

**PROJEKTOVANJE MODELA PROIZVODNOG SISTEMA PRIMENOM LEAN FILOZOFIJE****DESIGNING A PRODUCTION SYSTEM MODEL BY APPLICATION OF LEAN PHILOSOPHY**Bojan Jerinić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – LOGISTIKA**

**Kratak sadržaj** – *Ovaj rad demonstrira primenu elementarnata Lean filozofije na projektovanje modela proizvodnog sistema za proizvodnju automobila i primenu modela za ispitivanje optimalnog rasporeda sistema.*

**Ključne reči:** *Proizvodni sistemi, modelovanje, Lean*

**Abstract** – *This paper demonstrates the application of elements of Lean philosophy to designing a model of a production system for car production and application of the model for determining the optimal system layout.*

**Keywords:** *Production systems, modeling, Lean*

**1. UVOD**

Optimizacija proizvodnih sistema i vršenje ispitivanja u njima može biti izuzetno skupo, komplikovano i dugotrajno, pogotovo kada ispitivanja zahtevaju pomeranja više tonskih mašina ili razmeštanje delova sistema. Ovo ne samo da dovodi do potrebe za zaustavljanja rada sistema već i predstavlja ogroman rizik u slučaju da ispitivanje ne donese nikakve prednosti već samo gubitke. Iz tog razloga je daleko isplativije vršiti ispitivanja na modelima kad god je to moguće.

Model je pojednostavljeni prikaz realnoga sistema napravljen kako da bi poslužio boljem razumevanju i/ili daljnjem proučavanju tog sistema i eksperimentisanja sa njim, a modelovanje predstavlja proces izrade modela koji mogu biti na osnovu strukture fizički ili simbolički [1]. Dobro izrađeni modeli mogu doprineti značajnim otkrićima za optimizaciju sistema na osnovu kojih su izgrađeni.

Proizvodni sistemi predstavljaju skup tehnoloških sistema i informacionih i energetske struk-tura uređen na način koji obezbeđuje izvođenje procesa rada - skupa informacija u tokovi-ma sistema [2]. U savremenom svetu sa sve većim brojem uslužnih i digitalnih sistema, proizvodni sistemi i dalje imaju veliki značaj kako na doprinos razvoja društva tako i na stabilnost društva.

Lean prilaz/proizvodnja/menadžment ili popularnije nazvan samo Lean predstavlja najbolju proizvodnu strategiju /filozofiju današnjice Lean menadžment je vrhunac višedecenijskog kontinuiranog usavršavanja u oblasti industrijskog inženjerstva i menadžmenta [3].

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nemanja Sremčev, docent.**

**2. LEAN ISTORIJA I OSNOVE**

Nastanak Lean filozofije je najviše vezan za razvoj Toyota-inog proizvodnog sistema odnosno Just in Time (JIT) sistema sa kraja 1940-ih godina, međutim prema nekim istorijskim izvorima pojedini elementi Lean filozofije datiraju mnogo ranije, elementi kao upotreba formalnih instrukcija za posao 50 godine pre Hrista, montažne linije sa zamenljivim delovima iz AD 1440 u Arsenalu Venecije, i upotreba raspodele rada i radnika od strane kineskog cara Jao još 2300 godine pre Hrista [4].

Iako je veliki broj ljudi doprineo razvoju Lean-a do onoga što je danas jedan čovek se izdvaja, to je Taiichi Ohno. Ohno je čovek koji je odgovoran za veliki napredak koji je Toyota napravila nakon II svetskog rata, on je takođe i postavio osnove Lean filozofije. Kako se Lean filozofija fokusira na stvaranje vrednosti i eliminisanje gubitaka Ohno je identifikovao tri tipa gubitaka [5] :

1. **MUDA** znači rasipanje, beskorisnost i uzaludnost, što je u suprotnosti sa dodavanjem vrednosti.
2. **MURA** znači neravnomernost, neujednačenost i nedoslednost. MURA je razlog postojanja bilo kog od sedam gubitaka MUDA.
3. **MURI** znači preopterećenost, izvan svoje moći, preteranost. MURI može da bude rezultat mure i u nekim slučajevima bude uzrokovan preteranim uklanjanjem MUDA (otpada) iz procesa.

