

ZNAČAJ RAČUNARSKE GRAFIKE U AUTOMATIZOVANOM PROJEKTOVANJU MAŠINA**THE IMPORTANCE OF COMPUTER GRAPHICS IN AUTOMATED MACHINE DESIGN**Nemanja Radić, Radomir Đokić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSKO INŽEWERSTVO**

Kratak sadržaj – U master radu su obrađene tehnike i metode koje su najčešće u primjeni u mašinstvu i koje čine osnovu automatizovanog projektovanja kao što su zapreminsko modelovanje, parametarsko modelovanje i dr. Dati su neki od mnogobrojnih primjera njihove primjene u projektovanju i njihove prednosti i mane. Takođe, u ovom radu su opisane i nove metode koje su tek u početnim fazama implementacije kao što su vještačka inteligencija, virtuelna i proširena realnost i mogućnost njihovog kombinovanja sa tradicionalnim metodama automatizovanog projektovanja.

Ključne reči: Računarska grafika, automatizovano projektovanje mašina

Abstract – In the master's thesis, the techniques and methods most commonly used in mechanical engineering, which form the basis of automated design, such as solid modeling, parametric modeling, and others, were analyzed. Several examples of their application in design, along with their advantages and disadvantages, were presented. Additionally, the thesis described new methods that are still in the early stages of implementation, such as artificial intelligence, virtual reality, and augmented reality, as well as the possibility of combining them with traditional automated design methods.

Keywords: Computer graphics, Automated machine design

1. UVOD

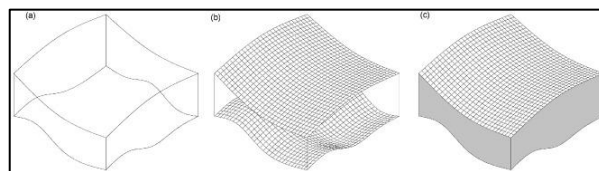
Računarska grafika i kompjuterski podržano projektovanje (CAD) predstavljaju temelj savremenog mašinskog inženjerstva, mijenjajući način na koji se mehanički elementi i sistemi zamišljaju, vizualizuju i realizuju. Ovaj rad bavi se različitim aspektima inženjerske grafike i CAD-a, pružajući razumijevanje njihovog značaja, tehnika i primjena u mašinskom projektovanju. Tokom ovog istraživanja istaknut je razvoj inženjerske grafike od ručnog crtanja do digitalnog projektovanja, naglašavajući ulogu vizualizacije u efikasnoj komunikaciji u mašinskom projektovanju. Analizirani su osnovni koncepti ortogonalnih projekcija, geometrijskog modeliranja, parametarskog projektovanja, otkrivajući kako ove tehnike unapređuju efikasnost i tačnost projektovanja.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Radomir Đokić, vanr. prof.

1.1. Automatizovano projektovanje

Automatizovano projektovanje mašina predstavlja primjenu računarskih tehnologija i softvera u procesu kreiranja, analize i optimizacije mašinskih konstrukcija. Osnova automatizovanog projektovanja nalazi se u softverskim alatima kao što su CAD (Computer-Aided Design) i CAE (Computer-Aided Engineering). Iako danas postoje brojne različite tehnike automatizovanog projektovanja, osnovu svih tih tehnika čine geometrijski modeli i operacije koje se vrše nad njima, odnosno Boole-ove operacije (unija, razlika i presjek). Postoje dva osnovna tipa geometrijskih modela: dvodimenzionalni model koji se koristi za tehničko crtanje i trodimenzionalni model koji se koristi za računarski potpomognuto projektovanje i proizvodnju. U zavisnosti od reprezentacije objekata, sistemi geometrijskog modelovanja mogu se klasifikovati u tri kategorije, a to su zapreminsko modelovanje, modelovanje površina i modelovanje žičanog modela, slika 1, [1-2].



