

**Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Mechanicznej**

**Laboratorium
Programowanie obrabiarek CNC**

Nr 1

Obróbka prostych kształtów

Opracował:
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 2008-02-11

1. Punkty charakterystyczne i układy współrzędnych

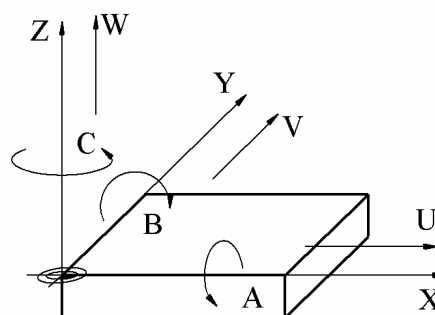
Podstawowym układem współrzędnych w obrabiarkach sterowanych numerycznie jest układ prostokątny prawoskrętny (rys. 1.1). Układ ten jest związany z przedmiotem obrabianym. Oś Z tego układu jest równoległa do osi głównego ruchu obrabiarki: dla frezarki osi wrzeciona (narzędzia) natomiast dla tokarki osi 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.

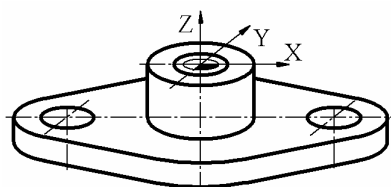
Początek układu współrzędnych przedmiotu przyjmuje programista. Należy przyjąć taki początek układu współrzędnych, aby łatwe było określenie poszczególnych współrzędnych położenia narzędzia. W czasie przyjmowania początku układu współrzędnych należy kierować się następującymi uwagami:

- początek układu współrzędnych należy przyjmować na gotowym przedmiocie, a nie na półfabrykacie, ponieważ łatwiej jest wtedy określić poszczególne położenia narzędzia (rys. 1.2c),
- początek układu współrzędnych powinien pokrywać się z bazą wymiarową przedmiotu (rys. 1.2a),
- 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. 1.2b),.

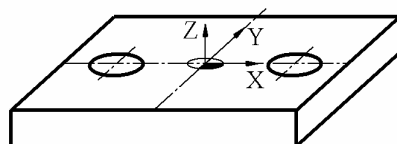


Rys. 1.1. Podstawowy układ współrzędnych przedmiotu i oznaczenie osi

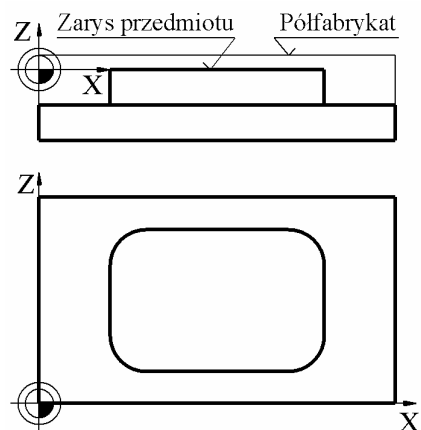
a)



b)

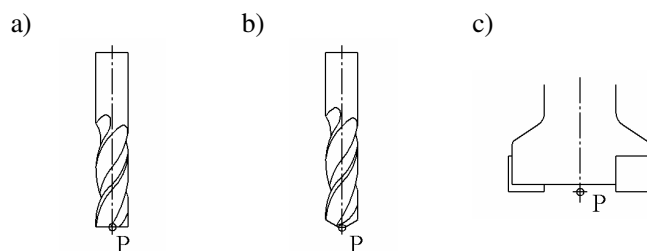


c)



Rys. 1.2. Przykłady położenia początku układu współrzędnych przedmiotu: a) w osi przedmiotu, b) w środku pomiędzy dwoma otworami, b) na narożniku

W programach sterujących zapisuje się współrzędne położenia narzędzia w układzie współrzędnych przedmiotu. Każde narzędzie ma punkt charakterystyczny. Położenie punktów charakterystycznych narzędzi frezarskich przedstawiono w rys. 1.3.



