

*parametryzacja programu obróbkowego, HEIDENHAIN, OSN, funkcje warunkowe, cykle obróbkowe
parameterization of machining programs, HEIDENHAIN, CNC, conditional functions, machining cycles*

Leszek SEMOTIUK¹
Jerzy JÓZWIK¹
Ivan KURIC²
Michał LELEŃ³

PARAMETRYZACJA TECHNOLOGICZNYCH PROGRAMÓW OBRÓBKOWYCH W SYSTEMIE HEIDENHAIN TNC620

Niniejszy artykuł prezentuje sposoby parametryzacji programów obróbkowych w systemie HEIDENHAIN TNC620. Pokazuje 3 przypadki parametryzacji. Parametryzację programu sterującego w oparciu o geometrię przedmiotu obrabianego, parametryzację podczas obróbki przedmiotów o budowie segmentowej oraz parametryzację wykorzystującą funkcje warunkowe oraz zależności matematyczne.

PARAMETERISATION OF CUTTING TECHNOLOGY PROGRAMS IN HEIDENHAIN TNC 620 SYSTEM

This article presents methods for parameterization of machining programs in the HEIDENHAIN TNC620 system. In the paper three methods of parameterisation are presented: parameterization of geometric features, parameterization of the modular objects and parameterization using mathematical and conditional functions.

1. WSTĘP

Charakterystyczną cechą procesu wytwarzania różnorodnych asortymentowo partii wyrobów jest obecnie przechodzenie z produkcji masowej na produkcję małoseryjną i jednostkową. Współcześnie nie wytwarza się części na tzw. „półkę”. Praktycznie każda produkcja jest produkcją na zamówienie. Podyktowane jest to oczywiście wymaganiami współczesnego rynku, ale sprzyja temu także szybki rozwój technologii i duża konkurencja na rynku. Taki elastyczny proces produkcji zapewniają między innymi obrabiarki sterowane numerycznie CNC. Stanowią one obecnie zdecydowanie największą grupę obrabiarek w wielu przedsiębiorstwach zajmujących się wytwarzaniem elementów maszyn oraz narzędzi [11, 13-16,18].

Głównym problemem związanym z wykorzystaniem tego typu obrabiarek jest oczywiście napisanie odpowiedniego programu sterującego pracą obrabiarek [1, 2]. Opracowywane są przeróżne metody wspomagania wytwarzania oraz integracji procesów konstruowania i wytwarzania funkcyjnych zespołów maszyn z zastosowaniem złożonych obiektów elementarnych [3, 4-6, 17-19, 22, 23]. W literaturze [2, 7-10, 24-27] prezentowane są również różne sposoby optymalizacji, weryfikacji i symulacji procesów obróbki skrawaniem z użyciem systemów CAD/CAM/CAE. Także nowoczesne systemy sterowania zapewniają duże wsparcie w pracy programisty – technologa. Mogą być wyposażone w specjalne graficzne interfejsy wspomagające proces programowania obrabiarki [21]. Oprócz wspomagania programowania klasycznych definicji konturów czy też cykli obróbkowych, niektóre z nich posiadają również inne możliwości [12, 21]. Jedną z nich jest możliwość parametryzacji procesu programowania [20-21]. Najczęściej tą funkcjonalność systemu wykorzystuje się w przypadku programowania procesu obróbki części o podobnej strukturze geometrycznej, różniące się wymiarami charakterystycznymi. Jednakże sam proces parametryzacji może być wykorzystany w zupełnie inny sposób [12, 21]. Prezentowany artykuł ma na celu scharakteryzowanie istoty parametryzacji procesu programowania obrabiarek CNC z systemem sterowania HEIDENHAIN TNC620 i jej „automatyzacji”.

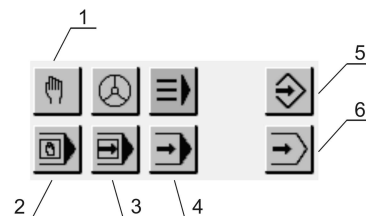
¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, 20-618 Lublin, Poland, ul. Nadbystrzycka 36, l.semotiuk@pollub.pl, j.jozwik@pollub.pl

² University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems, Univerzitná Street 1,010-26 Žilina, Slovakia, e-mail: ivan.kuric@fstroj.utc.sk

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, 20-618 Lublin, Poland, ul. Nadbystrzycka 36, Koto Naukowe Podstaw Inżynierii Produkcji, lelen.michal@gmail.com

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU STEROWANIA HEIDENHAIN TNC620

System sterowania HEIDENHAIN TNC620 umożliwia pracę w różnych trybach do których należą: tryb pracy ręcznej, tryb MDI, tryb wykonania programu pojedynczymi blokami, tryb automatycznego wykonania programu, tryb programowania oraz tryb testu programu. Na rysunku 1 zaprezentowano przyciski funkcyjne decydujące o wyborze trybu pracy obrabiarki w systemie sterowania HEIDENHAIN TNC620.



