

OSNOVE PROCESA PROJEKTOVANJA MAŠINSKIH SISTEMA**BASICS OF MACHINE SYSTEMS DESIGN PROCESSES**Ištvan Tot, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Tema ovog rada su osnove procesa projektovanja mašina, konstrukcija i mašinskih sistema. Date su potrebne definicije i opšta podela projektovanja sa uticajem razvoja proizvoda kroz faze projektovanja na sam kvalitet i cenu finalnog proizvoda. Opisane su faze projektovanja kroz primere koji bi se mogli primeniti u praksi. Objasnjene su metode traženja rešenja, kao i metode za izbor i vrednovanje najpogodnijeg rešenja. Opisane su operacije u fazama konstruisanja i konstrukcione razrade.

Ključne reči: Teorija projektovanja, faze projektovanja, metode traženja i vrednovanja rešenja

Abstract – The topic of this document is the basics of the designing process of machines, structures and machine systems. The necessary definitions and a general division of design are given with the impact of product development through the design stages on the quality and price of the final product. Design phases are described through examples that could be applied in practice. Methods of searching for solutions are explained, as well as methods for selecting and evaluating the most suitable solution. Operations in the phases of construction and structural elaboration are described.

Keywords: Design theory, design phases, methods of searching and evaluating solutions

1. UVOD

Proces projektovanja je niz događaja i skup smernica koje pomažu u definisanju jasne početne tačke koja vodi projektante od vizuelizacije proizvoda u svojoj mašti do realizacije u stvarnom životu, na sistematski način. To zahteva i naučno i umetničko razmišljanje. Dok se prvo može naučiti kroz sistematski proces, iskustvo i tehniku rešavanja problema, drugo se stiče praksom i potpunom posvećenošću problemu.

2. TEORIJA PROJEKTOVANJA

Reč projektovanje se odnosi na proces generisanja i uspostavljanja rešenja za neki inženjerski problem. Uključuje korišćenje fizičkih nauka, matematike, inženjerske teorije i kreativnosti [5].

Pod pojmom „konstrukcija” u kontekstu inženjerskog projektovanja podrazumeva se definicija rasporeda elemenata i podsklopova mašine ili uređaja na osnovu projekta [5].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Radimir Đokić, red. prof.

Proces projektovanja treba da se vodi tako, da se u najkraćem mogućem roku razviju kvalitetni i u ceni konkurentni proizvodi. Kvalitet proizvoda se utvrđuje u toku faze projektovanja [2]. Ako postoje nedostaci u konstrukciji predmeta, on ne bi postigao komercijalni uspeh, bez obzira na to koliko je dobra proizvodnja ili marketing.

Projektovanje ima veliki uticaj na ukupne troškove proizvodnje. Sam proces projektovanja uključuje samo mali deo troškova (manje od 5%), što ne uključuje troškove proizvodnog rada i materijala. Bez obzira što konstruisanje utiče sa 70 do 80 % od ukupnih troškova proizvodnje, sve ostalo može uticati samo sa oko 25 % [2]. Može se zaključiti da odluke donete u procesu projektovanja koštaju veoma malo u odnosu na ukupnu cenu proizvoda, ali imaju veliki uticaj na cenu proizvoda.

2.1. Izazovi projektovanja

Mnoge poteškoće u inženjerskom projektovanju pripisuju se loše strukturiranim ili otvorenim problemima [3]. Problemi su loše strukturirani kada se rešenje ne može rutinski primeniti na njih pomoću matematičkih formula ili algoritama. Otvorenost se odnosi na mnoštvo rešenja koja se mogu primeniti na problem.

Od projektanta se zahteva da nauči da samostalno razmišlja, da kombinuje rešenja i donosi zaključke na osnovu već posedovanog znanja [1]. Kreativnost je jedan od najvažnijih aspekata inženjerskog projektovanja, jer bez njega ne bi bilo moguće pronaći rešenja i razvoj proizvoda bi bio nemoguć.

