które steruje pracą maszyny.

Sposób działania systemu zależy od szeregu parametrów charakteryzujących daną obrabiarkę oraz procesu technologicznego realizowanego za jej pośrednictwem. Najbardziej popularne systemy sterowania to: FANUC, SINUMERIK, MAZATROL, HEIDENHAIN, HAAS i wiele innych.



Rys. 1.59. Rodzaje układów sterowania

### 1.12.1. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania SINUMERIK 808D

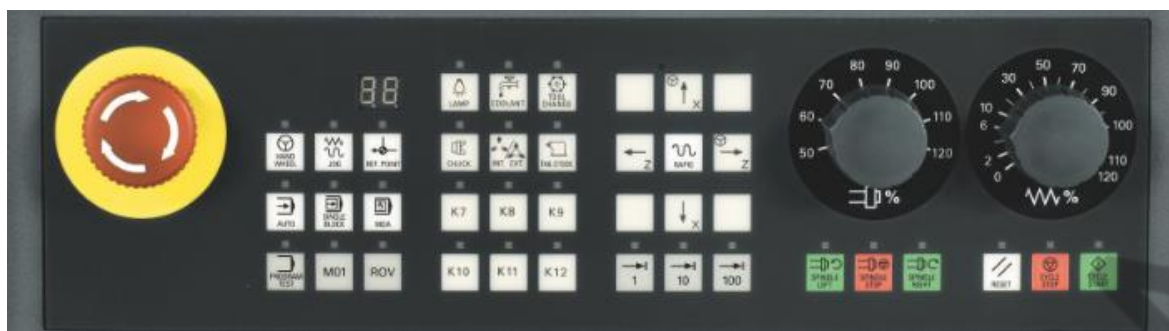
**SINUMERIK 808D** to jedno ze sterowań wykorzystywane do podstawowych tokarek i frezarek. Sterowanie CNC opracowane przez światowych liderów technologii, połączone z prostą obsługą sprawia, że SINUMERIK 808D jest idealnym sterowaniem, które nadaje się dla początkujących operatorów maszyn CNC.



Rys. 1.60. Pulpit układu sterowania numerycznego SINUMERIK 808D – część 1

Tabela 1.6. Podstawowe przyciski układu sterowania SINUMERIK 808D

| PRZYCISK                                                                            | OPIS                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Wyjście do okna głównego.                                                                                                                                 |
|  | Tworzenie nowych programów, wybieranie już napisanych.                                                                                                    |
|  | Edycja programu oraz jego podgląd.                                                                                                                        |
|  | Pod tym przyciskiem znajdują się 3 bardzo ważne okna - tabele ustawień:<br>- przesunięcia punktu zerowego detalu,<br>- lista narzędzi, zużycie narzędzia. |
|  | Zmień (podświetlone funkcje w układzie sterowania na niebiesko).                                                                                          |
|  | Wprowadź, zatwierdź.                                                                                                                                      |



Rys. 1.61. Panel układu sterowania numerycznego SINUMERIK 808D – część 2

| PRZYCISK                                                                            | OPIS                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>REF POINT</b> - po wybraniu tego trybu, naciśnięciu klawisza RESET oraz wybraniu X+ lub Z+ możliwe jest wyzerowanie obrabiarki.                                                                                                                                        |
|    | <b>JOG</b> - tryb pracy ręcznej. W trybie tym za pomocą klawisza wyboru osi X lub Z oraz klawiszy możemy zrealizować ruch głowicy narzędziowej.<br>UWAGA: Jeśli pokrętko regulacji posuwu ustawione jest na pozycji "0" to realizacja ruchu głowicy jest niemożliwa.      |
|  | <b>HND</b> - tryb pracy ręcznej przy użyciu (tzw. „wędki”). W trybie tym za pomocą wyboru osi oraz kółka ręcznego możemy zrealizować ruch głowicy o określoną wartość np. 0,1; 0,01; 0,001mm. Wykorzystywany podczas ustawień np. pomiaru narzędzia, ustawianie bazy itp. |
|  | <b>AUTO</b> - tryb pracy automatycznej w którym wykonywany jest program po wciśnięciu klawisza <b>CYCLE START</b> .                                                                                                                                                       |
|  | <b>MDA</b> - tryb pracy, w którym wpisujemy krótkie polecenia, funkcje np. S900 M3, G0 X100 realizowane są po wciśnięciu przycisku <b>CYCLE START</b> .                                                                                                                   |
|  | <b>SINGLE BLOCK</b> - jeśli opcja SKB jest włączona sterowanie wykonuje tylko jeden blok programu. Aby wykonać kolejne bloki programu należy za każdym razem wcisnąć klawisz <b>CYCLE START</b> .                                                                         |
|  | Usunięcie wybranego znaku znajdującego się z lewej strony kursora.                                                                                                                                                                                                        |