Rys. 1. Przyciski funkcyjne decydujące o wyborze trybu pracy obrabiarki w systemie sterowania HEIDENHAIN TNC620

Proces programowania odbywa się oczywiście w trybie programowania (rys. 1 (5)) natomiast wizualizacja przebiegu obróbki widoczna jest w trybie testu programu (rys 1 (6)). Podczas opisu geometrii programista może wykorzystać odpowiednie funkcje programu typu L (interpolacja liniowa), RND (zaokrąglenia) czy też C (interpolacja kołowa). Tego typu funkcje wykorzystuje się przeważnie do opisu nieregularnych konturów czyli tam, gdzie nie można wykorzystać cykli programowania dostępnych w systemie a opisujących obróbkę typowych geometrii takich jak kieszeń prostokątna, okrągła itp. Jeżeli jest to możliwe to programista wykorzystuje do definiowania poszczególnych zabiegów obróbkowych wyżej wspomniane cykle obróbkowe. System HEIDENHAIN ma bardzo charakterystyczną budowę cyklu obróbkowego. Taki cykl definiowany jest jako zbiór parametrów Q. Lista dostępnych parametrów typu Q wyświetlanych w oknie informacyjnym systemu obejmuje parametry od Q0 do Q1999. Instrukcja producenta definiuje poszczególne grupy Q-parametrów jako [12, 21]:

- Q0 do Q99 – grupa dowolnie wykorzystywanych parametrów działających modalnie dla danego programu. Należy jednak uważać, ponieważ parametry z tego zakresu wykorzystywane są również przez SL cykle,
- Q100 do Q199 – grupa parametrów dla funkcji specjalnych TNC,
- Q200 do Q1399 – grupa parametrów wykorzystywanych przede wszystkim przez cykle, działają globalnie dla wszystkich znajdujących się w pamięci programów,
- Q1400 do Q1499 – grupa parametrów wykorzystywanych przede wszystkim dla cykli call-aktywnych (CYCL CALL) producenta, działające globalnie dla wszystkich znajdujących się w pamięci TNC programów,
- Q1500 do Q1599 – grupa parametrów wykorzystywanych przede wszystkim dla cykli def-aktywnych (CYCL DEF), działających globalnie dla wszystkich znajdujących się w pamięci TNC programów,
- Q1600 do Q1999 – grupa dowolnie używalny parametrów.

Przykładowa struktura cyklu pokazana została na rysunku 2. Cykl zbudowany jest z ciągu parametrów typu Q. Definiują one zarówno geometrię obrabianego elementu, płaszczyzny bezpieczeństwa jak i parametry samego procesu skrawania.

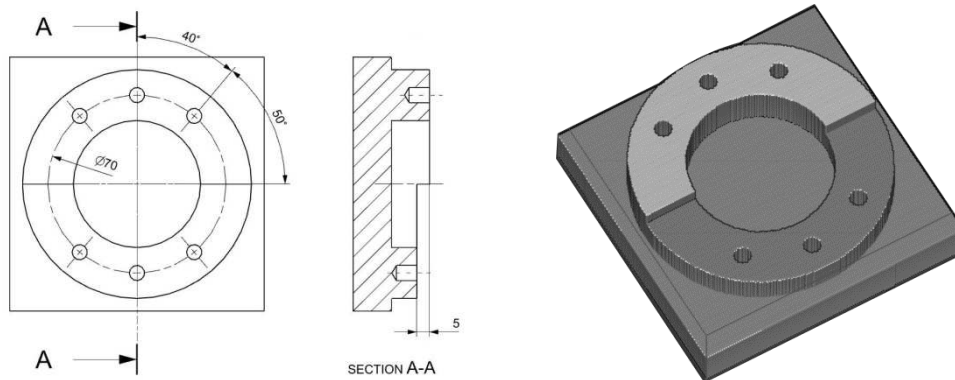
```

7 CYCL DEF 256 CZOP PROSTOKATNY
Q218=+86 ;DLUG. 1-SZEJ STRONY
Q424=+100 ;SREDNICA WST.OBR.WYB
Q219=+66 ;DLUG. 2-GIEJ STRONY
Q425=+80 ;SREDNICA WST.OBR.WYB
Q220=+0 ;PROMIEN NAROZA
Q368=+0.5 ;NADDATEK NA STRONE
Q224=+0 ;KAT OBROTU
Q367=+0 ;POLOZENIE KIESZENI
Q207= AUTO ;POSUW FREZOWANIA
Q351=+1 ;RODZAJ FREZOWANIA
Q201=-5 ;GLEBOKOSC
Q202=+2.5 ;GLEBOKOSC DOSUWU
Q206=+300 ;WARTOSC POSUWU WGL.
Q200=+5 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC
Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ.
Q204=+50 ;2-GA BEZPIECZNA WYS.
Q370=+0.75 ;ZACHODZENIE TOROW

```

Rys. 2. Przykładowa struktura cyklu w systemie HEIDENHAIN TNC620

Wykorzystanie Q-parametrów w strukturze programu obróbkowego daje wiele możliwości. W zasadzie można stwierdzić, że taka struktura programu jest już strukturą parametryczną. Pozwala to na parametryzację całego procesu obróbki bez definiowania innych zmiennych programowych. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu funkcji M89/M99. Funkcja M89 wywołuje ostatnio zdefiniowany cykl modalnie w bloku programu. Funkcja M99 odwołuje modalne wywołanie ostatnio zdefiniowanego cyklu obróbkowego. Prosty przykład zmiany jednego parametru Q będącego składową cyklu wiercenia pokazano na poniższym przykładzie (rys. 3).



