



REŠAVANJA PROBLEMA KVALITETA U INDUSTRIJSKOM INŽENJERSTVU PUTEM
PRIMENE METODA EKONOMIČNE PROIZVODNJE

QUALITY PROBLEMS SOLVING IN INDUSTRIAL ENGINEERING VIA PRODUCTION
METHODS APPLICATION

Neda Papić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – INDUSTRIJSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj: *U radu su dati rezultati rešavanja problema havarije rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2) koja se dogodila 6. aprila 1995. godine, na površinskom kopu Polje D, RB Kolubara, Lazarevac, Elektroprivreda Srbije. Problem je rešavan korišćenjem metoda Ekonomične proizvodnje: "5 Zašto?," FMECA, Nemavaši, Konsenzus, Izveštaj A3.*

Ključne reči: *Kvalitet, Ekonomična proizvodnja, rotorni bager, FMECA, Nemavaši, Konsenzus, Izveštaj A3*

Abstract: *In the paper results of solving problem of an accident on bucket-wheel excavator SRs 1200 24/4 (G2) are presented. It happened on April 6th in 1995 on open-pit mine Field D, MB Kolubara, Electric Power Industry of Serbia. Problem is solved using lean production methods: 5 Why?, FMECA, Nemawashi, Consensus, A3 report.*

Keywords: *Quality, lean production, bucket-wheel excavator, FMECA, Nemawashi, Consensus, A3 report.*

1. UVOD

Industrijski razvoj druge polovine XX veka prati opšta reforma principa i metoda rukovođenja organizacijom. Pojava novih tehnologija i porast međunarodne konkurencije učinili su ovu reformu, u većini slučajeva, neophodnom. Konstatuje se, naime, da su stare metode rada u neskladu sa savremenim proizvodima i postupcima i da problemi ometaju nesmetano odvijanje procesa rada [1]. Radi nalaženja odgovora na ova pitanja, problemi su pažljivo proučavani. Naravno, tokom proučavanja problema se pretpostavljalo da je neko odgovoran (nekome je pripisivana krivica za nastali problem), pa su zatim bile preduzimane mere rešavanja problema. Danas je ovaj način ponašanja promenjen. U primeni je pravilo usredsređenosti ka sprečavanju pojave problema i isključenju gubitaka

2. KRATKA ISTORIJA PROIZVODNJE

Početak koncepcije pod nazivom Ekonomična proizvodnja se dovodi u vezu sa inženjerom japanske fabrike Toyota Motor Co., Taiči Onom (Taiichi Ohno). Taiči Ono je, zajedno sa drugim inženjerima Tojote, Eiji Tojodom (Eiji Toyoda) i Šigeo Šingom (Shigeo Shingo), krajem 1940-tih godina, posećivao američke automobilske fabrike radi usvajanja prakse i iskustva proizvodnje

NAPOMENA:

Ovaj rad je proistekao iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Bato Kamberović.

automobila i njihovog preoblikovanja za fabrike Tojota. S obzirom na krajnje nepovoljno stanje privrede Japana posle Drugog svetskog rata, tradicije države, koja je živela sa stalnim nedostatkom resursa, Taiči Ono je u osnovu proizvodnog sistema koji je pripreman, proučavan i razvijan ugradio cilj:

"obezbediti minimizaciju gubitaka".

Taj proizvodni sistem Taiči Ono je kasnije, u svojoj knjizi "Toyota Production System, Beyond Large-Scale Production" [2] nazvao Proizvodni sistem fabrike Tojota (Toyota Production System).

Proizvodni sistem, koji je kasnije na Zapadu nazvan Ekonomična proizvodnja (Lean Production) se najbolje može opisati poredeći ga sa dva druga načina proizvodnje, koje je pronašlo čovečanstvo, sa zanatskom i masovnom proizvodnjom. Evo kako su to učinili Džejms Vumek, Denijel Džons i Denijel Ruš u svojoj poznatoj knjizi pod naslovom "Mašina koja je izmenila svet" [3].

