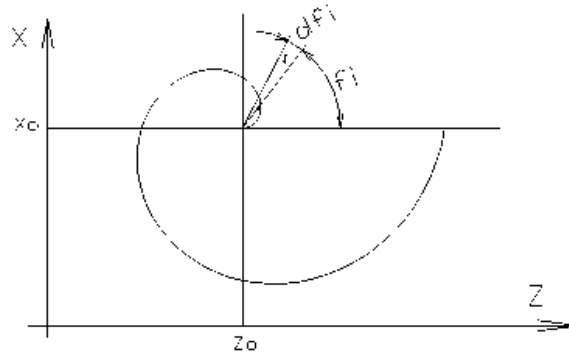


## **00. PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA JĘZYKA CL800**

Poniżej przedstawiono szereg przykładów obrazujących możliwości programowania parametrycznego układu CNC SINUMERIK 810T. Część przykładów zaawansowanych technik programowania, wykorzystujących działania na parametrach, funkcje matematyczne, instrukcje organizujące kolejność przetwarzania danych (pętle, skoki, rozgałęzienia, instrukcje warunkowe itp., zostanie pokazana na przykładach generowania krzywych opisanych analitycznie. Przykłady takie choć praktycznie reprezentują operacje frezarskie (np. grawerowanie), mogą być testowane i sprawdzane w warunkach laboratorium ITM PS poprzez symulację graficzną na monitorze układu sterowania. Przykłady dotyczące wałków mogą być zarówno symulowane graficznie jak i testowane poprzez obserwację ruchów narzędzia (bez mocowania przedmiotu) a następnie obróbkę wałka w metalu.

### Przykład 1.

Symulacja toru narzędzia wzdłuż spirali Archimedesesa (rys. ...) w zakresie jednego obrotu promienia spirali, czyli dla kąta obrotu promienia wodzącego  $\varphi \in [0^\circ, 360^\circ]$  (rys. ).



Rys. Pojedynczy zwój spirali Archimedesesa

Opracowanie programu sterującego powinno być poprzedzone analizą matematyczną geometrii toru narzędzia oraz opracowaniem algorytmu jego działania. Udokumentowanie tych etapów ułatwi wprowadzanie w przyszłości zmian w programie, które mogą być dokonywane na przykład przez technologów nie będących autorami programu. Kolejne etapy zadania zostaną opracowane w następujących punktach.

#### 1. Równania parametryczne spirali Archimedesesa w płaszczyźnie X-Z

$$r = C\varphi$$

$$x = r \sin \varphi + x_0$$

$$z = r \cos \varphi + z_0$$

gdzie:

$x_0$  - przesunięcie początku spirali w osi x,

$z_0$  - przesunięcie początku spirali w osi z,

C - stała,

$\varphi$  - kąt bieżący,

r - promień wodzący,

x - współrzędna x bieżącego punktu,

z - współrzędna z bieżącego punktu.

Dzięki przesunięciu początku spirali ( $x_0, z_0$ ) współrzędne wszystkich punktów toru narzędzia będą miały wartości dodatnie. Umożliwia to obserwację całego toru narzędzia podczas symulacji graficznej. Na monitorze CNC SINUMERIK 810T można bowiem oglądać tor narzędzia dla którego współrzędne X są większe od zera (współrzędne Z mogą mieć wartości zarówno dodatnie jak i ujemne).

#### 2. Algorytm programu

Algorytm programu można opracować graficznie lub zapisać w postaci "pseudokodu" stanowiącego zestawienie wzorów, pętli programowych, przyporządkowanie symbolom matematycznym parametrów R i innych wyjaśnień. Ułatwia to napisanie właściwego programu