Rys. 3. Wykorzystanie jednego cyklu wiercenia w systemie HEIDENHAIN do wiercenia otworów na dwóch różnych poziomach obróbkowych

Zadaniem programisty było wykorzystanie jednego cyklu wiercenia do wykonania otworów na różnych poziomach obróbkowych. Jednym z parametrów cyklu wiercenia a jednocześnie wywołania cyklu w szablonie kołowym jest parametr Q203. Cykl wiercenia 200 wykorzystany został do opisu zabiegu obróbkowego natomiast cykl 220 do wykonania pierwszych 3 otworów usytuowanych na górnej powierzchni przedmiotu w szablonie kołowym. Zmiana parametru Q203 na wartość równą Q203=-5 pozwoliła na wywołanie obróbki otworu funkcją M89, którego pozycję zdefiniowano we współrzędnych biegunowych (bloki 26 - 30, rys 4). Funkcja M99 odwołała modalne wywołanie ostatnio zdefiniowanego cyklu za pomocą M89. To zadanie można byłoby oczywiście rozwiązać inaczej. Konieczne by było zdefiniowanie dodatkowego szyku kołowego obróbki otworów. Jeżeli jednak proces obróbkowy wymagałby zmiany parametrów skrawania, to w tym przypadku wygodniej byłoby zastosować zmianę jednego parametru Q co ograniczyłoby konieczność definiowania kolejnego cyklu obróbkowego.

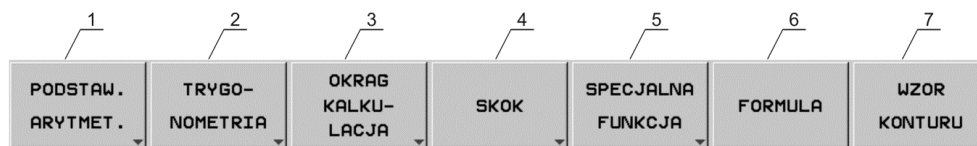
```

24 CYCL DEF 200 WIERCENIE
  Q200=+5 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC
  Q201=-10 ;GLEBOKOSC
  Q206=+150 ;WARTOSC POSUMU WGL.
  Q202=+5 ;GLEBOKOSC DOSUMU
  Q210=+0 ;PRZER. CZAS.NA GORZE
  Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ.
  Q204=+30 ;2-GA BEZPIECZNA WYS.
  Q211=+0 ;PRZERWA CZAS. DNIE
25 CYCL DEF 220 SZABLON KOLOWY
  Q216=+0 ;SRODEK W 1-SZEJ OSI
  Q217=+0 ;SRODEK W 2-SZEJ OSI
  Q244=+70 ;SREDNICA PODZ.OKREGU
  Q245=+50 ;KAT POCZATKOWY
  Q246=+360 ;KAT KONCOWY
  Q247=+40 ;KATOWY PRZYROST-KROK
  Q241=+3 ;LICZBA POWTORZEN
  Q200=+5 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC
  Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ.
  Q204=+50 ;2-GA BEZPIECZNA WYS.
  Q301=+1 ;ODJAZD NA BEZP.WYS.
  Q365=+1 ;RODZAJ PRZEMIESZCZ.
26 FN 0: Q203 =-5
27 CC X+0 Y+0
28 LP PR+35 PA-50 F AUTO M3 M89
29 LP PR+35 PA-90
30 LP PR+35 PA-130 M99
31 TOOL CALL 0
32 STOP M30

```

Rys. 4. Fragment struktury programu do obróbki otworów na różnych poziomach definiowanych za pomocą parametru Q203

Oprócz możliwości parametryzacji procesu wytwarzania za pomocą parametrów użytych w strukturze cykli, TNC620 daje inne możliwości parametryzacji struktury programu obróbkowego. Wszystkie funkcje, które można wykorzystać w opisywanym przypadku zamieszczone zostały w dolnym menu systemu (dolny pasek z przyciskami softkeys) a aktywuje się je po naciśnięciu funkcji Q (rys. 5).



Rys. 5. Przyciski softkeys wykorzystywane do parametryzacji procesu wytwarzania w systemie TNC620

Sterowanie Heidenhain TNC620 umożliwia wprowadzanie Q - parametrów za pomocą 7 grup funkcyjnych, do których należą (rys. 5) [12,21]:

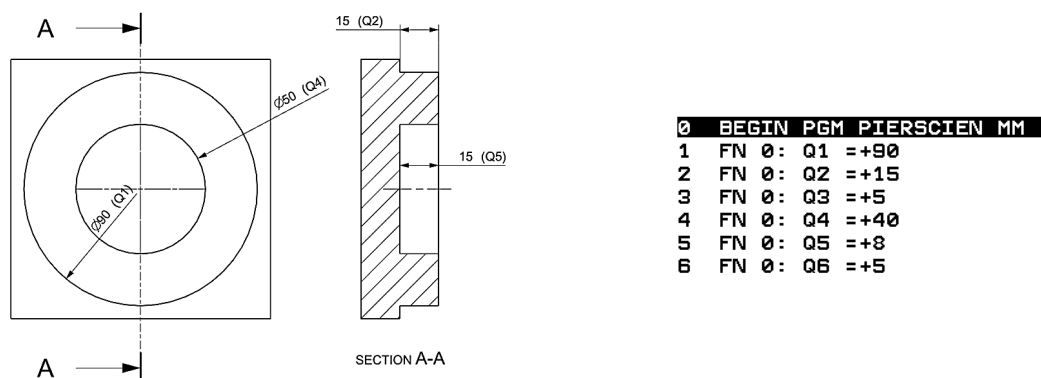
- grupa opisująca podstawowe funkcje matematyczne,
- grupa opisująca funkcje trygonometryczne,
- grupa pozwalająca na definiowanie środka okręgu na podstawie współrzędnych środków otworów leżących na jego obwodzie,
- grupa funkcji warunkowych typu IF (jeżeli), EQU (równy), NE (nierówny), GT (większy niż), LT (mniejszy niż) oraz GOTO (idź do),
- grupa funkcji pozwalających na generowanie komunikatów o błędach, komunikatów tekstowych, przekazywanie informacji bezpośrednio do sterownika PLC czy też definiowanie własnych cykli obróbkowych,
- grupa funkcji pozwalających na wprowadzanie wzorów matematycznych wiążących ze sobą parametry Q,
- funkcja pozwalająca na obróbkę obszarów zdefiniowanych za pomocą konturów na zasadzie sumy czy też różnicy zbiorów.

