

STANDARD STEP W PROCESACH INTEGRACJI I ROZWOJU KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW INŻYNIERSKICH CZ. II. WYBRANE ZASTOSOWANIA INŻYNIERSKIE STANDARDU STEP

Standard STEP process integration and development of computer systems engineering Part II. Selected applications engineering standard STEP

Jerzy STAMIROWSKI

Streszczenie: Integracja informacyjna jest istotnym elementem automatyzacji procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji. Prowadzone w ISO prace doprowadziły do opracowania standardu ISO 10303 STEP, ujednolicającego model informacyjny wyrobu i tworzącego warunki do informacyjnej integracji procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji. W artykule przedstawiono wybrane zastosowania inżynierskie standardu STEP w obszarze technicznego przygotowania produkcji i wytwarzania.

Słowa kluczowe: integracja, cykl życia wyrobu, automatyzacja, standard STEP, zastosowanie

Abstract: The integration of information is an essential element of the process automation of design and engineering. Conducted in ISO work led to the development of ISO 10303 STEP harmonizing the information model of the product and creating conditions for the integration of information processes designed and technical preparation of production. The article presents the selected application engineering STEP standard in the field of technical preparation of production and manufacturing.

Keywords: integration, product life cycle, automation, standard STEP application

Wprowadzenie

Standard STEP w pierwszej kolejności kojarzony jest z usprawnieniem wymiany informacji przez wprowadzenie jednolitej struktury danych, opisującej własności i strukturę wyrobu. Osią opisu są generowane przez większość systemów CAD pliki z danymi w języku EXPRESS [7], [11]. Strukturę tę można traktować również jako strukturę niezależną i samodzielną, stanowiącą dane wejściowe, przetwarzane zgodnie z potrzebami użytkownika przez różne procedury cyklu życia wyrobu. Mogą to być procedury: systemów automatyzacji projektowania generacyjnych procesów technologicznych obróbki, procesów technologicznych montażu, projektowania elastycznych systemów wytwarzania, projektowania systemów montażu, programowaniu obróbki na obrabiarki CNC i gospodarki narzędziowej. Wykorzystanie standardu STEP w komputerowych systemach inżynierskich jest coraz większe i z pewnością korzystnie wpływa na czas uruchomienia produkcji i jakość produkowanych wyrobów. Przedstawione niżej syntetycznie, wybrane przypadki zastosowań, wskazują jedynie możliwości standardu STEP.

STEP w procesach wymiany danych

Za podstawową zaletę standardu STEP w procesach wymiany danych uważane jest ograniczenie liczby post i preprocesorów, konwertujących formaty plików

wyjściowych i wejściowych, współpracujących systemów cyklu życia wyrobu (rys. 1). Tak zorganizowana wymiana jest przejrzysta, mniej zawodna i bardziej efektywna.

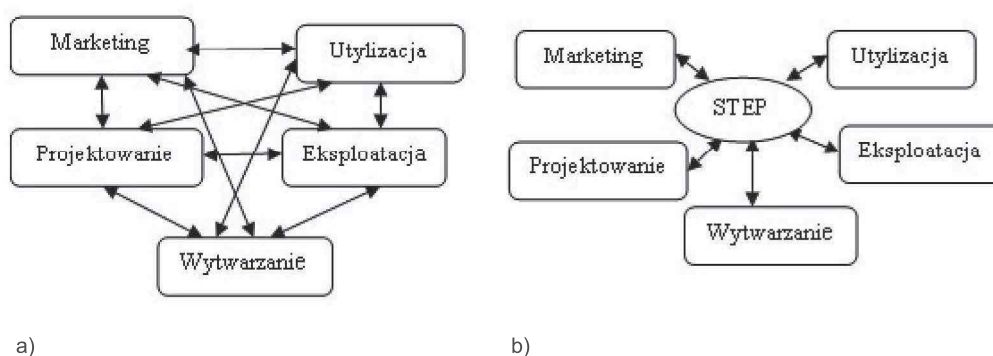
Aktualne systemy PDM (Product Data Management), organizujące wymianę danych pomiędzy systemami inżynierskimi zapewniają zaawansowane zarządzanie konfiguracją, strukturą produktu i tworzeniem wersji. Oferują zaawansowane prezentowanie modeli i danych inżynierskich, grupują pliki i dokumenty związane z konkretną wersją produktu, umożliwiają przeglądanie i raportowanie.

