

**Politechnika Poznańska  
Instytut Technologii Mechanicznej**

## **Programowanie obrabiarek CNC**

### **Nr 1**

## **Obróbka prostych kształtów**

Opracował:  
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 2018-10-01

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawami programowania ręcznego obrabiarek CNC. Podstawowymi zagadnieniami omawianymi na tym ćwiczeniu są: punkty charakterystyczne obrabiarki, układy współrzędnych, budowa bloku programu, podstawowe kody programu NC. W ramach ćwiczenia każdy student ma opracować krótki program obróbki wskazanego przez prowadzącego zajęcia kształtu.

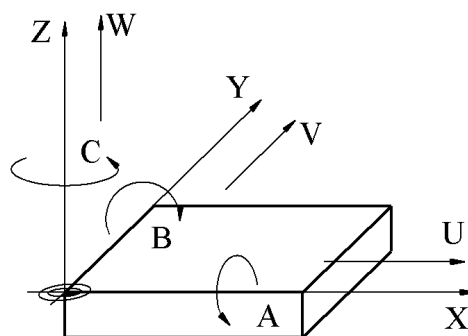
## 2. Punkty charakterystyczne i układy współrzędnych

Podstawowym układem współrzędnych w obrabiarkach sterowanych numerycznie jest układ prostokątny prawoskrętny (rys. 1). Układ ten jest związany z przedmiotem obrabianym. Oś Z tego układu jest równoległa do osi głównego ruchu obrabiarki: dla frezarki osi wrzeciona (narzędzia) natomiast dla tokarki osi wrzeciona (przedmiotu). Kierunek osi Z jest zawsze zwrócony w kierunku większego wymiaru przedmiotu. Oś X jest równoległa do następnej, dłuższej, osi obrabiarki, a oś Y jest tak zdefiniowana, aby powstał układ prawoskrętny.

Ponieważ w niektórych obrabiarkach mogą występować dwie osie liniowe równoległe do siebie, dlatego też wprowadzono oznaczenia dodatkowych osi liniowych: U dla osi równoległej do osi X, V osi równoległej do Y oraz W osi równoległej do Z.

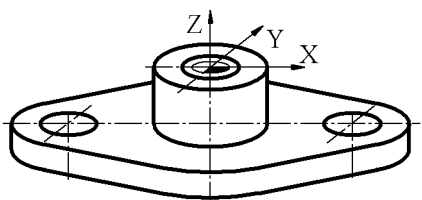
Osie obrotowe przyjmują oznaczenia literowe A, B lub C zależnie od tego, do której osi układu podstawowego jest równoległa jej oś obrotu: A oś obrotu równoległa do osi X, B do osi Y i C do osi Z.

Początek układu współrzędnych przedmiotu przyjmuje programista. Należy przyjąć taki początek układu współrzędnych, aby łatwe było określenie poszczególnych współrzędnych położenia narzędzia. W czasie przyjmowania początku układu współrzędnych należy kierować się następującymi uwagami:

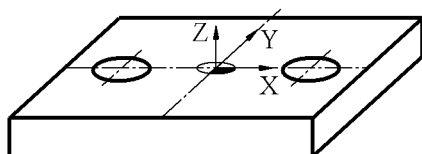


Rys. 1. Podstawowy układ współrzędnych przedmiotu i oznaczenie osi

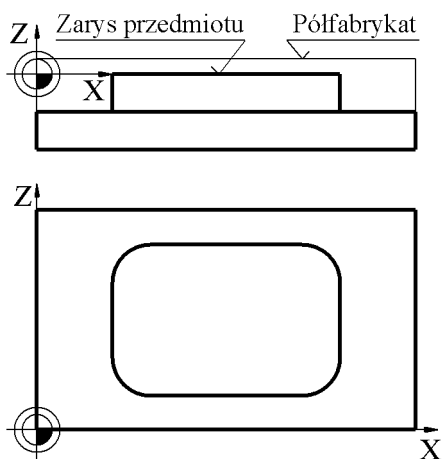
a)



b)



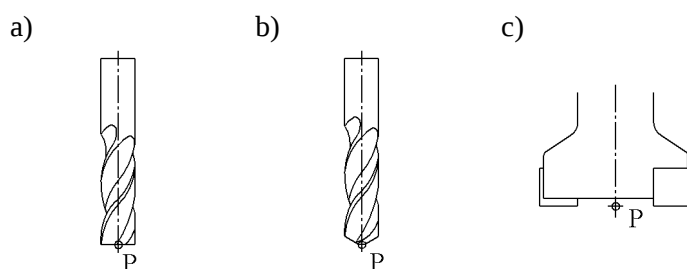
c)



Rys. 2. Przykłady położenia początku układu współrzędnych przedmiotu: a) w osi przedmiotu, b) w środku pomiędzy dwoma otworami, b) na narożniku

- początek układu współrzędnych należy przyjmować na gotowym przedmiocie, a nie na półfabrykacie, ponieważ łatwiej jest wtedy określić poszczególne położenia narzędzia w czasie programowania obróbki (rys. 2c),
- początek układu współrzędnych powinien pokrywać się z bazą wymiarową przedmiotu (rys. 2a),
- najczęściej początek układu współrzędnych w osi Z przyjmuje się na powierzchni górnej przedmiotu chyba, że przyjęto ogólnie bazę przedmiotów na stole lub uchwycie obróbkowym (rys. 2b).

W programach sterujących zapisuje się współrzędne położenia narzędzia w układzie współrzędnych przedmiotu. Każde narzędzie ma punkt charakterystyczny. Przykładowe położenia punktów charakterystycznych narzędzi frezarskich przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Punkty charakterystyczne narzędzi frezarskich: a) frez palcowy, b) wiertło, c) głowica frezarska

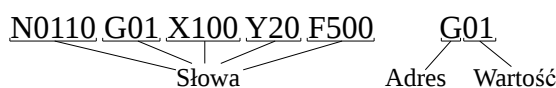
### 3. Programowanie ręczne (ISO)

#### 3.1. Wprowadzenie

Pracując na obrabiarce konwencjonalnej, w celu wykonania określonego zadania obróbkowego, musimy wykonać szereg czynności np. takich jak: wybór i zamontowanie narzędzia, ustawienie obrotów wrzeciona, ustawienie prędkości posuwu, włączenie wrzeciona, przesuwanie narzędzia po odpowiedniej drodze w celu otrzymania zadanego kształtu przedmiotu oraz wykonanie różnych innych czynności pomocniczych. W przypadku obrabiarek sterowanych numerycznie te wszystkie czynności wykonywane są przez urządzenia obrabiarki. Kolejność wykonywania tych czynności nie jest dowolna i musi być podana do układu sterowania w postaci programu składającego się z szeregu kodów sterujących.

Program sterujący procesem obróbki składa się z wierszy, nazywanych blokami. Jeden blok programu jest interpretowany i analizowany przez układ sterujący jako całość. Dopiero po wykonaniu wszystkich zadań z danego bloku analizowany i wykonywany jest następny blok programu.

Blok programu składa się ze słów a słowo składa się z adresu i wartości numerycznej (rys. 4).



Rys. 4. Budowa bloku programu

Adres zwykle składa się z jednej litery alfabetu, ale spotyka się układy sterowań, w których, oprócz standardowych, występują również adresy wieloliterowe (Sinumerik). W większości układów sterowań adresy zapisuje się dużymi literami. Wyjątek stanowią układy

sterujące np. Sinumerik, w których adresy można zapisywać zarówno dużymi jak i małymi literami.

