



SIMULACIJA KINEMATIKE VIRTUELNOG PROTOTIPA MAŠINE ALATKE BAZIRANE NA HIBRIDNOM O-X MECHANIZMU

Tabaković Slobodan¹, Živanović Saša²

Rezime: Razvoj i usavršavanje mašina alatki u najvažnije ciljeve ubraja: povećanje fleksibilnosti mašina, brzine obrade i maksimalno iskorišćenje raspoloživog radnog prostora. Usavršavanje mašina alatki baziranih na paralelnoj ili hibridnoj kinematskoj strukturi predstavlja jedan od potencijalno najinteresantnijih pravaca istraživanja koji omogućuju ispunjenje svih pomenutih zahteva. U radu je prezentovan deo istraživanja sprovedenog u cilju utvrđivanja upotrebne vrednosti O-X hibridnog mehanizma u obe konfiguracije radnog prostora koje ovaj mehanizam poseduje. Istraživanja su sprovedena računarskom simulacijom kinematike mašine sa realnim dimenzijama komponenata što predstavlja verifikaciju njenih mogućnosti pre izrade fizičkog prototipa.

Ključne riječi: CAD/CAM, mašine alatke, O-X mehanizam, simulacija

SIMULATION OF KINEMATIC OF VIRTUAL PROTOTYPE OF A MACHINE TOOL BASED ON HYBRID O-X MECHANISM

Abstract: Development and improvement of machine tools in modern conditions includes: increasing of flexibility, machining speed and better utilization of available workspace. Improvement of a machine tools based on parallel or hybrid kinematics are one of potential most interesting research directions that enable the fulfillment of all above mentioned demands.

In this paper is presented part of the research of a usage value of O-X hybrid mechanism in both configurations of a workspace which this mechanism has. The research was conducted by using a computer simulation of the machine kinematics by using real dimensions of components. That makes verification of its possibilities before building of a physical prototype.

Key words: CAD/CAM, machine tools, simulation, O-X mechanism

¹ Tabaković Slobodan, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Republika Srbija tabak@uns.ac.rs; (CA)

² Živanović Saša, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, Republika Srbija, szivanovic@mas.bg.ac.rs;

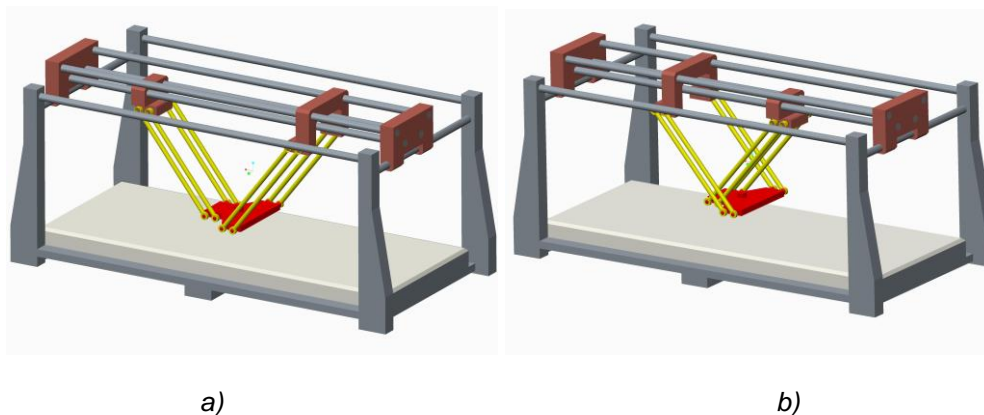
1 UVOD

Usavršavanje mašina alatki kao osnove tehnoloških sistema, u savremenom mašinstvu obuhvata: povećanje fleksibilnosti mašina, povećanje režima obrade i maksimalno iskorišćenje radnog prostora. U skladu sa savremenim trendovima u mašinstvu [1] prilikom razvoja mašina alatki neophodno je još u procesu koncipiranja sagledati sve prednosti i nedostatke potencijalnih rešenja i optimizacijom obezbediti odgovarajuće karakteristike. Kao rešenje za takve zahteve se nameće primena virtuelnih prototipova i odgovarajućih softverskih rešenja u svim fazama razvoja proizvoda [2].

