

PRIMENA SOLIDWORKS/SOLIDCAM SOFTVERA U NASTAVI: PRILAZ U AUTOMATIZACIJI PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA IZRADE

Dejan Božić¹, Mijodrag Milošević², Dejan Lukić³

^{1, 2, 3} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹bozic997dejan@uns.ac.rs, ²mido@uns.ac.rs, ³lukied@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: *Primena koncepta grupne tehnologije u industriji se odvija u procesima razvoja i projektovanja proizvoda, projektovanja tehnoloških procesa, upravljanja i organizacije proizvodnje, kao i u samoj proizvodnji. U radu se prikazuje prilaz primene SolidWorks/SolidCAM programskog paketa u automatizaciji projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa izrade na principima grupne tehnologije. Prikazani su neki od glavnih aspekata integracije programskih paketa SolidWorks/SolidCAM, koji se odnose na više faza razvoja i projektovanja proizvoda u okviru istog okruženja.*

Ključne reči: *automatizacija projektovanja, grupna tehnologija, SolidWorks, SolidCAM*

IMPLEMENTATION OF THE SOLIDWORKS/SOLIDCAM IN EDUCATION: AN AUTOMATION APPROACH TO PRODUCT DESIGN AND MANUFACTURING PROCESS PLANNING

Abstract: *The application of group technology and part family concepts within the industry is manifested through product development and design, process planning, control and organization of production, as well as in production itself. This paper presents an approach to utilizing the SolidWorks/SolidCAM software suite for product design automation and manufacturing process planning based on group technology principles. Some of the main aspects of the integration of SolidWorks/SolidCAM software packages, which relate to several stages of product development and design within the same environment, are presented.*

Key Words: *automation design, group technology, SolidWorks, SolidCAM*

1. UVOD

Savremeni tržišni zahtevi pred proizvodne sisteme danas postavljaju imperativ koji se ogleda u kontinuiranom podizanju kvaliteta uz istovremeno drastično smanjenje jedinične cene koštanja i skraćivanje rokova isporuke [1]. Ovakav trend je naročito izazovan u uslovima tržišno-orijentisane, maloserijske proizvodnje širokog asortimana, gde se fleksibilnost sistema meri brzinom odgovora na specifične zahteve kupaca. Da bi se prevazišli ovi kompleksni izazovi, neophodna je sveobuhvatna implementacija naprednih programskih rešenja, strukturiranih baza znanja i inteligentnih baza podataka u svim kritičnim fazama razvoja i životnog ciklusa proizvoda [2].

U tom kontekstu, savremeni proizvodni sistemi u industriji prerade metala sve više se oslanjaju na fundamentalne koncepte grupne i tipske tehnologije (part families) kao strateški okvir za optimizaciju projektovanja, proizvodnje i montaže. Primenom ovih principa vrši se sistematično grupisanje tehnološki srodnih proizvoda, čime se veštački povećava nivo serijnosti čak i u heterogenim proizvodnim programima. Ovakav pristup direktno omogućava efikasniju eksploataciju automatizovanih fleksibilnih tehnoloških sistema (AFTS), dok se istovremeno značajno redukuju proizvodni ciklusi i vreme potrebno za razvoj tehničko-tehnološke dokumentacije.

Oslanjajući se na navedene metodološke prilaze i napredne funkcionalnosti SolidWorks programskog sistema, ovaj rad detaljno demonstrira model automatizacije projektovanja proizvoda i odgovarajućih tehnoloških procesa izrade. Primarni fokus je stavljen na integraciju parametarskog modeliranja i konfiguracija, čime se omogućava generisanje varijantnih rešenja namenjenih za preciznu realizaciju na savremenim CNC obradnim sistemima. Kroz ovakav integrisani pristup, postiže se visok stepen unifikacije i pouzdanosti unutar celokupnog inženjerskog procesa.

U okviru ovog rešenja, poseban značaj ima sinergija između CAD modela i CAM modula ostvarena kroz korišćenje baze podataka, čime se eliminiše manuelni unos informacija i drastično smanjuje mogućnost greške. Ovakva integracija omogućava da se iz samog softverskog okruženja direktno generišu precizni tehnološki podaci neophodni za CNC sisteme. Na taj način, automatizacija projektovanja prerasta u osnovu za inteligentno upravljanje proizvodnjom, osiguravajući maksimalnu operativnu efikasnost i tehnološku pouzdanost tokom čitavog razvojnog ciklusa.