Rys. 1.3. Punkty charakterystyczne narzędzi frezarskich: a) frez palcowy, b) wiertło, c) głowica frezarska

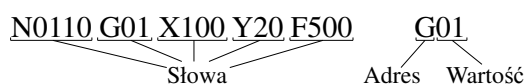
2. Programowanie ręczne (ISO)

2.1. 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 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 często 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. 2.1).



Rys. 2.1. 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).

Zapis programu może różnić się zależnie od producenta układu sterowania. Znaczenie poszczególnych adresów oraz pewna część funkcji najczęściej jest zgodna we wszystkich sterowaniach, ale w poszczególnych układach sterujących mogą występować specyficzne adresy i funkcje (np. cykle obróbkowe) ułatwiające 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 2.1.

Tabela 2.1. 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
O	Numer programu lub podprogramu
P	Parametr wykorzystywany w cyklach stałych
Q	Parametr wykorzystywany w cyklach stałych
L	Parametr wykorzystywany w cyklach stałych
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
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.

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 (Siemens, Heidenhain) znak ten jest wymagany i bardzo często za tym znakiem występuje nazwa programu oraz inne dane zależnie od układu sterującego,
- () – w nawiasach okrągłym można umieszczać komentarz, który nie jest analizowany przez układ sterujący,
- ;- – 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.

2.2. Numer linii programu N

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

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

2.3. 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. 1.1.

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 μm lub w mm, np. zapis bez znaku dziesiętnego oznacza zapis w mikrometrach a ze znakiem dziesiętnym w milimetrach, np. zapis X50 oznacza położenie narzędzia w osi X na współrzędnej 0.050 mm (50 μm), 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).

2.4. 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). Poszczególne funkcje G zostaną szczegółowo omówione w następnych instrukcjach.

Funkcje przygotowawcze (zarówno modalne jak i niemodalne) zostały podzielone na grupy funkcji o zbliżonym działaniu (Tabela 2.2), przy czym dla funkcji modalnych obowiązują następujące zasady:

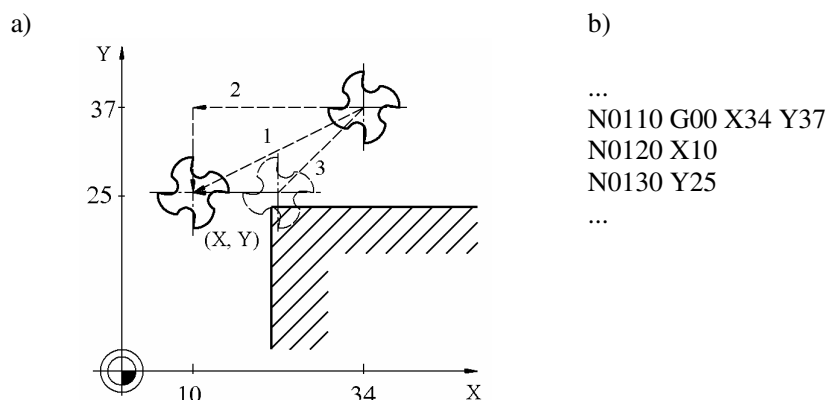
- tylko jedna funkcja z grupy może być w danej chwili aktywna,
- wywołanie jednej funkcji z grupy automatycznie odwołuje działanie dotychczas aktywnej funkcji z tej grupy,
- w jednym bloku możliwe jest wywołanie tylko jednej funkcji danej grupy – w jednym bloku można, co najwyżej użyć tylu funkcji G, 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.