U radu se opisuje jedna faza procesa projektovanja mašine alatke na bazi originalnog O-X mehanizma sa hibridnom kinematskom strukturom [3-7]. Ova faza obuhvata simulaciju kinematskih karakteristika pri kretanju izvršnog organa mehanizma brzinama koji odgovaraju eksploatacionim pri operacijama obrade kompleksnih radnih predmeta. Pri tome se simulacije vrše na osnovu željene putanje alata u cilju verifikacije geometrijskih i kinematskih karakteristika hibridnog mehanizma i noseće strukture, kao i uočavanje eventualnih kolizija u toku rada.

2 OPIS KONCEPCIJE MAŠINE SA HIBRIDNOM KINEMATIKOM

Mašina alatka sa hibridnom kinematikom, razmatrana u ovom radu, je bazirana na hibridnom O-X mehanizmu nastalog kombinovanjem ravanskog paralelnog mehanizma i noseće strukture koja omogućava njegovo translatorno kretanje. Ravanski paralelni mehanizam je koncipiran tako da izvršni organ mašine najveći deo radnog prostora može dosegnuti u dve konfiguracije mehanizma, čime se ponaša dualno kao dva paralelna mehanizma sa različitim karakteristikama u pogledu: dimenzija radnog prostora, krutosti, brzina i sl. Na slici 1 su pokazane polazne koncepcije mašine sa hibridnom kinematikom u položajima sa opruženom (O) i ukrštenom (X) O-X strukturom. Ravanski paralelni mehanizam čine pokretna platforma, koja je preko sfernih zglobova vezana za štapove konstantne dužine. Štapovi su na drugom kraju obrtnim zglobovima (sa jednim stepenom slobode) vezani za odgovarajuće klizače, od kojih se svaki kreće po sopstvenoj vodiči. U cilju povećanja autonomije kretanja klizača oni su pozicionirani na različitim rastojanjima, u pravcu vertikalne ose, što omogućava njihovo mimoilaženje u ravni, kao i kretanje mehanizma, u opruženom (O) i ukrštenom (X) položaju.



Slika 1. Polazne koncepcije CAD modela opruženog i ukrštenog oblika O-X glide mehanizma

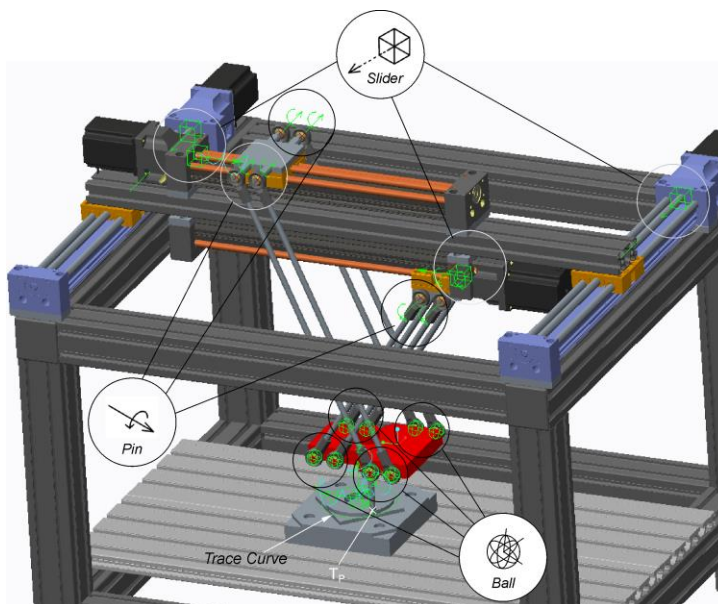
Dualnost mehanizma pruža dodatne mogućnosti prilikom obrade radnih predmeta, ali istovremeno nameće potrebu za kompleksnijim upravljačkim algoritmima, koji treba da budu razvijeni za obe konfiguracije mašine.