Svi tipovi gubitaka ne doprinose i otežavaju stvaranje vrednosti, samim tim definisani su i principi putem kojih se bori protiv tipova gubitaka njihovom identifikacijom i eliminacijom [5]:

1. **Vrednost (Value)** - Vrednost prema Lean-u se može definisati samo krajnji kupac. A svrsishodno je samo kada se izražava u smislu određenog proizvoda (dobra ili usluge, a često i jednog i drugog odjednom) koji zadovoljava potrebe kupca po određenoj ceni u određeno vreme.
2. **Tok vrednosti (Value stream)**- Tok vrednosti je skup svih specifičnih radnji potrebnih za provođenje određenog proizvoda
3. **Tok (Flow)** - Jednom kada je vrednost precizno navedena, tok vrednosti za određeni proizvod koji je u potpunosti mapiran od strane poslovnog

preduzeća, i očigledni koraci koji prouzrokuju gubitke eliminisani, vreme je za sledeći korak tok, odnosno kontinuirani tok tako da vrednost teče kroz sve korake procesa bez gubitaka.

4. **Povlačenje proizvodnje (Pull)** – dobra ili usluge treba proizvoditi samo kada za njima postoji potreba odnosno kada kupac zahteva određenu vrednost.
5. **Savršenstvo (Perfection)** - Kako organizacije počinju precizno da navode vrednost, identifikuju ceo tok vrednosti, prave korake za kreiranje vrednosti za određene proizvode neprekidno i puštaju kupce da izvlače vrednost iz preduzeća, počinju ne samo da se smanjuje napor, vreme, prostor, troškovi i greške dok nude proizvod koji je sve bliže onome što kupac zapravo želi, već se kontinualno traže i otkrivaju novi načini kako da se proces stvaranja vrednosti učini još savršenijim.

### 3. DELOVI SISTEMA

Model proizvodnog sistema koji se izrađuje pomoću Lean filozofije se sastoji od:

1. **Proizvodnog pogona** – odnosno mesta gde se proizvode proizvodi gde se dešava radnja, mesto koje se u Lean-u naziva Gemba.
2. **Supermarketa** – predstavlja skladište delova karoserije, točkova, volana i motora, naziva se supermarket jer po svojim policama i materijalima podseća na supermarket odakle kupci u ovom slučaju radnici uzimaju delove potrebne za proizvodnju traženih proizvoda.
3. **Pojedinačnih radnih mesta 5 i 6** – radna mesta spadaju u Gembu međutim ne nalaze se na proizvodnoj liniji već su izmešteni sa strana, na radnom mestu 5 se sklapaju delovi karoserije koji se kasnije ugrađuju u proizvode, dok se na radnom mestu 6 sklapaju motori koji predstavljaju pojedinačni proizvod.
4. **Skladišta šasija** – predstavlja skladište u kojem se čuvaju šasije za svaki od proizvoda ono je odvojeno od supermarketa i predstavlja polaznu tačku izuzimanja delova proizvodnog procesa za proizvode A, B i C.
5. **Heijunka kutije** odnosno dela za prijem porudžbina i izdavanje Kanban kartica – deo sistema koji pokreće potražnju za proizvodima, mesto odakle se izrađuju potrebne Kanban kartice i raspoređuju u Heijunka kutiji po rasporedu koji se odredi nivelisanjem proizvodnje.

Pored delova od kojih se sastoji sistem obuhvata i proizvode i učesnike.

**Proizvod A** je manji automobil namenjen za gradske vožnje.



Slika 1 Proizvod A

**Proizvod B** predstavlja luksuzni auto namenjen za daleke vožnje.



Slika 2 Proizvod B

**Proizvod C** je malo veći auto namenjen za prevoz lakših tereta na manje distance.



Slika 3 Proizvod C

**Motor** ovaj proizvod je specifičan po tome što se ne ugrađuje u automobile već se proizvodi za prodaju kupcima za njihovu ugradnju.



Slika 4 Motor

Učesnici predstavljaju jedan od najvažnijih elemenata sistema, jer su oni ti koji transformišu materijale i sirovine u proizvode i stvaraju vrednost. U sistemu postoje sledeći učesnici:

*Operateri* su ti koji vrše radnje nad predmetima rada odnosno obavljaju proizvodne operacije.

*Planer proizvodnje* se nalazi uz Heijunka kutiju, on zahteva prodaje pretvara u nivelisan raspored proizvodnje, izrađuje Kanban kartice i raspoređuje ih u Heijunka kutiju.