| PRZYCISK                                                                            | OPIS                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>RESET</b> - kasuje błędy i alarmy w sterowaniu CNC.<br>W trybie <b>AUTO</b> – resetuje program do początku.                                                         |
|    | <b>CYCLE START</b> - uruchomienie programu w trybie pracy <b>AUTO</b> oraz funkcji - poleceń, wpisanych w <b>MDA</b> .                                                 |
|    | <b>CYCLE STOP</b> - zatrzymanie wykonywanego programu w trybie <b>AUTO</b> oraz funkcji wpisanych w <b>MDA</b> .                                                       |
|    | Przyciski sterowania wrzecionem. Pozwalają na: włączenie prawych obrotów, stop obrotów, włączenie lewych obrotów. Działają w trybach pracy ręcznych: <b>JOG, HND</b> . |
|   | Przejazd w osiach, możliwy w trybach pracy ręcznej: <b>JOG, REF</b> .                                                                                                  |
|  | Ruch szybki głowicy narzędziowej. Trzymając ten przycisk wraz z przyciskiem kierunku osi np. + Z realizujemy szybki przesuw głowicy narzędziowej.                      |
|  | Regulacja prędkości obrotowej wrzeciona.                                                                                                                               |
|  | Regulacja posuwu roboczego i szybkiego.                                                                                                                                |