3 SIMULACIJA KINEMATIKE HIBRIDNOG O-X MEHANIZMA

Simulacija kinematike primenjenog O-X mehanizma koji je ugrađen u strukturu mašine alatke podrazumeva mogućnost modeliranja hibridnog mehanizma sa svim vezama između komponentata, koje daju mogućnost kretanja elemenata virtuelnog prototipa kao sistema krutih tela. Primeri ovakvih simulacija se mogu videti i u radovima [5-8]. Simulacija kinematike mehanizma je standardna opcija koju nude kompleksni CAD/CAM/CAE sistemi a za ovu priliku je odabran PTC Creo 2 [9], i njegov modul Mehanizam (*Mechanism*) koji može da se koristi za:

- modeliranje mehanizma različitog nivoa složenosti,
- definisanje kinematičkih veza između komponentata sklopa mehanizma,
- definisanje servo motora,
- ručno povlačenje mehanizma koji se kreće u skladu sa definisanim kinematičkim vezama,
- analiza brzina i ubrzanja komponentata sklopa,
- pokretanje mehanizma u ciklusu,
- crtanje traga kretanja za pokretne elemente u sklopu (*Trace Curves*),
- crtanje obvojnice za pokretne elemente u sklopu,
- analizu radnog prostora,
- generisanje video fajla mehanizma u kretanju.

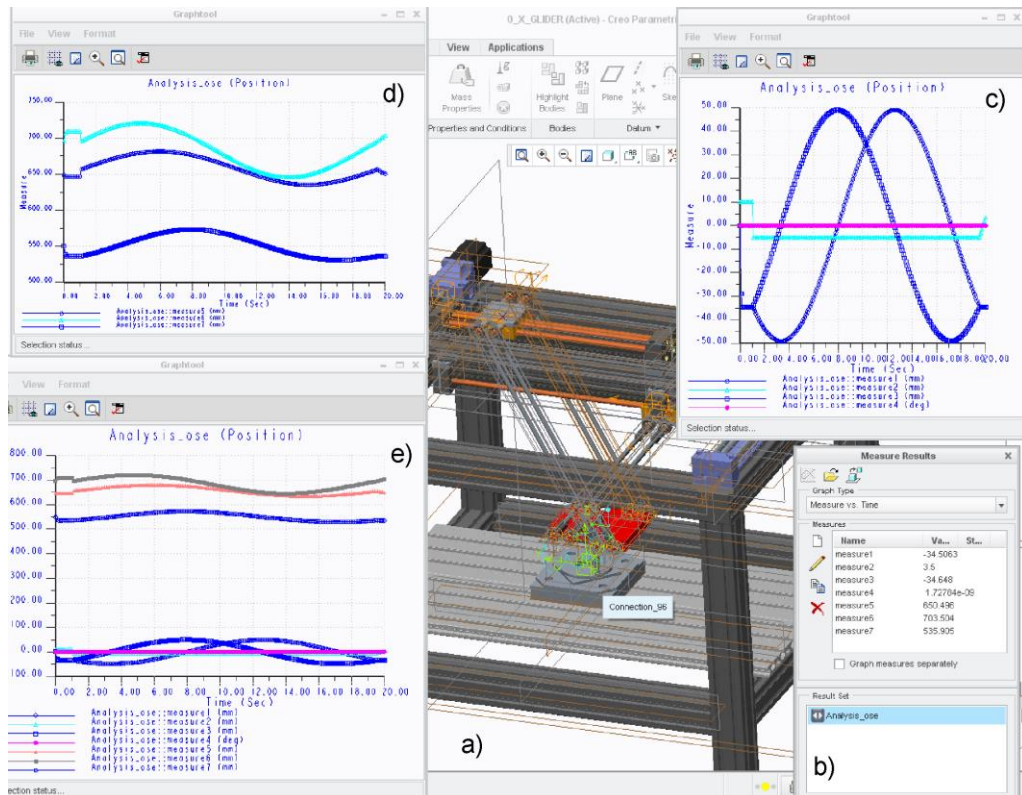
Na slici 2. pokazan je model detaljnog virtuelnog prototipa mašine sa hibridnom kinematikom na bazi O-X ukrštenog mehanizma sa definisanim svim kinematičkim vezama.