U **Zanatskoj proizvodnji** se koriste visokokvalifikovani radnici i jednostavni ali prilagodljivi (fleksibilni), u primeni, alati i pribori za izradu predmeta tačno u skladu sa željama naručioca. Predmeti se izrađuju od početka do kraja, po principu: jedan komad – jednom. Kao primeri mogu poslužiti: unikatni nameštaj, predmeti dekorativne umetnosti, neobični (retki) sportski automobili. Sama ideja zanatske proizvodnje je veoma privlačna, ali pri tome nastaje sasvim očigledan problem: roba proizvedena na ovakav način (a ranije su se tako izrađivali i automobili), je suviše skupa i ne može svako da je kupi. Zbog toga se, početkom XX veka, kao alternativa, pojavila masovna proizvodnja.

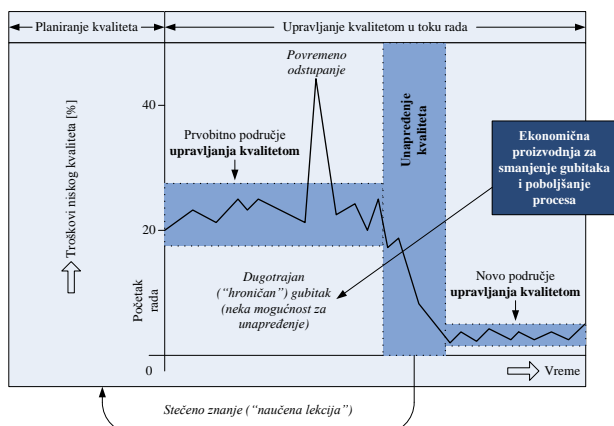
U **Masovnoj proizvodnji** se koriste uskospecijalizovani stručnjaci (i majstori) koji pripremaju (razrađuju) primerke (uzorke, modele) proizvoda, koji će posle toga, izrađivati nekvalifikovani ili polukvalifikovani radnici, po pravili, na skupim alatnim mašinama koje izvode samo jednu operaciju. One "štancuju" standardne proizvode u veoma velikim količinama. S obzirom da je tehnološka oprema veoma skupa i ne dopušta zastoje u radu, kod masovne proizvodnje proizvođači su prinuđeni da se osiguraju, naručujući mnogo sklopova (i poluproizvoda), zapošljavajući mnogo radnika i gradeći dopunske proizvodne površine. Pošto je prelazak na novu vrstu proizvoda veoma skup, pri masovnoj proizvodnji nastoji se da se stari (postojeći) modeli drže na konvejeru što je moguća duže. Kao rezultat, potrošačke cene se snižavaju, ali se to dešava na račun ograničenog izbora (asortimana)!

Uz to, većina radnika u takvom preduzeću smatra svoj posao dosadnim i zamornim.

Kod **Ekonomične proizvodnje** se povezuju prednosti zanatske i masovne proizvodnje. Pri tome, proizvođač izbegava visoku cenu prve i nefleksibilnost (krutost) druge vrste proizvodnje. Radi toga on na svim nivoima preduzeća zapošljava timove svestranih specijalista i upotrebljava veoma fleksibilne automatizovane alatne mašine i pribore, koji omogućavaju da se izrađuje veoma širok asortiman (izbor) proizvoda.

3. EKONOMIČNA PROIZVODNJA I KVALITET

Korisnik definiše kvalitet kao svojstvo i kao odsustvo otkaza. Budući da Ekonomična proizvodnja stvara dodatnu vrednost putem uklanjanja gubitaka, važno je u nju uključiti upravljanje kvalitetom. Pojam „Ekonomičnost” se koristi u kontroli kvaliteta (svakodnevna redovna praksa, tj. postupci) zato što to omogućuje da rad bude standardizovan, što vodi boljoj usaglašenosti sa zahtevima. Ako se pogleda Juranova trilogija kvaliteta [4], prikazana na slici 1, razumeće se da Ekonomična proizvodnja pruža podršku definiciji kvalitetu proizvoda i usluga koji moraju "odgovarati nameni". Ekonomična proizvodnja se koristi za unapređenje putem sniženja troškova neizvršenja procesa, tj. u obliku smanjenja gubitaka.