Możliwości parametryzacji w systemie TNC620 są bardzo duże, dlatego też niemożliwe jest opisanie wszystkich możliwych przypadków parametryzacji w niniejszym artykule, a jedynie zwrócenie uwagi czytelnika na wybrane spośród wielu. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną tylko 3 przykłady parametryzacji zależnej i niezależnej.

3. PARAMETRYZACJA PROGRAMÓW OBRÓBKOWYCH

3.1. Parametryzacja geometrii obrabianego przedmiotu

Na rysunku 6 zaprezentowano przykładową część, której geometrię można sparametryzować za pomocą Q – parametrów. Ten typ parametryzacji można określić jako parametryzację niezależną, ponieważ wszystkie definiowane zmienne nie są ze sobą powiązane. Program obróbkowy zawiera zdefiniowanych 6 parametrów opisujących niektóre elementy geometryczne oraz technologiczne.

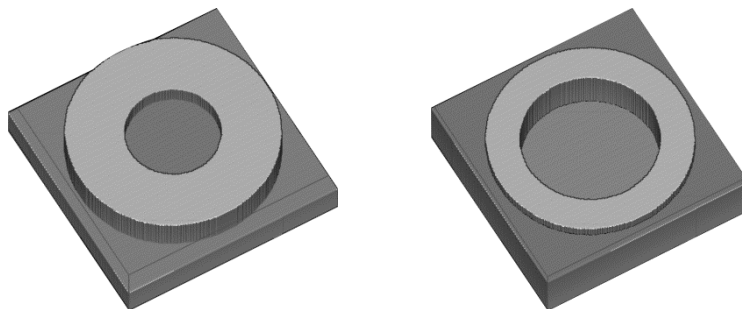


Rys. 6. Przykład parametryzacji wymiarów geometrycznych obrabianego przedmiotu. Poszczególne zdefiniowane zmienne 2 oznaczają: Q1 - średnica zewnętrzna czopa, Q2 - wysokość czopa, Q3 - definicja głębokości skrawania w osi Z (a_p) podczas obróbki czopa, Q4 - średnica kieszeni okrągłej, Q5 - głębokość kieszeni, Q6 - definicja głębokości skrawania w osi Z (a_p) podczas obróbki kieszeni

Do obróbki czopa wykorzystano cykl 257 a do obróbki kieszeni cykl 252. Struktura cykli pokazana została na rysunku 7. Do odpowiednich parametrów Q przyporządkowano zdefiniowane na początku programu zmienne widoczne na rysunku 6. Nas rysunku 8 przedstawiono wizualizację efektu obróbki dla dwóch różnych przypadków obróbki przedmiotu po zmianie wartości zdefiniowanych zmiennych programowych.

<pre> 14 CYCL_DEF 257 CZOP OKRAGLY Q223=+Q1 ;SRED.WYBR.OBR.NA GOT Q222=+120 ;SREDNICA UST.OBR.WYB Q368=+0 ;NADDATEK NA STRONE Q207= AUTO ;POSUW FREZOWANIA Q351=+1 ;RODZAJ FREZOWANIA Q201=-Q2 ;GLEBOKOSC Q202=+Q3 ;GLEBOKOSC DOSUWU Q206=+300 ;WARTOSC POSUWU WGL. Q200=+5 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ. Q204=+50 ;2-GA BEZPIECZNA WYS. Q370=+1.25 ;ZACHODZENIE TOROW </pre>	<pre> 16 CYCL_DEF 252 WYBRANIE KOLOWE Q215=+0 ;RODZAJ OBRODKI Q223=+Q4 ;SREDNICA OKREGU Q368=+0 ;NADDATEK NA STRONE Q207= AUTO ;POSUW FREZOWANIA Q351=+1 ;RODZAJ FREZOWANIA Q201=-Q5 ;GLEBOKOSC Q202=+Q6 ;GLEBOKOSC DOSUWU Q368=+0 ;NADDATEK NA DNIE Q206=+300 ;WARTOSC POSUWU WGL. Q338=+0 ;PLNGG. DEPTH FINISH Q200=+5 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ Q204=+30 ;2-GA BEZPIECZNA WYS Q370=+1.25 ;ZACHODZENIE TOROW Q366=+1 ;ZAGLEBIANIE Q385=+500 ;POSUW OBR.WYKAN. </pre>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Rys. 7. Struktura cykli obróbkowych po wprowadzeniu zmiennych programowych

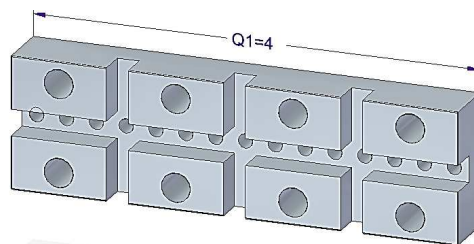


Rys. 8. Przykłady wizualizacji procesu obróbki w systemie TNC620 dla dwóch różnych wartości zmiennych programowych

Wizualizacja procesu obróbki pokazuje zmianę frezowanych średnic kieszeni i czopa oraz zmianę głębokości elementów geometrycznych przedmiotu obrabianego.