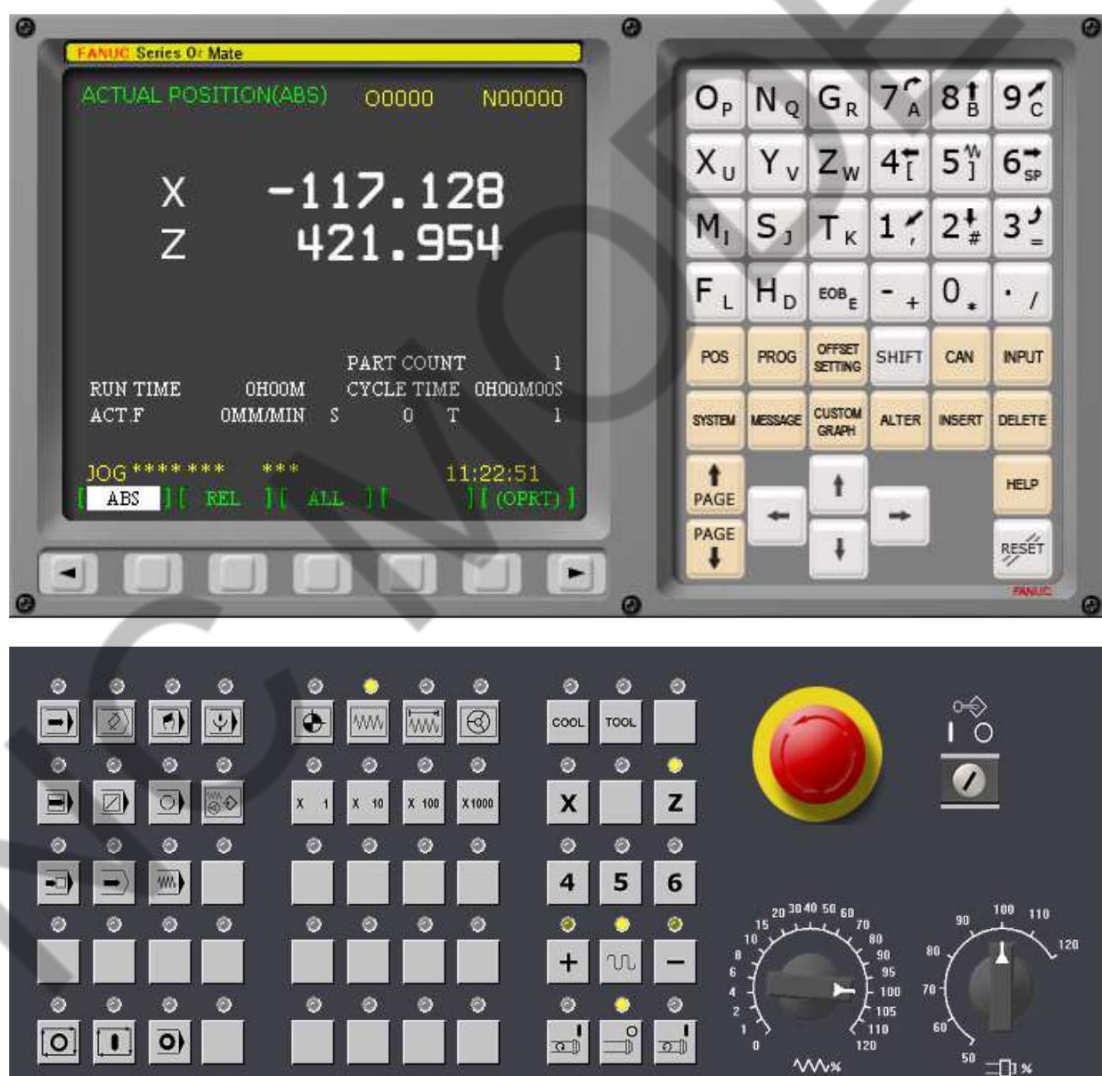


### 1.12.2. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania FANUC Oi Mate

Firma FANUC oferuje różne systemy CNC – od bardziej ekonomicznych o obszernej funkcjonalności, po wysokowydajne układy sterowania. Można je szybko zaprogramować i są łatwe w obsłudze.

Seria produktów obejmuje sterowania:

- FANUC z serii 30i/ 31i/32i-model B;
- FANUC 35i – MODEL B;
- FANUC CNC Power Morion i-A.



Rys. 1.62. Układ sterowania numerycznego FANUC Oi Mate



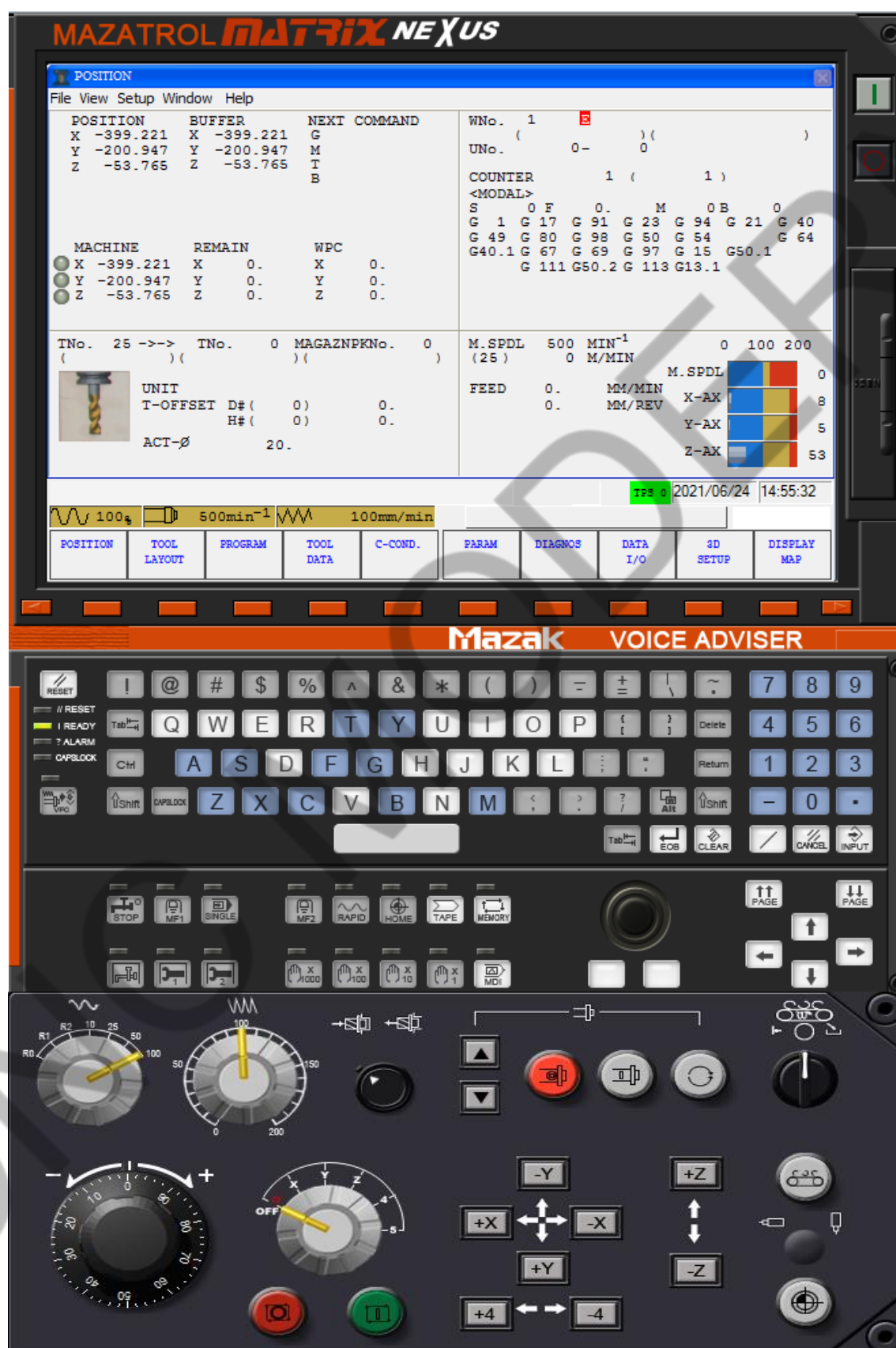
Tabela 1.7. Podstawowe przyciski sterowania FANUC