Kako je cilj inženjerskog projektovanja kreiranje detaljne dokumentacije koja omogućava proizvodnju ciljnog proizvoda, komunikacija je od centralnog značaja tokom celog procesa. Projektanti moraju biti svesni delova koje je teško napraviti ili ograničenja proizvodnih procesa [3]. Kako bi se izbeglo slučajno proizvodno neiskustvo inženjera, konstrukcioni tim često uključuje mašince ili druge stručnjake.

2.2. Vrste inženjerskog projektovanja

Pošto svako ima mišljenje o tome kako proizvod treba da se razvije, što je rezultiralo različitim procesima projektovanja koji su korišćeni, mnogi od njih nisu međusobno kompatibilni. Sistematski proces projektovanja je uveden kako bi pomoglo projektantima da postignu svoje ciljeve bez ometanja kreativnosti.

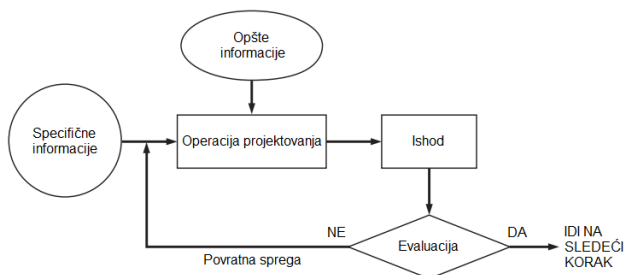
Inženjersko projektovanje se može koristiti iz mnogo različitih razloga i može imati različite oblike. Na osnovu različitih stepena težine, mogu se razlikovati četiri tipa projektovanja: *pionirski, adaptivni, varijantni i tipski* [2].

Pošto je proces razvoja podeljen na operacije koje sprovode različiti timovi, na osnovu tipa toka posla projektovanje može biti *sekvencijalno* i *simultano* [6].

3. PROCES PROJEKTOVANJA

Projektovanje proizvoda je inovativan proces koji se često ponavlja. Odluke se ponekad moraju donositi sa premalo informacija, povremeno sa pravom količinom smernica, ili sa viškom delimično kontradiktornih podataka [1]. U zavisnosti od tipa projektovanja koji se sprovodi, veći deo procesa može biti rutinski, gde su svi mogući tipovi rešenja poznati i često propisani standardima.

Projektovanje nije linearan proces, inženjeri često moraju da se vraćaju od faze projektovanja na prethodne, pošto se otkriva više informacija i menjaju se aspekti na osnovu kojih je koncept kreiran (slika 1).



Slika 1. Šematski prikaz opšte faze projektovanja [2]

Sveobuhvatnija podela procesa projektovanja razlikuje četiri faze projektovanja: *faza predprojekta*, *konceptijsko projektovanje*, *faza konstruisanja* i *faza konstrukcione razrade* [2].

4. FAZA PREDPROJEKTA

Da bi započeo projektovanje proizvoda, inženjer mora prvo da definiše koje su potrebe koje proizvod mora da zadovolji [1]. Ključ je u pronalaznju najboljeg načina za njihovo definisanje i uspostavljanje kriterijuma na osnovu kojih je moguće ne samo kreiranje koncepta, već sortiranje i najprikladniji izbor.

Jedan od najvažnijih aspekata koji određuje uspeh proizvoda je da li on ispunjava očekivanja kupaca [2]. Dobijanje takvih informacija vrši se analizom tržišta. Međutim, ovo nije uvek odlučujuća karakteristika procesa inženjerskog projektovanja. Samo sprovođenje analize tržišta obično nije dovoljno za generisanje koncepta. Za konačni skup specifikacija konstrukcija proizvoda tri inženjerske karakteristike poslužiti kao okvir: projektni parametri, projektne promenljive i ograničenja.