3.2. Parametryzacja geometrii obrabianego przedmiotu o strukturze modułowej

Przykładem parametryzacji programu obróbkowego może być również przypadek, w którym zadaniem programisty jest opracowanie programu obróbkowego dla przedmiotów mających budowę modułową czyli składa-

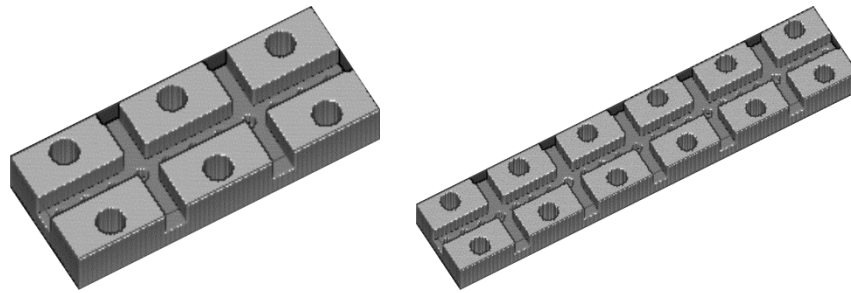


Rys. 9. Przykład przedmiotu o budowie modułowej

<pre> 0 BEGIN PGM PROJADNICA MM 1 FN 0: Q1 =+3 2 TOOL CALL 9 Z S3000 F100 3 Q10 = 80 * Q1 - 15 4 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40 5 BLK FORM 0.2 X+Q10 Y+90 Z+0 6 L X+0 Y+0 Z+10 R0 FMAX M13 7 L X-20 Y+45 8 L Z-20 9 FN 3: Q2 =+Q1 * +80 10 L X+Q2 11 L Z+20 12 TOOL CALL 5 Z S200 F100 13 L X+0 Y+0 Z+10 FMAX M13 14 Q5 = 4 * Q1 - 1 </pre>	<pre> 16 CYCL_DEF 221 SZABLON LINIOWY Q225=+12.5 ;PKT.STARTU 1SZEJ OSI Q226=+45 ;PKT.STARTU 2GIEJ OSI Q237=+20 ;ODSTEP W 1-SZEJ OSI Q238=+8 ;ODSTEP W 2-GIEJ OSI Q242=+Q5 ;LICZBA KOLUMN Q243=+1 ;LICZBA WIERSZY Q224=+0 ;KAT OBROTU Q200=+2 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC Q203=+20 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ. Q204=+50 ;2-GA BEZPIECZNA WYS. Q301=+1 ;ODJAZD NA BEZP.WYS. </pre>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Rys. 10. Fragment struktury programu z zaznaczonymi blokami zawierającymi zmienne parametry Q

jących się z identycznych powtarzających się sekcji zdefiniowanych w rozpatrywanym przypadku parametrem Q1 (rys. 9).



Rys. 11. Wizualizacja obróbki w systemie TNC części o budowie segmentowej, ilość segmentów zdefiniowana została za pomocą parametru Q1: a) Q1 = 3, b) Q1 = 6

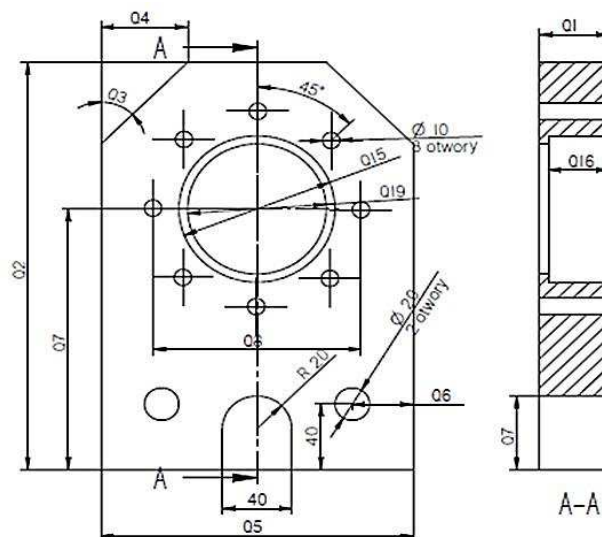
Struktura fragmentu programu przedstawiona została na rysunku 10. Program obróbkowy w swojej strukturze zawiera kilka zdefiniowanych zmiennych oraz prostych zależności matematycznych wiążących zmienne programowe z geometrią przedmiotu obrabianego. Poniżej zestawiono niezbędne zmienne zawarte w strukturze programu obróbkowego. Na rysunku 11 przedstawiono przykłady obróbki elementu dla Q1=3 oraz Q1 =6 gdzie:

- Q1 – liczba powtarzających się sekcji przedmiotu obrabianego,
- Q10 – określenie długości wyświetlanego przedmiotu w trybie wizualizacji definiowanego w BLK FORM,
- Q2 – długość frezowanego rowka środkowego,
- Q5 – definicja ilości wykonanych otworów umieszczonych na dnie rowka środkowego,
- Q6 – definicja ilości otworów umieszczonych na powierzchni przedmiotu (wzdłuż osi X),
- Q7 – definicja ilości rowków poprzecznych (wzdłuż osi Y).