Tabela 2.2. Grupy modalnych funkcji przygotowawczych

Grupa	Opis	Funkcje przygotowawcze	Obrabiarka
00	Funkcje niemodalne	G04, G70, G71, G72, G74, G74, G75, G76	F/T T
01	Funkcje ruchu, Cykle obróbkowe	G00, G01, G02, G03 G90, G92, G94	T/F T
02	Płaszczyzny interpolacji	G17, G18, G19	T/F
03	Sposób wymiarowania	G90, G91	T/F
05	Jednostka posuwu	G94, G95	T
06	Rodzaj jednostek wymiarowej	G20, G21	T/F
07	Kompensacja promienia narzędzia	G40, G41, G42	T/F
08	Kompensacja długości narzędzia	G43, G44, G49	F
09	Cykle obróbkowe	G73, G74, G76, G80, G81, G82, G83, G84, G85, G86, G87, G88, G89	F
10	Powrót po cyklu	G98, G99	F
11	Kasowanie skalowania Odbicie lustrzane	G50 G68, G69	F T
12	Układ współrzędnych	G53, G54, G55, G56, G57, G58, G59	F
17	Stała prędkość skrawania	G96, G97	T

2.4.1. Posuw szybki G00

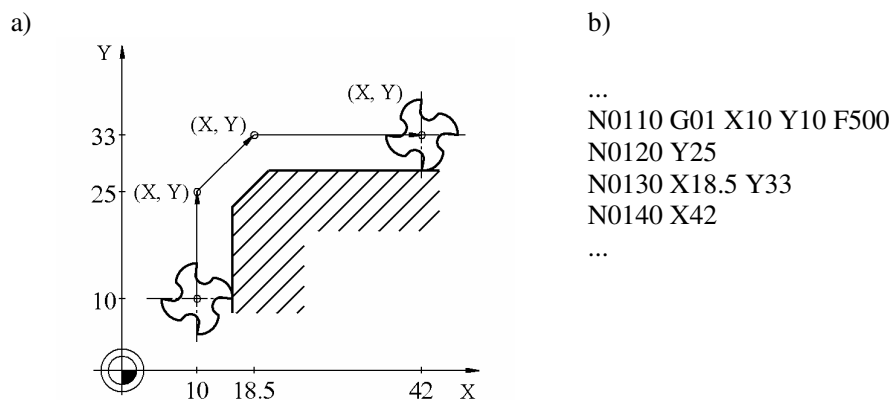
Funkcja modalna G00 wywołuje ruch szybki narzędzia. Wartość tego ruchu zależy od ustawień producenta obrabiarki oraz od ustawienia przełącznika redukcji prędkości na pulpicie obrabiarki. Funkcja ta wykorzystywana jest w celu szybkiego, bez obróbki, przemieszczenia narzędzia do określonego punktu. Zależnie od ustawień producenta układu sterowania i obrabiarki droga przemieszczania narzędzia z punktu początkowego do końcowego może być różna (rys. 2.2). Najczęściej narzędzie przemieszcza się po linii prostej 1, jednak czasami narzędzie może przemieszczać się po innej drodze np. tak jak linia 3. 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.



Rys. 2.2. Ruch szybki G00: a) schemat ruchu, b) zapis programu po drodze 2

2.4.2. Interpolacja liniowa z posuwem roboczym G01

Funkcja modalna G01 wywołuje ruch po linii prostej z posuwem roboczym (rys. 2.3). Oprócz współrzędnych końca ruchu, w tym bloku lub w którymś z poprzednich ruchów, powinna podana wartość posuwu roboczego. Ponieważ ten ruch w stosunku do ruchu szybkiego jest wolny, dlatego też powinien być używany tylko w czasie obróbki (styku narzędzia z przedmiotem) oraz przy dojściu i odejściu narzędzia od przedmiotu na niezbędną odległość (np. 2 mm od przedmiotu).