$x_0=100 \Rightarrow R1$	<i>podstaw wartość 100 pod parametr R1</i>
$z_0=100 \Rightarrow R2$	<i>podstaw wartość 100 pod parametr R2</i>
$C=0.1 \Rightarrow R3$	<i>podstaw wartość 0.1 pod parametr R3</i>
$\Delta\varphi=10 \Rightarrow R4$	<i>podstaw wartość 10 pod parametr R4 (zmiana kąta bieżącego)</i>
$\varphi_p=0 \Rightarrow R5$	<i>podstaw wartość 0 pod parametr R5 (początkowy kąt spirali)</i>
$\varphi_k=360 \Rightarrow R6$	<i>podstaw wartość 360 pod parametr R6 (końcowy kąt spirali)</i>
$\varphi=\varphi_p \Rightarrow R7$	<i>ustaw wartość początkową kąta bieżącego (czyli <math>R7=0</math>)</i>
N100 WHILE $\varphi \leq \varphi_k$ K200	<i>początek pętli: DOPÓKI <math>\varphi \leq \varphi_k</math> wykonuj następujące bloki</i>
	<i>w przeciwnym razie skocz do bloku N200</i>
$r=C*\varphi$	<i>oblicz bieżący promień spirali</i>
$x=r*\sin \varphi + x_0$	<i>oblicz współrzędną X punktu bieżącego</i>
$z = r * \cos \varphi + z_0$	<i>oblicz współrzędną Z punktu bieżącego</i>
wykonaj ruch narzędzia na obliczone współrzędne (X, Z),	
$\varphi = \varphi + \Delta\varphi$	<i>powiększ kąt bieżący</i>
skocz do bloku N100	
N200 M30	<i>koniec programu</i>

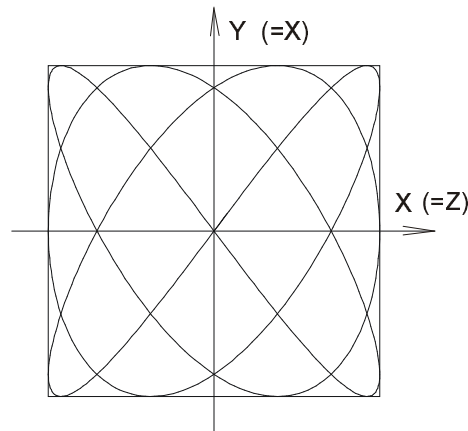
%123	
N5 G90 S400 M03	(ustawienie parametrów pracy obrabiarki)
N15 G54 G71 G95	
N20 T1 D1	
R1=100 R2=100 R3=0.1	(podstawienie parametrów zadania)
R4=10 R5=0 R6=360	
R7=R5	(ustawienie początkowej wartości kąta bieżącego)
N100 @136 R7 R6 K200	(pętla WHILE; dopóki $R7 \leq R6$ wykonuj pętlę)
R8=R3*R7	(obliczenie wartości promienia bieżącego)
@630 R9 R7	(obliczenie funkcji sinus: $R9 = \sin R7$ )
@631 R10 R7	(obliczenie funkcji cosinus: $R10 = \cos R7$ )
R11=R8*R9+R1	(obliczenie współrzędnej X punktu bieżącego)
R12=R8*R10+R2	(obliczenie współrzędnej Z punktu bieżącego)
G1 X=R11 Z=R12 F0.3	(ruch roboczy narzędzia z interpolacją liniową)
R7=R7+R4	(powiększenie kąta bieżącego R7 o wartość R4)
@100 K-100	(skok bezwarunkowy - powrót do bloku 100)
N200 M30	(koniec programu)

## Przykład 2.

Symulacja ruchu narzędzia po krzywych Lissajous zdefiniowanych parametrycznie.

1. Krzywe Lissajous powstają w wyniku złożenia dwóch ruchów drgających w kierunkach wzajemnie prostopadłych o częstościach kołowych  $p\omega$  i  $q\omega$ , gdzie  $p$  i  $q$  są liczbami całkowitymi:

$$\begin{aligned}x &= A_1 \sin(p\omega t + \varphi_1) \\ y &= A_2 \sin(q\omega t + \varphi_2)\end{aligned}$$



Rys. Krzywa Lissajout dla  $p=3$ ,  $q=4$ ,  $A_1=A_2$

Krzywe są wpisane w prostokąt, którego środek pokrywa się z początkiem układu współrzędnych. Boki prostokąta są równoległe do osi  $0X$  i  $0Y$  i położone są po ich obu stronach w odległościach równych odpowiednio  $A_1$  i  $A_2$ . Stosunek częstości drgań  $p\omega$  i  $q\omega$  jest równy stosunkowi liczby punktów styku krzywej Lissajous z dwoma bokami prostokąta mającymi wspólny wierzchołek czyli bokami równoległymi odpowiednio do osi  $0Y$  i  $0X$ . Poniżej przedstawiono szczegółowo wyjaśniony program sterujący. Zaleca się aby czytelnik po analizie programu odtworzył jego algorytm wzorując się częściowo na przykładzie nr 1.