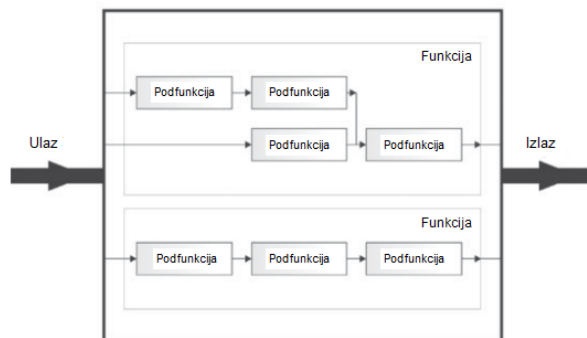
5. KONCEPCIJSKO PROJEKTOVANJE

Kako razvojni proces ulazi u konceptualnu fazu, projektanti počinju da traže rešenja i koncepte kako bi ispunili zahteve utvrđene u prethodnoj fazi. Da bi se to postiglo, uslovi pod kojima proizvod mora da radi dele se na elementarne funkcije. Nakon definisanja funkcija, utvrđuje se njihova struktura, pridavanje specifičnih ciljeva svakoj funkciji i posmatranje interakcija između njih. Na osnovu dobijenih informacija počinje potraga za

rešenjima na način koji podstiče kreativno razmišljanje. Cilj je da se generiše široka lepeza konceptata i da se problemima pristupi sa što više gledišta. Predložena rešenja se onda moraju sortirati na osnovu različitih kriterijuma, eliminišući i neadekvatne koncepte.

5.1. Definicija funkcije

Funkcije proizvoda se mogu definisati kao odnos između ulaza i izlaza sistema, ili kao aktivnost koju uređaj treba da obavlja [7]. Dok zahtevi opisuju šta proizvod treba da radi, funkcije su inženjerske radnje koje su neutralne za rešenje koje će proizvod izvršiti. Većina funkcija može se lako opisati kombinacijom akcionog glagola i imenice [1], na primer „smanji brzinu“. Postoji nekoliko metoda da se izvrši funkcionalna analiza, da se definišu funkcije koje proizvod mora da obavlja, na primer metode crne/staklene kutije (slika 2) i stablo funkcija-način [3].



Slika 2. Model staklene kutije [1]

5.2. Definicija funkcionalne strukture

Primarna svrha funkcionalnih struktura je da olakšaju otkrivanje rešenja. Ovo je korisno kada se kreira nova konstrukcija, gde ni pojedinačne podfunkcije ni njihovi odnosi nisu jasno poznati. Korišćenje funkcionalnih struktura omogućava inženjerima da ispitaju svaku od komponenti sistema pojedinačno i da ih modifikuju ako je potrebno [1].

Tokom ovog koraka, navodima u opisima proizvoda daju se dodatna pojašnjenja [2]. Funkcija električnog čajnika može se definisati kao „da prokuva vodu“. Da biste naveli ovu izjavu, njoj se mogu dodeliti vrednosti, na primer: „prokuvati 1 litar vode za manje od jednog minuta“.

Pored toga, ako sistem ili uređaj moraju da rade sa drugim sistemima ili uređajima, onda moramo navesti kako ti sistemi međusobno deluju. Ove posebne zahteve nazivamo specifikacijama performansi interfejsa [3]. Postoje različite metode za generisanje inženjerskih specifikacija. Dva značajna metoda su performanse-specifikacija [3] i metoda kvalitet-funkcija-raspoređivanje [8].

5.3. Formiranje rešenja

Nakon što su i funkcije i karakteristike proizvoda pravilno specificirane, počinje proces generisanja koncepta. Svaki od pronađenih problema ima više mogućih rešenja. Zadatak inženjera je da planiraju što više rešenja. Ovi koncepti takođe moraju zadovoljiti definisane specifikacije. Ovaj proces zahteva kreativno razmišljanje, korišćenje različitih izvora informacija i metoda planiranja kao što su morfološka metoda [1], brainstorming [2] i TRIZ [4].