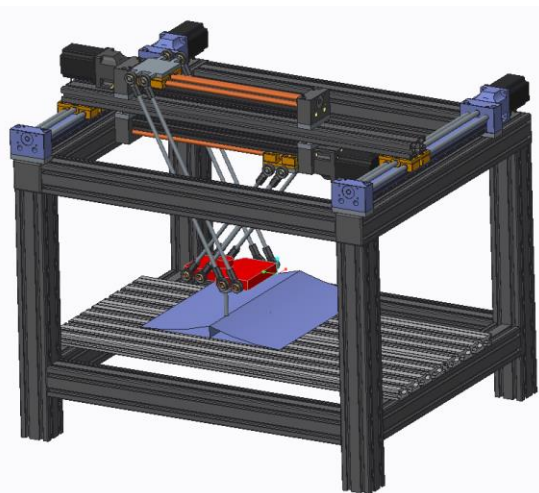
Slika 2. Definisane kinematičke veze hibridnog O-X mehanizma u modulu Mechanism CAD/CAM sistema PTC Creo 2.0

Na slici 2 se mogu uočiti i karakteristične oznake sa njihovim šematskim prikazom i engleskim nazivom veze. Pri tome su korišćene odgovarajuće standardne kinematičke veze, kao što su *Pin*, *Slider*, *Ball*. Takođe su za potrebe simulacije iskorišćene mogućnosti definisanja pogonskog elementa, i iscrtavanje traga tačke na posmatranom sklopu u toku kretanja (*Trace Curves*). Ovakvo formiranje sklopa omogućava pomeranje modela u granicama koje definišu veze, što je od posebnog značaja za uočavanje mogućih kolizija prilikom kretanja elemenata mehanizma.

Simulacija kinematike hibridnog O-X mehanizma u modulu *Mechanism*, je realizovana na konkretnom primeru obrade test radnog predmeta za mašine alatke sa tri numerički upravljane ose. To obuhvata simulacije kretanja linearnom i kružnom interpolacijom kao i izradu rupa i/ili otvora. Pored kretanja, vršeno je praćenje rezultata simulacije za pojedine zglobove sa grafičkim prikazom željenih zavisnosti. Deo tih rezultata za primer kružne interpolacije je pokazan na slici 3. Mehanizam sa definisanim kinematičkim vezama, pogonima i obratkom se vidi na slici 3a. Za pokazani primer definisani su pogoni za kretanje vrha alata po kružnoj inetrpolaciji za završnu obradu cilindričnog dela na obratku. Po ostvarenoj simulaciji mogu se kreirati različiti izveštaji (*Measure Results*), slika 3b. Pokazane su zavisnosti promene koordinata X, Y i Z u funkciji vremena za kretanje programirane tačke vrha alata, slika 3c, zavisnosti promena pogonskih translatornih osa za ostvarivanje kružne interpolacije, slika 3d, kao i zajednički prikaz obe prethodne zavisnosti na jednom dijagramu u funkciji vremena, slika 3e.



Slika 3. Simulacija kinematike hibridnog O-X mehanizma u modulu *Mechanism* CAD/CAM sistema PTC Creo 2.0



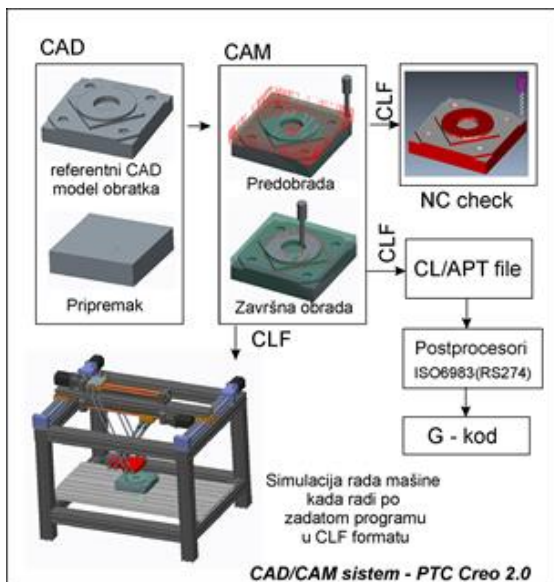
Slika 4. Prikaz CAD modela mašine sa hibridnom kinematikom i geometrijski dobijenog radnog prostora