| PRZYCISK                                                                            | OPIS                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>RESET</b> – kasuje błędy i alarmy w sterowaniu CNC.<br>W trybie <b>MEMORY</b> – resetuje program do początku.                                                          |
|    | <b>HELP</b> - pomaga w obsłudze sterowania CNC.                                                                                                                           |
|    | <b>SHIFT</b> - wstawia drugi znak umieszczony na jednym klawiszu.<br>np. literę D z klawisza H.                                                                           |
|    | <b>INPUT</b> - wprowadza ciąg znaków, dane z wiersza poleceń, np. do tabeli korekcji narzędzi, przesunięcia punktów zerowych itp.                                         |
|    | <b>CAN</b> - usuwa ostatni wpisany znak w wierszu poleceń, działa jak Backspace.                                                                                          |
|    | <b>ALTER</b> - zamienia podświetlone funkcje, polecenia w trybie <b>MDI</b> oraz <b>EDIT</b> .                                                                            |
|  | <b>INSERT</b> - wprowadza funkcje, polecenia z wiersza w trybie <b>EDIT</b> oraz <b>MDI</b> .                                                                             |
|  | <b>DELETE</b> - usuwa podświetlone funkcje, polecenia w trybie <b>EDIT</b> oraz <b>MDI</b> .                                                                              |
|  | <b>PROG</b> – wyświetla okno - ekranu programu.                                                                                                                           |
|  | <b>POS</b> – wyświetla okna - ekranu pozycji. Po wciśnięciu tego klawisza możemy za pomocą klawiszy ekranowych przełączać współrzędne (WZGLĘDNE, BEZWZGLĘDNE, WSZYSTKIE). |
|  | <b>OFFSET</b> - wyświetla tabele - okna: przesunięcia punktów zerowych - materiału, wymiarów narzędzi oraz ich korekcji.                                                  |
|  | <b>END OF BLOCK</b> - zakończenie linii programu, zapisane za pomocą średnika ( ; ) wykorzystywany w trybie <b>MDI</b> oraz <b>EDIT</b> .                                 |
|  | <b>SYSTEM</b> - wyświetla ekran systemu.                                                                                                                                  |
|  | <b>MESSAGE</b> - wyświetla komunikaty i alarmy.                                                                                                                           |

| PRZYCISK                                                                            | OPIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>CUSTOM GRAPH</b> - przejście do trybu graficznego, wykorzystywany tylko w symulacji.                                                                                                                                                                                                                       |
|    | <b>REF</b> - zjazd na punkt referencyjny. Po wybraniu tego trybu oraz osi Z i X możliwe jest wyzerowanie obrabiarki. Szczegóły zerowania danej maszyny znajdują się w DTRce.                                                                                                                                  |
|    | <b>JOG</b> - tryb pracy ręcznej. W trybie tym za pomocą klawisza wyboru osi X lub Z oraz klawiszy + (-) możemy zrealizować ruch głowicy narzędziowej.<br>UWAGA: Jeśli korektor posuwu ustawiony jest w pozycję "0" to realizacja ruchu głowicy jest niemożliwa.                                               |
|    | <b>INC</b> - tryb pracy ręcznej. W trybie tym za pomocą klawisza wyboru osi X lub Z oraz klawiszy + (-) możemy zrealizować ruch głowicy narzędziowej o określoną wartość np. co 0,1; 0,01; 0,001mm.<br>UWAGA: Jeśli korektor posuwu ustawiony jest w pozycję "0" to realizacja ruchu głowicy jest niemożliwa. |
|  | <b>HND</b> - tryb pracy ręcznej przy użyciu (tzw. „wędki”). W trybie tym za pomocą wyboru osi oraz kółka ręcznego możemy zrealizować ruch głowicy o określoną wartość np. 0,1; 0,01; 0,001mm. Wykorzystywany podczas ustawień np. pomiaru narzędzia, ustawianie bazy itp.                                     |
|  | <b>AUTO</b> - tryb pracy automatycznej w którym wykonywany jest program po wciśnięciu klawisza <b>NC START</b> .                                                                                                                                                                                              |
|  | <b>EDIT</b> – tryb, w którym możliwe jest: wybieranie programów, pisanie nowych oraz edycja już istniejących.                                                                                                                                                                                                 |
|  | <b>MDI</b> – tryb pracy, w którym wpisujemy krótkie polecenia, funkcje np. S900 M3, G0 X100 realizowane są po wciśnięciu przycisku <b>CYCLE START</b> , wykonywane są jednorazowo.                                                                                                                            |
|  | <b>SKB - (SINGIEL BLOCK lub BLOK PO BLOKU)</b> . Jeśli SKB jest włączone sterowanie wykonuje tylko jeden blok programu. Aby wykonać kolejne bloki programu należy za każdym razem wciskać klawisz <b>NC START</b> . Opcja ta często wykorzystywana jest podczas uruchamiania nowo napisanego programu.        |
|  | <b>POMIŃ</b> – jeśli ten przycisk jest włączony to sterowanie będzie pomijało te bloki programu, przed którymi będzie postawiony znak "/".                                                                                                                                                                    |