Slika 1. Ekonomična proizvodnja i Juranova trilogija kvaliteta [4]

U poslednje vreme, metode Ekonomične proizvodnje (Lean Production) [2] koriste se kod planiranja kvaliteta. Organizacije su danas obavezne da projektuju određeni proizvod ili uslugu tako da lanac odvijanja procesa (tok) protiče lako (bez napora) sa malo gubitaka (tj. prekida, poremećaja, kidanja toka, dezorganizacije) od korisnikovih potreba do korisnikove upotrebe (primene kod korisnika).

4. TEHNOLOŠKA OPREMA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

Površinski kopovi raspolažu sa raznovrsnom i brojnom tehnološkom opremom, čije celine imaju velike gabaritne dimenzije i mase i koje u toku eksploatacije, zbog redne veze u smislu pouzdanosti, zahtevaju veoma dobro održavanje. Svaki površinski kop raspolaže sa više "jalovinskih" i "ugljenih" sistema:

- jalovinski sistem: bager - trakasti transporter - odlagač (BTO),

- ugljeni sistem: bager - trakasti transporteri - utovarno mesto (BTU),

kao i sa nizom mašina pomoćne mehanizacije i brojnim uređajima, što zajedno zadatak njihovog održavanja čini veoma složenim.

Praksa površinske eksploatacije uglja je pokazala da sistemi kontinualnog načina rada, kao što su sistemi BTO i BTU, obezbeđuju maksimalne tehnološke i ekonomske rezultate. Od rotornih bagera, kao ključne tehnološke opreme u sistemima BTO i BTU, zahteva se visok nivo pouzdanosti izvršenja zadatka. To ukazuje na potrebu određivanja kvantitativnih karakteristika pouzdanosti, pored ostalog, radi usvajanja adekvatne koncepcije održavanja rotornih bagera.

S druge strane, sa povećanjem složenosti rotornih bagera (slika 2) javlja se i problem njihovog optimalnog rada, posebno ako se zna da takvi sistemi često mogu prouzrokovati velike ekonomske gubitke ili ugroziti personal koji ih opslužuje (rukuje i održava).



Slika 2. Izgled rotornog bagera na površinskom kopu, RB Kolubara, Lazarevac

Svaki složeni tehnički sistem, pa i rotorni bager, nosi u sebi veliki potencijalni rizik od moguće pojave otkaza i havarija opasnih po operativnu i širu okolinu. Pouzdanost rotornih bagera, projektovanih tako da uspešno obavljaju funkciju cilja, određuje trajanje vremenskog intervala u kome će oni funkcionisati bez otkaza.

5. PROBLEM KOJI SE REŠAVA: HAVARIJA ROTORNOG BAGERA SRs 1200 24/4 (G2)

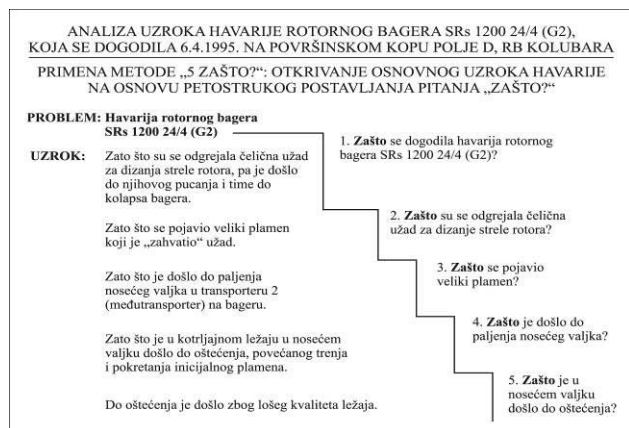
Problem havarije rotornog bagera na površinskom kopu, koji je ovde rešavan, zasniva se na prethodnim istraživanjima koja su izvršena u okviru rada [6]. Rotorni bager SRs 1200 24/4 (G2) koji je montiran i pušten u rad 1968. godine, na površinskom kopu Polje D, RB Kolubara, Lazarevac, Elektroprivreda Srbije, dobio je internu oznaku G2 ("Glodar" 2).