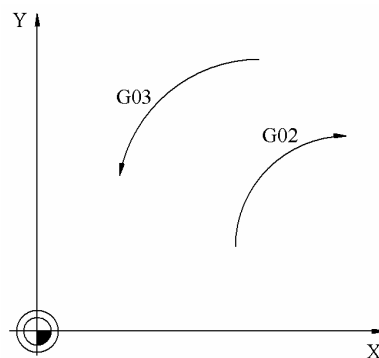
Rys. 2.3. Interpolacja liniowa G01: a) schemat, b) zapis programu

2.4.3. Interpolacja kołowa G02 i G03

Występują dwie funkcje modalne wywołania ruchu po linii łukowej G02 i G03. Funkcja G02 definiuje ruch zgodnie ze wskazówkami zegara (patrząc na płaszczyznę obróbki) natomiast funkcja G03 ruch przeciwny do ruchu wskazówek zegara (rys. 2.4).

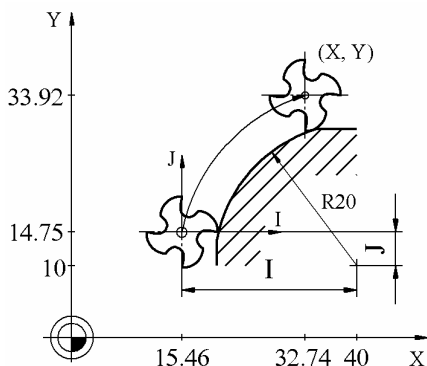
Ruch kołowy może być definiowany tylko w płaszczyźnie obróbki tzn. w płaszczyźnie X-Y (najczęściej) Y-Z lub Z-X (patrz definicja płaszczyzny obróbki).

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. 2.5).



Rys. 2.4. Funkcje interpolacji kołowej: G02 i G03

a)



b)

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

c)

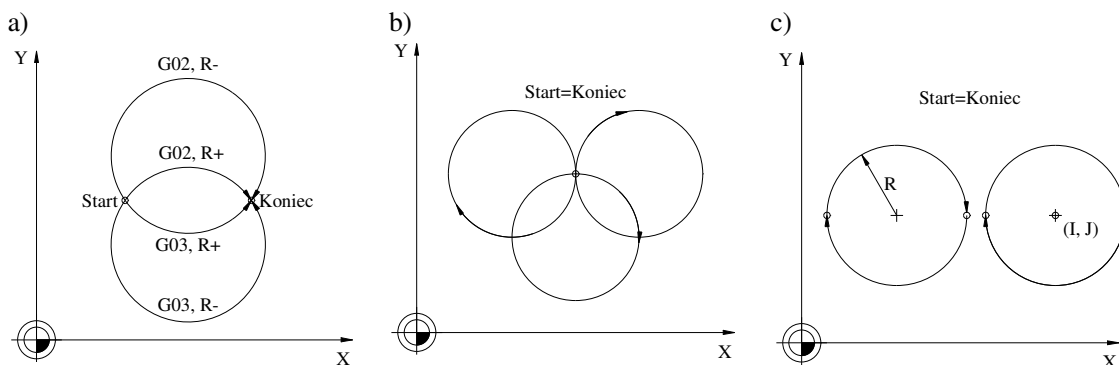
```
...
N0110 G01 X15.46 Y14.75 F500
N0120 G02 X32.74 Y33.92 R20
...
```

Rys. 2.5. Sposoby zapisu ruchu po linii łukowej: a) schemat, b) zapis z 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. 2.5a).

Funkcja ta jest najbardziej uniwersalną, przy jej pomocy można zdefiniować dowolny łuk. Wadą tego zapisu jest to, że dany łuku jest przewymiarowany, ponieważ znane są współrzędne początku, końca oraz środka łuku a obliczony promień łuku w punkcie początkowym i końcowym musi być taki sam.



Rys. 2.6. 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 określonym promieniu z punktu początkowego do punktu końcowego mogą występować 4 rozwiązania, dwa łuki zgodnie z ruchem wskazówek zegara i dwa łuki przeciwnie (rys. 2.6a). Dodatkowo dla łuku kołowego, gdzie kąt wewnętrzny jest mniejszy lub równy 180° , promień łuku podaje się ze znakiem „+” lub bez znaku natomiast, gdy kąt wewnętrzny jest większy niż 180° promień łuku podaje się ze znakiem „-”.

