

PRISTUP KONSTRUISANJU KAO SMERNICA ZA OPTIMIZACIJU ZALIHA U ODRŽAVANJU MAŠINSKIH SISTEMA

ONE APPROACH TO CONSTRUCTION AS A GUIDELINE FOR INVENTORY OPTIMIZATION IN MAINTENANCE OF MECHANICAL SYSTEM

doc. dr Aleksandar Marić ¹
prof. dr Ljubodrag Đorđević ¹

Rezime: Interakcija procesa konstruisanja, upravljanja zalihama i održavanja u proizvodno-poslovnim sistemima zaslužuje posebnu pažnju. Naime, metodologija konstruisanja opisana u ovom radu čini osnovu za planiranje potrebnih količina rezervnih delova mašina i opreme u mašinskim sistemima tokom održavanja, pre svega u pogledu smanjenje troškova održavanja kao i pojednostavljenja procesa. Pojednostavljenja procesa odnose se na procedure i predloge koji u pogledu konstruisanja teže da zadovolje sve tehničke i tehnološke zahteve, istovremeno težeći minimizaciji troškova u svakoj fazi projektovanja. Predlozi se odnose na ugradnju standardnih, unificiranih delova, kao i supstituciju delova, koliko je to moguće, istim delovima (standardni, odnosno unificirani) na istoj mašini - ponovljivost delova. Dakle, ovaj rad obuhvata problematiku analize konstrukcije u pogledu standardizacije, unifikacije i ponovljivosti delova na račun optimizacije zaliha u održavanju mašinskih sistema.

Ključne reči: konstruisanje, zalihe, održavanje

Abstract: The interaction of construction process, inventory management and maintenance of production-business systems deserves special attention. Namely, the construction methodology described in this paper forms the basis for planning the necessary quantity of spare parts of machines and mechanical equipment in the system during maintenance, primarily in terms of reducing maintenance costs and simplifying processes. Simplifying refers to the procedures and suggestions regarding the construction more difficult to satisfy all technical and technological requirements, while aiming at minimizing costs at every stage of design. Proposals relate to the installation of standard, unified parts, and substitution of parts, to the extent possible, with the same parts (standard or uniform) on the same machine. Therefore, this work includes the analysis of design problems in standardization, unification and parts repeatability on the account of the inventories optimization in the maintenance of mechanical systems.

Keywords: design, supply, maintenance

¹ Fakultet za industrijski menadžment, Kruševac

1. UVOD

Izbor filozofije zaliha je od velikog značaja za efikasno poslovanje proizvodno-poslovnog sistema. Utvrđivanje optimalne količine materijala na zalihama, kada se one odnose na obezbeđenje materijala za proizvodni proces u poslovnom sistemu vrši se na osnovu potražnje. Potražnja po svojoj prirodi može biti određena i konstantna i stohastička. Koristeći prirodu potražnje, kao podlogu, razvijeni su modeli za utvrđivanje optimalnih količina materijala.

Modeli kod kojih je potražnja stohastička, sa poznatim zakonom verovatnoće, odnose se najčešće na probleme koji se odnose na zalihe rezervnih delova. Otkazi na mašinama se pojavljuju neredovno, te se potražnja za rezervnim delovima radi njihovog otklanjanja tretira kao stohastička. Proces održavanja značajno je uprošćen ako se na mašini nalazi što veći broj standardizovanih delova (koji se mogu nabaviti u prodaji), unificiranih delova kao i što je moguće veći broj ponovljivih delova (istih delova na jednoj mašini). Pristup konstruisanju, koji je opisan u ovom radu, čini temelj takvoj organizaciji planiranja nabavke materijala-rezervnih delova što se preko racionalizacije delova konstrukcije odražava na potrebnu količinu rezervnih delova, čime se proces održavanja čini efikasnijim i ekonomičnijim.

2. PRISTUP KONSTRUISANJU SA STANOVIŠTA RACIONALIZACIJE DELOVA

U procesu konstruisanja mašina i uređaja, neophodno je napraviti proizvod koji će u potpunosti odgovarati svojoj nameni u skladu sa naučnim i tehnološkim dostignuća. Svaki konstruktor teži da konstruiše mašinu koja će odgovoriti na sve tehničke zahteve a, u isto vreme, mora težiti da troškovi projektovanja i eksploatacije budu što je moguće niži. To se postiže analizom svih faktora koji moguda smanje cenu proizvoda.