5.4. Vrednovanje rešenja

Nakon generisanja koncepta, projektantski tim ima niz predloženih konceptata koji mogu da zadovolje zahteve proizvoda. Međutim, pošto ova rešenja nisu potpuna, postoje ograničeni podaci na osnovu kojih bi se mogao izabrati konačan koncept [2]. Da bi se ova prepreka prevazišla, koriste se različite metode za njihovo upoređivanje i procenu. Do kraja procesa evaluacije, proizvod koji ima najveći potencijal da postane kvalitetan proizvod biće identifikovan kroz mnoge koncepte koji su generisani. Za vrednovanje se koristi metode stablo odlučivanja [2], Pughova tabela [1], tabela odlučivanja [3], itd.

6. FAZA KONSTRUISANJA

Tokom faze konstruisanja, konceptni okvir koji je generisan dobija realističnije i detaljnije karakteristike [2]. Obrađuju se važna pitanja, kao što su postavljanje dimenzija delova, čineći ih estetski prijatnijim, poboljšavajući praktičnost konstrukcija ili povećavajući njihovu ekološku prihvatljivost.

6.1. Arhitektura proizvoda

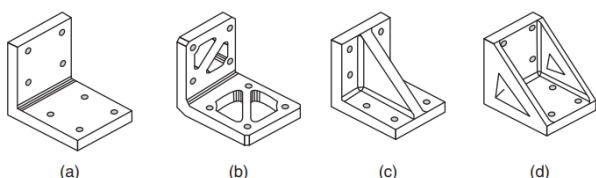
Arhitektura proizvoda uključuje raspoređivanje i grupisanje odabranih fizičkog elemenata, a data je odnosima između komponenti u proizvodu i funkcijama koje proizvod obavlja [2]. Arhitektura proizvoda može biti integralna ili modularna. Fizički gradivni blokovi i podsistemi u koje je proizvod organizovan se obično nazivaju moduli. Modularnost omogućava prilagođavanje proizvoda i varijacije konstrukcija po pristupačnoj ceni. Sistemi ovih tipa su češći, obično su mešavina standardnih modula i prilagođenih komponenti.

Najkritičniji zadatak u određivanju arhitekture proizvoda je tačno modeliranje interakcija između modula i postavljanje karakteristika performansi za module [2].

6.2. Projektovanje konfiguracije

Prilikom projektovanja konfiguracije nestandardnog dela, utvrđuju se oblik i opšte dimenzije komponenti. Ovo uključuje razne geometrijske karakteristike, njihovu lokaciju i raspored na komponenti [2]. Konfiguracije se zasnivaju na arhitekturi proizvoda i stoga na funkciji iz koje se oblikuje najbolji oblik za svaku komponentu.

Razvijena forma u velikoj meri zavisi od raspoloživih materijala i metoda proizvodnje, pored prostornih ograničenja koja definišu obim u kome proizvod funkcioniše, specifikacije konstrukcija, ograničenja čoveka koji radi sa proizvodom, interfejsne ili veze između komponenti (slika 3).



Slika 3. Moguće konfiguracije jedne komponente [2]

Postoje određeni kriterijumi koje konačna konfiguracija treba da ispuni. Jedna od njih je jasnoća konstrukcije koja ukazuje da je odnos između različitih funkcija i odgovarajućih ulaza i izlaza energije, materijala i protoka signala nedvosmislen.

6.3. Projektovanje parametara

Tokom faze konstruisanja, atributi koji su identifikovani u konstrukciji konfiguracije, koriste se kao promenljive za projektovanje parametara. Vrednost ovih promenljivih je pod kontrolom projektanta. Obično mogu biti dimenzija ili tolerancija, ali takođe mogu biti materijal, termička obrada ili završna obrada površine. Cilj parametarskog projektovanja je postavljanje vrednosti za promenljive koje će proizvesti najbolju moguću konstrukciju, s obzirom na performanse i cenu [2].

Da bi odredili tačne vrednosti promenljivih, inženjeri sprovode razne analize koristeći unapred određene formule [2]. Alternativno se mogu koristiti dobri detaljni matematički modeli, uključujući analizu konačnih elemenata na kritičnim komponentama. Učinak svake od alternativa se predviđa korišćenjem analitičkih ili eksperimentalnih metoda. Nakon završetka analize, izvodljivi projekti se procenjuju kako bi se izabrao „najidealniji“, slično kao što je procenjuvan koncept u fazi idejnog rešenja.