Szczególnym przypadkiem tego zapisu jest, gdy punkt początkowy pokrywa się z punktem końcowym, kąt wewnętrzny łuku wynosi 360° . Wówczas występuje nieskończenie wiele rozwiązań i taki zapis jest niejednoznaczny (rys. 2.6b). Aby poprawnie zapisać taki łuk należy wykorzystać zapis z parametrami I, J, K lub należy dany łuk rozbić na dwa łuki (rys. 2.6c).

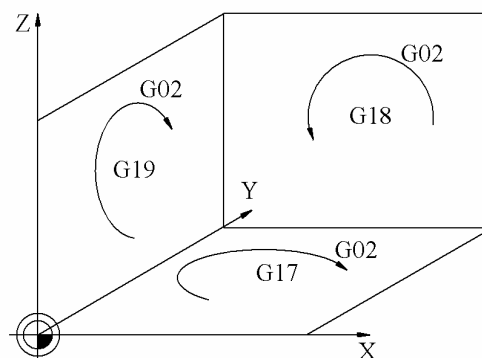
2.4.4. Wybór płaszczyzny interpolacji G17, G18, G19

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. 2.7):

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

Kierunek interpolacji kołowej (zgodnie lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara) określa się patrząc na 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) nawet, gdy nie jest wymagana.



Rys. 2.7. Płaszczyzny interpolacji

2.4.5. Wybór rodzaju jednostek G20, G21

Układ sterowania obrabiarki bardzo często może być programowany w dwóch rodzajach jednostek: metrycznym (mm) oraz angielskim (calach). W zapisie standardowym programu NC zmianę jednostek programowania dokonuje się specjalnymi funkcjami przygotowawczymi w pierwszym bloku programu zgodnie z tabelą.

Tabela 2.3. Rodzaje jednostek

Kod funkcji przygotowawczej	Typ jednostki	Jednostka	Najmniejsza wartość
G20	Angielskie (imperialne)	Cale (inch)	0.0001 cala
G21	Metryczne	Milimetry	0.001 mm

Rodzaj jednostek dotyczy następujących wartości:

- współrzędnych położenia narzędzia (X, Y, Z), promienia łuku (R), współrzędnych środka łuku (I, J, K)
- wartości posuwu (F)
- wartości przesunięć układu współrzędnych.

Korzystając z funkcji ustawiania i zmiany jednostek powinno się kierować następującymi uwagami:

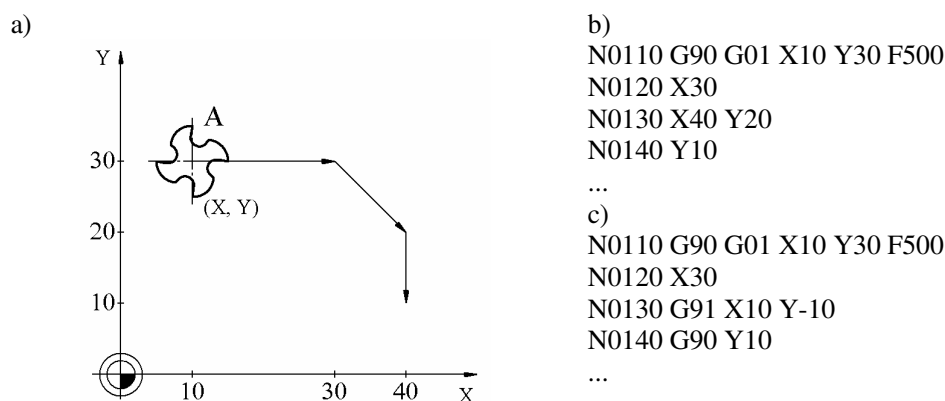
- najczęściej jeden rodzaj jednostek jest ustawiony domyślnie dla danego układu sterowania, jednak, gdy nie jesteśmy pewni, który powinniśmy umieścić odpowiedni kod w programie.
- nie powinno się zmieniać jednostek w czasie programu,
- wartości przesunięć układu współrzędnych (adresy G54 itd.) muszą być zgodne z ustawioną jednostką w programie,
- funkcje G20 i G21 są funkcjami modalnymi.