2. AUTOMATIZACIJA PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOŠKIH PROCESA NJIHOVE IZRADE – STUDIJA SLUČAJA

Integrirani sistemi za rešavanje više kompleksnih procesa dobijaju sve više na značaju, jer kao takvi daju rešenja u okviru identičnog interfejsa, što je za krajnje korisnike velika prednost zato što su obuke za korišćenje takvih sistema mnogo jednostavnije i lakše se prihvataju. SolidWorks/SolidCAM je upravo jedno integrisano rešenje koje svojom koncepcijom podržava razvojni tok kroz čitav životni ciklus, od početne koncepcije pa sve do izrade NC programa, pri čemu se svaka promena na modelu automatski ažurira u svim koracima [3] [4].

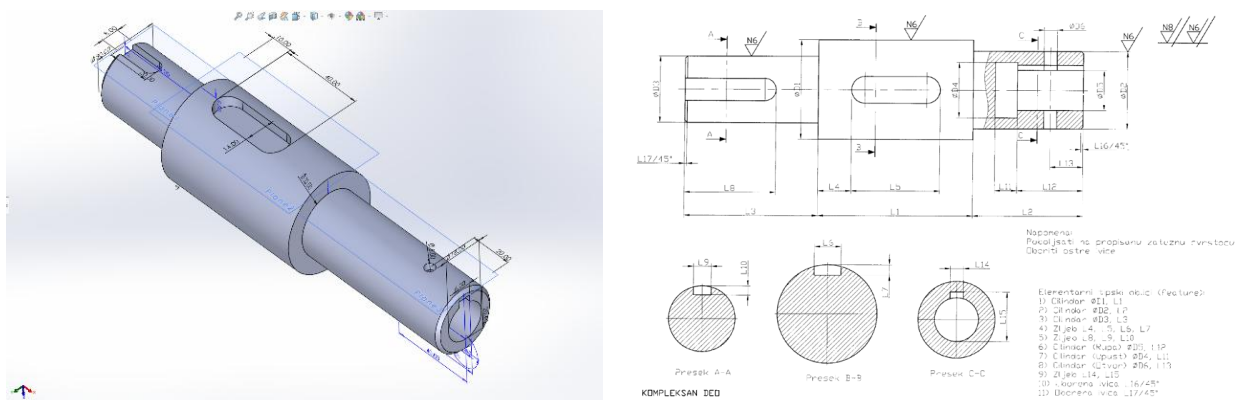
SolidWorks se nameće kao odlično rešenje pri automatizaciji procesa projektovanja, jer sa svojim modulom Configuration omogućava modeliranje familije proizvoda kroz parametarsko i varijantno projektovanje dimenzija, parametara i tipskih oblika (features) [5]. Veza navedenog modula sa Excel tabelama je direktna jer se Excel kao integrisana jedinica već nalazi u okviru SolidWorks paketa. Na ovaj način baze podataka i CAD/CAM sistem kao jedinstveno rešenje daje potpunu kontrolu i upravljivost korisniku sa već poznatim paketima.

Kvalitetna sistematizacija i klasifikacija proizvoda su osnovni preduslov za automatizaciju projektovanja. Na primeru je analizirano osam delova-osovina, definisan je imaginarni kompleksan deo koji sadrži sve relevantne tipske oblike [6]. Imaginarni kompleksan deo je definisan zbog nepostojanja realnog dela iz grupe koji sadrži sve tipske oblike delova posmatrane grupe. Svaki tipski oblik predstavlja nezavisnu celinu čijim upravljanjem, odnosno definisanjem da li taj tipski oblik postoji ili ne postoji, nastaje svaki pojedinačni model dela/proizvoda. Proces generisanja vrši se prema klasifikacionoj tabeli (Tabela 1.), gde su definisane oznake Y i N koje definišu prisustvo ili odsustvo navedenog tipskog oblika na određenom modelu dela/proizvoda.

