

UDK: 004.42

Stručni rad

PRIMENA AKSIOMATSKE TEORIJE PROJEKTOVANJA U UNAPREĐENJU TEHNOLOŠKOG SISTEMA MONTAŽE

THE APPLICATION OF AXIOMATIC DESIGN THEORY IN IMPROVEMENT OF ASSEMBLY TECHNOLOGY SYSTEM

Zvonko Petrović¹, Mirko Đapić¹, Vladeta Jevremović¹, Milutin Živković¹,

¹Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija Trstenik

¹zvonko.petrovic@vtmsts.edu.rs, djapic.m@mfkv.kg.ac.rs

¹vladeta.jevremovic@vtmsts.edu.rs, milutin.zivkovic@gmail.com

Apstrakt: Smanjenje troškova proizvodnje je jedan od razloga zašto je potrebno izvršiti unapređenje a u nekim slučajevima i reinženjering procesa montaže proizvoda metaloprerađivačke industrije. Jedna od teorija koja omogućava vođenje ovog procesa i donošenja odluka u njemu je Aksiomatska teorija projektovanja (ADT). Osnova za donošenje odluka u reinženjeringu procesa montaže su dva aksioma projektovanja na kojima se zasniva ADT.

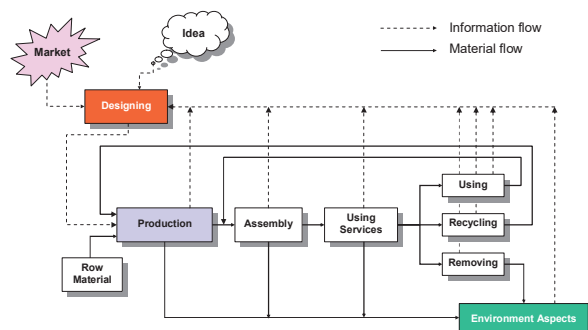
Ključne reči: Montaža, aksiomatska teorija projektovanja.

Abstract: Reducing production costs is one reason why it is necessary to make improvement and in some cases reengineering process product assembly metal industry. One theory that allows the management of this process and decision-making it is axiomatic theory of design (ADT). The basis for making decisions in reengineering process of assembling two design axioms underlying the ADT.

Key words: assembly, axiomatic design theory.

1. UVOD

Projektovanje proizvoda i procesa (tehnologija), a i sama proizvodnja, doživeli su snazan razvoj, posebno u oblasti primene novih tehnologija. U projektovanju se uveliko koriste CAD/CAM sistemi a u proizvodnji CNC obradni centri, robotizovani tehnoloski sistemi itd. Jedino u sektoru montaže primena novih tehnologija još nije zauzela adekvatno mesto. Glavni razlozi za racionalizacijom u sektoru montaze su: velikom vremenu montaže a time i ceni, velikom utrošku ljudskog rada u svim poslovima u vezi sa montažom, relativno velikom broju aktivnosti koje nisu u direktnoj vezi sa samom montažom.



Slika 1. Oblast inženjerstva u životnom veku proizvoda

Početni pokušaji racionalizacije u montaži bili su povećanje broja radnika i uvođenje automatizovanih sistema i robota, što se u nekim slučajevima odrazilo na povećanje cene proizvoda. Organizaciona jedinica montaže u mnogim preduzećima je najskuplji deo, bilo po direktnom ili indirektnom radu. Potencijalne oblasti u kojima je moguća racionalizacija montaže su: projektovanje proizvoda, koje mora da bude orjentisano na montažu, automatizacija operacija i sekvenci montaže, organizacija protoka informacija, strukturisanje i prostorni izgled (layout) sistema za montažu.