*Runner* je učesnik koji pokreće procese proizvodnje tako što uzima Kanban kartice iz Heijunka i kači ih na šasije koje zatim dovodi do proizvodne linije, on takođe donosi sva potrebna sredstva iz supermarketa operaterima na proizvodnoj liniji i ostalim radnim mestima.

*Supervizor proizvodnje* se nalazi tokom celog radnog vremena u proizvodnom pogonu, on je zadužen da osigurava da se proizvodnja odvija bez prekida, takođe je zadužen za rešavanje problema koje primete svi ostali učesnici.

U izradi delova sistema korišćeno je više Lean alata, neki alati su korišćeni u svakom delu poput 5S alata dok su neki korišćeni samo u pojedinim delovima.

### 3. PRIMENJENI ELEMENTI LEAN FILOZOFIJE

Za izradu modela korišćeno je ukupno deset alata, metoda i tehnika Lean filozofije:

**5S** - alat Lean-a namenjen povećanju efikasnosti radnog mesta, koji se najpre koristi se za uspostavljanje i održavanje kvalitetnog okruženja u sistemu, tako što eliminiše sve nečistoće i nepotrebne stvari koje mogu ometati ili sputavati stvaranje vrednosti. U projektovanju

modela iskorišćen je za organizovanje pojedinačnih radnih mesta i svih delova sistema kao i optimizaciju istih kroz označavanje oznakama, linijama, određivanje mesta svih elemenata, načina njihovog označavanja preko definisanih standarda i njihovog održavanja putem ček listi.

**Vizuelni menadžment** - predstavlja način prenosa informacija gde se putem nekih vizuelnih jednostavnih signala [6], koji omogućavaju razumevanje trenutne situacije očekivanja, performansi, standarda i problema u metodi koja zahteva malo vremena za razumevanje. Vizuelni menadžment je primenjen zajedno sa 5S u označavanju sistema i njegovom organizovanju putem različitih boja, brojeva i linija koje govore učesnicima šta je šta u sistemu.

**Heijunka** - Heijunka je izraz na japanskom koji u prevodu znači „napraviti ravnim i u nivou” - nivelisanje i ona predstavlja alat za poravnanje (nivelisanje) rasporeda proizvodnje [7].

To je tehnika u borbi protiv neuravnoteženosti – *mura*, umesto proizvodnje u velikim serijama, proizvode se manje serije, jednako raspoređene u vremenskim intervalima npr. na nivou jedne smene [8].

Heijunka je iskorišćena za ujednačavanje proizvodnje i serija, takođe je putem nje određena i sekvence proizvodnje kao i uravnoteženje opterećenosti radnih mesta kako bi se uskladio Takt-time sa Cycle-time-om, uz to je izrađena i Heijunka kutija sa sprovođenje nivelisanja.

**Kanban** - Kanban je japanska reč, koja grubo prevedeno znači „vizuelna tabla“ ili „znak“ [9], i to je jedan od alata koji omogućava sprovođenje Just-in-Time načina proizvodnje. Kanban je jednostavan vizuelni alat za menadžment snabdevanjem, zasnovan na pull sistemu Just-in-Time-a, koji signaliziranjem šta je potrebno, kada je potrebno, gde je potrebno i koliko je potrebno. Kanban signalizira informaciju koja ili pokreće proizvodnju ili dopunu zaliha. Kanban je primenjen kroz izradu Kanban kartica putem kojih je omogućeno sprovođenje Heijunka i efektivno prenošenje informacija učesnicima sistema o potrebama u sistemu. Izrađeno je i primenjeno tri tipa Kanban kartica:

1. **Transportna Kanban kartica** se koristi za izuzimanje materijala i delova iz skladišta za potrebe radnih mesta kao i preuzimanje delova sa radnih mesta za potrebe narednog radnog mesta u pro-cesu.
2. **Proizvodna Kanban kartica** se koristi za signaliziranje da je potrebno izraditi neki deo ili proizvod radnicima na radnim mestima, takođe služi za postavljanje u Heijunka kutiju i organizovanje sekvence proizvodnje.
3. **Dobavljačka Kanban kartica** služi za signaliziranje da je potrebno naručiti određeni materijal ili deo od dobavljača, one se postavljaju u supermarket na deo koji predstavlja nivo zaliha kada se mora otpočeti ciklus nabavke kako bi se proizvodnja odvijala bez prestanka.