Zapis programu może różnić się zależnie od producenta układu sterowania. Znaczenie poszczególnych adresów oraz pewna część funkcji najczęściej jest zgodna we wszystkich sterowaniach. W poszczególnych układach sterujących mogą występować specyficzne adresy i funkcje, np. cykle obróbkowe, które ułatwiają programowanie. Dlatego też programując obróbkę dla konkretnej obrabiarki powinniśmy poznać jej układ sterowania.

W każdym bloku programu mogą występować wszystkie adresy występujące w danym układzie sterującym, ale ze względu na wielkość i czytelność programu, zalecane jest wprowadzanie tylko tych adresów, które zmieniają swoją wartość w danym bloku.

Kolejność słów w bloku programu, w większości dzisiejszych układów sterowań, jest nieistotna, ale ze względu na czytelność programu poszczególne słowa powinny być wprowadzane w określonej kolejności. Najczęściej występujące adresy oraz ich znaczenie i kolejność w bloku przedstawiono w Tabeli 1.

**Tabela 1.** Adresy programu NC

| Adres   | Funkcja                                                                                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N       | Numer bloku programu                                                                                            |
| G       | Funkcje przygotowawcze                                                                                          |
| X, Y, Z | Współrzędne narzędzia względem głównego układu współrzędnych                                                    |
| U, V, W | Współrzędne narzędzia względem dodatkowego układu współrzędnych                                                 |
| A, B, C | Współrzędne narzędzia względem osi obrotowych                                                                   |
| I, J, K | Współrzędne środka łuku w funkcjach interpolacji kołowej                                                        |
| R       | Promień łuku w interpolacji kołowej, współrzędna płaszczyzny retrakowej w cyklach (Fanuc); parametr (Sinumerik) |
| CR=     | Promień łuku w interpolacji kołowej (Sinumerik)                                                                 |
| AP=     | Kąt współrzędnej biegunowej (Sinumerik)                                                                         |
| RP=     | Promień współrzędnej biegunowej (Sinumerik)                                                                     |
| O       | Numer programu lub podprogramu (Fanuc)                                                                          |
| P       | Parametr wykorzystywany w cyklach stałych (Fanuc), numer bloku                                                  |
| Q       | Parametr wykorzystywany w cyklach stałych (Fanuc)                                                               |
| L       | Parametr wykorzystywany w cyklach stałych (Fanuc); wywołanie podprogramu (Sinumerik)                            |
| F       | Wartość prędkości posuwowej narzędzia                                                                           |
| S       | Wartość prędkości obrotowej wrzeciona                                                                           |
| T       | Numer narzędzia                                                                                                 |
| D       | Numer rejestru korekcji promienia narzędzia                                                                     |
| H       | Numer rejestru korekcji długości narzędzia (Fanuc), funkcja pomocnicza (Sinumerik)                              |
| M       | Funkcje maszynowe                                                                                               |

Zapis programu rozpoczyna się i kończy blokiem ze znakiem „%”. Zależnie od układu sterowania za tym znakiem może występować nazwa programu oraz inne specyficzne informacje. W przypadku sterowania Sinumerik znak ten jest zapisywany systemowo (nie trzeba go wprowadzać) i jest niewidoczny.

Adresy używane w układzie sterowania dzielą się na dwie grupy:

- adresy modalne (globalne), obowiązujące w programie aż do ich odwołania – są aktywne w bloku nawet, jeżeli w tym bloku nie są wywoływane,
- adresy niemodalne (lokalne), obowiązujące tylko dla bloku, w którym zostały wywołane, nie ma konieczności ich odwoływania.

Poszczególne adresy mogą występować tylko raz w danym bloku. Wyjątek stanowią tylko funkcje G i M, które mogą występować wielokrotnie, najczęściej do 3.

W zapisie programu dopuszczalne są również następujące znaki specjalne:

- % – znakiem procenta oznacza się początek i koniec właściwego zapisu programu, w niektórych układach sterujących znak ten jest wymagany i bardzo często za tym znakiem występuje nazwa programu oraz inne dane zależnie od układu sterującego,
- ; – jeśli w danej linii programu występuje znak średnika, to dalsza część tej linii również traktowana jest jako komentarz, można również wykorzystać ten znak do wyłączenia wykonywania danych linii bez ich fizycznego usuwania,
- : – znak dwukropka na początku bloku programu oznacza, że dany blok jest blokiem szczególnym, to znaczy program może być uruchomiony od tej linii, np. po przerwaniu programu i poprzednia część programu już została wykonana, czasami znakiem tym oznacza się początek podprogramu lub powtórzenia.
- / – znakiem tym można poprzedzić opcjonalne bloki, to znaczy takie, które nie zawsze muszą być wykonywane (np. bloki zawierające program obróbki nadlewu, który występuje tylko w niektórych półfabrykatch). Na pulpicie obrabiarki lub w układzie sterującym zwykle występuje odpowiedni przełącznik, który włącza lub wyłącza wykonywanie bloków opcjonalnych.

### **3.2. Numer bloku programu N**

Numer bloku programu stanowi element porządkujący. W niektórych układach sterujących numer bloku programu nie jest wymagany, jednak w przypadku długich programów jest zalecany i stanowi pewne udogodnienie ułatwiające orientowanie w czasie poruszania się po programie. Najczęściej bloki programu numeruje się z określonym krokiem, np. N0010..., N0015, co umożliwia, przy korekcie programu, wstawianie dodatkowych bloków bez konieczności przenumerywania.

Numer bloku programu jest wymagany w przypadku wykorzystywania pętli programowych i cykli obróbki zarysu w programach tokarkowych.

### **3.3. Współrzędne położenia narzędzia X, Y, Z, U, V, W, A, B, C**

W każdym bloku programu, w którym definiuje się ruch narzędzia, wprowadza się współrzędne punktu położenia końcowego narzędzia. Dlatego też blok programu należy czytać jako rozkaz przesunięcia narzędzia z punktu aktualnego do punktu określonego podanymi współrzędnymi.

Wartości przemieszczeń w poszczególnych sterowanych osiach wprowadza się w adresach o oznaczeniach literowych, takich jak oznaczenie osi zgodnie z rys. 1.

Wartości współrzędnych położenia narzędzia w osiach liniowych zwykle wprowadza się w mm, np. X100 oznacza położenie narzędzia w osi X na współrzędnej 100 mm. W niektórych układach sterujących (np. firmy Mikron) wartości położenia narzędzia można wprowadzać w  $\mu\text{m}$  lub w mm. Zapis bez znaku dziesiętnego oznacza wartość w mikrometrach, natomiast ze znakiem dziesiętnym w milimetrach, np. zapis X50 oznacza

położenia narzędzia w osi X na współrzędnej 0.050 mm (50  $\mu$ m), natomiast zapis X50.0 oznacza położenie narzędzia w osi X na współrzędnej 50 mm. W starszych układach sterujących (np. Siemens 8) wartości współrzędnych wprowadza się bez znaku dziesiętnego a jednostka wartości współrzędnej zależy od rodzaju funkcji przygotowawczej. Gdy ruch programowany jest z posuwem szybkim (G00) jednostką współrzędnej jest 0.01 mm (zapis X1000 oznacza współrzędną X=10 mm), natomiast dla ruchu z posuwem roboczym (G01 itp.) jednostką współrzędnej jest 0.001 mm (zapis X10000 oznacza współrzędną X=10 mm).