Model koji je predstavljen u ovom radu utvđuje gotovo sve potrebne aktivnosti kojima treba posvetiti pažnju sa ciljem smanjenja troškova proizvodnje u fazi konstruisanja, kao i troškova održavanja u pogledu upravljanja zalihama.

Aktivnosti predviđene ovim pristupom su:

- Ugradnja standardnih elemenata
- Ugradnja unificiranih delova koji su ugrađeni u druge mašine i uređaje za proizvodnju tog programa ili čak programa drugih kompanija
- Ugradnja istih delova koliko je to moguće u istoj mašini ili uređaju, koji se karakterišu koeficijentom ponavljanja.

3. STEPEN STANDARDIZACIJE DELOVA

Korišćenje standardnih delova ili struktura čini mašinu jeftinijom i skraćuje vreme za njeno konstruisanje. Grupe delova za mašine ili uređaja mogu biti: elementi za vezu, standardni i nestandardni i ostali delovi, takođe, standardni i nestandardni.

Osim standardnih delova za vezu, postoje i drugi standardizovani delovi (N_s) kao što su: ležajevi, uskočnici, lanci, remenje, zaptivači, mazalice, itd., i kupuju se kao gotovi proizvodi.

Delovi mogu biti standardizovani u skladu sa našim standardima (SRPS, do nedavno JUS) u skladu sa međunarodnim standardima (ISO), ili u skladu sa standardima nekih drugih zemalja (GOST, DIN i dr.).

Nestandardni delovi (N_{ns}), osim delova za vezu, su svi delovi koji se mogu proizvoditi u fabrikama pojedinačno ili u kooperaciji, a najčešće u fabrikama specijalno namenjenim za tu proizvodnju.

Elementi, kao što su: navrtke, osigurači, zakovice, i slično, mogu biti standardni (N_{sc}) i nestandardni (N_{nsc}). Stepem standardizacije (S_s) je odnos između broja standardnih delova (N_s), osim elemenata za vezu, i ukupnog broja standardnih i nestandardnih delova.

$$S_s = \frac{N_s}{N_s + N_{ns}} \quad (1)$$

$$S_s(\min) = 0; \quad S_s(\max) = 1$$

Ove ekstremne vrednosti su uglavnom nemoguće.

Stepen standardizacije je ponekad korisnije analizirati u odnosu na težinu delova, bez elemenata za vezu, putem sledeće formule:

$$S_s (\text{min}) = \frac{m_s}{m_s + m_{ns}} \quad (2)$$

Gde je: m_s - masa u kilogramima standardnih delova, bez elemenata za vezu.

m_{ns} - masa nestandardnih delova u kilogramima, bez elemenata za vezu.

$$S_s (m)_{\text{min}} = 0; \quad S_s (m)_{\text{max}} = 1$$

Stepen standardizacije elemenata za vezu je analiziran zasebno i može imati vrednost 1 ili 0.

$$S_{sc} = \frac{N_{sc}}{N_{sc} + N_{nsc}} \quad (3)$$

gde: N_{sc} - broj standardnih elemenata za vezu

N_{nsc} - broj nestandardnih elemenata za vezu

Ako poredimo mase, sledi da je:

$$S_{sc} (m) = \frac{m_{sc}}{m_{sc} + m_{nsc}} \quad (4)$$

4. STEPEN UNIFIKACIJE DELOVA

Nestandardne delove zameniti unificiranim delovima iz grupe delova koji se postavljaju na druge mašine i uređaje, u što većem obimu. To se odnosi na delove za vezu i standardne delove, pa u skladu sa dosadašnjim razmatranjima stepeni unifikacije su:

$$S_u = \frac{N_u}{N_u + N_{nu}} = \frac{N_u}{N_{ns}} \quad (5)$$

$$S_u (m) = \frac{m_u}{m_u + m_{nu}} = \frac{m_u}{m_{ns}} \quad (6)$$

Unifikacija delova je prvi korak za izradu fabričkih internih standarda u preduzeću, koji se mogu koristiti kao osnova za izradu nacionalnih standarda.