Tabela 1 - Opis pripadnosti tipskih oblika (feature) pojedinim delovima iz grupe

Tipski oblici (feature)	Cilindar $\phi D1$, L1	Cilindar $\phi D2$, L2	Cilindar $\phi D3$, L3	Žljeb L4, L5, L6, L7	Žljeb L8, L9, L10	Rupa $\phi D5$, L12	Rupa $\phi D4$, L11	Oborena ivica L13/45°	Oborena ivica L14/45°
Kompleksan deo	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Osovina 1	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y
Osovina 2	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y
Osovina 3	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N
Osovina 4	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y
Osovina 5	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Osovina 6	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y
Osovina 7	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y
Osovina 8	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y

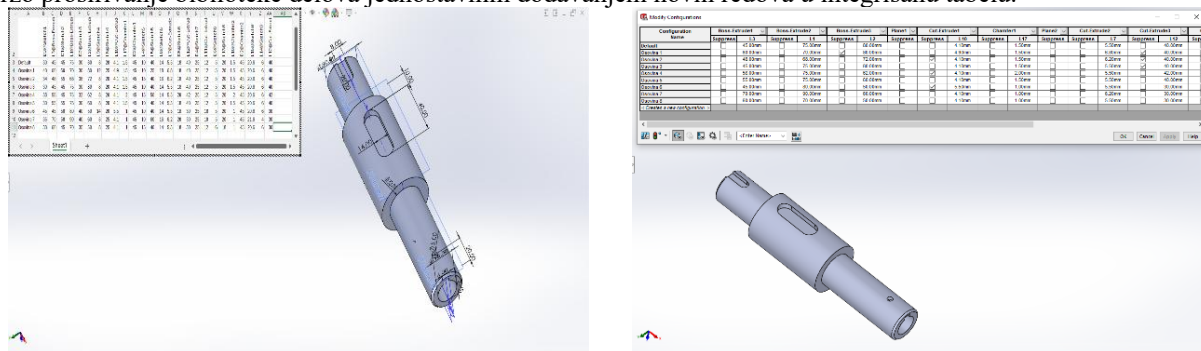
Struktura ovog imaginarnog kompleksnog dela vizuelno je predstavljena kroz 3D model i odgovarajući 2D crtež na slici 1. 3D model služi kao geometrijska osnova za generisanje varijanti, dok 2D dokumentacija precizno definiše sve konstrukcione elemente i njihove međusobne odnose. Prikazani modeli jasno ilustruju kako se iz jedinstvene datoteke, putem definisanih konfiguracija, mogu izvesti svi pojedinačni delovi/proizvodi, zadržavajući pritom punu preciznost i integritet inženjerskih podataka.



Slika 1. 3D model i 2D crtež imaginarnog kompleksnog dela

Na slici 1 je prikazan generički kompleksni model dela čija je geometrijska struktura direktno povezana sa integrisanom Excel tabelom (Design Table). Ovaj pristup predstavlja ključni korak u automatizaciji projektovanja, jer omogućava da se upravljanje geometrijom kompleksnog dela vrši eksternim putem, koristeći logičke parametre definisane u tabelarnom formatu. Unutar SolidWorks okruženja, ova tabela funkcioniše kao centralni upravljački modul koji povezuje dimenzione vrednosti i stanja tipskih oblika (features) sa specifičnim konfiguracijama modela.

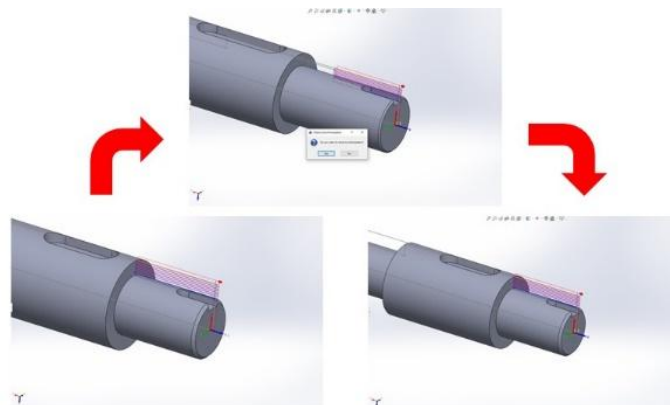
Proces generisanja varijantnih rešenja zasniva se na metodu potiskivanja elemenata, odnosno suppress komandi. Svaki red u integrisanoj Excel tabeli odgovara jednom delu ili konkretnom proizvodu iz familije delova. Kolone tabele sadrže nazive tipskih oblika (features) definisanih na kompleksnom delu, gde se vrednostima „Unsuppressed“ (aktivni) ili „Suppressed“ (potisnut) upravlja njihovom vidljivošću i učešćem u geometriji. Na taj način, kompleksni model ne predstavlja statičan entitet, već dinamičku strukturu koja se transformiše u zavisnosti od izabranog skupa parametara. Sam proces dobijanja konkretnog dela započinje definisanjem svih mogućih geometrijskih entiteta na imaginarnom kompleksnom delu. Nakon što se postavi hijerarhija tipskih oblika, kreira se Design Table koja automatski prepoznaje parametre modela. Inženjer unutar tabele definiše logičku matricu prisustva elemenata (prethodno pomenute oznake Y/N, koje se ovde prevode u sistemske komande). SolidWorks zatim vrši regeneraciju modela na osnovu podataka iz tabele, automatski kreirajući različite konfiguracije unutar iste datoteke. Ovakav metod značajno redukuje vreme potrebno za razvoj tehničke dokumentacije, jer se izmena u tabeli trenutno reflektuje na 3D geometriju, a samim tim i na asocijativne 2D crteže i NC kod. Integracija Excel-a unutar CAD okruženja eliminiše potrebu za manuelnim kreiranjem svakog dela pojedinačno, obezbeđujući maksimalnu kompaktnost rešenja i eliminaciju inženjerskih grešaka. Krajnji ishod je visoko fleksibilan sistem koji omogućava brzo proširivanje biblioteke delova jednostavnim dodavanjem novih redova u integrisanu tabelu.