Systemy PDM wytwarzane są przez wyspecjalizowane firmy np. Windchill i coraz częściej przez firmy wytwarzające systemy CAD, które poszerzają możliwości swoich systemów o funkcję PDM np. SOLIDWORKS PDM [5].

Duża część systemów PDM nie jest jednak w stanie wygenerować reprezentacji wymaganej dla modelu danych innej dyscypliny, ponieważ system PDM często nie rozumie wewnętrznej semantyki modeli. Wyjątkiem są bardziej zaawansowane systemy PDM, mające zdolność wydobywania informacji z plików STEP. Dla umożliwienia interdyscyplinarnej współpracy systemów w procesie integracji, zaawansowani użytkownicy stosują w procesach wymiany danych protokoły standardu STEP.

System wymiany integruje heterogeniczne modele dyscyplin przez zdefiniowany na stałe model podstawowy, który zapewnia algorytmiczny wgląd w modele

Cykl życia wyrobu



Rys. 1. Wymiana informacji: a) bez używania standardowych plików wymiany b) z użyciem standardowych plików wymiany STEP. Opracowanie własne na podstawie [9]
 Fig. 1. Exchange of information in an information: a) without using a standard file exchange b) using standard STEP exchange file. Own study based on [9]

dyscyplin i świadczy usługi interdyscyplinarne. Odzworowanie reprezentacji modelu podstawowego w dyscyplinie realizowane jest z użyciem języka EXPRESS. Narzędzia dyscyplin muszą mieć jednak możliwość importu i eksportu plików STEP. Taki model wymiany nazywany „Inteligentnym systemem PDM” [20] przedstawiono na rys. 2.

Gromadzenie i przetwarzanie dużej liczby danych związanych z pracami konstrukcyjnymi i uruchomieniem produkcji wymaga stosowania w poważnych przedsiębiorstwach dużych systemów informatycznych intensywnie wymieniających dane. Przykładem może być koncern Boeing, który musi mieć bazy danych z opisem detali ich modyfikacjami i węzłami do których należą, dla każdego wyprodukowanego samolotu. Przy takiej produkcji do bazy dodawanych jest rocznie ok. 1,5 mld detali. Systemy scentralizowane nie radzą sobie z takimi obciążeniami, dlatego też przedsiębiorstwa muszą stosować dobrze zintegrowane systemy rozproszone o większej wydajności. Najczęściej integracja realizowana jest przez zastosowanie technologii obiektów rozproszonych. Podstawowe z nich to: CORBA (OMG), COM (Microsoft)

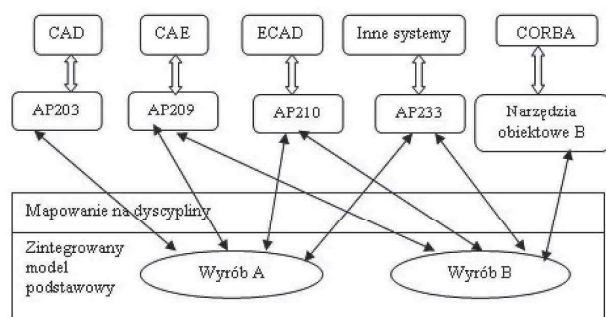
i RMI (Sun). Jednym z problemów przetwarzania danych w środowisku rozproszonym jest rozwiązanie problemu niejednorodności danych i ich struktur. Problem ten rozwiązywany jest różnymi sposobami. W sytuacjach specyficznych, np. przy przesyłaniu danych konstrukcyjnych, programiści mogą mieć powody do nie odkrywania struktur danych przy przesyłaniu ich pomiędzy bazami danych i serwerami w sieciowej warstwie aplikacji. Dane takie nie powinny być znane warstwie średniej (middleware), która nie powinna ich przetwarzać. Nazywają się one danymi nieinterpretowanymi.

W takich sytuacjach do usuwania niejednorodności używane są w warstwie aplikacji metody i języki problemowo zależne (domain specific). Istnieje wiele przykładów takiego podejścia. Standardowym mechanizmem spełniającym taką rolę przy wymianie danych konstrukcyjnych w zastosowaniach przemysłowych jest standard STEP (ISO 10303) [4]. Jest to kolejna zaleta standardu STEP.