Havarija rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2), koja se dogodila 6. aprila 1995. godine, dovela je do velikih oštećenja koja je trebalo detaljno defektirati i oceniti, što su i uradili stručnjaci RB Kolubara i preduzeća Kolubara Metal.

Neke celine havarisanog bagera transportovane su na montažni plac u selu Zeoke, a neke - u radionice preduzeća Kolubara Metal u selu Vreoci.

6. ANALIZA UZROKA HAVARIJE ROTORNOG BAGERA SRs 1200 24/4 (G2) PUTEV PRIMENE METODE "5 ZAŠTO"?

U slučaju havarije rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2) primena metode "5 Zašto?" opisuje način razmišljanja potreban da bi se stiglo do nivoa potrebnog za sprečavanje ponovnog javljanja havarije, u smislu kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Primena metode "5 Zašto?" za otkrivanje osnovnog uzroka havarije rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2)

Prema statističkim podacima [7], značajan procentualni udeo svih vrsta otkaza tehničkih sistema, što važi i za rudarsku mehanizaciju, izazvan je greškama čoveka. One se dešavaju u fazama projektovanja, proizvodnje, kontrole, montaže, eksploatacije i održavanja sistema, a takođe u fazi rukovođenja, pri svakom nivou obrazovanja, kvalifikacije, kompetentnosti i iskustva personala.

7. ANALIZA VRSTA, POSLEDICA I KRITIČNOSTI OTKAZA (FMECA) ROTORNOG BAGERA SRs 1200 24/4 (G2)

Radi sprovođenja postupka FMECA [8] održavanja rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2), na osnovu dokumentacije preduzeća Kolubara Metal izvršeno je strukturalno raščlanjavanje rotornog bagera na celine (interni naziv: grupe gradnje). Svakoj grupi gradnje pridružena je odgovarajuća kodna oznaka na sledeći način: Mehanizam za kopanje materijala (MKM), Mehanizam za kružno kretanje (MKK), Mehanizam za dizanje strele rotora (MDS), Mehanizam za transport bagera (MTB), Mehanizam za transport materijala (MTM), Noseća čelična konstrukcija (NČK).

Oznaka pripadnosti strukturalnoj celini prema nivou raščlanjavanja rotornog bagera služi za odgovarajuću identifikaciju.

Sprovedeni postupak FMECA održavanja ukazuje da najveći stepen kritičnosti ima sledeća grupa gradnje (celina) rotornog bagera: **Mehanizma za dizanje strele rotora (MDS)**.

Stepen kritičnosti, u postojećem stanju Mehanizma za dizanje strele rotora (MDS), za svaki od tri para "moguća vrsta otkaza – mogući uzrok vrste otkaza", iznosi:

$$RPN = \boxed{210; 40; 25}$$

Upoređujući ocenjenu vrednost stepena kritičnosti $RPN = 210$ (kritična ocena) sa dozvoljenom vrednošću koja je, u literaturi, data za pojedine celine bagera, zaključuje se da je:

$$RPN = 210 > RPN_{doz} = 200,$$

što znači da je putem odgovarajućih korektivnih mera potrebno postići ispunjenje cilja:

$$RPN < RPN_{doz},$$

tj. sniziti stepen kritičnosti Mehanizma za dizanje strele rotora (MDS) kod rotornog bagera.

Primenjene korektivne mere dale su zadovoljavajuće rešenje u smislu da je stepen kritičnosti Mehanizma za dizanje strele rotora (MDS) u poboljšanom stanju niža od dozvoljene vrednosti, tj.:

$$RPN = \boxed{40; 25; 25}$$

Na osnovu predloženih i primenjenih korektivnih mera putem:

- bolje procesne kontrole u toku servisa,
- specijalističkih ispitivanja u toku servisa,
- uvođenja koncepcije proaktivnog održavanja rotornog bagera,

izvršen je uticaj na podloge PF, FDV i PFR, što je doprinelo njihovom poboljšanju, a time i sniženju stepena kritičnosti RPN Mehanizma za dizanje strele rotora (MDS).