Slika 2. Prikaz kompleksnog dela sa integrisanom excel tabelom i tabelom za selektovanje geometrijskih oblika

Na priloženoj slici 3 prikazan je proces u okviru SolidCAM-a u kome se putanje alata automatski i inteligentno prilagođavaju izabranom varijantnom rešenju iz grupe delova. Suština ovog naprednog inženjerskog pristupa leži u potpunoj asocijativnosti između CAD i CAM modula unutar jedinstvenog programskog okruženja. Kada korisnik unutar SolidWorks interfejsa aktivira drugu konfiguraciju, odnosno izabere drugi deo iz definisane familije delova, sistem automatski inicira sinhronizaciju svih tehnoloških podataka. SolidCAM trenutno prepoznaje nastale geometrijske izmene na konturama, dubinama džepova, pozicijama otvora i kompleksnim površinama, omogućavajući softveru da izvrši automatsko ažuriranje svih prethodno definisanih operacija obrade. Ovaj automatizovani mehanizam funkcioniše na principu zadržavanja topoloških referenci. Budući da su svi delovi unutar posmatrane grupe strukturno srodni i generisani iz istog kompleksnog (imaginarnog) modela, njihovi geometrijski entiteti, kao što su ivice, ravni i površine, dele identične unutrašnje identifikacione brojeve (ID entiteta). Kada se izvrši promena konfiguracije, SolidCAM ne zaboravlja geometrije koje su ranije selektovane kao baze za obradu, već ih dinamički računa u skladu sa novim dimenzijama i specifičnim oblikom izabranog proizvoda. Na slici se jasno može uočiti kako sistem, neposredno nakon promene modela, automatski transformiše zahvate alata prema novoj konturi, čime se u potpunosti eliminiše potreba za ponovnim manuelnim programiranjem svakog zahvata obrade pojedinačno.

U praktičnoj inženjerskoj primeni, ovaj proces započinje tako što tehnolog definiše sveobuhvatne strategije obrade uključujući grubo glodanje, finu obradu kontura, izradu džepova ili cikluse bušenja, na bazi najsloženijeg člana familije, odnosno kompleksnog dela. Zahvaljujući asocijativnoj vezi, prilikom prelaska na jednostavniju varijantu iz grupe, inženjeru je dovoljno da pokrene komandu "Calculate All". Softver tada vrši inteligentnu analizu: automatski potiskuje (supresuje) putanje alata za one tipske oblike koji ne postoje u novoj konfiguraciji, dok istovremeno redefiniše kretanje alata za sve preostale elemente. Ovakav metodološki pristup donosi značajne uštede u vremenu pripreme proizvodnje i minimizira rizik od ljudske greške koja je česta pri manuelnim ispravkama operacija i zahvata obrade. Umesto trošenja radnih sati na programiranje svakog pojedinačnog dela, automatizacija u SolidCAM-u omogućava da se kompletan tehnološki proces za čitavu familiju proizvoda generiše vrlo brzo. Ovakva fleksibilnost predstavlja temelj savremene, tržišno-orijentisane proizvodnje, gde brzina prelaska sa jednog modela na drugi direktno diktira nivo produktivnosti, konkurentnost i sposobnost sistema da efikasno odgovori na kompleksne zahteve maloserijske izrade. Na taj način, SolidCAM ne funkcioniše samo kao alat za generisanje NC koda, već kao inteligentan sistem koji u potpunosti koristi snagu CAD konfiguracija za optimizaciju celokupnog inženjerskog toka.