Standard STEP wykorzystywany jest do wymiany danych w produktach firmy Dassault Systems. System SOLIDWORKS importuje i eksportuje pliki STEP (*.step) jako: dokumenty części lub złożenia, geometrię obiektów – powierzchnie, krzywe, kolory oraz informacje o topologii z plików AP214 STEP, geometrię krawędziową (szkieletową) z plików STEP AP203 i AP214 oraz dane konfiguracyjne STEP.

Możliwy jest wybór eksportu indywidualnych części lub podzespołów z drzewa złożenia. Jeżeli wybierzemy podzespół, automatycznie wybrane zostaną wszystkie jego komponenty. Jeżeli wybierzemy komponent, jego przodkowie zostaną częściowo wybrani, zachowując strukturę złożenia [5].

CATIA V6R2013x w Dassault Systems uzyskała możliwość importu i eksportu standardu STEP AP242 [5], [8], [21]. Model danych standardu 3D rozszerzony o ISO 10303-242 z PMI (Product Manufacturing Information), wprowadził do modelu dane jakościowe tj. tolerancja, błędy kształtu. Dzięki większej liczbie przekazywanych danych wzrosło integrujące znaczenie modelu w procesach



Rys. 2. IPDM – Inteligentny PDM integrujący dyscypliny i udostępniający interfejsy obiektowe PDM. Opracowanie własne według [20]
 Fig. 2. IPDM – Intelligent PDM integrates discipline and providing interfaces PDM object. Own study based on [20]

wymiany danych i powiększyły się możliwości zastosowań [21]. Model zapewnia długoterminową archiwizację i wprowadził do produkcji elementy inteligencji. Używany jest w wielu firmach lotniczych i samochodowych, gdzie wyróżnia się dobrą wydajnością i niezawodnością.

STEP w programowaniu obróbki na obrabiarkach CNC

Zastosowanie standardu STEP do programowania obróbki na obrabiarkach CNC zmniejsza objętości programów, poprawia komunikację pomiędzy systemami CAD/CAM i sterownikami CNC, a także pozwala kontrolować i korygować w czasie rzeczywistym jakość obrabianych detali.

Używany od blisko 50 lat do programowania obrabiarek CNC język G-kodów jest od lat krytykowany [15]. Programy obróbki używane w przemyśle lotniczym i samochodowym mają dużą objętość, a wymiana danych zapisanych w kodzie G jest czasochłonna i nieefektywna. Prace nad opracowaniem nowego standardu programowania podjęła grupa robocza ds. wytwarzania narzędzi i maszyn organizacji OMAC (Organization for Machine Automation and Control) [19]. Nowy standard ISO

10303-238, STEP-NC AP238 (Standard modelu wymiany danych dla obrabiarek CNC) jest wynikiem ok. piętnastoletniej międzynarodowej współpracy, której celem było zastąpienie kodu G nowoczesnym językiem, łączącym dane projektowe CAD/CAM ze sterownikami CNC. Standard stał się również podstawą rozwoju następnej generacji układów sterowania CNC.

Opracowano zorientowany obiektowo nowy interfejs STEP-NC dla wymiany informacji pomiędzy systemami CAD/CAM i CNC, który wykorzystuje szeroko rozpowszechnione obiekty elementarne STEP [15]. Programowanie CNC opiera się na wymianie i przetwarzaniu zestawu możliwych do obróbki na konkretnej maszynie takich obiektów jak: kieszenie, otwory, profile, frezowane powierzchnie płaskie itp., wraz z niezbędnymi funkcjami pomocniczymi [15], [19], [14]. Programy obróbki elementarnych obiektów pobierane są z bazy danych. Możliwe są dwie metody definiowania danych STEP-NC. Dane mogą mieć najbardziej popularny format zgodny z normą ISO10303-21 lub coraz częściej stosowany format XML według ISO 10303-28. Niżej przedstawiono fragmenty programów w formatach: a) według ISO10303-21 i b) według ISO 10303-28 [14], [13].

```
a)
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION((‘ISO 14649-11 EXAMPLE 1’,
‘SIMPLE PROGRAM WITH A PLANAR_FACE, A POCKET, AND A ROUND_HOLE’),
‘1’);
FILE_NAME(‘EXAMPLE1.STP’,
‘2002-02-02’,
(‘YONG TAK HYUN’,‘JOCHEN WOLF’),
(‘WZL, RWTH-AACHEN’),
‘$’,
‘ISO 14649’,
‘$’);
FILE_SCHEMA((‘MACHINING_SCHEMA’,‘MILLING_SCHEMA’));
ENDSEC;
DATA;
#1= PROJECT(‘EXECUTE EXAMPLE1’,#2,(#4),$,,$);
#2= WORKPLAN(‘MAIN WORKPLAN’,(#10,#11,#12,#13,#14),$,#8,$);
#4= WORKPIECE(‘SIMPLE WORKPIECE’,#6,0.010,$,$,$,(#66,#67,#68,#69));
#6= MATERIAL(‘ST-50’,‘STEEL’,(#7));
#7= DESCRIPTIVE_PARAMETER(‘E=200000N/M2’,‘mild’);
#8= SETUP(‘SETUP1’,#71,#62,(#9));
#9= WORKPIECE_SETUP(#4,#74,$,$,());
#10= MACHINING_WORKINGSTEP(‘WS FINISH PLANAR FACE1’,#62,#16,#19,$);
#11= MACHINING_WORKINGSTEP(‘WS DRILL HOLE1’,#62,#17,#20,$);
...
#125= CUTTING_COMPONENT(80.000,$,$,$,$);
/* #125= CUTTING_COMPONENT(80.000,$,$,$); ORIGINAL BAD */
#126= CUTTING_COMPONENT(90.000,$,$,$,$);
/* #126= CUTTING_COMPONENT(90.000,$,$,$); ORIGINAL BAD */
#127= CUTTING_COMPONENT(100.000,$,$,$,$);
/* #127= CUTTING_COMPONENT(100.000,$,$,$); ORIGINAL BAD */
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```

b)