**Kaizen** - Kaizen je filozofija koja je označava proces stalnog ili kontinualnog postepenog unapređenja standardnog načina rada [10], koji se primenjuje na nivou celog preduzeća i u kojem učestvuju svi zaposleni, gde se svi u sistemu podstiču da predlažu moguća unapređenja načina rada. Kaizen je primenjen tako što je prikazan problem nepotrebnih pokreta radnika i grešaka u kvalitetu proizvoda koji je rešen tako što su eliminisani nepotrebni pokreti promenom pozicije alata i ugrađivanjem Poka-Yoke uređaja za sprečavanje greške.

**Single-Minute-Exchange-of-Dies (SMED)** – predstavlja Lean alat čiji je cilj da svede vreme trajanja svih podešavanja na jednocifren broj minuta koji je razvio Shigeo Shingo-a konsultanta u Toyota-i, koji je razvoj SMED-a započeo još 1950. godine, a usavršio je tek 1969. godine [11]. SMED je primenjen tako što su napravljeni kalupi koji se uklapaju jedan u drugi i koji omogućavaju pravljenje različitih proizvoda sa minimalni podešavanjima prilikom promene.

**Jidoka** - Jidoka predstavlja drugi stub TPS-a, a sama reč Jidoka prevedeno znači autonomation (autonomacija) ili „automatizacija sa ljudskim dodirom“ [12]. Autonomacija podrazumeva prebacivanje ljudske inteligencije na mašinu. Jidoka predstavlja ugađivanje kvaliteta u proizvod. Jidoka je primenjena putem njenih elemenata Andona i Poka-Yoke, a i putem 5 Zašto? tehnike kroz prikazivanje problema u radu uočavanja problema do otkrivanja uzroka problem.

**Andon** – reč Andon u japanskom je tradicionalno vezana za papirni fenjer, dok je u Jidoki Andon vezan za signaliziranje problema ili zaustavljanja linije [13]. Andon je tabla ili svetlo koje signalizira svim radnicima u sistemu da postoji neki problem bilo to putem neke vizuelne (svetlećim bojama, znakovima) ili zvučne signalizacije (alarmi) i time je namenjen da skrene pažnju svima unutar sistema na dati problem kako bi se pristupilo njegovom rešavanju. Andon je primenjen postavljanje Andon table za signaliziranje problema u proizvodnom pogonu i postavljanjem Andon kanapa iznad glava radnika kako bi signalizirali svima problem na koji naiđu.

**Poka-Yoke** je japanska reč koja znači „Izbegavanje Greške“ i njegova svrha je da eliminiše nedostatke proizvoda sprečavanjem, ispravljanjem ili skretanjem pažnje na ljudske greške dok se javljaju [14], na taj način sprečava da greške ili defekti nastave dalje u procesu i na kraju dođu do kupca. Poka-Yoke je primenjena kroz postavljanje hibridnih uređaja na radna mesta za sprečavanje grešaka putem metode kontakta i signalizacije na osnovu boja uređaja i proizvoda koji se izrađuje.

**5 Zašto?** - 5 Zašto? je tehnika koju je tridesetih godina prošlog veka izumeo Sakiichi Toyoda, tehnika podrazumeva gledanje bilo kog problema i postavljanja pitanje: „Zašto?“ i „Šta je izazvalo ovaj problem?“ [15]. 5 Zašto? je primenjen tako što je prikazan problem u radu gde je zatim pomoću tehnike otkriven osnovni uzrok problema kao i rešenje za isti.

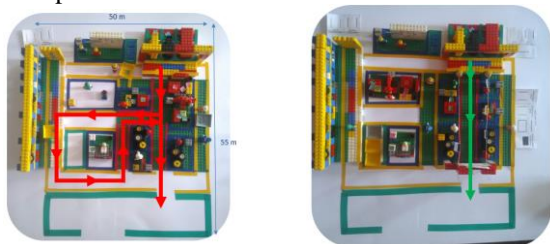
Izgled sistema nakon primene svih elemenata dat je na Slici 5.



Slika 5 Ceo sistem

#### 4. ISTRAŽIVANJE OPTIMALNOG RASPOREDA SISTEMA

Nakon izrade sistema, model je primenjen na istraživanje optimalnog rasporeda sistema tako da su radna mesta bila organizovana najpre prema procesno prilazu, a zatim prema predmetno.