### 3.4. Funkcje przygotowawcze G

Adres ten jest szczególny, stąd też często spotyka się określenie programowania ręcznego jako programowanie kodami G (G-code). Wartość numeryczna wprowadzana w tym adresie określa numer funkcji, najczęściej związanej z ruchem, a więc z geometrią (stąd oznaczenie adresu).

**Tabela 2.** Przykładowe grupy funkcji przygotowawczych

| Grupa | Opis                              | Funkcje przygotowawcze                |
|-------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 00    | Przerwa czasowa                   | G04,                                  |
| 01    | Funkcje ruchu,<br>Cykle obróbkowe | G00, G01, G02, G03                    |
| 02    | Płaszczyzny interpolacji          | G17, G18, G19                         |
| 03    | Sposób wymiarowania               | G90, G91                              |
| 05    | Jednostka posuwu                  | G94, G95                              |
| 06    | Rodzaj jednostek wymiarowej       | G20, G21 (Fanuc) G70, G71 (Sinumerik) |
| 07    | Kompensacja promienia narzędzia   | G40, G41, G42                         |
| 08    | Kompensacja długości narzędzia    | G43, G44, G49                         |
| 12    | Układ współrzędnych               | G53, G54, G55, G56, G57, G58, G59     |
| 17    | Stała prędkość skrawania          | G96, G97                              |

Funkcje przygotowawcze (zarówno modalne jak i niemodalne) zostały podzielone na grupy funkcji o zbliżonym działaniu (Tabela 2), przy czym dla funkcji modalnych obowiązują następujące zasady:

- tylko jedna funkcja z grupy może być w danej chwili aktywna,
- wywołanie jednej funkcji z grupy automatycznie odwołuje działanie dotychczas aktywnej funkcji z tej grupy,
- w jednym bloku możliwe jest wywołanie tylko jednej funkcji danej grupy – w jednym bloku można, co najwyżej użyć tylu funkcji G, ile jest grup funkcji przygotowawczych, jednak w większości układów sterujących maksymalna liczba funkcji G w bloku ograniczono do 3,
- zawsze jest aktywna jakaś funkcja danej grupy – w układzie sterowania producent obrabiarki wstępnie aktywuje domyślne funkcje z każdej grupy funkcji modalnych. Nie jest zatem konieczne przywoływanie w programie domyślnej funkcji danej grupy, jest ona już aktywna w momencie rozpoczęcia działania programu. Jednak, gdy nie jesteśmy pewni, która funkcja jest domyślnie aktywna, powinno się je aktywować na początku programu.

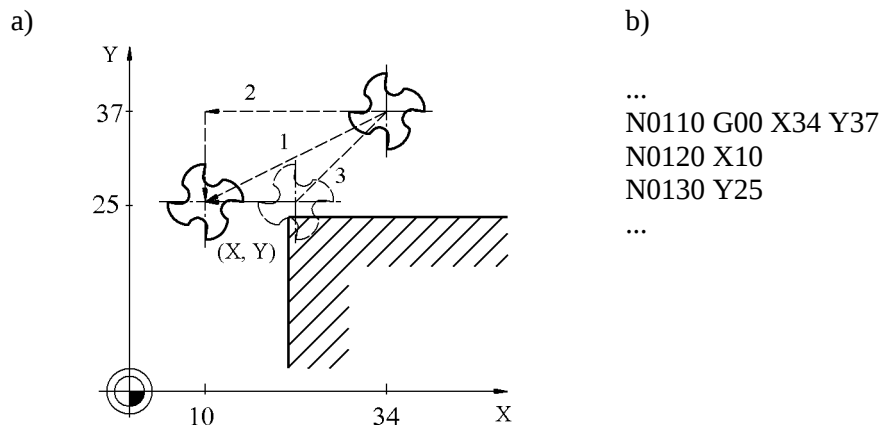
### 3.4.1. Posuw szybki G00

Funkcja modalna G00 (lub G0) wywołuje ruch szybki narzędzia:

G00 X... Y... Z...

Wartość prędkości tego ruchu zależy od ustawień producenta obrabiarki oraz od ustawienia potencjometru lub przełącznika redukcji prędkości posuwu na pulpicie obrabiarki. Funkcja ta wykorzystywana jest w celu szybkiego, bez obróbki, przemieszczenia narzędzia do określonego położenia. Zależnie od ustawień producenta układu sterowania i obrabiarki droga przemieszczania narzędzia z punktu początkowego do końcowego może być różna (rys. 5). Najczęściej narzędzie przemieszcza się po linii prostej 1, jednak czasami narzędzie może przemieszczać się po innej drodze np. tak jak linia 3 (sterowanie punktowe). Jeśli nie jesteśmy pewni, po jakiej drodze przemieszcza się narzędzie w funkcji G00, aby uniknąć kolizji narzędzia z przedmiotem, powinno się ruch 1 rozbić na dwa ruchy tak jak pokazuje linia 2.

Funkcję G00 powinno się używać zawsze jeśli chcemy przesunąć narzędzie bez obróbki, ponieważ ten ruch jest najszybszy. Nie wolno dosuwać narzędzia z posuwem szybkim do styku z materiałem ponieważ może to doprowadzić do uszkodzenia narzędzia. Należy zawsze zostawić pewną wartość dosuwu (najczęściej ok. 2 mm).



Rys. 5. Ruch szybki G00: a) schemat ruchu, b) zapis programu po drodze 2

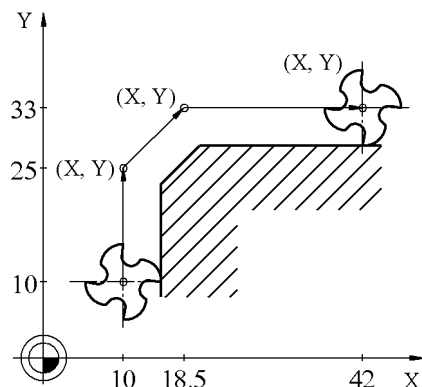
### 3.4.2. Interpolacja liniowa z posuwem roboczym G01

Funkcja modalna G01 (lub G1) wywołuje ruch po linii prostej z posuwem roboczym (rys. 6):

G01 X... Y... Z... F...

Oprócz współrzędnych końca ruchu, w tym bloku, lub w którymś z poprzednich ruchów, powinna być podana wartość posuwu roboczego. Ponieważ ten ruch w stosunku do ruchu szybkiego jest wolny, dlatego też powinien być używany tylko w czasie obróbki (styk narzędzia z przedmiotem) oraz przy dojściu i odejściu narzędzia od przedmiotu na niezbędną odległość (np. 2 mm od przedmiotu).

a)



b)

```

...
N0110 G01 X10 Y10 F500
N0120 Y25
N0130 X18.5 Y33
N0140 X42
...