Slika 1. Žičani model, površinski model i zapreminski model (slijeva na desno) [1]

2. TEHNIKE AUTOMATIZOVANOG PROJEKTOVANJA

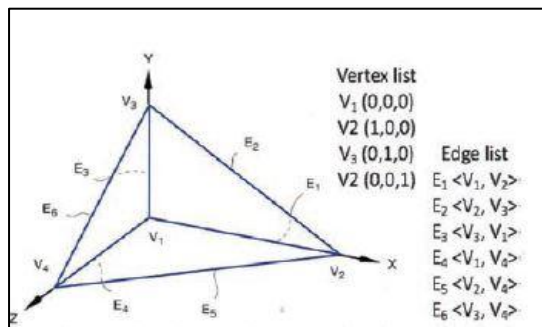
Tehnike projektovanja predstavljaju niz strategija i metoda koje inženjeri koriste kako bi najučinkovitije razvili nove proizvode, strukture ili sisteme. Projektovanje uključuje brojne korake: od početne ideje i istraživanja, preko modelovanja i simulacija, pa sve do izrade prototipa i testiranja. Svrha ovih tehnika je da olakšaju kreiranje rješenja koja su što bliža zahtjevima funkcionalnosti, estetike, troškova i trajnosti. Automatizovano projektovanje podrazumijeva interaktivan rad između inženjera i računara, gdje se spajaju kreativnost čovjeka i obradna moć softverskih alata. Tehnike projektovanja koje danas imaju najširu primjenu su:

1. Formiranje žičanog modela,
2. Površinsko modeliranje,
3. Zapreminsko modeliranje,
4. Parametarsko modeliranje,
5. Generativni dizajn,
6. Inverzno (reverzibilno) inženjerstvo i
7. tzv. „Kinematičko“ modeliranje.

Svaka od ovih tehnika ima posebnu ulogu i pruža specifične mogućnosti koje unapređuju proces projektovanja.

2.1. Formiranje žičanog modela

Žičani model predstavlja jedan od najosnovnijih i najstarijih oblika grafičkog prikaza 3D objekata, koji se široko koristi u mašinstvu. Ova tehnika modeliranja zasniva se na upotrebi linija, tačaka i krivih za definisanje geometrijskih odnosa i oblika objekata, bez potrebe za definisanjem detalja kao što su površina ili zapremina. Tačke predstavljaju koordinate koje definišu ključne dijelove objekta, dok linije i krive povezuju ove tačke i formiraju ivice koje određuju oblik objekta, kao što je to prikazano na slici 2.

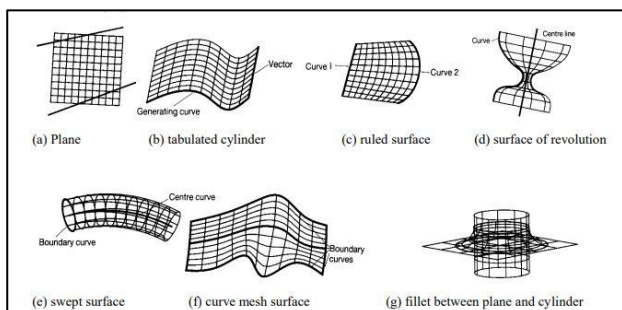


Slika 2. Žičani model tetraedra [2]

Iako ne pruža potpunu predstavu o fizičkim svojstvima objekta, žičani model ima važnu ulogu u ranim fazama dizajna i analize, posebno kada je potrebno istražiti osnovne geometrijske odnose i strukturu objekta.

2.2. Modeliranje površina

Modeliranje površina definiše komponentu sa većim matematičkim integritetom, jer modelira površine kako bi dalo preciznije prostorne granice dizajnu. Posebno je korisno za modeliranje objekata koji se mogu modelirati kao ljuske, kao što su paneli karoserije automobila, trupovi aviona ili lopatice ventilatora. Najosnovniji tip površina je ravna površina, prikazana na slici 3(a), koja se može definisati između dvije paralelne prave linije, kroz tri tačke ili kroz liniju i tačku. Drugi tipovi površina koje se obično koriste u CAD-u su: tabelarni cilindar, slika 3(b), loft, slika 3(c), površina dobijena rotacijom, prikazana na slici 3(d), sweep, slika 3(e), skulpturalna ili površina sa mrežom krivih, slika 3(f) i tzv. filet površina kao prelaz sa cilindra na ravan, slika 3(g).