5. KOEFICIJENT PONOVLJIVOSTI

Veliki broj istih delova je od velikog značaja za održavanje mašinskih sistema tokom eksploatacije. To je siguran put ka optimizaciji zaliha rezervnih delova u skladištu. Koeficijent ponovljivosti predstavlja odnos između istih delova i ukupnog broja ugrađenih delova u mašinu.

Metodologija opisana u ovom radu, posebno uzima u obzir nestandardne, standardne unificirane, neunificirane i elemente za vezu (standardne i nestandardne). Procena efikasnosti konstrukcije u odnosu na broj istih delova mašine napravljena je u skladu sa koeficijentom ponavljanja.

Koeficijent ponovljivosti nestandardnih delova K_{ns} je:

$$K_{ns} = \frac{N_{ns}(p)}{N_{ns}} \quad (7)$$

gde je: $N_{ns}(p)$ - broj nestandardnih delova koji se pojavljuju najmanje dva puta u mašini,

N_{ns} - broj nestandardnih delova ugrađenih u mašinu.

Koeficijent ponovljivosti standardnih delova K_s je:

$$K_s = \frac{N_s(p)}{N_s} \quad (8)$$

gde je: $N_s(p)$ - broj standardnih delova koji se pojavljuju najmanje dva puta u mašini,
 N_s - broj standardnih delova ugrađenih u mašinu.

Ostali koeficijenti ponovljivosti se odnose na druge mašinske delove, kao što su:

Koeficijent ponovljivosti unificiranih delova K_u je:

$$K_u = \frac{N_u(p)}{N_u} \quad (9)$$

Koeficijent ponovljivosti nestandardnih delova za vezu K_{nsc} je:

$$K_{nsc} = \frac{N_{nsc}(p)}{N_{nsc}} \quad (10)$$

Koeficijent ponovljivosti standardnih delova za vezu K_{sc} je:

$$K_{sc} = \frac{N_{sc}(p)}{N_{sc}} \quad (11)$$

6. PRIMER ANALIZE KONSTRUKCIJE ZVEZDASTOG DODAVAČA ZDKS-800-AB

Da bi proces analize konstrukcije bio brz i pojednostavljen, potrebno je na osnovu utvrđenih količina i mase delova utvrditi veličine stepena standardizacije, unifikacije delova saglasno tabelama od 1 do 6. Izračunate stepene trebalo bi uneti na crtež mašine.

Na primeru analize konstrukcije zvezdastog dodavača ZDKS-800-AB iz proizvodnog programa IMK "14. Oktobar "Kruševac, prikazana je ova metodologija.

Tabela 1:

Naziv mašine (uređaja): Zvezdasti dodavač		
Ukupan broj delova	N	1625
Broj standardnih delova, bez delova za vezu	N_s	138
Broj nestandardnih delova, bez delova za vezu	N_{ns}	364
Stepen standardizacije: $S_s = N_s / (N_s + N_{ns})$	S_s	0,275

Tabela 2:

Naziv mašine (uređaja): Zvezdasti dodavač		
Ukupna težina mašine u kg	m	10.051
Težina standardnih delova bez delova za vezu u kg	m_s	1257
Masa nestandardnih delova, bez delova za vezu u kg	m_{ns}	8673
Stepen standardizacije: $S_s(m) = m_s / (m_s + m_{ns})$	$S_s(m)$	0,126

Tabela 3:

Naziv mašine (uređaja): Zvezdasti dodavač		
Ukupan broj delova	N	1625
Broj standardnih delova za vezu	N_{sc}	1117
Broj nestandardnih delova za vezu	N_{nsc}	6
Stepen standardizacije: $S_{sc} = N_{sc} / (N_{sc} + N_{nsc})$	S_{sc}	0,995

Tabela 4:

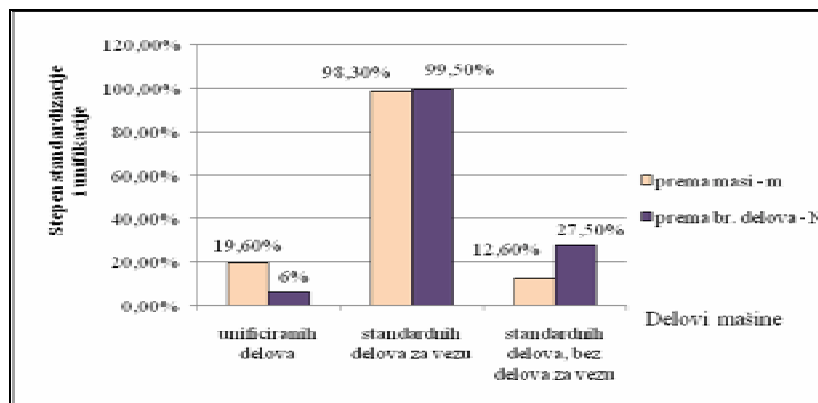
Naziv mašine (uređaja): Zvezdasti dodavač		
Ukupna težina mašine u kg	m	10.051
Težina standardnih delova za vezu u kg	m_{sc}	119
Težina nestandardni delova za vezu u kg	m_{nsc}	2
Stepen standardizacije: $S_{sc}(m) = m_{sc} / (m_{sc} + m_{nsc})$	$S_{sc}(m)$	0,983

Tabela 5:

Naziv mašine (uređaja): Zvezdasti dodavač		
Ukupan broj delova	N	1625
Broj unificiranih delova	N_u	22
Broj neunificiranih delova	N_{nu}	342
Stepen unifikacije: $S_u = N_u / (N_u + N_{nu}) = N_u / N_{ns}$	S_u	0,06

Tabela 6:

Naziv mašine (uređaja): Zvezdasti dodavač		
Ukupna težina mašine u kg	m	10.051
Težina unificiranih delova u kg	m_u	681
Težina neunificiranih delova u kg	m_{nu}	2799
Stepen unifikacije: $S_u(m) = m_u / (m_u + m_{nu}) = m_u / m_{ns}$	$S_u(m)$	0,196



Slika 1. Nivo veličine stepena standardizacije i unifikacije delova konstrukcije

6.1 Analiza konstrukcije u odnosu na ukupan broj delova mašine (uređaja) – N

Analizom konstrukcije u pogledu broja standardnih i nestandardnih delova (uključujući i delove za vezu), kao i učešća unificiranih delova izražene kroz stepen standardizacije i unifikacije, uočavamo visok stepen ugrađenih standardnih delova za vezu 99,50% , zatim slede standardizovani delovi konstrukcije bez delova za vezu sa učešćem od 27,50%, dok je najniži broj unificiranih delova, izražen u procentima, i iznosi 6%. Ukupan broj standardizovanih delova iznosi 77,23%, dok je broj nestandardnih delova za vezu $N_{nsc} = 6$, što iznosi 0,37% od ukupnog broja delova uređaja.

Standardni delovi čine glavni deo zaliha, dok je broj nestandardnih delova znatno manji. Standardni delovi se mogu unificirati, samo ako funkcija dela u sklopu mašine nije narušena, što pojednostavljuje nabavku i smanjuje broj različitih delova iste namene u skladištu, tj. na zalihama.

Potrebno je razmotriti mogućnost unificiranja standardizovanih delova za vezu i nestandardizovanih delova. Unificiranje nestandardnih delova je znatno teže u praksi i predstavlja veliki izazov za svakog konstruktora. Učešće nestandardnih delova iznosi 72,50%, a standardnih 27,50% u odnosu na ukupan broj standardnih i nestandardnih delova, bez delova za vezu.

6.2 Analiza konstrukcije u odnosu na ukupnu masu delova mašine (uređaja) – m

Analizom konstrukcije u odnosu na masu delova, na isti način kao i u pogledu broja delova, uočavamo visok stepen ugrađenih standardnih delova za vezu 99,50% . Masa standardizovanih delova konstrukcije bez delova za vezu ima stepen standardizacije od 12,60%, dok stepen unifikacije delova u odnosu na ukupnu masu delova iznosi 19,6% i znatno je viši nego u predhodnom slučaju.