## 2. Program sterujący

N5 G90 S400 M03

*(ustawienie parametrów pracy obrabiarki)*

N15 G54 G71 G94

N20 T1 D1 F300

R1=75

*(amplituda  $A_1$ )*

R2=50

*(amplituda  $A_2$ )*

R3=1

*(wartość  $p$ )*

R4=3

*(wartość  $q$ )*

R5=1

*(wartość  $\omega$ )*

R6=90

*(wartość kąta  $\varphi_1$ )*

R7=0

*(wartość kąta  $\varphi_2$ )*

R8=0

*(wartość początkowa parametru  $t=t_1$ )*

R9=360	(wartość końcowa parametru $t=t_2$ )
R10=0.5	(przyrost parametru $\Delta t$ )
R11=R8	(chwilowa wartość parametru $t$ )
R20=360	(parametr pomocniczy)
R29=360	(parametr pomocniczy)
N50 @136 R11 R9 K400	(wykonuj instrukcje wewnątrz pętli dopóki $t \leq t_2$ )
N60 R12=R3*R5*R11+R6	(obliczenie wartości nawiasu $R12=(p\omega t + \varphi_1)$ )
N70 @125 R12 R20 K100	(jeżeli wartość $(p\omega t + \varphi_1) \geq 360$ skocz do N100)
N80 @630 R30 R12	(obliczenie wartości funkcji sinus)
N90 R16=R30*R1	(mnożenia przez amplitudę $R16=A_1 \cdot \sin(p\omega t + \varphi_1)$ )
N95 @100 K200	(skok do bloku N200)
N100 R13=R12/R29	(dzielenie wartości w nawiasie przez 360)
N110 @622 R13	(obliczenie części całkowitej)
N120 R14=R13*R29	(mnożenie części całkowitej przez 360))
N130 R15=R12-R14	(wynik R14 zostaje odjęty od wartości nawiasu R12)
N150 @630 R30 R15	(wartość f. sinus ze „zredukowanego” kąta R15)
N160 R16=R30*R1	(mnożenie przez amplitudę $R16=A_1 \cdot \sin(p\omega t + \varphi_1)$ )
N200 R17=R4*R5*R11+R7	(obliczenie wartości nawiasu $R17=(q\omega t + \varphi_2)$ )
N220 @125 R17 R20 K250	(jeżeli wartość $(q\omega t + \varphi_2) \geq 360$ skocz do N250)
N230 @630 R31 R17	(obliczenie wartości funkcji sinus)
N240 R18=R31*R2	(mnożenia przez amplitudę $R18=A_2 \cdot \sin(q\omega t + \varphi_2)$ )
N245 @100 K300	(skok do bloku N300)
N250 R19=R17/R29	(dzielenie wartości w nawiasie przez 360)
N260 @622 R19	(obliczenie części całkowitej)
N270 R21=R19*R29	(mnożenie części całkowitej przez 360))
N280 R22=R17-R21	(wynik R21 zostaje odjęty od wartości nawiasu R17)
N290 @630 R31 R22	(wartość f. sinus ze „zredukowanego” kąta R22)
N295 R18=R31*R2	(mnożenia przez amplitudę $R18=A_2 \cdot \sin(q\omega t + \varphi_2)$ )
N300 G01 X=R16+90 Z=R18+190	(ruch na obliczone współrzędne + przesunięcie)
N310 R11=R11+R10	(do parametru $t$ zostaje dodany przyrost $\Delta t$ )
N320 @100 K-50	(powrót do bloku N50)
N400 M30	(zakończenie programu)

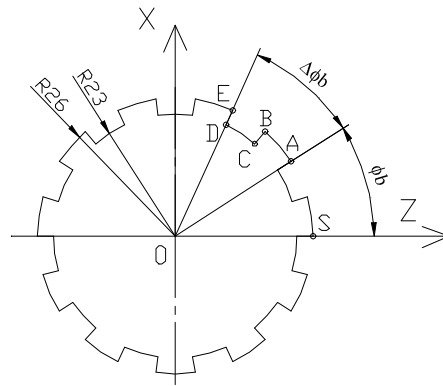
### Przykład 3

Zaprogramować ruch narzędzia po zewnętrznym zarysie znaku „logo Politechniki Szczecińskiej” (rys. 1a).