Analiza radnog prostora paralelnih mehanizama je značajna naročito u fazi konfigurisanja, što se naročito odnosi na razmatranu mašinu jer koristi ravanski paralelni mehanizam [3,5]. Za ravanski mehanizam u ovom radu je izvršeno i geometrijsko određivanje radnog prostora simulacijom krajnjih položaja elemenata mehanizma i tako dobijeni CAD model je postavljen na radni sto mašine. Prvo je određen radni prostor ravanskog paralelnog mehanizma budući da je ukupni radni prostor sastavljen od identičnih oblika raspoređenih po trećoj, serijskoj osi. Na taj način je omogućeno lakše postavljenje obradaka na radni sto, sa sigurnošću da je baziranje u granicama radnog prostora.

4 SISTEM ZA PROGRAMIRANJE I SIMULACIJA RADA MAŠINE KADA MAŠINA RADI PO ZADATOM PROGRAMU

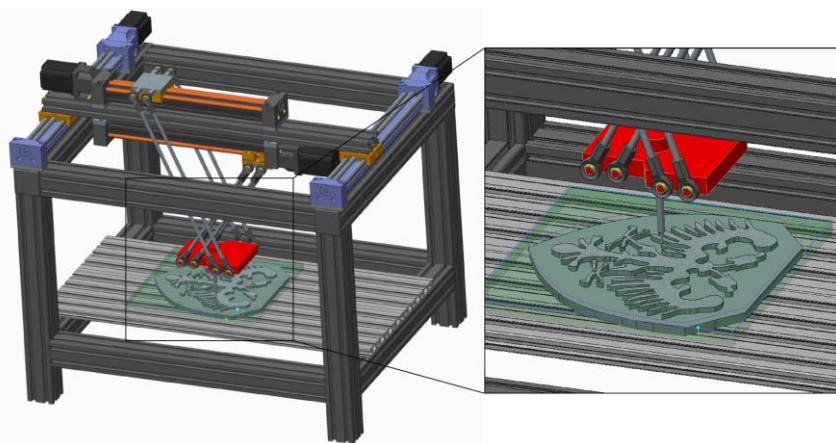
Sistem za programiranje primenom CAD/CAM sistema je oformljen i pre gradnje fizičkog prototipa mašine, ali tako da uključuje i simulaciju virtuelnog prototipa mašine, čime se vrši verifikacija dobijenih programa obrade. Simulacija rada mašine primenom virtuelnog prototipa je najbezbedniji i najisplativiji način verifikacije programa. Ovaj vid simulacije je posebno značajan i u fazi razvoja novih mašina jer omogućava uočavanje eventualnih nedostataka.

Na slici 5 je prikazano okruženje za programiranje na konkretnom primeru simulacije rada mašine prema zadatom programu za obradu test radnog predmeta za ispitivanje mašina alatki.



Slika 5. Sistem za programiranje u CAD/CAM okruženju sa simulacijom rada mašine kada mašina radi po zadanom programu

Okruženje za programiranje može predstavljati proizvoljni CAD/CAM sistem ili bilo koji softver koji omogućava ručno programiranje. Oformljeno okruženje za programiranje u ovom radu koristi CAD/CAM sistem PTC Creo 2.0 [10]. Zahvaljujući kinematičkim vezama, koje su pokazane u poglavlju 3, pri simulaciji obrade je uključen i kompletan virtuelni prototip mašine, opcijom *Machine play*, slika 5. Ova simulacija se ostvaruje u režimu rada mašine po zadanom programu. Kao primer za simulaciju je korišćen radni predmet za ispitivanje mašina alatki, dobijen modifikovanjem test radnog predmeta definisanog ISO standardom. Još jedan od primera za simulaciju rada mašine je i primer konturne obrade (*Trajectory Milling*) za složenu krivolinijsku putanju, koja je pokazana na slici 6. Obradak na slici 6 predstavlja srednjovekovni srpski štit.



Slika 6. Primer simulacije rada pri konturnoj obradi složene krivolinijske putanje

Oformljeno okruženje za programiranje omogućava simulaciju putanje alata na bazi generisanog upravljačkog programa, simulaciju uklanjanja materijala (*NC Check - VeriCUT*) i simulaciju rada mašine po zadatom programu. Tokom simulacije se mogu uočiti kolizione situacije, kao i eventualno loše postavljanje obrtaka u granice radnog prostora mašine. U *CAD/CAM* sistemu se generiše i odgovarajući postprocesor za generisanje G koda saglasno standardu ISO 6983.