```
<?xml version="1.0" ?>
<iso_10303_28_terse xmlns="urn:oid:1.0.10303.238.1.0.1"
xmlns:exp="urn:oid:1.0.10303.28.2.1.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchemainstance" schema="integrated_cnc_schema">
<exp:header>
<exp:name>7 inch mm CDS</exp:name>
<exp:time_stamp>2006-10-24T08:17:10-04:00</exp:time_stamp>
<exp:author>STEP-NC Maker 3.0</exp:author>
<exp:preprocessor_version>ST-DEVELOPER v11</exp:preprocessor_version>
<exp:originating_system>Various</exp:originating_system>
</exp:header>
<!-- *****
* Application object: PROJECT (id10)
* ITS_WORKPIECES [*]: id10, id11, id2284
* ITS_ID: id10, id12, id13, ['New Project']
* MAIN_WORKPLAN: id10, id14, id15, id11187
...
<Machining_process_sequence_relationship id="id11223" Name="" Description=""
Relating_method="id11187" Related_method="id10950" Sequence_position="36"/>
<Machining_process_sequence_relationship id="id11224" Name="" Description=""
Relating_method="id11187" Related_method="id10956" Sequence_position="37"/>
...
<!-- *****
* END OF APPLICATION OBJECT DESCRIPTIONS
-->
<Application_protocol_definition id="id11226" Status="international standard"
Application_interpreted_model_schema_name="integrated_cnc_schema"
Application_protocol_year="2006" Application="id17"/>
</iso_10303_28_terse>
```

Opracowany standard STEP-NC z wykorzystaniem protokołu AP-238 kieruje strumień danych od oprogramowania CAM do oprogramowania sterownika CNC, jednocześnie chroniąc i upraszczając informacje. Jak sugeruje m.in. firma Boeing lepszym rozwiązaniem jest system, w którym zamiast danych o ruchach osi, przesyłane są informacje o ruchach narzędzia. Wyrafinowane systemy CNC mogą przeliczać dane o ruchu narzędzia na dane o ruchu osi. Poza tym powstaje możliwość przesyłania do CNC informacji wysokiego poziomu o właściwościach wytwarzanych wyrobów, materiałach, narzędziach oraz danych technologicznych. W sytuacji gdy używa się standardów takich jak AP-238, dane o ruchach narzędzi stają się „niezależne od maszyny” [6].

Użycie standardów STEP AP 238 (usługa obróbkowa) i AP 242 (usługa pomiarowa), pozwoliło w czasie rzeczywistym przeprowadzić obróbkę aktualizującą obrabianego detalu na podstawie wygenerowanego z użyciem protokołów STEP modelu cyfrowego „bliźniaka”. Z modelem łączono się również przy pomocy smartfonu. Próbę przeprowadzono w październiku 2016 r. w obecności przedstawicieli zespołów ISO TC 184/SC4, OMAC i firmy Boeing [6]. Poruszone zagadnienia są jedynie wskazaniem do nowego podejścia do programowania obróbki na obrabiarki CNC.

STEP w automatyzacji projektowania procesów technologicznych

Zastosowanie standardu STEP stwarza możliwości nowego podejścia do automatyzacji projektowania procesów technologicznych. Danymi wejściowymi do procedur projektowania procesów technologicznych mogą być wygenerowane przez systemy CAD pliki w języku EXPRESS. Zautomatyzowane elastyczne systemy produkcyjne (ZESP) projektowane są z myślą o obróbce w systemach rodzin detali. Procesy technologiczne dla rodzin detali, projektowane są metodą wariantową lub generacyjną. Idea generacyjnego projektowania procesów technologicznych oparta jest na pojęciu elementarnego obiektu konstrukcyjnego i elementarnego obiektu technologicznego. Rozpoznawanie i wyodrębnianie przez odpowiednie programy elementarnych obiektów konstrukcyjnych z danych zapisanych w plikach STEP w języku EXPRESS, tworzy możliwości znacznego postępu w automatyzacji generacyjnego projektowania procesów technologicznych. STEP dobrze reprezentuje wyroby przez ich dane geometryczne, topologię i wymagania obróbki, a pliki wymiany danych w języku EXPRESS generowane są przez większość systemów CAD.