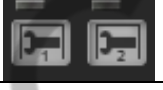
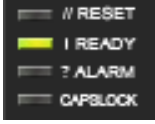
| PRZYCISK                                                                            | OPIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>OPCYJNY STOP</b> - jeśli ten przycisk jest włączony to sterownik zatrzyma wykonywanie programu po funkcji <b>M01</b> .                                                                                                                                                                                                                             |
|    | <b>NC START</b> - uruchomienie program w trybie <b>AUTO</b> oraz funkcji komend, wpisanych w <b>MDI</b> .                                                                                                                                                                                                                                             |
|    | <b>STOP PROGRAM</b> - zatrzymanie wykonywanego programu w trybie <b>AUTO</b> oraz funkcji komend, wpisanych w <b>MDI</b> .                                                                                                                                                                                                                            |
|    | <b>PRZYCISKI STEROWANIA WRZECIONEM</b> - pozwalają na: włączenie prawych obrotów; stop obrotów; włączenie lewych obrotów. Przyciski te działają w trybach pracy ręcznych: <b>JOG</b> , <b>HND</b> . Aby włączyć obroty za pomocą tych przycisków po włączeniu obrabiarki należy najpierw w trybie <b>MDI</b> zadeklarować kierunek i wartość obrotów. |
|    | Klawisz wyboru osi <b>X</b> . Służy do wyboru osi <b>X</b> w trybach pracy ręcznej: <b>JOG</b> , <b>INC</b> , <b>HND</b> , <b>REF</b> .                                                                                                                                                                                                               |
|  | Klawisz wyboru osi <b>Z</b> . Służy do wyboru osi <b>Z</b> w trybach pracy ręcznej: <b>JOG</b> , <b>INC</b> , <b>HND</b> , <b>REF</b> .                                                                                                                                                                                                               |
|  | Ruch głowicy narzędziowej w kierunku dodatnim wybranej osi.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | Ruchu głowicy narzędziowej w kierunku ujemnym wybranej osi.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | Ruch szybki głowicy narzędziowej. Trzymając jednocześnie ten klawisz wraz z klawiszem kierunku ruchu, realizujemy szybki przesuw głowicy narzędziowej.                                                                                                                                                                                                |
|  | Regulacja posuwu roboczego i szybkiego.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|  | Regulacja prędkości obrotowej wrzeciona.                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