a)



b)



Rys... Logo Politechniki Szczecińskiej

Na rys. ...b przedstawiono zarys będący przedmiotem zadania. Powtarzający się fragment zarysu składa się z odcinków prostych i łuków (ABCDE). Fragment ten narysowano w miejscu określonym przez kąt bieżący  $\phi_b$ . Kąt bieżący będzie się zmieniał od wartości 0 stopni do kąta pełnego ze skokiem  $\Delta\phi_b$  odpowiadającym kątowi środkowemu powtarzającego się fragmentu. Szczegółowe wyjaśnienia podano w kolejnych punktach zadania.

#### 1. Specyfikacja danych oraz odpowiadających im parametrów

Liczba zębów:  $n=11 \Rightarrow R1,$

Promień wewnętrzny:  $r=23 \Rightarrow R2,$

Promień zewnętrzny:  $R=26 \Rightarrow R3,$

Kąt początkowy:  $\phi_p=0^\circ \Rightarrow R4,$

Kąt końcowy:  $\phi_k=360^\circ \Rightarrow R5,$

Przyrost kąta środkowego odpowiadającego podziałce koła:

$$\Delta\phi_b=360^\circ/n \Rightarrow R6,$$

Kąt środkowy odpowiadający połowie podziałki koła:

$$\Delta\phi=\Delta\phi_b/2 \Rightarrow R7=R6/2$$

Kąt bieżący:  $\phi_b \Rightarrow R8$

#### 2. Uproszczony algorytm programu

1. Zapisz funkcje rozpoczynające program (G90, G94, T..., D..., S..., M...)
2. Podstaw dane, oblicz parametry: R1, R2, R3, R4, R5,  $R6=360/R1$ ,  $R7=R6/2$ .
3. Ustaw początkową wartość kąta bieżącego:  $\phi_b=\phi_p$
4. Pozycjonuj narzędzie w punkcie początkowym S.
5. Blok N30 - początkowy blok pętli programowej z warunkiem:

*Jeżeli  $\phi_b < \phi_k$  wykonaj blok następny, w przeciwnym razie skocz do bloku N90*

6. Oblicz współrzędne punktów B, C, D, E:

$$X_B = R * \sin(\phi_b + \Delta\phi), \quad Z_B = R * \cos(\phi_b + \Delta\phi)$$

$$X_C = r * \sin(\phi_b + \Delta\phi), \quad Z_C = r * \cos(\phi_b + \Delta\phi)$$

$$X_D = r * \sin(\phi_b + \Delta\phi_b), \quad Z_D = r * \cos(\phi_b + \Delta\phi_b)$$

$$X_E = R * \sin(\phi_b + \Delta\phi_b), \quad Z_E = R * \cos(\phi_b + \Delta\phi_b)$$

W pierwszym przebiegu pętli punkt A pokrywa się z punktem S.

7. Wykonaj ruchy robocze wzdłuż czterech elementów geometrycznych:

*luk AB → odcinek BC → luk CD → odcinek DE*

8. Powiększ kąt bieżący:  $\phi_b = \phi_b + \Delta\phi_b$

9. Powrót do bloku N30 (punkt 5).

10. Blok N90 - blok w którym narzędzie zostanie odsunięte od przedmiotu.

11. Zakończ program (M30).

### 3. Program sterujący

W programie sterującym zostanie wprowadzonych kilka pomocniczych parametrów R w celu obliczenia funkcji trygonometrycznych oraz współrzędnych punktów. Wyjaśnienia poszczególnych bloków programu umieszczono w nawiasach.