```

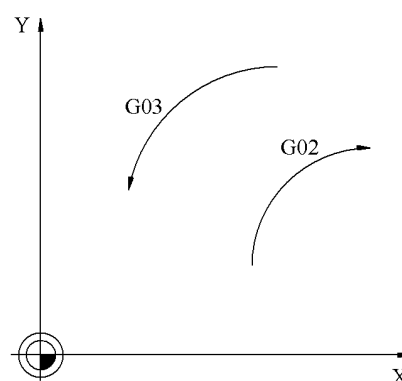
Rys. 6. Interpolacja liniowa G01: a) schemat, b) zapis programu

### 3.4.3. Interpolacja kołowa G02 i G03

Występują dwie funkcje modalne wywołania ruchu po linii łukowej G02 i G03 (lub G2, G3). Funkcja G02 definiuje ruch zgodnie ze wskazówkami zegara (patrząc na płaszczyznę obróbki) natomiast funkcja G03 ruch przeciwny do ruchu wskazówek zegara (rys. 7).

Ruch kołowy może być definiowany tylko w płaszczyźnie obróbki tzn. w płaszczyźnie X-Y (najczęściej) Y-Z lub Z-X (patrz definicja płaszczyzny obróbki).

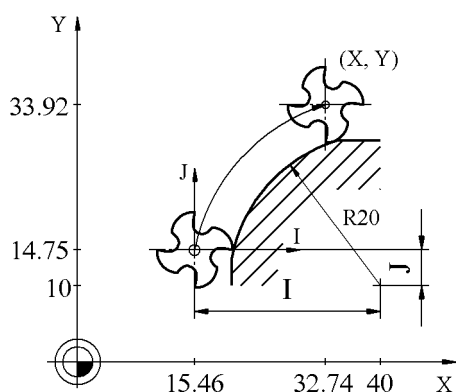
Aby poprawnie zdefiniować ruch po linii łukowej nie wystarczy podać tylko współrzędne końca ruchu, należy podać również albo współrzędne środka łuku albo promień łuku. Dlatego też występują dwa zapisy funkcji interpolacji kołowej (rys. 8):



Rys. 7. Funkcje interpolacji kołowej: G02 i G03

G02 X... Y... I... J... - zapis z podaniem środka łuku,  
 G02 X... Y... R... - zapis z promieniem łuku,  
 G02 X... Y... CR=... - zapis z promieniem łuku w sterowaniu Sinumerik serii D.

a)



b)

```

...
N0110 G01 X15.46 Y14.75 F500
N0120 G02 X32.74 Y33.92 I24.54 J-4.75
...

```

c)

```

...
N0110 G01 X15.46 Y14.75 F500
N0120 G02 X32.74 Y33.92 R20
...

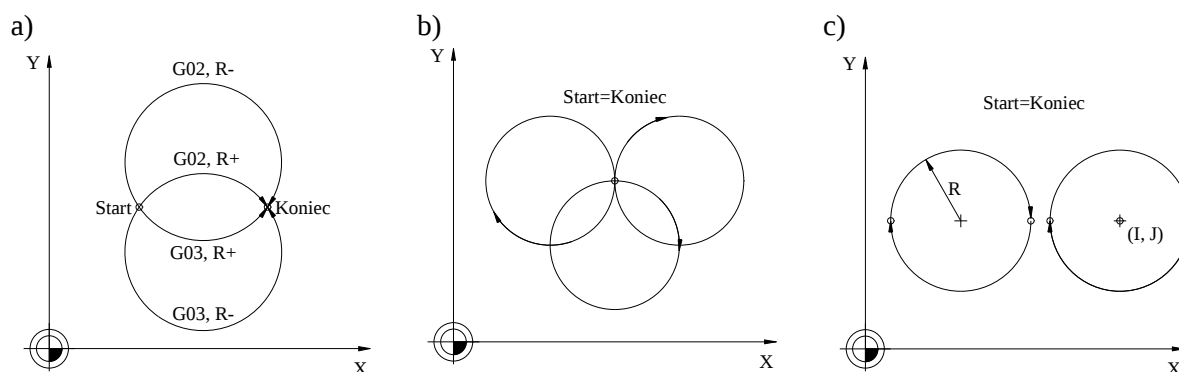
```

Rys. 8. Sposoby zapisu ruchu po linii łukowej: a) schemat, b) zapis z podaniem środka okręgu (parametrami I i J), c) zapis z promieniem łuku R

W przypadku definicji ruchu kołowego z podaniem współrzędnych środka łuku, współrzędne środek łuku podaje się w adresach I, J, K względem początku łuku. Adresy I, J, K odpowiadają współrzędnym odpowiednio wzdłuż osi X, Y, Z. W danym bloku występują tylko adresy odpowiadające danej płaszczyźnie obróbki.

Dla ułatwienia wyznaczenia wartości I, J można, w położeniu początkowym ruchu kołowego, umieścić chwilowo układ współrzędnych I-J (dla płaszczyzny obróbki X-Y) i według tego układu podać współrzędne środka łuku (rys. 8a).

Zapis ten jest najbardziej uniwersalny, przy jego pomocy można zdefiniować dowolny łuk nawet pełen okrąg  $360^\circ$ . Wadą tego zapisu jest to, że dany łuk jest przewymiarowany, ponieważ znane są współrzędne początku, końca oraz środka łuku a obliczony promień łuku w punkcie początkowym i końcowym musi być taki sam. W przypadku różnicy zostanie wyświetlony odpowiedni komunikat.



Rys. 9. Zapis łuku z promieniem: a) możliwe rozwiązania, b) przypadek szczególny, gdy punkt początkowy jest równy punktowi końcowemu – niejednoznaczny, c) poprawny zapis łuku, gdy punkt początkowy jest równy punktowi końcowemu

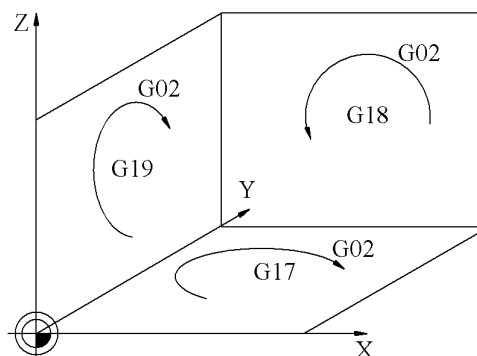
Zapis łuku z promieniem wydaje się prostszy, jednak ma pewne ograniczenia i szczególne przypadki. W przypadku definicji łuku o znanym promieniu z punktu początkowego do punktu końcowego mogą występować 4 rozwiązania, dwa łuki zgodnie i dwa przeciwnie do ruchu wskazówek zegara (rys. 9a). Aby rozróżnić poszczególne przypadki, dodatkowo dla łuku kołowego, gdzie kąt wewnętrzny jest mniejszy lub równy  $180^\circ$ , promień łuku podaje się ze znakiem „+” lub bez znaku natomiast, gdy kąt wewnętrzny jest większy niż  $180^\circ$  promień łuku podaje się ze znakiem „-”.

Szczególny przypadek tego zapisu występuje wówczas, gdy punkt początkowy pokrywa się z punktem końcowym (kąt wewnętrzny łuku wynosi  $360^\circ$ ). Wówczas występuje nieskończenie wiele rozwiązań i taki zapis jest niejednoznaczny (rys. 9b). Aby poprawnie zapisać taki łuk należy wykorzystać zapis z parametrami I, J, K lub należy dany łuk rozbić na dwa łuki (rys. 9c).