Problemem rozpoznawania elementarnych obiektów i ich cech zajmuje się obecnie wielu naukowców. Pliki

w języku EXPRESS są plikami tekstowymi. Przetworzenie tych plików przez programy napisane według odpowiedniego algorytmu pozwala generować elementarne obiekty konstrukcyjne dla detali pryzmatycznych [17], [2], [10], [1], detali osiowosymetrycznych i otworów [16], [3]. Do rozpoznawania elementarnych obiektów konstrukcyjnych mogą być użyte różne języki programowania np. Java [10]. Należy zaznaczyć, że istnieje możliwość konwersji plików w języku EXPRESS na języki: XML, C++ i Java. Elementarne obiekty konstrukcyjne (płaszczyzna, kieszeń, itp.) i technologiczne mogą być przechowywane w bazie danych, a następnie przetwarzane i używane, w jeden sposób przez systemy projektowania procesów technologicznych i w drugi sposób do budowy programów obróbki na obrabiarkach CNC zgodnie z AP238. Metody projektowania procesów technologicznych w oparciu o rozpoznane w plikach STEP elementarne obiekty to ważne ogniwo integracji etapów projektowania, technicznego przygotowania produkcji i wytwarzania. Do roli elementu integrującego pretenduje model danych STEP.

Istnieją również propozycje szczegółowe, wykorzystania modelu danych narzędziowych standardu STEP do budowy systemu CAM, opartego na standardzie STEP-NC [12].

STEP w automatyzacji projektowania zautomatyzowanych elastycznych systemów wytwarzania (ZESW)

Podstawą projektowania ZESW są realizowane w systemie procesy technologiczne. W zintegrowanym środowisku, procedury projektowania ZESW powinny korzystać z procesów technologicznych, zaprojektowanych w oparciu o elementarne obiekty rozpoznane w plikach EXPRESS. Operacje i zabiegi procesów technologicznych powinny być przechowywane w bazie danych. Użycie w procedurach wyboru obrabiarek i struktury ZESW technologii wygenerowanych przez przetworzenie danych z pliku EXPRESS automatyzuje i integruje obszary projektowania wyrobu, technicznego przygotowania produkcji i projektowania ZESW [18].

Elementem integrującym procedury automatyzacji kolejnych etapów cyklu życia wyrobu od projektowania przez techniczne przygotowanie produkcji, aż do zaprojektowania ZESW w którym zaprojektowany wyrób byłby wykonany, są pliki wyjściowe z systemów CAD w języku EXPRESS.

W związku z metodą projektowania ZESW, opartą na technologii, której podstawą są wygenerowane z plików STEP obiekty elementarne, jednym z kryteriów wyboru obrabiarek powinno być kryterium pokazujące zdolność obrabiarki do obróbki elementarnych obiektów tj. kieszeń, profil itp., zgodnie z AP238. Identyczne kryterium powinno obowiązywać przy wyborze systemów programowania i sterowania obrabiarek wchodzących w zestaw ZESP. Należy uwzględnić nowe metody programowania i sterowania, wynikające ze stosowania zaleceń protokołu AP238 standardu STEP.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono w zarysie wybrane przypadki stosowania STEP w praktyce inżynierskiej. Duża objętość norm STEP, utrudniony dostęp oraz konieczność zapoznania się z szeregiem nowych koncepcji, utrudniają upowszechnianie standardu. W artykule przedstawiono syntetyczne spojrzenie na możliwości zastosowania standardu STEP. Rozszerzoną wiedzę o standardzie i jego zastosowaniu można uzyskać z obszernej literatury. Mimo wszystkich trudności, związanych ze stosowaniem standardu, duże przedsiębiorstwa produkujące wyroby o najwyższym poziomie technicznym, dostrzegają przewagę dobrych stron standardu STEP i rozwijają jego stosowanie. Standard STEP nie jest standardem martwym. ISO kontynuuje proces jego rozwoju np. AP242, a przedsiębiorstwa rozszerzają jego stosowanie.