Parametry Q5, Q6 i Q7 wykorzystane zostały do określenia ilości poszczególnych elementów w strukturze programu definiowanych za pomocą szyku liniowego.

3. PARAMETRYZACJA ZŁOŻONEJ STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM FUNKCJI WARUNKOWYCH

Przykład złożonej parametryzacji programu obróbkowego z wykorzystaniem funkcji warunkowych pokazany zostanie na przykładzie przedmiotu zamieszczonego na rysunku 12. Na rysunku 12 zaprezentowano też wszystkie parametry zdefiniowane w programie jako parametry zmienne (na rysunku 13 widoczne w strukturze programu).



Rys. 12. Przykład przedmiotu obrabianego, którego geometria opisana została z zastosowaniem zmiennych parametrów Q

W strukturze programu opisano zmienne definiujące niektóre parametry geometryczne obrabianego przedmiotu. Wybrano tylko te, które umożliwią wyznaczenie kolejnych niezbędnych do opisu obrabianego konturu poprzez zastosowanie funkcji matematycznych dostępnych w systemie TNC. Wielkość załamania konturu

przedmiotu opisaną parametrem Q4 będzie zależna od kąta pochylenia opisanego parametrem Q3. Wysokość opisywanego konturu oznaczono jako Q2. Podczas pisania programu do obróbki konturu zewnętrznego współrzędne punktu końca krawędzi pionowej lewego boku wyznaczono jako $Q22 = Q2 - Q4$. W tym wypadku założono, że $Q3 = 45^\circ$. Istnieje również inne rozwiązanie gdy $Q3 \neq 45^\circ$. Należałoby wówczas długości fazy zdefiniować poprzez dwie niezależne zmienne Q. Mimo że faza jest w tym przypadku symetryczna, to jednak zmienna długość Q4 wymusza obliczenie długości ścieżki narzędzia w przypadku obróbki fazy. Wykorzystano tutaj funkcję FN8 pozwalającą na obliczenie długości boku w trójkącie prostokątnym (FN8: Q4 LEN Q4). Pozwoliło to zaprogramować obróbkę tego elementu we współrzędnych biegunowych. Fragment programu opisujący obróbkę fazy będzie wyglądał następująco:

- `26 CC IX+0 IY+0` definicja położenia bieguna we współrzędnych przyrostowych
- `27 FN8: Q30=+Q4 LEN +Q4` obliczenie długości fazy
- `28 LP PR+Q30 PA +Q3` długość fazy zdefiniowana za pomocą współrzędnych biegunowych

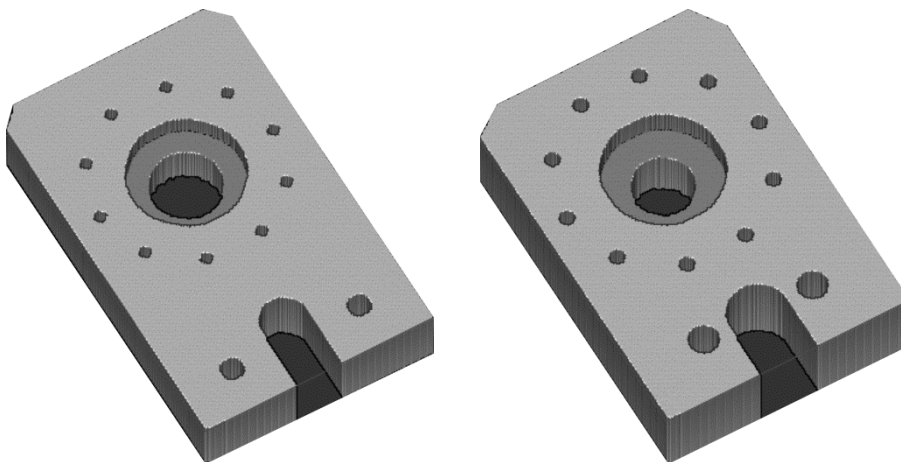
Inny problemem do rozwiązania jest zdefiniowanie ilości poziomów obróbkowych podczas obróbki konturów w osi Z (zgodnie z założoną głębokością skrawania a_p). Opis konturu można zdefiniować jako podprogram (LBL) a następnie wywołać go funkcją CYCL CALL ze zdefiniowaną ilością powtórzeń REP przy założeniu, że zjazd narzędzia wzdłuż osi Z zdefiniowany zostanie przyrostowo. W tym przypadku zdecydowano się na inne rozwiązanie. Wprowadzono zmienną Q50 = +0 oraz Q52 jako głębokość skrawania wzdłuż osi Z (a_p) oraz zdefiniowano wartość zmiennej jako FN1: Q50 = +Q50 + Q55. Następnie opisano geometrię obrabianego konturu zewnętrznego w podprogramie LBL1 oraz wykorzystano funkcję warunkową FN12: IF +Q50 LT +Q1 GOTO LBL 1. Jeżeli głębokość zdefiniowana przez funkcję FN1 jest mniejsza od wysokości obrabianego konturu to program wykonuje kolejne przejście zaczynając od LBL 1 i zagłębiając narzędzie wzdłuż osi Z (a_p) o zdefiniowaną wartość Q55 (rys. 13).

```

21 LBL 1
22 FN 1: Q50 =+Q50 + +Q52
23 L Z-Q50
24 APPR CT X+0 Y+0 CCA50 R+40 RL
    F100 M13
25 L Y+Q22
26 CC IX+0 IY+0
27 FN 8: Q30 =+Q4 LEN +Q4
28 LP PR+Q30 PA+Q3
29 Q97 = Q5 - Z * Q4
30 L IX+Q97
31 CC IX+0 IY+0
32 Q31 = Q3 + - 90
33 LP PR+Q30 PA+Q31
34 L IY-Q2
35 L X+0 Y+0
36 DEP CT CCA30 R+40
37 FN 12: IF +Q50 LT +Q1 GOTO LBL 1
1 FN 0: Q2 =+350
2 FN 0: Q3 =+45
3 FN 0: Q4 =+20
4 FN 0: Q5 =+220
5 FN 0: Q6 =+50
6 FN 0: Q1 =+60
7 FN 0: Q7 =+100
8 FN 0: Q8 =+165
9 FN 0: Q9 =+10
10 FN 0: Q52 =+10
11 FN 0: Q50 =+0
12 FN 0: Q15 =+100
13 FN 0: Q16 =+20
14 FN 0: Q19 =+60