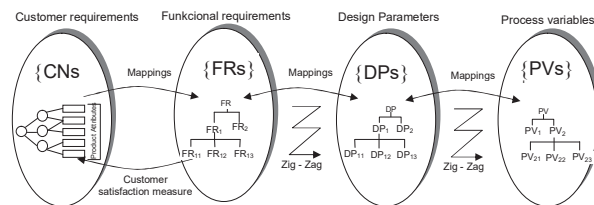
2. AKSIOMATSKA TEORIJA PROJEKTOVANJA (ADT)

Ovu teoriju je definisao profesor Nam P. Suh na Masačusetskom institutu za tehnologije (MIT) 1990 godine. Njegov cilj je da stvori naučnu osnovu za izučavanje oblasti projektovanja. Suh polazi od pretpostavke da postoji skup fundamentalnih principa koji određuju dobru poslovnu praksu u projektovanju proizvoda, procesa, sistema, softvera i organizacionih struktura. Cilj ADT-a je da uspostavi naučnu bazu za projektovanje i da unapredi aktivnosti projektanta pružajući mu: teorijsku osnovu za logičan i racionalan proces razmišljanja i donošenja odluka i alate za to. Ključni koncepti koji čine ovu teoriju su: domeni, hijerarhija projektovanja, „zik-zag“ preslikavanje i dva aksioma projektovanja.

Domeni predstavljaju analizu i grupisanje zadataka u procesu razvoja. Moguće je identifikovati četiri domena i to: domen zahteva kupaca (CNs), domen funkcionalnih zahteva (FRs), domen parametara projektovanja (DPs) i domen procesnih varijabli (PVs). Proces projektovanja se odvija kroz rešavanje odgovarajućih zadataka i prelaskim iz jednog domena u drugi.

Funkcionalni zahtevi (FRs) su definisani kao minimalni skup zahteva koji potpuno opisuju ciljeve projektovanja u odnosu na prethodno specificirane potrebe.

Parametri projektovanja (DPs) su definisani kao skup elemenata objekta projektovanja koji su izabrani u cilju potpunog zadovoljenja funkcionalnih zahteva FRs.



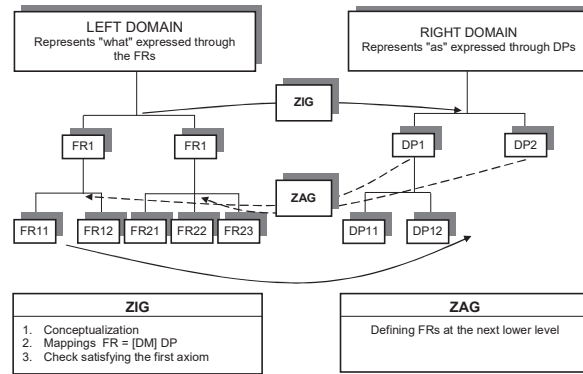
Slika 2. Domeni u aksiomatskoj teoriji projektovanja

Aksiomska teorija projektovanja omogućava projektantima dodatne mogućnosti u upravljanju procesom projektovanja primenom aksioma, teorema i posledica teorema projektovanja. Ove linije vodilje specificiraju odnose između FRs i DPs kroz odgovor na sledeće pitanje : Da li će skup DPs zadovoljiti FRs na prihvatljiv način? Primenom ADT-a u praksi definicije inicijalnih teorema i posledica ovih teorema se stalno dopunjuju novim.

U aksiomatskom projektovanju proces projektovanja, na jednom hijerarhijskom nivou, kreće se rešavanjem zadataka u domenu funkcionalnih zahteva, domenu parametara projektovanja i u domenu procesnih varijabli. Zatim se prelazi na rešavanje zadataka sa prvog nižeg hijerarhijskog nivoa, čime se ostvaruje dekomponovanje projektnih rešenja i prelazak sa apstraktnog na detaljno porjektno rešenje. Dekomponovanje je proces definisanja skupa podređenih funkcionalnih zahteva (pod-FRs) za zadati nadređeni par funkcionalnih zahteva (FRs), parametara projektovanja (DPs), kao i sve ostale aktivnosti koje su potrebne za prelazak sa jednog na prvi niži hijerarhijski nivo.

Kreiranje hijerarhijske strukture proizvoda ostvaruje se prelaskom sa jednog domena na drugi i sa jednog hijerarhijskog nivoa na sledeći niži. Ovaj proces se naziva zik-zag preslikavanje. Izvodi se po tačno utvrđenim pravilima sve do nivoa detaljnosti proizvoda koji je dovoljan da se on fizički realizuje. Suh je definisao dva aksioma projektovanja koji su osnova za donošenje odluka : da li je neko porjektno rešenje dobro ili nije i za izbor najboljeg projektnog rešenja iz skupa zadovoljavajućih.