Standardni delovi u odnosu na ukupnu masu konstrukcije učestvuju sa 13,70%, dok masa nestandardnih delova dopunjava učešće u ukupnoj masi konstrukcije.

Pošto zalihe čine uglavnom standardni delovi, ili delovi koji su u vezi sa standardni delovima (najčešće: remenice, lančanici...) učešće od 77,23% standardnih delova u konstrukciji, u datom primeru, može se smatrati zadovoljavajućim. Masa ovih delova (1376 kg), čini 13,70% mase celokupne konstrukcije što je povoljno u pogledu prostora u skladištu koji je potrebno obezbediti za odlaganje rezervnih delova. Prostor za skladištenje (S_m) definiše se na osnovu težine materijala (delova) i dozvoljenog opterećenja poda.

$$S_m \geq \frac{G}{p_d} (m^2), \quad G - \text{težina materijala u kN}; \quad p_d - \text{dozvoljeno opterećenje poda u } \frac{kN}{m^2}$$

Ograničavajući faktori u ovom primeru su: gabariti delova, visina skladišta kao i raspoloživi prostor u skladištu. Površina prostora za skladištenje podrazumeva još i površine prostora za: prijem materijala, transportne staze, otpremu materijala, kao i administrativne, sanitarne i druge prostorije. Pošto su sve ove površine već dimenzionisane kod skladišta, površina koja se može racionalije iskoristiti je ona koja je namenjena skladištenju materijala/delova.

Dakle, možemo zaključiti da je ovakav odnos delova upogledu stepena standardizacije sa aspekta ukupnog broja delova N i mase delova m uređaja, prihvatljiv.

Treba težiti da i koeficijenti ponovljivosti delova mašine ili uređaja budu što veći (K_s , K_{ns} , K_u , K_{nsc} , K_{sc}) koji su ovom prilikom samo teoretski obrađeni, ne umanjujući pri tom njihov značaj za optimizaciju nabavke prilikom održavanja, što je u direktnoj vezi sa upravljanjem zalihama u skladištu.

Kada se radi o standardnim elementima za vezu treba nastojati da se svedu, odnosno, unificiraju na što je moguće manji broj različitih veličina. Na primer, u konstrukciji se pojavljuju zavrtnjevi M5, M8. Trebalo bi odabrati onaj koji će po nosivosti zadovoljiti oba slučaja, što je u ovom slučaju zavrtnj M8. Na ovaj način povećava se stepen ponovljivosti standardnih delova.

Ovo načelo treba primenjivati i za druge standardne elemente npr. kotrljajne ležajeve, pri čemu treba obratiti posebnu pažnju na razliku u jediničnoj ceni delova.

7. ZAKLJUČAK

Prilikom procesa konstruisanja mašina i opreme potrebno je obratiti pažnju na troškove proizvodnje, kao i na efikasnost održavanja. Tokom održavanja mašinskih sistema u eksploataciji veoma je važno da mašina (uređaj) ima što je moguće veći broj standardnih delova, koji se mogu kupiti na tržištu, kao i unificiranih i ponovljivih delova u cilju minimiziranja zaliha rezervnih delova i njihovog racionalnog upravljanja. Primenom metodologije opisane u ovom radu utvrđeni su stepeni standardizacije i unifikacije kao i koeficijenti ponovljivosti delova koje je poželjno uneti u tehničku dokumentaciju, a u skladu sa praktičnim potrebama tokom konstruisanja.

LITERATURA

- [1] Korsakov V. S., Zamyatin V. K.: Assembly practice in machine building, Mir publishers, Moscow, 1987.
- [2] Inženjersko-mašinski priručnik 1, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1987.
- [3] Tehničko-tehnološka dokumentacija, IMK "14. Oktobar" Kruševac
- [4] Pantelić T.: Industrijska logistika, ICIM+, Kruševac, 2005.
- [5] Ognjanović M.: Metodika konstrukcija mašina, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [6] Ognjanović M.: Modeliranje mašinskih elemenata, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.