LITERATURA

- [1] Ashok G., S.S. Hebbal, R. Scachhidanad. 2016. "Development of algorithm to recognize through slot feature from STEP AP224 neutral file". *International Journal of Research in Engineering and Technology* Volume: 05 Issue: 08.
- [2] Ashok G., S.S. Hebbal, R. Scachhidanad. 2015. "Recognition of Hole Feature and Stock Details of a Prismatic Part from Its STEP AP224 Neutral File". *International Journal on Emerging Technologies* 6 (1): 118–124.
- [3] Deb S., J.R. Parra-Castillo, K. Ghosh. 2011. "An Integrated and Intelligent Computer-Aided Process Planning Methodology for Machined Rotationally Symmetrical Parts". *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 13, Issue 1.
- [4] Emmerich W. 2000. "Engineering Distributed Objects". Wydawnictwo John Wiley & Sons Ltd.
- [5] <https://www.3ds.com> – Dassault Systems, dostęp 02.2017.
- [6] <https://www.steptools.com/stds/stepnc>, dostęp 02.2017.
- [7] ISO 10303-11:2004 Subscribe to updates Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange – Part 11: Description methods: The Express language reference manual.
- [8] ISO 10303-242:2014. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering, http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm%3Fcsnumber%3D57620.
- [9] Kołczin A.F., W.M.Owsjannikow, A.F. Sstrjelkow. 2002. „Zarządzanie cyklem życia produkcji”. M: Ancharsis.
- [10] Malleswaria V.N., P.M. Valib, M.M.M. Sarcac. 2013. "Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files". *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 2, Issue 3.
- [11] PN-ISO 10303-11. Systemy integracji i automatyzacji przemysłowej. Reprezentacja i wymiana danych o produktach. Metody opisu. Język EXPRESS.
- [12] Pobożniak J. 2015. „Reprezentacja danych o narzędziach obróbkowych w standardzie STEP-NC. Tool data representation in STEP-NC standard”. *Mechanik* (2).

- [13] Recommended Practices for STEP AP242 Business Object Model XML Product & Assembly Structure. Release 1.1 May 20, 2016.
- [14] Saša T. Živanović, G. V. Vasilić. 2017. "A New CNC Programming Method Using STEP-NC Protocol". *FME Transactions* Vol. 45, No 1: 149–159.
- [15] Sosonkin W.Ł., F.M. Martinow. 2005. „Systemy sterowania numerycznego”. Moskwa: Wydawnictwo Logos.
- [16] Sreeramulud, C.S.P. Rao. 2011. "A new methodology for recognizing features in rotational parts using STEP data exchange standard". *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3, No 6.
- [17] Sreeramulud, C.S.P. Rao. 2008. "A New Methodology for Recognition of Milling Features from STEP File". *The International Journal of Applied Management and Technology*, Vol 6, No 3:172–190.
- [18] Stamirowski J. 2016. „Koncepcja technologicznego wyboru urządzeń dla elastycznych systemów produkcyjnych z wykorzystaniem standardu ISO 10303 STEP”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (3): 20–24.
- [19] Step-NC Enhances Value in Part Manufacturing. Organization for Machine Automation and Control (OMAC) OMAC Manufacturing Work Group (OMW) August 2012.
- [20] Waterbury S.C. 1999. "STEP for Multi-Disciplinary Model Management: "Intelligent PDM". NASA/Goddard Space Flight Center. July 16.
- [21] www.ap242.org/geometry-assembly-pmi-interopability.

dr hab. inż. Jerzy Stamirowski prof. Politechniki Świętokrzyskiej – Katedra Automatyki i Robotyki Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: j.stamirowski@tu.kielce.pl