Na osnovu prvog aksioma prihvatljivo projektno rešenje je ono kod kojeg je preslikavanje između funkcionalnih zahteva (FRs) i parametara projektovanja (DPs) takvo da funkcionalni zahtev (FR) bude zadovoljen sa jednim parametrom projektovanja (DP) bez uticaja na druge funkcionalne zahteve. Odnosno, ispunjenje svakog pojedinačnog funkcionalnog zahteva treba da je ostvareno sa jednom parametrom projektovanja koji ne bi trebalo da utiče na zadovoljenje drugih funkcionalnih zahteva.



Slika 3. Cik-cak preslikavanje

Za svako projektno rešenje moguće je definisati jednačinu projektovanja:

$$\begin{Bmatrix} FR_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ FR_{x,n} \end{Bmatrix} = [A \cdot X] \begin{Bmatrix} DP_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ DP_{x,n} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

U matrici projektovanja X označava postojanje izražene funkcionalne zavisnosti između parametra projektovanja i funkcionalnih zahteva, a 0 da je ova veza slaba ili da ne postoji u granicama tolerancije koja je postavljena za funkcionalni zahtev. Primenom aksioma nezavisnosti sva projektna rešenja mog da se grupišu u tri grupe saglasno obliku matrice projektovanja. Ako matrica projektovanja ima X elemente po dijagonali a sve ostale 0, projektno rešenje je nespregnuto i prvi aksiom projektovanja je u potpunosti zadovoljen (jednačina 2). Ako X elementi matrice projektovanja čine donju trougaonu matricu, projektno rešenje je kvazi spregnuto (jednačina 3). U ovom slučaju projektno rešenje će zadovoljiti prvi aksiom samo ako se zadovoljenje funkcionalnih zahteva odvija po tačno utvrđenom redosledu promene parametara projektovanja. U svim ostalim slučajevima nema podataka kojim redosledom treba menjati parametre projektovanja da bi zadovoljili skup funkcionalnih zahteva, pa su takva rešenja spregnuta (jednačina 4).

$$\begin{Bmatrix} FR_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ FR_{x,n} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & \dots & 0 \\ \dots & & & \\ 0 & 0 & \dots & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ DP_{x,n} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

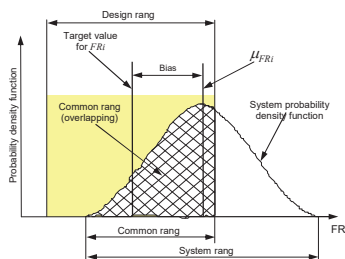
$$\begin{Bmatrix} FR_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ FR_{x,n} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ X & X & \dots & 0 \\ \dots & & \dots & \\ X & X & \dots & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ DP_{x,n} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{Bmatrix} FR_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ FR_{x,n} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & \dots & X \\ \dots & & \dots & \\ X & 0 & \dots & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{x,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ DP_{x,n} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Drugi aksiom projektovanja (informacioni aksiom) odnosi se na izbor optimalnog projektog rešenja iz skupa rešenja koja zadovoljavaju prvi aksiom. Između svih mogućih alternativnih rešenja najbolje je ono koje nosi najmanju količinu informacija, odnosno ima najveću verovatnoću da će parametri projektovanja ispuniti funkcionalne zahteve. Količina informacija (I) po Šenonu je logaritam recipročne vrednosti verovatnoće nekog događaja:

$$I = \log_e \frac{1}{p}; \text{ Verovatnoća } p = \frac{\text{Opseg_sistema}}{\text{Opseg_projektovanja}} \quad (5)$$

Veličina ispunjenja nekog funkcionalnog zahteva određuje se odnosom površine opsega projektovanja i površine opsega sistema.