```

Rys. 13. Struktura programu z widocznymi zaprogramowanymi zmiennymi oraz funkcją warunkującą podział poziomów obróbkowych podczas obróbki konturu zewnętrznego



Rys. 14. Wizualizacja obróbki w systemie TNC części sparametryzowanej z zastosowaniem funkcji warunkowych

Możliwość wprowadzenia funkcji matematycznych daje możliwość ograniczenia ilości zmiennych użytych w programie. Przykładowo definiując $Q11$ jako $Q11 = Q5/2$ można wyznaczyć położenie środka kieszeni kołowej w połowie długości przedmiotu obrabianego przy założeniu, że wcześniej zdefiniowano długość przedmiotu jako $Q5$. Postępując podobnie wyznaczono inne punkty charakterystyczne definiowanej geometrii przedmiotu obrabianego. Takie postępowanie umożliwia parametryzację struktury geometrycznej zależnej od niewielu wartości zmiennych. Na rysunku 14 przedstawiono wyniki z przebiegu testu programu dla dwóch różnych przypadków definicji zmiennych znajdujących się w początkowej części programu (rys. 13).

Wizualizacja procesu obróbki (rys. 14) pokazuje między innymi widoczną zmianę średnic frezowanych kieszeni, zmianę średnicy rozstawienia otworów oraz zmianę wymiarów rowka.

4. WNIOSKI

System HEIDENHAIN TNC620 posiada wiele możliwości parametryzacji programów sterujących obrabiarką CNC. Struktura sparametryzowanego programu zależy właściwie tylko od pomysłowości technologa. Tego typu parametryzacja umożliwia skrócenie czasu przygotowania procesu technologicznego szczególnie w przypadku, gdy obrabiane są części o podobnej strukturze geometrycznej charakteryzującej się zmiennością wymiarów niektórych elementów geometrii przedmiotu. Do zalet stosowania parametryzacji programów obróbkowych należało by zaliczyć:

1. Możliwość definicji zmiennych niezależnych opisujących strukturę geometryczną obrabianego przedmiotu oraz parametry skrawania co pokazano w pierwszym omawianym przypadku.
2. Istnieje również możliwość parametryzacji programów obróbkowych wykorzystywanych do obróbki przedmiotów o budowie segmentowej. Omawiany przykład pokazał, że można powiązać parametry geometryczne zależne tylko od jednego parametru, który definiuje liczbę sekcji obrabianego przedmiotu. Tego typu parametryzacja pozwala na znaczne ograniczenie ilości wykorzystywanych programów obróbkowych i znaczne skrócenie czasu przygotowania procesu technologicznego.
3. Istnieje możliwość zastosowania parametryzacji zależnej, wiążącej wiele zmiennych zdefiniowanych w programie obróbkowym. Powiązanie zdefiniowanych zmiennych może nastąpić na drodze wprowadzenia odpowiednich zależności matematycznych lub zastosowanie funkcji warunkowych co pokazano w trzecim omawianym przypadku parametryzacji programów obróbkowych.

Należy jednak pamiętać, że stosowanie parametryzacji może być w pewnym stopniu ograniczone. Do ograniczeń można zaliczyć:

1. Możliwość wystąpienia niezgodności wymiarowo kształtowych wymuszających zmianę technologii. Np. zbyt duże zmniejszenie promienia zaokrąglenia kieszeni wewnętrznej może wymusić zmianę średnicy zastosowanego narzędzia. Tego typu przypadków można zapewne przytoczyć znacznie więcej. Mogą więc zaistnieć sytuacje, w których znaczna zmiana geometrii wymusi zmianę stosowanych narzędzi, parametrów skrawania a czasami też zmianę strategii obróbki. Jednakże wychwycenie tego typu sytuacji jest proste. Pozwala na to symulacja procesu obróbki oraz zgłaszane komunikaty przez system sterowania.
2. Drugim poważnym ograniczeniem może być złożona struktura programu. Technolog powinien sporządzić odpowiednią dokumentację, która opisywać będzie wprowadzone zmienne i przyporządkowywać je do odpowiednich parametrów struktury geometrycznej. W takiej dokumentacji powinny znaleźć się również zdefiniowane zależności matematyczne opisujące powiązania poszczególnych zmiennych zdefiniowanych w programie obróbkowym. Tylko w ten sposób operator obrabiarki będzie mógł odszukać odpowiednią zmienną i przyporządkować jej zadaną wartość liczbową.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Al-Ahmari A. M. A.: *Predictive machinability models for a selected hard material in turning operations*, Journal of Materials Processing Technology, 190, 305-311, 2007.
- [2] Baek D. K., Ko T. J., Kim H. S.: *Optimization of feed rate in a face milling operation using a surface roughness model*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 41, 451-462, 2001.
- [3] Baier A.: *Metody integracji procesów konstruowania i wytwarzania funkcyjnych zespołów maszyn z zastosowaniem złożonych obiektów elementarnych*, Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2006.
- [4] Boyle I., Rong Y., Brown D. C.: *A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 27, 1-12, 2011.
- [5] Chlebus E., Krot K., Kuliberda M.: *Regułowo – hierarchiczna reprezentacja wiedzy w planowaniu procesów technologicznych*, (http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2009/020_Chlebus_Krot_Kuliberda.pdf)
- [6] Chlebus M.: *Techniki komputerowe Cax w inżynierii produkcji*. WNT, 2000.
- [7] Davim J. P., Antonio C. A. C.: *Optimization of cutting conditions in machining of aluminium matrix composites using a numerical and experimental model*, Journal of Materials Processing Technology, 112, 78-82, 2001.

- [8] Dong J. Y., Ferrerra P. M., Stori J. A.: *Feed-rate optimization with jerk constraints for generating minimum-time trajectories*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 1941-1955, 2007.
- [9] Feld M.: *Projektowanie i automatyzacja procesów technologicznych typowych części maszyn*. WNT, 2003.
- [10] Feng H. Y., Su N.L. *Integrated tool path and feed rate optimization for the finishing machining of 3D plane surfaces*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 40, 1557-1572, 2000.
- [11] *Future Vision Innovation Realization*, Research and Development at the Production Technology Center, Berlin, 2007.
- [12] *Instrukcja obsługi dla operatora. Dialog tekstem otwartym HEIDENHAIN TNC 620*, DR. Johannes Heidenhain GmbH 2/2010.
- [13] Józwick J. (red.), *Advanced technologies in Production Engineering*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2009.
- [14] Józwick J. (red.) i in.: *Postęp w technikach wytwarzania i konstrukcji maszyn*. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2005.
- [15] Józwick J., *Innowacyjna technologia w innowacyjnym przedsiębiorstwie branży mechanicznej*. Pod redakcją Doroty Jegorow, Andrzeja Nieduzaka: *Wpływ sektora B+R na wzrost konkurencyjności polskiej gospodarki poprzez rozwój innowacji*, Tom 3, Chełm, 2012, s.110-127.
- [16] Knosala R.: *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*. WNT, 2002.
- [17] Lee K., *Principles of CAD/CAM/CAE systems*. Addison-Wesley, 1999.
- [18] Marciniak M.: *Elementy automatyzacji we współczesnych procesach wytwórczych*. Oficyna Wydawnicza PW, 2007.
- [19] Miecielica M., Wiśniewski W., *Komputerowe wspomaganie projektowania procesów technologicznych*. PWN, 2005.
- [20] Morek R., *Symulacyjna weryfikacja programu obróbki*, Inżynieria Maszyn, R. 17, z. 2, 2012.
- [21] *Podręcznik obsługi dla operatora. Programowanie cykli. TNC 620*, DR. Johannes Heidenhain GmbH 2/2010.
- [22] Przybyłaski W., Deja M.: *Komputerowo wspomagane wytwarzanie maszyn. Podstawy i zastosowanie*. WNT, 2007.
- [23] Rudawska A., Józwick J., Łukaszewicz A.: *Designing the technological process in T-FLEX software environment*. CADMD'2010, October 14-16, 2010, Lviv, Ukraine.
- [24] Włodarczyk M., Józwick J.: *Zaawansowane metody integracji weryfikacji i symulacji procesów obróbki skrawaniem z użyciem systemów CAD/CAM/CAE na przykładzie NX6*. 11th International Conference „Automation in Production Planning and Manufacturing“, Zilina, 2010.
- [25] Włodarczyk M., Józwick J.: *Metodyka obróbki wirnika turbiny z wykorzystaniem systemu CAD/CAM/CAE NX8.5*, 14th International Conference „Automation in Production Planning and Manufacturing“, Zilina 2013, Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. 20013.
- [26] Włodarczyk, M., Józwick, J., Jacniacka, E., Piesko, P.: *Automatyzacja konstruowania narzędzi specjalnych z wykorzystaniem środowisk CAD/CAM/CAE*. 10th International Conference „Automation in Production Planning and Manufacturing“ Zilina, 2009, Slovakia, Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. 2009.
- [27] Zhang G. P., Huang Y. M., Shi W. H., Fu W. P.: *Predicting dynamic behaviours of a whole machine tool structure based on computer-aided engineering*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, 699-706, 2003.