2.4.6. 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. 2.8):

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

2.5. 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 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 wcześnie 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.

Najczęściej we frezarkach prędkość posuwową podaje się w mm/min natomiast w tokarkach w mm/obr. W niektórych obrabiarkach, zwłaszcza w tokarkach (we frezarkach bardzo rzadko), istnieje możliwość zmiany jednostek poprzez specjalne modalne funkcje przygotowawcze:

G94 lub G98 – posuw na minutę

G95 lub G99 – posuw na obrót.

Funkcja G95 jest dostępna tylko wtedy, gdy na wrzecionie obrabiarki jest zamocowany przetwornik obrotowo-impulsowy, dlatego też przed jej użyciem należy sprawdzić w specyfikacji obrabiarki czy jest ta funkcja dostępna.

2.6. 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. 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.

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 również nie jest wymagane stosowanie funkcji M06. Jednak, gdy nie jesteśmy pewni czy możliwe jest pominięcie funkcji M06 w programach do frezarek, dlatego też powinniśmy stosować tą funkcję.

Bardzo ważnym zagadnieniem jest unikanie ewentualnych kolizji narzędzia z przedmiotem obrabianym w czasie wymiany narzędzia. W przypadku frezarek, w czasie wykonywania programu w trybie automatycznym, gdy układ sterowania odczyta w bloku programu funkcję 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.

2.7. Funkcje maszynowe M

2.7.1. Wprowadzenie

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 wywołująca 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 2.4 przedstawiono podstawowe funkcje maszynowe.

Tabela 2.4. 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 poszczególnych blokach programu najczęściej mogą występować maksymalnie dwie funkcje maszynowe, uruchamiające różne urządzenia, np. w jednej linii programu włączenie wrzeciona oraz chłodziwa.

2.7.2. 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.

2.7.3. 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.

2.7.4. Zmiana narzędzia M06

Fizyczną zmianę narzędzia wykonuje się funkcją M06. Natomiast określenie, które narzędzie 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 bezpieczną 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

2.7.5. 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 obrabiarce 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.

2.7.6. 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 obrabiarce 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).

3. Program symulacyjny Predator CNC Edytor

3.1. Wprowadzenie

Program Predator CNC Edytor jest programem do edycji oraz symulacji programów sterujących obrabiarek CNC. Dzięki temu programowi opracowane programy sterujące, przed przesłaniem do obrabiarki, mogą być sprawdzone, czy nie zawierają błędów, dzięki temu można wyeliminować liczbę produkowanych braków.

W programie Predator CNC Edytor możliwe jest definiowanie specyficznych danych, które na ogół wprowadza się do układu sterującego obrabiarki, dzięki temu jest on programem uniwersalnym, można w nim pisać programy na różne obrabiarki i różne układy sterujące.

Poza tym poprzez specjalny nagłówek programu sterującego możliwe jest definiowanie specyficznych danych obrabiarki i procesu obróbkowego takich jak: rodzaj i wymiary narzędzi, dane półfabrykatu oraz zamocowania, umiejscowienie układów współrzędnych.