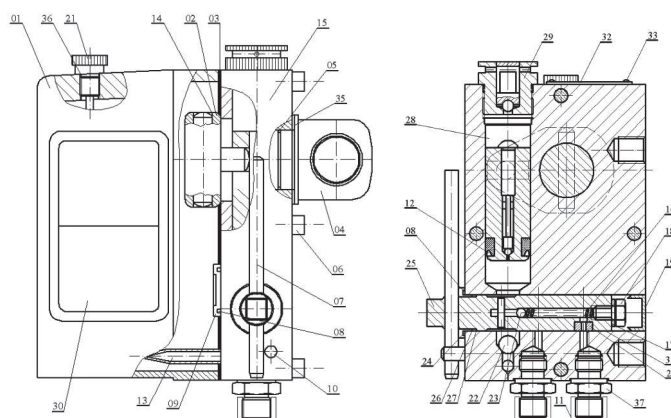
Slika 4. Raspodela verovatnoće funkcionalnog zahteva (zadata i ostvarena na sistemu)

4. Primena Adt-A U UNAPREĐENJU TEHNOLOŠKog SISTEMA MONTAŽE ručnih pumpi

Primena aksiomske teorije projektovanja je prikazana na primeru rucne pumpe za podizanje kabine kamiona Kamaz. To je proizvod kompanije Prva petoletka iz Trstenika i i on se proizvodi u seriji od 4 do 5 hiljada jedinica proizvoda mesečno što ga čini proizvodom sa najvećom mesečnom serijom u kompaniji. Unapređenje tehnološkog

sistema montaže ovog proizvoda direktno utiče na smanjenje njegove ukupne cene proizvodnje a samim tim i na povećanje profita kompanije.

Osnovni funkcionalni zahtev je: unapređenje procesa montaže ručne pumpe, koji se realizuje kroz parametar projektovanja: automatizacija procesa montaže ručne pumpe. Pri projektovanju tehnološkog sistema montaže treba uzeti u obzir: plan procesa montaže, mogućnost primene robotskih aplikacija, izbor transportnog sistem i obratiti pažnju na ekonomski aspekt automatizacije procesa montaže. Proces montaže je ograničen iz: konstrukcionih razloga, razloga kvaliteta, tehnoloških raloga i produkcionih razloga [3]. Celokupni proces montaže se formira prema montažnom crtežu koji je dat na slici



Slika 5. Montažni crtež ručne pumpe

Sistem arhitektura je alat za donošenje i dokumentovanje odluka u aksiomatskom projektovanju. Ona obuhvata zahteve, komponente i njihove relacije. Pod zahtevima se podrazumevaju funkcionalni zahtevi (ERs) i ograničenja (Cs), pod komponentama se podrazumevaju parametri projektovanja (DPs) a pod međusobnim relacijama podrazumevaju se matrica projektovanja (DMs) i hijerarhija projektovanja. Ove informacije mogu biti predstavljene na različite načine pomoću: (1) stable hijerarhije projektovanja i matrice projektovanja, dijagrama toka projektovanja ii strukturnog dijagrama povezivanaj modula. U primeru procesa montaže ručnih pumpi skup varijabli za I hijerarhijski nivo je:

$$U = \{FR, FR_1, FR_2, DP, DP_1, DP_2\} \tag{6}$$

Svaka varijabla Xi sadrži skup vrednosti koje ona može da uzme Oxi. Okviri varijabli za slučaj unapređenja montažnog sistema su prikazane u tabeli 1:

Tabela 1. Aksiomi projektovanja

	Varijabla Xi	Okvir varijable Oxi
1	FR	P-potpuno unapređenje, D-delimično unapređenje, B-bez

		unapređenja
2	FR1	TT-tehničko tehnološka analiza procesa montaže
3	FR2	PR-opravanost primene puma robota, SR-opravanost primene skara robota, DR- opravanost primene delta robota
4	DP1	OP-osnovni procesi, DPr- dopunski procesi, PP- pomoćni procesi
5	DP2	TK-tehnički kriterijumi, ThK-tehnološki kriterijumi, EK-ekonomski kriterijumi

U aksiomatskom projektovanju generičko znanje delimo u dve grupe: znanje koje pokazuje kako su povezani hijerarhijski nivoi između sebe, na primer funkcionalni zahtev FR sa svojim podređenim funkcionalnim zahtevima FR1 i FR2, i znanje koje pokazuje kako su domeni projektovanja na jednim hijerarhijskom nivou povezani između sebe, na primer domen funkcionalnih zahteva I domen parametrara projektovanja I ovo znanje je definisano matricom projektovanja A.