#### 3.4.4. Wybór płaszczyzny interpolacji G17, G18, G19

Dla poprawnego zdefiniowania ruchu po linii łukowej wymagane jest określenie płaszczyzny interpolacji. Wybór jednej z trzech płaszczyzn interpolacji odbywa się za pomocą modalnych funkcji przygotowawczych (rys. 11):

- G17 - płaszczyzna X-Y,
- G18 - płaszczyzna Z-X,
- G19 - płaszczyzna Y-Z.



Rys. 11. Płaszczyzny interpolacji

Kierunek interpolacji kołowej (zgodnie lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara) określa się patrząc na daną płaszczyznę interpolacji z kierunku przeciwnego do zwrotu osi prostopadłej do tej płaszczyzny interpolacji.

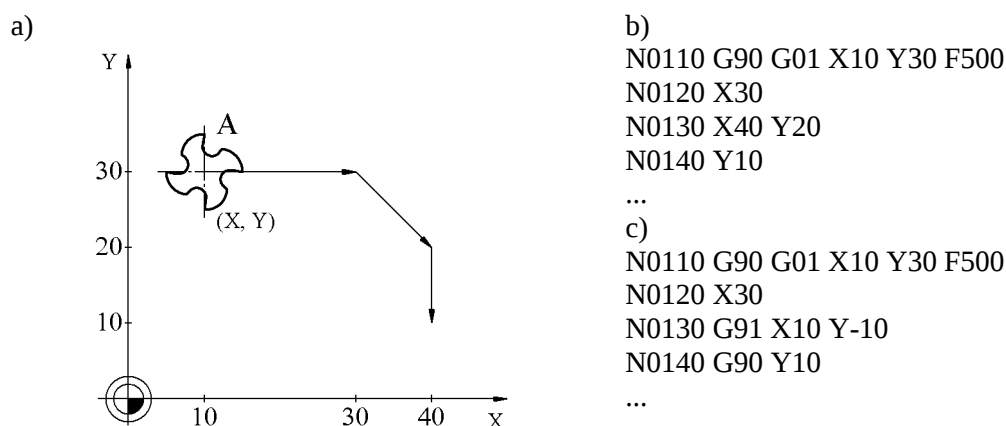
W niektórych układach sterujących (Heidenhain), przed wywołaniem pierwszego narzędzia, wymagane jest podanie płaszczyzny interpolacji. Dlatego też zalecane jest na początku programu umieszczenie adresu określającego domyślną płaszczyznę interpolacji (najczęściej G17 dla frezarek) nawet, gdy nie jest to wymagana.

### 3.4.5. Sposób wymiarowania G90 i G91

W zapisie programu występują dwa sposoby wymiarowania: absolutne i przyrostowe. Wymiarowanie absolutne jest to wymiarowanie zawsze od początku aktualnego układu współrzędnych, natomiast wymiarowanie przyrostowe jest to wymiarowanie względem poprzedniego położenia narzędzia. Wybór sposobu wymiarowania, w większości obrabiarek, wykonuje się modalnymi funkcjami przygotowawczymi (rys. 12):

- G90 – wymiarowanie absolutne,
- G91 – wymiarowanie przyrostowe.

Zawsze należy stosować taki sposób wymiarowania, jaki wynika z rysunku przedmiotu tak, aby unikać zbędnych obliczeń. W zależności od potrzeby zmianę sposobu wymiarowania można wykonać w każdym bloku programu. W większości układów sterujących wartością domyślną jest wymiarowanie absolutne (G90). Jednak zaleca się umieszczenie tego kodu w początkowej części programu.



Rys. 12. Sposoby wymiarowania: a) schemat, b) zapis programu z wymiarowaniem absolutnym, c) zapis programu z wymiarowaniem przyrostowym

### 3.5. Parametry obróbki F, S

Podstawowe parametry obróbki w programie NC podaje się w adresach:

F - wartość prędkości posuwowej,

S – wartość prędkości obrotowej wrzeciona.

Wartość prędkości obrotowej wrzeciona wynika przede wszystkim z wartości prędkości skrawania, jaka została dobrana dla danego narzędzia i materiału obrabianego oraz od średnicy narzędzia (dla frezarek) lub średnicy toczenia (dla tokarek). Wartość tej prędkości można obliczyć ze wzoru:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} \text{ [obr/min]}$$

gdzie:  $v_c$  – prędkość skrawania [m/min],

$d$  – średnica narzędzia (frezarskiego) lub średnica toczenia [mm].

Wprowadzana w adresie S wartość prędkości obrotowej powinna mieścić się w zakresie dopuszczalnym dla danej obrabiarki, dlatego też należy zapoznać się ze specyfikacją danej obrabiarki.

Należy pamiętać, że zadana prędkość obrotowa jest osiągalna dopiero po pewnym czasie (czas rozpędzania wrzeciona), dlatego też w programie należy przewidzieć dostatecznie wczesne włączenie wrzeciona tak, aby narzędzie osiągnęło żądaną prędkość obrotową zanim rozpocznie skrawanie.

Jak już wspomniano, prędkość obrotowa wrzeciona zależy od średnicy narzędzia lub średnicy skrawania. W przypadku frezarek prędkość obrotowa zależy od średnicy narzędzia, dlatego też prędkość obrotową można ustawić raz przy wyborze narzędzia.

Wartość prędkości posuwowej zależy przede wszystkim od posuwu na ostrze oraz prędkości obrotowej wrzeciona i liczby ostrzy narzędzia. Zależnie od rodzaju obrabiarki wartość posuwu oblicza się z następujących wzorów:

- posuw w [mm/min] – dla frezowania:

$$v_f = f \cdot n \cdot z \text{ [mm/min]}$$

gdzie:  $f$  – posuw na ostrze [mm],

$n$  – prędkość obrotowa narzędzia [obr/min],

$z$  – liczba ostrzy narzędzia.

- posuw w [mm/min] – dla wiercenia

$$v_f = f_n \cdot z \text{ [mm/min]}$$

gdzie:  $f_n$  – posuw na obrót narzędzia [mm],

$z$  – liczba ostrzy narzędzia.

### 3.6. Wybór narzędzia T

Większość współczesnych obrabiarek sterowanych numerycznie jest wyposażona w magazyn narzędzi, z którego mogą być automatycznie pobierane narzędzia w czasie działania programu. Każde narzędzie w tym magazynie ma określony numer. Ponieważ poszczególne narzędzia mogą mieć różne wymiary (średnicę, długość itp.), dlatego też z magazynem narzędziowym jest związana specjalna tablica, przechowywana w pamięci układu sterującego, zawierająca dane charakterystyczne zamocowanych w magazynie narzędzi.

Wybór określonego narzędzia w programie dokonuje się przy pomocy adresu T, który zawiera numer narzędzia odpowiadający najczęściej numerowi gniazda magazynu narzędziowego (np. T01 narzędzie nr 1) . Funkcja T powoduje najczęściej obrót lub przesunięcie magazynu narzędziowego w taki sposób, aby możliwe było, przy pomocy specjalnego urządzenia obrabiarki, pobranie i zamocowanie danego narzędzia we wrzecionie.

W niektórych układach sterujących (Sinumerik) wybór narzędzia można być również wykonywany przez nazwę, wówczas zapis wygląda następująco: T="GLOWICA63".

Z funkcją T jest związana funkcja maszynowa M06, która, według definicji, wywołuje fizyczną zmianę narzędzia.