8. NEMAVAŠI – PROCES POSTIZANJA KONSENZUSA U TOKU RAŠAVANJA PROBLEMA

Nemavaši je neformalna i, zato, često neprimetna etapa pripreme osnove za donošenje važne odluke [9]. U prevodu sa japanskog jezika reč "Nemavaši" prvobitno je značila "pripremiti se za presađivanje velikog drveta". U oblasti poslovanja, Nemavaši predstavlja proces postizanja Konsenzusa [9] među članovima radne grupe pre donošenja konačne (zvanične) odluke. U području razvoja (pripreme) proizvoda, Nemavaši po pravilu obezbeđuje članovima radne grupe važne informacije i vršenje kratkotrajnih prethodnih (kolokvijalnih) diskusija, redovno tehničkog karaktera, o mogućim načinima (putevima) rešavanja problema projektovanja, proizvodnje i/ili održavanja. Takve diskusije se često vode van zavaničnih sastanaka. One su potrebne uglavnom zbog toga da bi se obavestilo najviše rukovodstvo o alternativama i predlozima koje razmatra radna grupa. Po pravilu, ova informacija se prikazuje (daje) u obliku Izveštaja u formatu A3 ili matrice rešenja (odlučivanja).

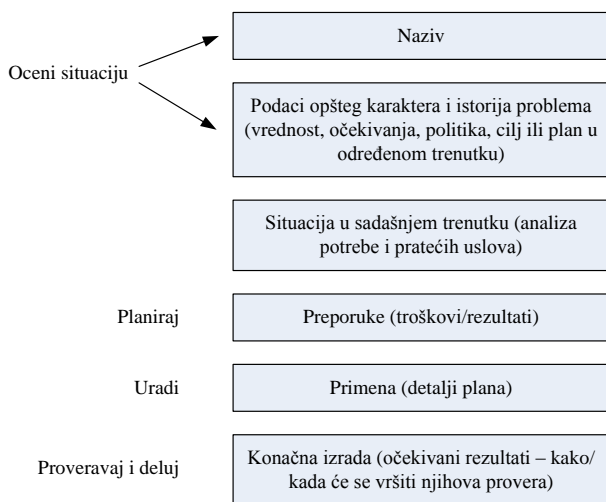
Konsenzus. Trenutak donošenja odluke, izgrađen je na osnovu ranije formirane saglasnosti među članovima radne grupe. Iz tog razloga, donošenje odluke u Japanu često predstavlja prostu formalnost i prolazi bez bilo kakvih sporova (rasprava, diskusija, prepirki, svađa) i glasanja. Zaista, ako se situacija posmatra i proučava sa stanovišta kulture, onda će se zapaziti da japanci aktivno rade na problemu, ali u etapi Nemavaši, neprimetnoj za Zapadni mentalitet.

9. IZVEŠTAJ A3 KAO EFEKTIVNO SREDSTVO REŠAVANJA PROBLEMA

Proces rešavanja problema u okviru Izveštaja A3 [10] se oslanja na ciklus Deminga PDCA. Deming je utvrdio da proces rešavanja problema treba da ukljućuje: planiranje, realizaciju, proveru (preispitivanje) i delovanje (aktivnost) (Plan, Do, Check, Act – PDCA). Na koji naćin se Izveštaj A3 oslanja na ciklus PDCA, prikazano je na slici 4. Izveštaj A3 poćinje od etape koja prethodi planiranju: svestrane i detaljne ocene tekuće (sadašnje) situacije, vrednosti, namera, politike, osnova (principa, elemenata, naćela) postojećeg sistema i dr. Posle postavljanja takve osnove moće se preći na etape koje ukljućuju ciklus Deminga: planiranje, realizaciju ili uvođenje plana, a posle toga - proveru (preispitivanje) i delovanje (aktivnost).

Problem koji je rešavan putem izrade Izveštaja A3 glasi: „Havarija rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2), koja se dogodila 6. aprila 1995. godine“. Proces rešavanja problema je opisan logićkim tokom koji prati Demingov ciklus unapređenja PDCA.