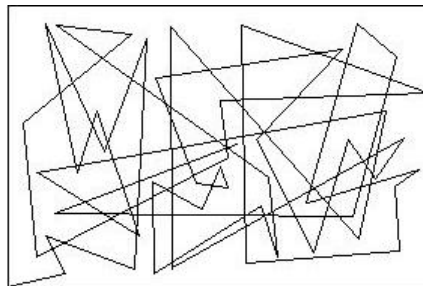
N10 G90 G95 T1 D1 S1000 M3	<i>(blok z funkcjami rozpoczynającymi program)</i>
R1=11 R2=23 R3=26 R4=0	<i>(podstawienie parametrów R z danymi programu)</i>
R5=360 R6=360/R1 R7=R6/2	
R8=R4	<i>(kąt bieżący ustawiony na wartość początkową)</i>
N20 G0 X0 Z=R3	<i>(ruch narzędzia do punktu początkowego)</i>
N30 @151 R8 R5 K90	<i>(początek pętli: jeżeli <math>\phi_b &lt; \phi_k</math> wykonaj blok następny...)</i>
R9=R8+R7	<i>(kąt środkowy od osi Z do punktu B)</i>
R10=R8+R6	<i>(kąt środkowy od osi Z do punktu E)</i>
@630 R11 R9	<i>(obliczenie funkcji <math>\sin(\phi_b + \Delta\phi)</math>)</i>
@631 R12 R9	<i>(obliczenie funkcji <math>\cos(\phi_b + \Delta\phi)</math>)</i>
@630 R13 R10	<i>(obliczenie funkcji <math>\sin(\phi_b + \Delta\phi_b)</math>)</i>
@631 R14 R10	<i>(obliczenie funkcji <math>\cos(\phi_b + \Delta\phi_b)</math>)</i>
R20=R3*R11 R21=R3*R12	<i>(obliczenie współrzędnych: <math>X_B, Z_B</math>)</i>
R22=R2*R11 R23=R2*R12	<i>(obliczenie współrzędnych: <math>X_C, Z_C</math>)</i>
R24=R2*R13 R25=R2*R14	<i>(obliczenie współrzędnych: <math>X_D, Z_D</math>)</i>
R26=R3*R13 R27=R3*R14	<i>(obliczenie współrzędnych: <math>X_E, Z_E</math>)</i>
N40 G3 X=R20 Z=R21 B=R3 F0.5	<i>(ruch po łuku AB)</i>
N50 G1 X=R22 Z=R23	<i>(ruch wzdłuż odcinka BC)</i>
N60 G3 X=R24 Z=R24 B=R2	<i>(ruch po łuku CD)</i>
N70 G1 X=R26 Z=R25	<i>(ruch wzdłuż odcinka DE)</i>
R8=R8+R6	<i>(powiększenie kąta bieżącego: <math>\phi_b = \phi_b + \Delta\phi_b</math>)</i>
@100 K-30	<i>(powrót do bloku N30 (początek pętli))</i>
N90 G0 X0 Z0	<i>(odsunięcie narzędzia od poza obrys znaku)</i>
N100 M30	<i>(koniec programu)</i>

Należy zwrócić uwagę, że kąt końcowy  $R5=359.999$  przyjęto nieznacznie mniejszy od kąta pełnego. Błąd spowodowany takim zapisem na ogół nie ma istotnego znaczenia dla zapewnienia dokładności wykonania przedmiotu, kompensowane są jedynie błędy kolejnego dodawania przyrostów kąta  $\Delta\phi_b$  w pętli. W efekcie nie dopuszcza się do przekroczenia wartości  $360^0$  stanowiącej argument funkcji trygonometrycznej. Wymaganie takie jest bowiem stawiane przez układ CNC SINUMERIK. Wystąpienie tego zjawiska w konkretnym przypadku najlepiej sprawdzić poprzez testowanie programu bezpośrednio na układzie sterowania.



### Przykład 3

Wygenerować na monitorze układu CNC ruchy chaotyczne (współrzędne punktów zwrotnych są liczbami pseudolosowymi jak na rys. \_\_)



Rys. \_\_ Ruchy chaotyczne

Przed wykonaniem kolejnego ruchu narzędzia należy wygenerować pseudolosowe współrzędne X, Z w przyjętym obszarze roboczym. Ponieważ układ CNC SINUMERIK nie ma wbudowanego generatora liczb losowych, należy generator taki umieścić w programie sterującym obrabiarki. Przyjęto generator programowy oparty na rekurencyjnym liczeniu reszt z dzielenia dwóch liczb - wartości tzw. funkcji „modulo”. Do obliczania współrzędnych X, Z wykorzystano następujące wzory:

$$x = 171 \cdot \text{mod}(x, 177) - 2 \cdot (x/177)$$

$$z = 172 \cdot \text{mod}(z, 176) - 35 \cdot (z/176)$$

gdzie:

$\text{mod}(a,b)$  - funkcja „modulo”, którą rozpisuje się w następujący sposób:

$$\text{mod}(a,b) = a - [ \text{„całość z” } (a/b) ] \cdot b$$

Do każdej generowanej liczby x, z zastosowano zabezpieczenie przed generowaniem liczb ujemnych stosując następujące instrukcje warunkowe:

Jeżeli  $x < 0$  to  $x = x + 30296$  w przeciwnym razie skocz do bloku nr ...