Slika 3. Prikaz zahvata struganja i automatska modifikacija putanje alat na osnovu izabrane osovine iz grupe

3. ZAKLJUČAK

Istraživanje sprovedeno u ovom radu nedvosmisleno potvrđuje da primena koncepata grupne i tipske tehnologije, podržana savremenim CAD/CAM/CAE sistemima, predstavlja ključni faktor u optimizaciji modernih proizvodnih procesa. Kroz implementaciju softverskog paketa SolidWorks/SolidCAM, demonstriran je inovativan pristup automatizaciji konstrukcije i tehnološke pripreme, kao i samog procesa izrade proizvoda, koji direktno odgovara na izazove tržišno orijentisane, maloserijske proizvodnje. Fokus rada na rotaciono simetričnim delovima pokazao je da se sistematičnom klasifikacijom i kreiranjem kompleksnog modela može postaviti čvrsta osnova za generisanje čitavih familija proizvoda unutar jedinstvene datoteke.

Jedan od najznačajnijih doprinosa rada ogleda se u praktičnoj primeni SolidWorks konfiguracija i njihove integracije sa Excel bazama podataka (Design Table). Ovakav spoj omogućava inženjerima da upravljaju kompleksnom geometrijom putem logičkih parametara, gde se transformacija generičkog modela u specifični proizvod vrši automatski, uz minimalnu intervenciju korisnika. Potiskivanjem ili aktiviranjem nezavisnih tipskih oblika (features), postiže se visoka fleksibilnost dizajna, dok se verovatnoća ljudske greške, karakteristična za manuelno modeliranje svake varijante pojedinačno, svodi na minimum.

Posebna vrednost predloženog modela potvrđena je kroz implementaciju unutar SolidCAM okruženja. Zahvaljujući punoj asocijativnosti između CAD i CAM modula, putanje alata više nisu statični entiteti vezani za jednu fiksnu geometriju. Rad je pokazao da softver inteligentno prepoznaje promene u konfiguracijama, automatski rekalkulišući putanje alata i prilagođavajući zahvate novim konturama izabranog proizvoda. Ovakav automatizovani ciklus izmena-proračun eliminiše potrebu za ponovnim programiranjem sličnih delova, čime se dramatično skraćuje vreme potrebno za pripremu NC operacija i povećava ukupna efikasnost proizvodnog sistema.

U zaključku se može istaći da integracija baze podataka, parametarskog modeliranja i asocijativne proizvodne logike formira zaokružen inženjerski ekosistem. Takav sistem ne samo da racionalizuje proces projektovanja, već stvara preduslove za inteligentno upravljanje proizvodnjom i implementaciju principa Industrije 4.0. Rezultati prikazani u radu služe kao jasan pokazatelj da digitalna transformacija tehnoloških procesa proizvodnje, zasnovana na principima grupne tehnologije, predstavlja jedini održiv put ka postizanju visoke konkurentnosti, operativne pouzdanosti i ekonomske opravdanosti u savremenoj metaloprerađivačkoj industriji.

ZAHVALNOST

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu Departmana za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu za 2026. godinu, pod nazivom „Trendovi u proizvodnom mašinstvu“.

4. LITERATURA

- [1] Mirko Soković, Dejan Božić, Dejan Lukić, Mijodrag Milošević, Mario Šokac, Željko Santoši, *Physical Adaptation of Articulated Robotic Arm into 3D Scanning System*, Applied Sciences, Vol. 15, No. 10, p. 5377, Maj 2025, doi: 10.3390/app15105377.
- [2] Chinwendu Wealth Nwauzi, Sandor Bodzas, *Design and manufacturing of casting molds for the housing of a hand-operated sed grinding machine*, Journal of Production Engineering, Vol. 28, No. 02, 2025.
- [3] Internet stranica <https://www.solidworks.com>
- [4] Internet stranica <https://solidcam.com>
- [5] Jason Shore, Roy Blows, Andrew Viquerat, Guglielmo S. Aglietti, David Gooding, Guy Richardson, *A new generation of deployable optics for earth observation using small satellites*, 18th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, Minhen, Nemačka, Septembar 2019.
- [6] Dejan Lukić, Mijodrag Milošević, *Integrirani CAPP sistemi i PDM*, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2022.