6.4. Sklopni crteži

U ovoj fazi, nakon što su poznate i struktura i tačne dimenzije projektovanog predmeta, kreiraju se montažni crteži koji daju prvi tačan prikaz proizvoda. Sklopni crteži su napravljeni da pokažu kako su pojedine komponente sklopljenog proizvoda povezane, a sadrže i dodatne informacije o njihovoj montaži [5].

Crtež i njegovi elementi su u velikoj meri standardizovani, takođe osiguravaju da se tumači kako je predviđeno. U Srbiji koristimo standarde SRPS EN ISO [5] koji određuju tipove crteža, simbole za označavanje pojedinih stavki, linije, slova, specifikacije materijala, dimenzije, jedinice itd.

6.4. Izrada prototipa

Prototipovi su prvi fizički prikazi proizvoda koji se koristi za testiranje ili validaciju konstrukcionih odluka koje su izmišljene do tog koraka u procesu konstruisanja [1]. Izrada prototipa je eksperimentalna metoda za proveru izvodljivosti koncepta, koja zahteva transformaciju crteža i plana da bi se sprovedli u stvarnost [3].

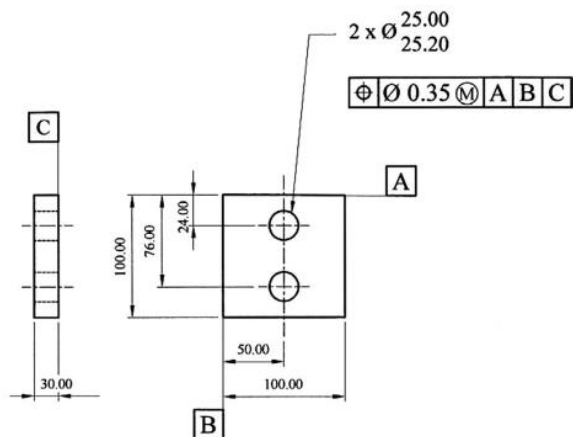
Testovi prototipa se koriste za verifikaciju odluka, koje se usput donose. Neke vrste projektovanih proizvoda zahtevaju da prođu određeni skup propisanih testova koji ispituju bezbednu upotrebu predmeta [2]. Postoji mnogo vrsta testova koji mogu biti potrebni u projektu, uključujući testiranje svih mehaničkih i električnih mogućnosti kvara, specijalizovani testovi za zaptivke, termičke udare, vibracije, ubrzanje ili otpornost na vlagu, itd.

7. FAZA KONSTRUKCIONE RAZRADE

Osnovni cilj konstrukcione razrade je kompletiranje, organizacija i korekcija tehničke dokumentacije, kako bi se odlučilo da li je projekat spreman za proizvodnju. Stručnjaci pregledaju konstrukciju za pouzdanost i sigurnost, sigurnost kvaliteta, terenska servisna inženjerstva i kupovinu. Završna dokumentacija uključuje sve informacije potrebne za izvođenje procesa proizvodnje [5]: opis proizvoda, tabele, dijagrami, šeme, uputstva za montažu, rad, održavanje i mere zaštite, montažni crteži, radionički crteži svakog elementa, procena troškova, itd.

7.1. Radionički crteži

Radionički crteži prikazuju pojedinačne komponente uređaja [5]. Ovi crteži sadrže sve potrebne informacije za deo koji se proizvodi, kako bi se detalji konstrukcija preneli proizvođaču ili radniku za mašinom. Važni detalji koji su neophodni za proizvodnju komponente uključuju: dimenzije, tolerancije, specifikaciju materijala, detalje proizvodnje, kao što je obrada površine. Slično sklopnim crtežima, radionički crteži koriste ortogonalne i aksonometrijske projekcije, poglede preseka i takođe su napravljeni na osnovu ISO standarda.