Slika 6 Procesni i Predmetni raspored

Oba rasporeda su upoređena putem karti procesa, na osnovu kojih se došlo do rezultata da je pri predmetnom u odnosu na procesni potrebno daleko manje vremena rada 90.000 [min/god] prema 140.000 [min/god], da je količina kretnje višestruko manja 84.960.000 [kgm/god] prema 246.960.000 [kgm/god], da je rastojanje pređeno za proizvodnju jednog proizvođača višestruko manje 35 metara prema 130 metara i da je broj učesnika manji 9 prema 13.

#### 5. ZAKLJUČAK

Putem primene svih alata pokazana je njihova komplementarnost, kako se jedni na druge nadovezuju i čine jedinstvenu celinu koja funkcioniše u cilju kontinualne proizvodnje kvalitetnog proizvoda, smanjivanja vremena trajanja ciklusa proizvodnje i kontinualnog unapređenja radi postizanja perfekcije. Od primenjenih alata je stvorena jedinstveni sistem koji funkcioniše zahvaljujući ne pojedinačnom alatu već njihovom zajedničkom delovanju.

Putem ispitivanja izvršenom na modelu prikazano je kako način raspoređivanja radnih mesta može da utiče na višestruku optimizaciju potrošnje resursa i da modeli proizvodnih sistema imaju velike koristi u pogledu optimizacije načina rada. Primenom modela na ovo ispitivanje prikazano je kako modeli mogu da unaprede

način rada uz mnogo manje potrošenih resursa nego da je ispitivanje rađeno u realnom sistemu.

#### 6. LITERATURA

- [1] J. Božikov, „Modeliranje i simulacija“, p. 1, 2006. [Pristupljeno 17 Septembra 2021].
- [2] M. Lazarević, „Proizvodni i uslužni sistemi“, Fakultet Tehničkih Nauka, 2020.
- [3] C. Protzman et al., „Brief History of Lean“, *The Lean Practitioner's Field Book*, pp. 2-1-2-36, 2018. Dostupno: 10.4324/9781315373843-3 [Pristupljeno 18 Avgust 2021].
- [4] Iuga, Maria & Kifor, Claudiu. (2013). *Lean manufacturing: The when, the where, the who*. Land Forces Academy Review. 18. 404-410.
- [5] S. Smith, „Muda, Muri and Mura“, *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, no. 2, pp. 36-37, 2014.
- [5] J. Womack and D. Jones, *Lean thinking*. London: Free Press, 2003. pp. 15-90, 349.
- [6] M. Lazarević and N. Sremčev, „5S, Vizuelno upravljanje“, Fakultet Tehničkih Nauka, 2020.
- [7] „Heijunka“, Fakultet Organizacionih Nauka, 2021.
- [8] M. Lazarević and N. Sremčev, „Heijunka, Sistemi široke strukture i malih količina i Ukupna Efikasnost Opreme (Overall Equipment Effectivness) – OEE“, Fakultet Tehničkih Nauka, 2020.
- [9] „What Is Kanban? Explained in 10 Minutes | Kanbanize“, *Kanban Software for Agile Project Management*, 2021. [Online]. Dostupno: <https://kanbanize.com/kanban-resources/getting-started/what-is-kanban>. [Pristupljeno: 08- Sep-2021].
- [10] J. Chen, J. Dugger and B. Hammer, „A Kaizen Based Approach for Cellular Manufacturing System Design: A Case Study“, *The Journal of Technology Studies*, vol. 27, no. 2, 2001. Dostupno: 10.21061/jots.v27i2.a.3 [Pristupljeno 8 Septembra 2021].
- [11] S. Shingo, A. Dillon and N. Bodek, *A Revolution in Manufacturing*. Portland: Productivity Press, 1985, pp. 21-31.
- [12] W. Phillips Jr., „Jidoka for Product Development of Electronic Modules for Automotive Applications“, Masters, Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- [13] J. Tisbury, *Your 60 Minute Lean Business - Jidoka*, 1st ed. 2014, pp. 7-15.
- [14] M. Dudek-Burlikowska and D. Szewieczek, „The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process“, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 95-102, 2009. [Pristupljeno 13 Septembra 2021].
- [15] H. Marquis, „5 Whys to Solve Problems“, *DITY Weekly Newsletter*, vol. 5, no. 39, pp. 1-3, 2009. [Pristupljeno 14 Septembra 2021].

#### Kratka biografija:



**Bojan Jerinić** rođen je u Novom Sadu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Proizvodni sistemi - Projektovanje modela proizvodnog sistema primenom Lean filozofije odbranio je 2021.god. kontakt: bojanjerinic23@gmail.com