Slika 3. Tipovi površina u CAD softverima [3]

Jedna od značajnih prednosti površinskog modeliranja je u tome što omogućava inženjerima da rade u interaktivnom okruženju. Kada se promijeni neka površina, modifikacije se odmah odražavaju na cjelokupnom modelu, što olakšava projektovanje i optimizaciju. Ova sposobnost da se brzo prilagodi i izmijene modeli čini površinsko modeliranje

izuzetno korisnim alatom u dinamičnom okruženju kao što je savremena industrija.

2.3. Zapreminsko modeliranje

Zapreminsko modeliranje je jedna od osnovnih tehnika u inženjerskom projektovanju koja se koristi za stvaranje trodimenzionalnih zapreminskih modela. Ova metoda omogućava inženjerima da kreiraju realistične predstave fizičkih objekata, uključujući njihova stvarna fizička svojstva kao što su masa, zapremina, centar gravitacije i moment inercije. Ove informacije su od suštinskog značaja za analizu i optimizaciju dizajna, posebno u složenim projektima. Šeme predstavljanja 3D modela mogu se podijeliti u šest opštih klasa, a to su čista primitivna instanca, generalizovano izvlačenje, prebrojavanje prostorne okupacije, ćelijska dekompozicija, sastavljanje modela iz 3D primitiva (CSG) - model gomerijske konstrukcije i definisanje granica objekta (B-rep) - model granične prezentacije. Šeme predstavljanja koje se najčešće koriste u komercijalnim modelima su CSG i B-rep. Kada je u pitanju grafička dokumentacija, zapreminsko modeliranje u specijalizovanim softverima, kao što su Autodesk Inventor i CATIA V5, olakšava kreiranje tehničkih crteža i specifikaciju delova. Inženjeri mogu automatski generisati 2D crteže iz 3D zapreminskih modela, čime se ubrzava proces kreiranja dokumentacije i smanjuju mogućnosti grešaka.

2.4. Parametarsko modeliranje

Parametarsko modeliranje predstavlja ključnu tehniku u automatizovanom projektovanju. Ova tehnika omogućava inženjerima da na efikasan način definišu i upravljaju osnovnim dimenzijama i karakteristikama geometrijskih modela. Parametarsko modeliranje odnosi se na kreiranje 3D CAD modela u kojima je geometrija definisana i ograničena parametrima. Ovi parametri mogu biti dimenzije, matematički odnosi, osobine materijala i drugo. Ključna stvar je da se, kada se promijene vrednosti parametara, geometrija automatski ažurira prema unapred definisanim pravilima. Ovaj pristup omogućava neviđenu fleksibilnost i automatizaciju u procesu dizajniranja. Zahvaljujući mogućnosti brzih izmena kompletne geometrije promenom parametara, inženjeri mogu brzo raditi na varijantama dizajna, optimizovati komponente i standardizovati sklopove.

2.5. Generativni dizajn

Generativni dizajn je tehnika koja transformiše način na koji inženjeri i dizajneri pristupaju razvoju proizvoda. Ovaj proces omogućava inženjerima da, na osnovu definisanih ulaznih parametara (kao što su materijali, opterećenja, ograničenja prostora i troškovi), generišu veliki broj mogućih rešenja za određeni problem. Ova tehnika je posebno značajna u sektorima gde je smanjenje težine ključno, kao što su avijacija i raketna industrija, gde svako smanjenje mase može dovesti do značajnih ušteda u gorivu i poboljšanja u performansama. U pogledu troškova, generativni dizajn može dovesti do ušteda od 10% do 30% u poređenju sa tradicionalnim metodama, [4].

2.6. Reverzibilno inženjerstvo

Reverzibilno inženjerstvo predstavlja metodologiju koja podrazumeva analizu i dekonstrukciju gotovog proizvoda s ciljem sticanja dubljeg razumevanja njegove strukture,

funkcionalnosti i principa rada. Ova tehnika se često koristi u inženjerstvu za razvoj novih proizvoda, reinženjering postojećih rešenja, kao i za usavršavanje procesa proizvodnje. Proces reverzibilnog inženjeringa započinje fizičkim proizvodom, gde inženjeri razgrađuju komponente, analiziraju ih, a zatim koriste te podatke za stvaranje novog dizajna (varijanti) ili za poboljšanje postojećih. Iako reverzibilno inženjerstvo donosi brojne prednosti, kao što su smanjenje troškova, brža proizvodnja i unapređenje postojećih tehnologija, ono sa sobom nosi i određene izazove. Jedan od njih su pravna pitanja koja se odnose na intelektualnu svojinu, jer kopiranje dizajna bez odobrenja može dovesti do pravnih komplikacija.