Jeżeli  $z < 0$  to  $z = z + 30307$  w przeciwnym razie skocz do bloku nr ...

W generatorze nie zadeklarowano zmiennych początkowych (x, z), dzięki temu przy każdym uruchomieniu programu generowane są inne ciągi liczb (inny obraz drogi narzędzia na monitorze). Generowane liczby są skalowane do wielkości przyjętego zakresu obszaru roboczego (0, 350). W przedstawionym niżej programie ograniczono liczbę generowanych punktów do 100.

N5 G90 S355 M03

*(ustawienie parametrów pracy obrabiarki)*

N10 G54 G71 G94

N20 T1 D1

R1=1

*(inicjowanie licznika generowanych punktów)*

R2=100

*(ustalenie liczby generowanych punktów)*

R40=0

N100 @136 R1 R2 K300

*(dopóki  $R1 \leq R2$  wykonuj instrukcje wewnątrz pętli)*

R10=R3/177

*(początek obliczeń wg wzoru  $x = \dots$ )*

R13=R10

@622 R10

*(obliczenie całości z R10)*

R11=R10\*177

R12=R3-R11

*( $\text{mod}(R3, 177)$ )*

R14=2\*R13

R3=171*R12-R14	(generowanie współrzędnej „X“)
N140 @135 R3 R40 K150	(jeżeli $R3 < 0$ wykonaj instrukcję następną)
R3=R3+30269	
@100 K-140	(powrót do bloku N140)
N150 R15=R3/100	(skalowanie współrzędnej „X“)
N170 R21=R20/176	(początek generowania zmiennej „Z“)
R22=R21	
@622 R21	(obliczenie całości z R21)
R23=R21*176	
R24-R20-R23	( $\text{mod}(R3, 176)$ )
R25=35*R22	
R20=172*R24-R25	(koniec generowania współrzędnej „Z“)
N190 @135 R20 R40 K200	(jeżeli $R20 < 0$ wykonaj instrukcję następną)
R20=R20+30307	
@100 K-190	(powrót do bloku N190)
N200 R30=R20/100	(skalowanie współrzędnej „Z“)
N240 G1 X=R15 Z=R30 F300	
R1=R1+1	
@100 K-100	(powrót do bloku N100)
N300 M30	(koniec programu)

## Literatura

1. Bednarek M., Borowski J., Dworczyk M., Wąs A.: *Obrabiarki sterowane numerycznie*. Warszawa, WNT 1986.
2. Boguś Z.: *Numeryczne sterowanie obrabiarek*. Politechnika Gdańska 1987.
3. Kosmol J.: *Programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
4. Marciniak K., Putz B., Wojciechowski J.: *Obróbka powierzchni krzywoliniowych na frezarkach sterowanych numerycznie*. Warszawa, WNT 1988.
5. Shah R.: *Sterowanie numeryczne obrabiarek*. Poradnik. Warszawa, WNT 1975.
6. Stach B.: *Podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie*. WSiP, Warszawa 1999.
7. *Podstawy obróbki CNC*. (tłumaczenia materiałów firmy MTS). Wydawnictwo REA s.j. Warszawa 1999.
8. Pritschow G.: *Technika sterowania obrabiarkami i robotami przemysłowymi*. - Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
9. *Programowanie obrabiarek CNC*. Tomy: frezowanie, toczenie. (tłumaczenia materiałów firmy MTS), Wydawnictwo REA s.j. Warszawa 1999.
10. Weiss Z.: *Programowanie zorientowane warsztatowo*. Mechanik 1992 nr 7, str. 215-218
12. Weiss Z., Konieczny R., Rojek M., Stępiak D.: *Projektowanie technologii maszyn w systemach CAD/CAM*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.
13. PN-73/M-55256 Obrabiarki do metali. Kodowanie funkcji przygotowawczych G i funkcji pomocniczych M dla obrabiarek sterowanych numerycznie.
14. PN-93/M-55251 Maszyny sterowane numerycznie. Osie współrzędnych i zwroty ruchów. Nazwy i określenia.