### 1.12.3. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania MAZATROL 640M

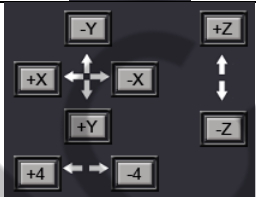


Rys. 1.63. Rozmieszczenie funkcji i przycisków na panelu sterowania

Tabela 1.8. Wyjaśnienie podstawowych przycisków sterownia MAZATROL 640M

| PRZYCISK                                                                            | OPIS ORAZ FUNKCJE                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>POWER ON</b> - włączenie maszyny.                                                                                                                                                                                                                                              |
|    | <b>POWER OFF</b> - wyłączenie maszyny.                                                                                                                                                                                                                                            |
|    | <b>RESET</b> - resetowanie, kasowanie błędów w układzie sterowania CNC                                                                                                                                                                                                            |
|    | <b>TRYB PRACY RĘCZNEJ (HND)</b> - z użyciem kółka, przejazd w osiach przy użyciu kółka ręcznego z określoną wartością posuwu: 1; 0,1; 0,01; 001 mm.                                                                                                                               |
|    | <b>RAPID</b> - szybkie przejazdy w osiach, tryb pracy ruchów ręcznych z użyciem dowolnej osi.                                                                                                                                                                                     |
|    | <b>HOME</b> - najazd na punkt referencyjny (zerowanie maszyny).                                                                                                                                                                                                                   |
|    | <b>MDI</b> - wpisywanie krótkich poleceń, funkcji np. S900 M3, G0 X100 realizowane są po wciśnięciu przycisku <b>CYCLE START</b> , wykonywane są jednorazowo.                                                                                                                     |
|  | <b>MEMORY</b> - tryb pracy automatycznej, w której realizowany jest program, po wciśnięciu przycisku <b>CYCLE START</b> .                                                                                                                                                         |
|  | <b>TAPE</b> - zewnętrzna pamięć.                                                                                                                                                                                                                                                  |
|  | <b>SINGLE BLOCK</b> - realizacja programu linijka po linijce (blok po bloku).                                                                                                                                                                                                     |
|  | <b>MF1 MF2</b> - dodatkowe specjalne klawisze pomocnicze.                                                                                                                                                                                                                         |
|  | <b>MACHINE</b> - wyświetlenie dodatkowych funkcji maszynowych.                                                                                                                                                                                                                    |
|  | <b>COOLANT</b> - wywołanie menu chłodzenia na ekranie.                                                                                                                                                                                                                            |
|  | <b>COOLANT STOP</b> - zatrzymanie chłodziwa.                                                                                                                                                                                                                                      |
|  | <b>KONTROLKI STANU PRACY MASZINY</b><br><b>RESET</b> - świeci gdy sterowanie CNC jest resetowane;<br><b>READY</b> - świeci gdy sterowanie CNC gotowe do pracy;<br><b>ALARM</b> - świeci się w przypadku wystąpienia alarmu;<br><b>CAPS LOCK</b> - zapala się po wybraniu funkcji. |
|  | <b>VFC</b> - Służy do aktualizacji warunków skrawania w programie do wartości zadanych przy użyciu klawisza korekty. Przycisk jest aktywny dla programów MAZATROL.                                                                                                                |
|  | <b>TAB</b> – wykorzystywany do akapitów oraz wcięć w tekście.                                                                                                                                                                                                                     |



|                                                                                     |                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>ALT</b> - wyświetlanie okna na ekranie.                                                                                                                                 |
|    | <b>CLEAR</b> - kasowanie wprowadzonych danych np. do MDI<br>Służy także do kasowania komunikatu alarmu.                                                                    |
|    | <b>CANCEL</b> - kasowanie wprowadzanych danych.                                                                                                                            |
|    | <b>INPUT</b> - wprowadzanie danych do tabeli narzędzi oraz korekcji.                                                                                                       |
|    | <b>KLAWISZE ALFA-NUMERYCZNE</b> wprowadzanie danych adresowych (litery alfabetu) oraz liczbowych.                                                                          |
|    | <b>PAGE</b> - przejścia poprzedniej lub następnej strony.                                                                                                                  |
|    | <b>KLAWISZE KURSORA</b> - przemieszczania się po tabelach oraz oknach ustawień.                                                                                            |
|   | <b>TABLET</b> - kursor myszki komputera.                                                                                                                                   |
|  | <b>CYCLE START</b> (start cyklu) - uruchomienie programu w trybie pracy automatycznej oraz komend – poleceń w trybie <b>MDI</b> .                                          |
|  | <b>FEED HOLD</b> - zatrzymanie posuwu osi w trakcie pracy automatycznej.                                                                                                   |
|  | <b>RUCH OSI</b> - przejazd w osiach w trybie pracy ręcznej.                                                                                                                |
|  | <b>ZAJAZD NA PUNKTY REFERENCYJNE WE WSZYSTKICH OSIACH.</b>                                                                                                                 |
|  | <b>STOP WRZECIONA</b> - zatrzymanie obrotów wrzeciona;<br><b>START WRZECIONA</b> - włączenie obrotów wrzeciona;<br><b>REWERS WRZECIONA</b> - zmiana kierunku obrotów.      |
|  | <b>KÓŁKO RĘCZNE</b> - obrót kółka określa wartość przemieszczenia wybranej osi, działa z funkcją przycisku ręcznego z określoną wartością posuwu:<br>1; 0,1; 0,01; 001 mm. |