2.7. „Kinematičko“ modeliranje

„Kinematičko“ modeliranje je tehnika koja se koristi za analizu kretanja komponenti u sistemu, što je od suštinskog značaja u projektovanju mehanizama. Ova metoda omogućava inženjerima da proučavaju kretanje dijelova u mehaničkom sistemu, što je ključno za optimizaciju performansi i funkcionalnosti dizajna. Shvatanje kretanja komponenti pomaže inženjerima da identifikuju oblasti u kojima mogu doći do neusaglašenosti ili neželjenih dejstava tokom rada. Na primjer, u razvoju robota ili automobila, „kinematičko“ modeliranje može pomoći u analizi kako različiti dijelovi utiču na rad mehanizma, čime se osigurava da sve komponente rade sinhronizovano i bez problema.

3. INOVACIJE I BUDUĆNOST AUTOMATIZOVANOG PROJEKTOVANJA

Automatizovano projektovanje mašina predstavlja dinamičnu i inovativnu oblast inženjerstva koja se neprestano razvija, a nove tehnologije i metode značajno utiču na način na koji inženjeri pristupaju dizajnu i razvoju mehaničkih sistema. Napredak u tehnologiji, naročito u oblasti vještačke inteligencije (AI) i mašinskog učenja, dovodi do transformacije tradicionalnih metoda projektovanja, omogućavajući inženjerima da istražuju nove dizajnerske koncepte i optimizuju postojeća rješenja. Koristeći algoritme vještačke inteligencije i modelovanje podataka, inženjeri mogu analizirati velike količine informacija, identifikovati obrasce i predvidjeti ponašanje sistema.

Budućnost automatizovanog projektovanja obećava da će biti obilježena naprednom integracijom tehnologija, povećanom saradnjom među timovima i većom sposobnošću inženjera da brzo reaguju na promjene u zahtjevima tržišta, čime se poboljšavaju kvalitet i efikasnost proizvoda. Neke od novih metoda koje su obrađene u ovom radu su vještačka inteligencija i mašinsko učenje, 3D štampanje i aditivna proizvodnja, oblak i kolaborativne platforme, virtuelna stvarnost i proširena stvarnost.

3.1. Vještačka inteligencija i mašinsko učenje

Oblast vještačke inteligencije (AI) dobija veliku pažnju zbog sposobnosti da efikasno analizira i djeluje na ogromnu količinu prikupljenih podataka. Nagli porast interesovanja se uglavnom pripisuje napretku ostvarenim u podoblasti mašinskog učenja (ML), kao i pratećim faktorima, kao što su skladištenje podataka i računarske snage. Sistemi ove tehnologije postaju moćni alati koji se

mogu koristiti i mogu dovesti do bržeg, racionalnijeg donošenja odluka, kao i efikasnijeg rada. Vještačka inteligencija (AI) je oblast računarskih nauka koja se može koristiti za razvoj inteligentnih računara koji mogu djelovati, razmišljati i donositi odluke slično ljudima. Vještačka inteligencija je pokazana kada mašina ima sposobnosti slične ljudskim, kao što su učenje, razmišljanje i rješavanje problema. S druge strane, mašinsko učenje (ML) je oblast vještačke inteligencije (AI) i računarskih nauka koja se fokusira na korišćenje podataka i algoritama kako bi se imitirao način na koji ljudi uče i postepeno poboljšala preciznost.

Nauka o podacima je rastuća disciplina, a mašinsko učenje predstavlja njen ključni segment. U inicijativama za rudarenje podataka, algoritmi za klasifikaciju i predviđanje se obučavaju korišćenjem statističkih metoda, pružajući važne uvide. Ove informacije zatim olakšavaju donošenje odluka unutar aplikacija i organizacija, sa idealnim uticajem na ključne mjere rasta. Vještačka inteligencija i mašinsko učenje predstavljaju ključne elemente u budućnosti automatizovanog projektovanja. Ove tehnologije ne samo da poboljšavaju kvalitet i efikasnost dizajna, već i otvaraju nove mogućnosti za inovacije.