W niektórych układach sterujących frezarek wywołanie funkcji wyboru narzędzia T powoduje jednocześnie fizyczną zmianę narzędzia. W tym przypadku nie jest wymagane stosowanie funkcji M06. Jednak, gdy nie jesteśmy pewni czy możliwe jest pominięcie funkcji M06 w programach do frezarek, powinniśmy stosować tą funkcję.

Bardzo ważnym zagadnieniem w czasie wymiany narzędzia jest unikanie ewentualnych kolizji narzędzia z przedmiotem obrabianym. W przypadku frezarek, w czasie wykonywania programu w trybie automatycznym, gdy układ sterowania odczyta w bloku programu funkcje zmiany narzędzia (T... M06), narzędzie automatycznie przemieszczanie jest do określonej pozycji wymiany narzędzia, przy czym pierwszym ruchem jest ruch w osi Z na maksymalną wysokość, a dopiero później ruch w osi X i Y do punktu wymiany narzędzia. W tym samym czasie obroty wrzeciono są wyłączane. Mimo to zalecane jest umieszczenie w programie odpowiednich linii programu przesuwających narzędzie na bezpieczną wysokość oraz wyłączenie wrzeciona.

W przypadku tokarek zwykle nie ma określonego punktu wymiany narzędzia. Dlatego też na programiście ciąży obowiązek zadbania, aby w czasie wymiany narzędzia (obrotu głowicy narzędziowej) nie doszło do kolizji. Należy, zatem zwrócić szczególną uwagę na długości poszczególnych narzędzi zamocowanych w głowicy oraz odsunąć narzędzie (głowicę narzędziową) od przedmiotu na odpowiednią odległość. Ponieważ wymiana narzędzia nie ma związku z wrzecionem przy zmianie narzędzia nie jest wymagane zatrzymanie wrzeciona.

### 3.7. Funkcje maszynowe M

#### 3.7.1. Wprowadzenie

**Tabela 3.** Funkcje maszynowe

| Kod funkcji | Opis funkcji                        |
|-------------|-------------------------------------|
| M00         | Zatrzymanie programu bezwarunkowe   |
| M01         | Zatrzymanie programu warunkowe      |
| M02         | Koniec programu                     |
| M03         | Włączenie obrotów wrzeciona w prawo |
| M04         | Włączenie obrotów wrzeciona w lewo  |
| M05         | Wyłączenie obrotów wrzeciona        |
| M06         | Fizyczna zmiana narzędzia           |
| M07         | Włączenie chłodziwa 1               |
| M08         | Włączenie chłodziwa 2               |
| M09         | Wyłączenie chłodziwa                |
| M30         | Koniec programu                     |

W czasie pracy obrabiarki, prócz wykonywania ruchu narzędzia, muszą być wykonywane również inne czynności takie np. jak włączenie wrzeciona, włączenie chłodziwa, itd. Dlatego też w programie sterującym obrabiarek, oprócz zapisu ruchu narzędzia, muszą występować również funkcje wywoływania czynności dodatkowych. Czynności te uruchamiane są za pomocą funkcji maszynowych (czasami nazywanych mieszanymi) wprowadzanych w adresie M. W każdej obrabiarce występuje zazwyczaj wiele funkcji maszynowych odpowiedzialnych za uruchamianie standardowych oraz specjalnych funkcji. W tabeli 3 przedstawiono standardowe funkcje maszynowe.

W poszczególnych blokach programu najczęściej mogą występować maksymalne dwie funkcje maszynowe, uruchamiające różne urządzenia, np. w jednej linii programu włączenie wrzeciona oraz chłodziwa.

### **3.7.2. Stop programu M00, M01**

W zapisie programu przewidziano dwie funkcje zatrzymania programu. Są to funkcje:

- M00 - stop bezwarunkowy,
- M01 - stop warunkowy.

Gdy w czasie wykonywania programu układ sterowania przeczyta funkcję M00 wówczas program zostanie zatrzymany do czasu wciśnięcia na klawiaturze maszynowej przycisku START.

Funkcja M01 jest podobna do funkcji M00, z tą różnicą, że zatrzymanie programu wywołane funkcją M01 może nastąpić tylko wtedy, gdy zostanie odpowiednio ustawiony specjalny przełącznik, stopu warunkowego, na pulpicie układu sterującego.

Zarówno funkcja M00 jak i M01 jest uruchamiana na końcu bloku, po wykonaniu ruchu we wszystkich osiach zaprogramowanych w danym bloku, przy czym ruch obrotowy wrzeciona nie zostanie wyłączony.

Funkcja M00 jest używana wtedy, gdy chcemy dla każdego obrabianego przedmiotu w określonym miejscu zatrzymać program, na przykład w celu skontrolowania stanu narzędzia, przedmiotu lub w celu zmiany sposobu zamocowania przedmiotu.

Natomiast funkcja M01 jest używana, gdy chcemy na przykład, dla wybranego przedmiotu z serii zatrzymać w określonym miejscu program. Wówczas na pulpicie obrabiarki uaktywniamy funkcję stopu warunkowego i gdy układ sterowania przeczyta funkcję M01 nastąpi zatrzymanie programu. Uruchomienie wykonywania dalszej części programu, podobnie jak dla funkcji M00 następuje przyciskiem START na klawiaturze maszynowej.

### **3.7.3. Sterowanie wrzecionem M03, M04, M05**

Do sterowania wrzecionem dostępne są trzy funkcje:

- M03 – włączenie obrotów wrzeciona w prawo,
- M04 – włączenie obrotów wrzeciona w lewo,
- M05 – wyłączenie obrotów wrzeciona.

Należy pamiętać, że wartość prędkości obrotowej ustawia się przy pomocy adresu S. Kierunek obrotów określa się patrząc od czoła wrzeciona wzdłuż osi Z, zgodnie z zasadą śruby prawoskrętnej.

Ponieważ na frezarce używa się zwykle narzędzi prawoskrętnych, dlatego też zwykle wykorzystywana jest funkcja M03. Jedynie w czasie wycofania gwintownika z otworu wykorzystuje się funkcję M04.

Ze względu na budowę współczesnych tokarek, gdzie narzędzie znajduje się za osią wrzeciona, dlatego też w tych tokarkach najczęściej stosuje się funkcję M04.

Zarówno włączenie obrotów w prawo M03 jak i w lewo M04 jest aktywne na początku bloku, przed rozpoczęciem ruchu zaprogramowanego w danym bloku. Natomiast wyłączenie obrotów wrzeciona funkcją M05 jest aktywne na końcu bloku.

#### **3.7.4. Zmiana narzędzia M06**

Fizyczną zmianę narzędzia wykonuje się funkcją M06. Natomiast określenie, które narzędzia ma być wybrane zapisuje się w adresie T. Poprawny zapis programu automatycznej zmiany narzędzia na frezarce powinien wyglądać następująco:

```
...  
G00 Z100 M05      ;odsunięcie narzędzia na bezpieczna wysokość z wyłączeniem wrzeciona  
T01 S1550 M06     ;wybór narzędzia, ustawienie prędkości obrotowej, zmiana narzędzia  
G00 X20 Y30 M03   ;przesunięcie narzędzia do początku następnego ruchu, włączenie  
                  obrotów wrzeciona
```

#### **3.7.5. Włączenie i wyłączenie chłodziwa M07, M08, M09**

Do sterowania chłodziwem przewidziano trzy funkcje

- M07 – włączenie chłodziwa,
- M08 – włączenie chłodziwa,
- M09 – wyłączenie chłodziwa.