Slika 4. Primer tolerancije položaja otvora [4]

Dimenzije navedene na crtežu neće biti identične dimenzijama finalnog proizvoda, već će sadržati određeni stepen greške [1]. Crteži pokazuju tolerancije mera dužine, kada definišu dozvoljene opsege varijacije u kritičnim ili osetljivim dimenzijama, kao i tolerancije oblika ili pozicija (slika 4). Vrednosti odabrane za tolerancije često zavise od funkcije dela i načina na koji će se on proizvesti.

7.2. Procena troškova

Računovodstvo troškova je praksa predviđanja troškova završetka projekta sa definisanim obimom. Takođe uključuje planiranje, praćenje i kontrolu novčanih troškova projekta kroz različite tokove delovanja i pruža detaljne informacije o troškovima koje pomažu u finansiranju ne samo trenutnih već i budućih operacija [1]. Približni ukupni trošak projekta, koji se naziva procena troškova, je zbir svih troškova uključenih u uspešno okončanje projekta od početka do završetka, prikazuje pretpostavke na kojima se zasniva svaki trošak i koristi se za odobravanje budžeta projekta i upravljanje njegovim troškovima. Tačna procena troškova je kritična za odlučivanje da li da preuzmete projekat, za određivanje njegovog konačnog obima i za osiguranje da on ostane finansijski izvodljiv [3]. Prekoračenje troškova može se izbeći uz verodostojnu, pouzdanu i tačnu procenu troškova.

8. ZAKLJUČAK

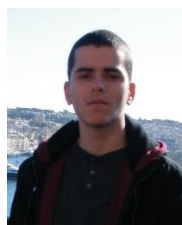
Projektovanje se bavi generisanjem rešenja za inženjerski problem. Njegov cilj jeste kreiranje dokumentacije na osnovu koje se može proizvesti predviđeni uređaj. Projektovanje ima veliki uticaj na kvalitet, vreme ciklusa i cenu proizvoda.

Proces projektovanja strukturiran je oko sistematskih procedura. Rešavanje problema je inovativna aktivnost koja zahteva iskustvo i posvećenost da bi se efikasno obavila. Sam proces nije linearan, predložene ideje se često preispituju i menjaju kako se otkrivaju nove informacije. Sa praktičnijeg stanovišta, proces je podeljen u četiri faze: faza predprojekta, konceptijskog projektovanja, faza konstruisanja i faza razrade.

9. LITERATURA

- [1] Haik, Y. Shahni, T.: "Engineering Design Process, 2nd Edition", Cengage Learning, 2011, ISBN: 978-0495668145;
- [2] Dieter, G.E., Schmidt, L.C.: "Engineering Design, Fifth Edition", McGraw-Hill, 2012, ISBN: 978-0-07-339814-3;
- [3] Dym, C.L., Little, P., Orwin, E.J.: "Engineering Design: A Project-Based Introduction", Wiley, 2013, ISBN: 9781118807057;
- [4] Richards, K.L.: "The Engineering Design Primer", CRC Press, 2020, ISBN: 978-0367210137;
- [5] Milojević, Z., Rackov, M.: "Inženjerske Grafičke Komunikacije", FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2017, ISBN: 978-86-7892-887-1;
- [6] Putnik, G.D., Putnik, Z.: "Defining Sequential Engineering (SeqE), Simultaneous Engineering (SE), Concurrent Engineering (CE) and Collaborative Engineering (ColE): On similarities and differences", Procedia CIRP 84 (2019) 68-75, ISSN: 2212-8271;
- [7] Grote, K.H., Hefazi, H.: "Springer Handbook of Mechanical Engineering 2nd Edition", Springer, 2021, ISBN: 978-3030470340;
- [8] Childs, P.R.N.: "Mechanical Design Engineering Handbook", Butterworth-Heinemann, 2013, ISBN: 978-0080977591;

Kratka biografija:



Ištvan Tot rođen je u Senti 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstvo – Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo odbranio je 2023.god.
kontakt: tyutyu.ada@gmail.com