3.2. Nagłówek programu

W celu przeprowadzenia graficznej symulacji obróbki należy w nagłówku programu zdefiniować obrabiarkę, półfabrykat, narzędzia oraz wartości kompensacji promienia narzędzia. Nagłówek programu rozpoczyna się wierszem:

```
(BEGIN PREDATOR NC HEADER)
```

a kończy wierszem:

```
(END PREDATOR NC HEADER)
```

Poszczególne wiersze nagłówka umieszczone są w nawiasach okrągłych, dzięki temu po przesłaniu tego programu do obrabiarki zostaną one potraktowane jako komentarz. Przykładowy nagłówek programu wygląda następująco:

(BEGIN PREDATOR NC HEADER)	;rozpoczęcie nagłówka
(MCH_FILE=3AXVMILL.MCH)	;definicja zbioru opisu obrabiarki
(MTOOL T01 S1 D5 H10)	;definicja narzędzia T01
(DIAM_OFFSET 1=2.5)	;definicja wartości kompensacji narzędzia T01
(MTOOL T02 S4 D3 A118 H10)	;definicja narzędzia T02
(SBOX X-50 Y-50 Z-50 L100 W100 H100)	;definicja półfabrykatu
(END PREDATOR NC HEADER)	;koniec nagłówka

3.3. Definicja obrabiarki

W celu przeprowadzenia poprawnej symulacji graficznej procesu obróbki należy w nagłówku programu wskazać plik definiujący daną obrabiarkę. Pliki definiujące obrabiarki mają rozszerzenie MCH i znajduje się w katalogu „.../Common Files/Machines” głównego katalogu programu Predator Software. Przykładowy wiersz definiujący obrabiarkę wygląda następująco:

```
(MCH_FILE=3AXVMILL.MCH)
```

gdzie: 3AXVMILL.MCH jest nazwą zbioru opisującego daną obrabiarkę.

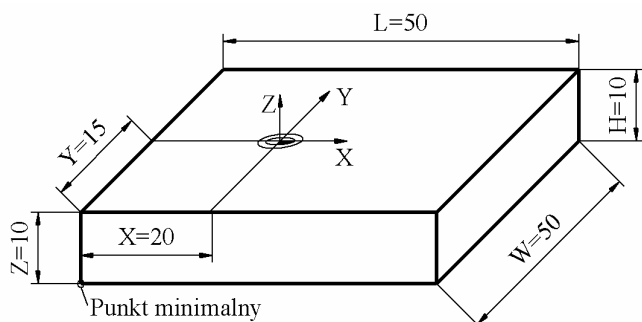
3.4. Definicja półfabrykatu

W programie Predator CNC Edytor możliwe jest zdefiniowanie regularnego półfabrykatu ,składającego się z sześciścianów i cylindrów, oraz półfabrykatu dowolnego w postaci pliku STL. Dany półfabrykat może składać się z wielu sześciścianów, cylindrów lub plików STL. Definicję półfabrykatu lub elementu półfabrykatu w postaci sześciścianu wykonuje się linią nagłówka (**Rys. 3.1**):

```
(SBOX X... Y... Z... L... W... H...)
```

gdzie: X, Y, Z – współrzędne punktu minimalnego półfabrykatu według przyjętego układu współrzędnych,

L, W, H – wymiary półfabrykatu.



(SBOX X-20 Y-15 Z-10 L50 W50 H10)

Rys. 3.1. Definicja półfabrykatu sześciennego

3.5. Definicja narzędzia

Narzędzie frezarskie definiuje się następującą linią nagłówka:

(MTOOL T... S... D... C... A... H... [SD... SH...])

gdzie: T – numer narzędzia, np.: T1, T2, T01 itd...

S – typ narzędzia zgodnie z tabelą

D – średnica narzędzia,

A – kąt ostrza,

C – promień zaokrąglenia naroża,

H – wysokość części roboczej,

SD – średnica części mocującej - niewymagalne,

SH – wysokość części mocującej - niewymagalne.

Zestawienie dostępnych kształtów narzędzi frezarskich oraz wymagane ich wymiary przedstawiono w Tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Typy narzędzi frezarskich

S1 frez walcowy 	S2 frez promieniowy 	S3 frez torusowy 	S4 wiertło 	S5 frez kształtowy
S6 frez kulisty 	S7 frez kształtowy 	S8 frez kształtowy 	S9 frez stożkowy promieniowy 	S10 frez stożkowy torusowy