|                                                                                     |                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p><b>ZWOLNIENIE NARZĘDZIA</b> - służy do zaciskania i zwalniania narzędzia z głowicy wrzeciona.</p>                                |
|    | <p><b>TRANSPORTER WIÓR</b> - uruchamianie i zatrzymywanie transportera wiór.</p>                                                    |
|    | <p><b>TRANSPORTER ŚLIMAKOWY</b> - uruchamia transporter wiór w przód lub w tył.</p>                                                 |
|    | <p><b>POSUW SZYBKİ</b> - regulacja posuwu szybkiego maszyny w zakresie od 0 do 100%</p>                                             |
|    | <p><b>POSUW ROBOCZY</b> - regulacja prędkości posuwu roboczego zadanego w programie obróbkowym. Zmiana następuje skokowo co 10%</p> |
|   | <p><b>PREDKOŚĆ OBROTOWA WRZECIONA</b> regulowanie prędkości obrotowej wrzeciona, zmieniana skokowo co 10 min<sup>-1</sup></p>       |
|  | <p><b>WYBÓR OSI</b> wybór osi która będzie obsługiwana za pomocą kółka ręcznego.</p>                                                |



Rys. 1.64. Pomocniczy panel operacyjny

| PRZYCISK | OPIS ORAZ FUNKCJE                                                                                                                                                                                                  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <b>STOP AWARYJNY (EMERGENCY STOP)</b> - służy do awaryjnego zatrzymania maszyny. Wciśnięcie tego przycisku powoduje natychmiastowe zatrzymanie maszyny z jednoczesnym wyświetleniem komunikatu 003 EMERGENCY STOP. |
|          | <b>ODBLOKOWANIE DRZWI</b> - służy do otwarcia drzwi.                                                                                                                                                               |
|          | <b>Kluczyk</b> - służy do odblokowania drzwi po przekręceniu w prawo.                                                                                                                                              |
|          | <b>Kluczyk</b> - służy do zapobiegania edycji programów lub danych w układzie sterowania:<br>1 - Zezwala na zapis programów i danych;<br>0 - Zabrania zapisu programów i danych.                                   |

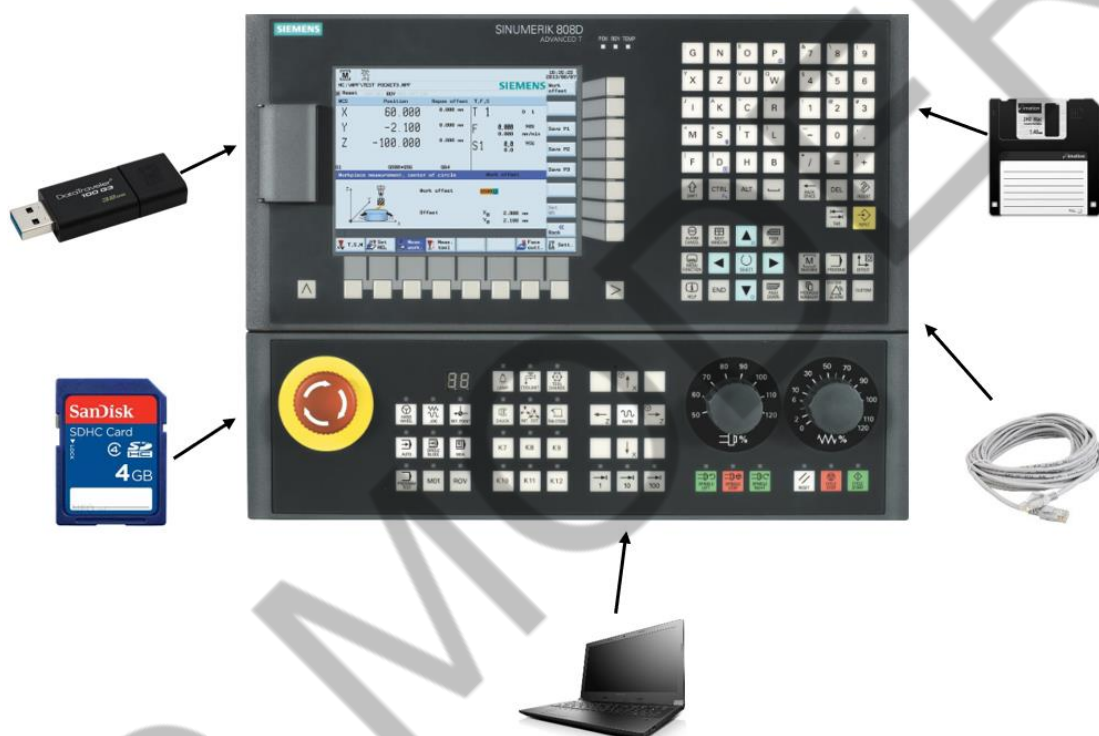
Systemy sterowania mogą się różnić w znaczący sposób w zależności od marki i modelu obrabiarki. Jednak na każdym możemy znaleźć standardowe oznaczenia poszczególnych trybów. Niektóre systemy wyposażone są w dodatkowe pokrętło, które umożliwia zmianę trybu pracy pomiędzy: **JOG, HND, REF, MDA/MDI, EDIT, AUTO**.