Ponieważ w danej obrabiarence mogą występować dwa rodzaje chłodziwa, np. chłodziwo w postaci emulsji i sprężonym powietrze lub też dwa źródła chłodziwa np. zewnętrzne i przez narzędzie, dlatego też przewidziano umożliwiono dwie funkcje włączania chłodziwa, każda do innego rodzaju. Funkcja M09 wyłączania chłodziwa wyłącza oba źródła.

#### **3.7.6. Koniec programu M02, M30**

W programach sterujących obrabiarek przewidziano dwie funkcje zakończenia programu. Są to funkcje:

- M02 – koniec programu,
- M30 – koniec programu z przewinięciem programu do początku.

W dzisiejszych układach sterujących obie funkcje mają takie samo znaczenie i można je stosować zamiennie. Różnica w działaniu była istotna w starszych układach sterujących, gdzie program był zapisany na taśmie perforowanej i po zakończeniu programu, taśmę tą (program) należało przewinąć do początku w celu umożliwienia uruchomienia obróbki następnego przedmiotu.

Podstawową zadaniem tych funkcji jest wyłączenie wszystkich urządzeń pracujących na obrabiarence i włączonych w czasie działania programu. Dlatego też użycie jednej z funkcji końca programu eliminuje konieczność użycia funkcji wyłączających wrzeciono i chłodziwo.

Układ sterowania analizuje program od początku do końca zapisu lub do miejsca wystąpienia funkcji maszynowej M02 lub M30. Dlatego też możliwe jest umieszczaniem np. podprogramów w tym samym pliku co główny program, ale za linią zawierającą funkcję końca programu (M02 lub M30).

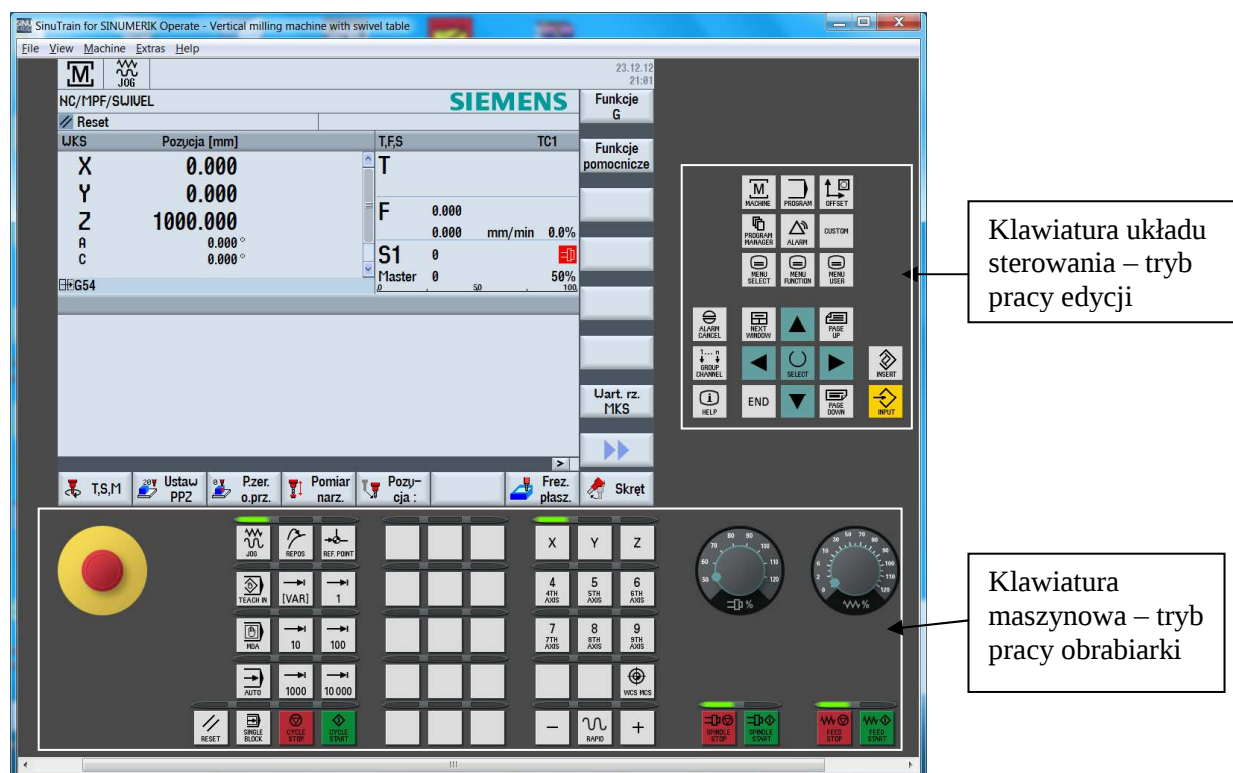
## 4. Program SinuTrain

### 4.1. Wprowadzenie

Program SinuTrain jest pakietem programów identycznych z programami obsługi układów sterowań Sinumerik firmy Siemens. Przy pomocy tych programów możliwa jest edycja oraz symulacja programów podobnie jak odbywa się to przy obrabiarce z takimi układami sterującymi. Oprócz edycji programu sterującego możliwe jest również edycja tabeli narzędzi, punktów zerowych oraz parametrów.

Uruchomienie programu SinuTrain odbywa się klikając na ikonę „SinuTrain” lub wybierając ten program w opcji „Start” systemu Windows.

W czasie uruchamiania tego programu należy wybrać jedną z wersji sterowania (podaną przez prowadzącego zajęcia). Po uruchomieniu programu na ekranie widoczne jest okno układu sterującego.



Najistotniejszymi klawiszami układu sterującego są:

|     |                                                                           |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|
|     | Zatwierdzenie wartości (Enter)                                            |
|     | Kursory                                                                   |
|     | Wywołanie ekranu pracy z programami (Edycja programów)                    |
|     | Edycja tabeli narzędziowej, punktów zerowych obrabiarce oraz parametrów R |
|     | Wywołanie ekranu pomocy                                                   |
| lub | Wywołanie edycji wskazanego programu                                      |

Najistotniejszymi klawiszami klawiatury maszynowej są:

|                                                                                   |                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Trybu pracy ręcznej                                                                                  |   | Wywołanie głównego ekranu obrabiarki – tryb pracy                                                                       |
|  | Tryb pracy MDI – z ręcznym wprowadzaniem instrukcji                                                  |   | Uruchomienie programu lub funkcji w trybie pracy obrabiarki                                                             |
|  | Wybór pracy automatycznej                                                                            |   | Zatrzymanie działania programu lub funkcji w trybie pracy obrabiarki                                                    |
|  | Wybór trybu pracy blokowej                                                                           |   | Zezwolenie lub blokada pracy wrzeciona                                                                                  |
|  | Reset – kasowanie błędów                                                                             |   | Zezwolenie lub blokada pracy napędów posuwowych                                                                         |
|  | Potencjometr zmiany prędkości obrotowej wrzeciona w trybie pracy w stosunku do zaprogramowanej [w %] |  | Potencjometr zmiany prędkości posuwowej w trybie pracy w stosunku do prędkości zaprogramowanej (powinno być różne od 0) |

## 4.2. Utworzenie nowego programu

Aby rozpocząć pisanie nowego programu należy przejść do ekranu pracy z programami



(Edycji) poprzez wciśnięcie klawisza: . Na ekranie zostanie wyświetlona lista 3 katalogów:

- Programy obróbki – programy obróbki pojedynczych przedmiotów,
- Podprogramy – podprogramy,
- Obrabiane przedmioty – zawiera katalogi, w których zapisane może być więcej programów obróbki jednego przedmiotu.