3.2. 3D štampanje i aditivna proizvodnja

3D štampanje i aditivna proizvodnja su postali ključni alati u oblasti automatizovanog projektovanja, doprinoseći značajnom unapređenju u načinu na koji inženjeri razvijaju i proizvode složene komponente i sisteme. Ove tehnologije ne samo da omogućavaju brzu izradu prototipa, već i unapređuju mogućnosti dizajna, čime se smanjuju troškovi i vreme potrebno za razvoj. 3D štampanje je proces koji podrazumeva stvaranje fizičkog objekta iz digitalnog modela. Ovaj proces se izvodi sloj po sloj, gde se materijali dodaju jedan na drugi sve dok se ne postigne željeni oblik. Aditivna proizvodnja omogućava proizvodnju komponenti složenih oblika koje bi bilo teško ili nemoguće napraviti tradicionalnim metodama obrade. Na primer, inženjeri mogu stvoriti detaljne geometrije, unutrašnje šupljine i strukturne obrasce koji poboljšavaju funkcionalnost komponenti. Nove tehnike, kao što su 4D štampanje, koje podrazumeva proizvodnju objekata koji se mogu prilagođavati promenljivim uslovima, otvaraju nove mogućnosti za inovaciju. Takođe, integracija sa tehnologijama kao što su vještačka inteligencija može dovesti do još složenijih i pametnijih sistema.

3.3. Oblak (Cloud) i kolaborativne platforme

U današnjem globalizovanom svijetu, gdje fizičke granice postaju sve manje važne, oblak tehnologije i kolaborativne platforme igraju ključnu ulogu u automatizovanom projektovanju. Ove tehnologije omogućavaju inženjerima da rade na projektima iz različitih geografskih lokacija, čime se podstiče inovacija i unapređuje efikasnost u projektovanju mehaničkih sistema. Oblak tehnologije podrazumijevaju korišćenje interneta za skladištenje, upravljanje i obradu podataka, umjesto lokalnih servera ili računarskih sistema. Ova tehnologija omogućava inženjerima i dizajnerima da pristupe potrebnim resursima i alatima u bilo kom trenutku, sa bilo kog mjesta. Kolaborativne platforme, kao što su Autodesk Fusion 360, SolidWorks 3DEXperience i Microsoft Teams, integrišu funkcionalnosti oblaka s alatima za timsku saradnju, čime

se poboljšava komunikacija i razmjena informacija u timu. Oblak tehnologije i kolaborativne platforme predstavljaju značajan napredak u automatizovanom projektovanju. One omogućavaju inženjerima da sarađuju u realnom vremenu, dele podatke i optimizuju proces projektovanja. Uspostavljanjem efikasne komunikacije i smanjenjem grešaka, ove tehnologije poboljšavaju kvalitet proizvoda i ubrzavaju razvoj. Kako se tehnologija razvija, kolaborativne platforme će nastaviti da igraju ključnu ulogu u budućnosti automatizovanog projektovanja, otvarajući nove mogućnosti za inovaciju i efikasnost, [5].

3.4. Virtualna stvarnost i proširena stvarnost

Virtuelna stvarnost (VR) i proširena stvarnost (AR) su inovacije koje značajno mijenjaju način na koji inženjeri i dizajneri pristupaju projektovanju i razvoju mehaničkih sistema. Ove tehnologije ne samo da poboljšavaju vizualizaciju i analizu dizajna, već i unapređuju saradnju i komunikaciju u timu, što dovodi do efikasnijeg i inovativnijeg procesa projektovanja. Virtuelna stvarnost podrazumijeva stvaranje potpuno digitalnog okruženja u kojem korisnici mogu interaktivno učestvovati. Korišćenjem VR tehnologije, inženjeri mogu da projektuju i testiraju složene sisteme u simuliranoj sredini, što im omogućava da istraže različite dizajnerske opcije bez potrebe za fizičkim prototipima. Proširena stvarnost kombinuje digitalne elemente sa stvarnim svijetom, stvarajući interaktivno iskustvo koje omogućava inženjerima da na realne objekte projektuju digitalne informacije. Ova tehnologija predstavlja značajan napredak u procesima montaže, održavanja i obuke. U poređenju sa statičkim 3D modelima ili tradicionalnim 2D crtežima, tehnologija proširene stvarnosti nudi tro-dimenzionalnu perspektivu koja je značajno intuitivnija i informativnija, što poboljšava prostorno razmatranje.