Istnieje wiele różnych układów sterowania numerycznego. Układy te mają dużo podobnych cech. Umiejętność posługiwania się jednym typem sterownika jest bardzo dobrą bazą do poznania kolejnych.

Dokonując wyboru system sterowania CNC, należy zwrócić uwagę na szybkość tworzenia programów obróbki, łatwą integrację i użytkowanie, a także możliwości dostosowywania systemu do własnych wymagań.

#### 1.12.4. Wprowadzanie i wysyłanie danych w układach CNC

Charakterystyczną cechą obrabiarek CNC jest komputerowy układ sterowania numerycznego, który posiada wbudowany dysk twardy służący do zapisu i odczytu danych. W obrabiarkach starszego typu głównie występowały układy sterowania NC, gdzie nośnikami programu sterującego, były najczęściej taśmy perforowane lub magnetyczne. Powszechnie dla układów CNC stosuje się nośniki danych takie jak: pendrive, karty pamięci oraz bezpośrednie połączenia z pojedynczym komputerem (np. laptop) lub siecią komputerową.



Rys. 1.65. Sposoby transmisji danych oraz nośniki programów wykorzystywane w obrabiarkach [5]

Do układów sterowania CNC można wprowadzać m.in.:

- programy obróbki;
- podprogramy;
- wartości wymiarów narzędzi;
- dane określające położenie poszczególnych punktów charakterystycznych obrabiarki.

Wyżej wymienione rodzaje danych należą do kompetencji operatora.

Dane określające parametry maszynowe osi, wrzeciona, interpolacji, interfejsu (PLC) oraz programy interfejsowe należą do obsługi serwisowej obrabiarki. Operatorowi nie wolno ingerować w te ustawienia, gdyż mogło by to doprowadzić do awarii maszyny.

## LITERATURA

1. Bryniak A., *Metody opracowania technologii obróbki na tokarki CNC. Praca dyplomowa*, Rzeszów 2013.
2. Cichosz P., *Techniki wytwarzania obróbka ubytkowa*, OWPW Wrocław 2002 r..
3. Dul – Korzyńska B., *Obróbka skrawaniem i narzędzia*, OWPR Rzeszów 2009.
4. Figurski J., *Przygotowanie obrabiarek sterowanych numerycznie do obróbki. Podręcznik do nauki zawodów technik mechanik i operator obrabiarek skrawających*, Wyd. WSiP, Warszawa 2016.
5. Habrat W., *Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Podręcznik operatora*. Wyd. KaBe, Krosno 2015.
6. <http://cnc.pl/>
7. <https://eurometal.com.pl>
8. <https://www.cormak.pl/>
9. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/748/104433748/att\\_96814/v1/PG\\_0108\\_pl.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/748/104433748/att_96814/v1/PG_0108_pl.pdf)
10. <https://www.km-maszyny.pl/produkt/opti-turn-l-44-cnc-351-4330/>
11. <https://www.kitagawa.global/pl/products/collet-chucks/standard-cap/crl42a5>
12. <https://darmet.com.pl/pl/>
13. <https://www.km-maszyny.pl/>
14. <https://www.kammar24.pl/>
15. <https://www.ebmia.pl/>
16. <https://artykulytechniczne.pl/>
17. <https://system3d.pl/>
18. <https://www.renishaw.pl/>
19. Jemielniak K., *Obróbka Skrawaniem – podstawy, dynamika, diagnostyka*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018.
20. Nikiel G., *Programowanie obrabiarek CNC na przykładzie układu sterowania Sinumerik 810D/840D*, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2004.
21. Podręcznik szkoleniowy Obróbka metali skrawaniem Sandvik Coromant, 2017.
22. Podstawy obróbki CNC, REA, Warszawa 2013.
23. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 2012, nr 2.
24. Poradnik obróbki skrawaniem, Garant, 2007.
25. Poradnik obróbki skrawaniem, Sandvik Coromant, 2013.
26. *Postępy Nauki i Techniki*, 2012, nr 13.
27. Skupnik D., *Rysunek techniczny maszynowy z atlasem rysunków*, Wyd. Nauki i Technika, Warszawa 2019.
28. Sobolewski J. Z. (red.), Siemiński P., Sobieszczański J., *Techniki wytwarzania – projektowanie procesów technologicznych*, Warszawa 2012.





**SIEMENS**