Programy studentów powinny być zapisywane w utworzonym katalogu, o nazwie nazwisku studenta, w katalogu głównym „Obrabiane przedmioty”. Dlatego też należy wybrać kursorami katalog „Obrabiane przedmioty”, wcisnąć klawisz „Input” a następnie z bocznego menu klawisz „Nowy” i po wprowadzeniu nazwy wcisnąć klawisz „OK” z bocznego menu.

Po utworzeniu katalogu system spyta się o nazwę programu. Wprowadzając nazwę programu można również wybrać w bocznym menu rodzaj programu: ShopMill lub G-code.

W pierwszych wierszach programu należy wprowadzić niezbędne funkcje G, ustawiające sposób pracy programu i obrabiarki. Najczęściej wiersz ten, dla frezarki, wygląda następująco:

G40 G90 G17 G54

Gdzie:

- G40 – wyłączenie kompensacji promienia narzędzia (omówiono w ćwiczeniu 2),
- G90 – wymiarowanie absolutne,
- G17 – płaszczyzna interpolacji,
- G54 – wybór układu współrzędnych (omówiono w ćwiczeniu 2).

### 4.3. Definicja narzędzi

Parametry wszystkich narzędzi wprowadzane są w odpowiednich tabelach. Wywołanie edycji tabeli narzędzi następuje po wybraniu klawisza  a następnie w dolnym menu

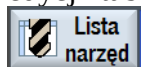


Tabela narzędziowa wygląda następująco:



| Miejsce | Typ                                                                                 | Nazwa narz.      | ST | D | Długość | Ø      |       |                                                                                     |                                     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|---|---------|--------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 11      |    | DRILL 10         | 1  | 1 | 120.000 | 10.000 | 118.0 |    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12      |   | PREDRILL 30      | 1  | 1 | 120.000 | 30.000 | 180.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13      |  | DRILL_Tool       | 1  | 1 | 110.000 | 25.000 |       |  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14      |  | THREAD CUTTER    | 1  | 1 | 110.000 | 20.000 |       |  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15      |  | THREADCUTTER M10 | 1  | 1 | 130.000 | 10.000 | 1.500 |  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16      |                                                                                     |                  |    |   |         |        |       |                                                                                     |                                     |
| 17      |                                                                                     |                  |    |   |         |        |       |                                                                                     |                                     |
| 18      |                                                                                     |                  |    |   |         |        |       |                                                                                     |                                     |

Podstawowymi danymi narzędzi są:

- typ narzędzia – zaznaczony ikoną,
- Nazwa narzędzia – unikalna nazwa narzędzia powinna zawierać wielkość np. średnicę,
- Długość – długość narzędzia od czoła wrzeciona do punktu charakterystycznego np. 100 mm,
- Średnica – średnica narzędzia,
- Inne – zależnie od rodzaju narzędzia np. kąt wierzchołkowy wiertła,
- liczba ostrzy narzędzia,
- kierunek obrotów wrzeciona,
- czy ma pracować chłodziwo.

Aby dodać nowe narzędzie należy ustawić kursor w wolnym wierszu tabeli (sprawdzić czy dany wiersz jest wolny, czy narzędzie nie jest aktualnie we wrzecionie), a następnie wcisnąć klawisz z prawej strony ekranu „Nowe narzędzie”. Następnie należy wybrać rodzaj narzędzia z dostępnej listy i wprowadzić pozostałe dane narzędzia.

Edycję tabeli narzędziowej można wywołać bezpośrednio z poziomu edycji programu przy wybieraniu narzędzia z tabeli.

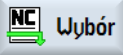
#### 4.4. Symulacja programu

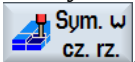
W celu przeprowadzenia symulacji graficznej obróbki należy poprawnie zdefiniować półfabrykat. W programie ShopTrain Operation 4.4 półfabrykat można zdefiniować bezpośrednio w programie. W tym celu w trakcie edycji programu, najlepiej w pierwszej linii programu, należy wybrać w dolnym menu „Różne” a następnie w bocznym menu „Część surowa”.

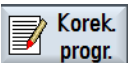
Po opracowaniu programu można przeprowadzić jego symulację, wybierając w dolnym menu opcję .

#### 4.5. Obróbka w trybie pracy

W programie ShopTrain można również zasymulować prace obrabiarki (tryb pracy maszyny) - bardziej realistyczne prędkości ruchu posuwowego. W tym trybie sprawdzane są wszystkie niezbędne dane dotyczące programu. Niektóre błędy nie są wykrywane w trybie symulacji.

Aby wybrać program do obróbki należy, przy otwartym do edycji programie, wybrać w dolnym menu klawisz . Aby możliwe było uruchomienie programu należy zezwolić na prace napędów, wrzeciona, ustawić potencjometrami prędkość wrzeciona oraz prędkość posuwową (patrz klawisze klawiatury maszynowej). Następnie należy wcisnąć klawisz .

Praca maszyny może być również przedstawiona w sposób graficzny. W tym celu, przed uruchomieniem programu, należy wcisnąć klawisz w dolnym menu .

Aby powrócić do edycji programu należy wcisnąć klawisz w dolnym menu .

### 5. Wykonanie ćwiczenia

Aby dane ćwiczenie było zaliczone jako poprawne należy poprawnie wykonać następujące zadania:

- na rysunku przedmiotu, otrzymanego od prowadzącego zajęcia, należy wrysować układ współrzędnych,
- dobrać narzędzia i parametry obróbki,
- wprowadzić w programie SinuTrain do tabeli narzędziowej dobrane narzędzie,
- opracować program obróbki zarysu z wykorzystaniem ruchu po linii prostej i łukowej,
- przeprowadzić symulację graficzną w trybie edycji i pracy obrabiarki.

### 6. Wymagania

Przed przystąpieniem do ćwiczenia wymagana jest wiedza z zakresu:

- podstaw obróbki skrawaniem: dobór narzędzi, parametrów skrawania oraz obliczania parametrów obróbki,
- podstaw technologii obróbki skrawaniem
- podstawy programowania obrabiarek CNC,

Do poprawnego wykonania ćwiczenia wymagane jest dobranie przed zajęciami dokładne dane narzędzia (liczba ostrzy, maksymalna głębokość skrawania  $a_{pmax}$ ) parametrów obróbki (prędkość skrawania  $v_c$ , wartość posuwu na ostrze  $f_z$ ) oraz wyliczenia parametrów skrawania ( $n$  – prędkość obrotowa wrzeciona i  $v_f$  – wartość prędkości posuwowej).

Dane do ćwiczenia 1:

- wymagane narzędzia: frez palcowy Ø3,
- materiał obrabiany: stal C45.

## 7. Literatura

- [1] **Feld M.:** Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn. WNT 2008.
- [2] Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP Warszawa 1998.
- [3] Olszak W.: Obróbka skrawaniem. WNT Warszawa 2008.