4. ZAKLJUČAK

Računarska grafika i kompjuterski podržano projektovanje (CAD) predstavljaju temelj savremenog mašinskog inženjeringa, menjajući način na koji se mehanički elementi i sistemi zamišljaju, vizualizuju i realizuju. Ovaj rad bavi se različitim aspektima inženjerske grafike i CAD-a, pružajući razumevanje njihovog značaja, principa, tehnika i primena u mašinskom projektovanju. Tokom ovog istraživanja istaknut je razvoj inženjerske grafike od ručnog crtanja do digitalnog projektovanja, naglašavajući ključnu ulogu vizualizacije u efikasnoj komunikaciji u mašinskom projektovanju. Analizirani su osnovni koncepti ortogonalnih projekcija, geometrijskog modeliranja, parametarskog projektovanja i crtanja, otkrivajući kako ove tehnike unapređuju efikasnost, tačnost i svestranost projektovanja. Istraživanjem spektra CAD softvera i alata, prikazano je kako inženjeri koriste digitalne platforme za kreiranje složenih 3D modela, simulaciju mehaničkog ponašanja i besprekornu saradnju između timova koji se nalaze na različitim geografskim lokacijama.

Integracija parametarskog projektovanja, 3D modeliranja i principa sklopova omogućava inženjerima brzu iteraciju, optimizaciju projekata i virtuelnu validaciju performansi pre fizičke realizacije. Pored toga, važnost tehničkog crtanja i dokumentacije ne sme se potceniti, jer tačni tehnički crteži, liste materijala (BOM) i prateća

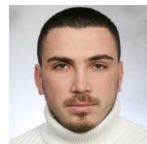
dokumentacija predstavljaju osnovu komunikacije u projektovanju, obezbeđujući uspešan prenos zamisli u otpljive proizvode.

Kako mašinski inženjeri nastavljaju da prihvataju moć računarske grafike i CAD-a, stiču sposobnost da inoviraju, unapređuju procese projektovanja i realizuju nove ideje. Bilo da je reč o kreiranju složenih 3D modela, simulaciji kompleksnih mehaničkih sistema ili komunikaciji tehničkih specifikacija, ovladavanje ovim principima i tehnikama vodi mašinski inženjering u eru neviđene kreativnosti i efikasnosti.

5. LITERATURA

- [1] A. Dag, A. Özdemir, "A Comparative Study for 3D Surface Modeling of Coal Deposit by Spatial Interpolation Approaches", *Resource Geology*, 63 (4), pp. 394-403, 2013.
- [2] Z. Jelić, B. Popkonstantinović, M. Stojičević, "Usage of 3D Computer Modelling in Learning Engineering Graphics", 2016.
- [3] Anonim., "Surface modeling", ITÜ - Transport Tekniği Grubu, Istanbul, 2009.
- [4] M. Fenoo, O. Alquabeh, M.M. Nisar, S. Zia, "Generative Design of a Mechanical Pedal", *International Journal of Engineering and Management Sciences*, (6), pp. 48-56, 2021.
- [5] V. Gharibvand, M.K. Kolamroudi, Q. Zeeshan et al., "Cloud based manufacturing: A review of recent developments in architectures, technologies, infrastructures, platforms and associated challenges", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (131), pp. 93-123, 2024.

Kratka biografija:



Nemanja Radić rođen je u Bijeljini 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinskog inženjerstva – Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo odbranio je 2025. god.
kontakt: nemanja.radic997@gmail.com



Radomir Đokić, vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. god. Oblast interesovanja su projektovanje mobilnih mašina i konstrukcija.