Za razvoj buduće mašine alatke veoma značajan proces obuhvata i verifikaciju upravljačkih algoritama za interpretaciju programskih rečenica upravljačkog programa numerički upravljanih mašina alatki. Ovaj proces je naredni korak koji će biti realizovan implementacijom upravljačkih algoritama u virtuelni prototip mašine alatke koji će biti integrisan sa upravljačkim sistemom.

5 ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Na osnovu sprovedenih istraživanja je izveden veći broj zaključaka koji se odnose na konkretnu mašinu alatku ali i na mogućnosti primene virtuelnih prototipova u procesu razvoja sličnih proizvoda. Pre svega, analize su pokazale da izabrano rešenje u pogledu konfiguracije O-X mehanizma poseduje odgovarajuće osobine za mini mašinu alatku ali da je za unapređenje geometrijskih karakteristika radnog prostora neophodna modifikacija pojedinih elemenata u pogledu dužine hoda klizača na paralelnom mehanizmu. Sa druge strane, primena virtuelnog prototipa je u potpunosti opravdana budući da je već u fazi izbora konfiguracije elemenata omogućila uvid u: primenljivost i stepen iskorišćenosti pojedinih komponentenata, ispravnost upravljačkog algoritma i eksploatacione karakteristike buduće mašine alatke.

Na osnovu dobijenih rezultata se, posle odgovarajućih korekcija, prešlo na sledeću fazu razvoja mašine alatke, izradu funkcionalnog fizičkog prototipa na Departmanu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektima TR 35025 „Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici“ i TR 35022 „Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema“, koji je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S. (2005). Virtual machine tool, *CIRP Annals - manufacturing technology*, 54/2, p.p. 115-138.
- [2] Fortunato, A., Ascari, A. (2013). The virtual design of machining centers for HSM: Towards new integrated tools, *Mechatronics*, 23/3, p.p. 264-278.
- [3] Mladenović C., Tabaković S., Zeljković M. (2012). Kinematic analysis of machine tool based on O-X glide hybrid mechanism using a symbolic virtual model, *Journal of Production Engineering*, 15/1, p.p. 37-40.
- [4] Tabaković, S., Zeljković, M., Gatalo, R., Mladenović, C. (2012). Uređaj za manipulaciju radnim predmetima ili alatima kod mašina alatki i industrijskih manipulatora, *Glasnik intelektualne svojine*, Br. 2/2012, Zavod za intelektualnu svojinu Republike Srbije, Beograd, Broj: 20111243.
- [5] Tabaković, S., Živanović, S., Zeljković, M., Tabaković, N. (2016). Verifikacija kinematskih karakteristika mašine alatke bazirane na hibridnoj kinematici

- primenom virtuelnog prototipa, Zbornik radova, XVI međunarodni naučno-stručni Simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2016, str. 402-407.
- [6] Tabaković, S., Živanović, S., Zeljković, M. (2015). The application of virtual prototype in design of a hybrid mechanism based machine tools, *Journal of Production Engineering*, 18/2, p.p. 77-80.
- [7] Jovičić, G., Tabaković, S., Zeljković, M., Mlađenović, C. (2016). Strukturna optimizacija pokretne platforme višenamenske mašine alatke sa hibridnom kinematikom, *Zbornik radova, 40. JUPITER konferencija, 36. simpozijum NU-Roboti-FTS, Mašinski fakultet, Beograd*, str. 3.16-3.21.
- [8] Zivanovic, S., Glavonjic, M., Milutinovic, D. (2015). Configuring A Mini-Laboratory and Desktop 3-Axis Parallel Kinematic Milling Machine, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 61/1, p.p. 33-42.
- [9] Zivanovic, S., Kokotovic, B. (2015). Configuring a virtual desktop 5-axis machine tool for machine simulation, *Proceedings of the 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2015*, p.p. 255-262.
- [10] PTC Creo, <http://www.ptc.com/cad/creo>, pristupljeno 11.4.2016.