U primeru unapređenja montažnog sistema prvu grupu znanja predstavlja način kakao je povezan osnovni funkcionalni zahtev FR sa podređenim funkcionalnim zahtevima FR1 i FR2. Ova zavisnost se predstavlja pomoću funkcije uverenja Bel(FR-FRi), čija je osnovna vrednost uverenja (m) data u jednačini 7:

$$m = \left\{ \begin{matrix} ((TT, PR, B) & (TT, SR, D) & (TT, DR, P)) \\ ((TT, PR, B) & (TT, SR, D) & (TT, DR, P)) \\ ((TT, PR, B) & (TT, SR, B) & (TT, DR, B)) \end{matrix} \right\} = 1 \quad (7)$$

Druga grupa znanja odnosi se na povezivanje domena projektovanja na jednom hijerarhijskom nivou, što se predstavlja matricom projektovanja Aij.

Matrica projektovanaj Aij glasi:

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ ER_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

gde se članovi matrice prijektovanja računati na sledeći način:

$$\begin{aligned} A_{11} &= O(FR_1) \times O(DP_1), \\ A_{12} &= O(FR_1) \times O(DP_2), \\ A_{21} &= O(FR_2) \times O(DP_1), \\ A_{22} &= O(FR_2) \times O(DP_2). \end{aligned} \quad (9)$$

Ovi elementi matrice projektovanja se sad opisuju funkcijama uverenaj koje se formiraju na osnovu znanja koje je projektant sakupio:

$$\begin{aligned}
A_{11} &= O(FR_1) \times O(DP_1) \Rightarrow Bel(A_{11}), \\
A_{12} &= O(FR_1) \times O(DP_2) \Rightarrow Bel(A_{12}), \\
A_{21} &= O(FR_2) \times O(DP_1) \Rightarrow Bel(A_{21}), \\
A_{22} &= O(FR_2) \times O(DP_2) \Rightarrow Bel(A_{22}).
\end{aligned}
\tag{10}$$

Jednačina projektovanja sad izgleda:

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ ER_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Bel(A_{11}) & Bel(A_{12}) \\ Bel(A_{21}) & Bel(A_{22}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{bmatrix}
\tag{11}$$

Treba napomenuti da u evidencionim sistemima vrednovanja mogu da budu učinjena i na podskupovima okvira raspoznavanja pojedinačnih varijabli, takvo znanje se zove činjenično znanje. Ovako definisanu arhitekturu moguće je prikazati kao evidencionu mrežu koja treba da posluži za analizu i izbor parametara projektovanja montažnog sistema za ručne pumpe što će biti cilj za dalji rad.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirano je kako unaprediti process projektovanja montažnog sistema na primenom aksiomatske teorije projektovanja. Varijable u aksiomatskom projektovanju označavaju parameter projektovanja, i vrši se izbor njihovih vrednosti. Kada se definiše arhitektura sistema moguće je da se ona prikaže evidencionom mrežom koja treba da posluži za analizu i izbor koncepciskog rešenja tj. da se analiziraju parametri projektovanja vrši se izbor najpovoljnije varijante po nekom od kriterijuma. Kreiranje evidencione mreže i dodeljivanje znanja svakoj od varijabli po nekom od kriterijuma je nastavak ovog rada a glavni cilj je doći do originalnog univerzalnog softverskog rešenja za projektovanje sistema fleksibilne automatizacije.

Na taj način bi se proces projektovanja fleksibilnog tehnološkog sistema montaže unapredio, ukupno vreme proizvodnje cele serije proizvoda smanjilo a to sve povoljno utiče na profit kompanije jer racionalizacija u sektoru montaže smanjuje troškove proizvodnje i do 30%.

LITERATURA

- [1] Djapic M., "Evidential systems in product and process development", Lola institute, Beograd, (2005)
- [2] Lukić, Lj. "Fleksibilni tehnološki sistemi", Mašinski fakultet Kraljevo, Kraljevo, 2008.
- [3] Ćosić, I., Montažni sistemi, IP Nauka, Beograd, 1991, ISBN: 86-7621-045-4.
- [4] Boothroyd, G. 1983. Design for Assembly Handbook, Design project, Dep. Of Mechanical Eng., University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts, USA.