U Izveštaju A3 koji se odnosi na rešavanje konkretnog problema havarije rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2) postoje potencijalni nedostaci. Izgleda da je on preopterećen informacijama i komplikovan. To je normalna reakcija imajući u vidu tako složen dokument, pošto je na malom prostoru koncentrisan ogroman obim informacija. Besprekorni Izveštaji A3 ne postoje. Svaki put kada postoji potreba da se radi na sastavljanju takvog izveštaja – postoji naćin da se njegov sadržaj ili oblik poboljšaju.



Slika 4. *Ciklus PDCA pri sastavljanju (izradi) predloga u formatu A3 [6]*

10. ZAKLJUĆAK

Izveštaj A3, kao efektivno sredstvo za rešavanje problema poput havarija, je u ovom slućaju prilagođen uslovima rada rudarskih mašina (bageri, transporteri, odlagaći i dr.) na površinskom kopu. S obzirom na situaciju da postoji ogroman broj dostupnih podataka i informacija o procesima visokog stepena složenosti, kakvi su procesi eksploatacije jalovine i uglja na površinskom kopu, moguć je utrošak ogromne kolićine vremena za njihovo pronalaženje.

Zbog toga, naćin dokumentovanja u vidu Izveštaja A3 ima veliki znaćaj za ubrzanje komunikacije i uklanjanje gubitaka vremena u procesima rada.

To predstavlja vaćan korak pri uvođenju Ekonomićne proizvodnje (Lean Production) i koncepcije Kaizen (Kaizen) na površinskom kopu u RB Kolubara, ali i na drugim površinskim kopovima u okviru Elektroprivrede Srbije.

11. LITERATURA

- [1] Salvendy G., Ed.: Handbook of Industrial Engineering, Volume 1, Industrial Engineering Functional Skills, Technology, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2001, 872 p.
- [2] Ohno T: Toyota Production System, Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, Portland, 1988, 143 p.
- [3] Womack J. P., Jones T. D., Roos D.: The Machine that Changed the World, The Story of Leand Production - Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars that Is Revolutionizing World Industry, Free Press, New York, 1990, 349 p.
- [4] De Feo J. A.: Juran's Quality Handbook, The Complete Guide to Performance Excellence, Mc Graw Hill Education, New York, 2017, 986 p.
- [5] Krafcik J. F.: Triumph of the Lean Production System, Sloan Management Review, Volume 30, Number 1, 1988, pp. 41-52.
- [6] Papić N.: Analiza uzroka i posledica havarije rotornog bagera SRs 1200 24/4 (G2), na površinskom kopu Polje D, RB Kolubara, i definisanje mera za njeno eliminisanje, Ispitni rad iz predmeta Projektovanje i analiza postupaka odrćavanja, Fakultet tehnićkih nauka, Novi Sad, 2018, 45 s.
- [7] Pantelić M.: Unapređenje koncepcije odrćavanja putem operativnog upravljanja sigurnošću bagerskih jedinica na površinskim kopovima, Doktorska disertacija, Tehnićki fakultet, Ćaćak, 2009, 243 s.
- [8] Stamatis D. H.: Failure Mode Effect Analysis, FMEA from Theory to Execution, Second Edition, American Society for Quality, Milwaukee, 2003, 487 p.
- [9] Liker J. K., Meier D.: The Toyota Way Fieldbook, A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps, McGraw-Hill, New York, 2006, 592 p.
- [10] Sobek II Durward K., Smalley A.: Understanding A3 Thinking, A Critical Component of Toyota's PDCA Management System, CRC Press, Taylor and Francis Group, New York, 2008, 173 p.

Kratka biografija



Neda Papić, rođena 1994. godine u Ćaćku. Master rad na Fakultetu tehnićkih nauka iz oblasti Industrijsko inženjerstvo. Završila osnovne akademske studije prvog stepena na studijskom programu Industrijsko inženjerstvo 9.4.2019. godine, sa stručnim nazivom Diplomirani inženjer industrijskog inženjerstva.

Kontakt: papic.neda@gmail.com