

SIMULACIJA PROCESA MONTAŽE PRIMENOM LEAN FILOZOFIJE

SIMULATION OF THE ASSEMBLY PROCESS BY APPLYING THE LEAN PHILOSOPHY

Marko Jerinić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – Industrijsko Inženjerstvo

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazane su osnove Lean filozofije, zatim je kroz igru urađena simulacija primene alata za unapređenje radnog mesta i eliminaciju gubitaka u procesu montaže modela aviona od LEGO kockica.

Ključne reči: *Proizvodni sistemi, simulacija, Lean*

Abstract – *In this paper, the basics of the Lean philosophy are shown, then through a game simulation of the application of tools for improving the workplace and eliminating losses in the process of assembling airplane models from LEGO bricks.*

Keywords: *Production Systems, Simulation, Lean*

1. UVOD

Projektovanje proizvodnih sistema predstavlja skup aktivnosti koje za cilj imaju da poboljšanju postojeći, ili razviju novi proizvodni sistem. Projektovanje proizvodnih sistema ima za cilj da ujedini: Tokove materijala – proizvodne procese; Tokove informacija – upravljanje proizvodnjom; Tokove troškova – ekonomičnost proizvodnje [1].

Lean predstavlja proizvodnu filozofiju koja smatra da sve radnje, pokreti, potrošnje resursa koje ne doprinose stvaranju vrednosti za korisnika ili kupca predstavlja gubitak i da se zbog toga moraju eliminisati ili svesti na neki odgovarajući minimum.

Vrednost prema Lean – u može definisati samo krajnji kupac. Definisana vrednost je svrshodna samo kada se izražava u smislu određenog proizvoda (dobara ili usluge, a često i jednog i drugog odjednom) koji zadovoljava sve potrebe kupcu po određenoj ceni u određeno vreme [2].

Lean se fokusira na dostavljanje vrednosti korisniku u onom obliku kojem on odredi u što kraćem roku, to nije filozofija isključivo za proizvodne sisteme i sve je više zastupljena i primenjena u uslužnim delatnostima.

Uvođenjem Lean sistema proizvodnje uspostavlja se kontinuirani proces neprestanog sistematskog identifikovanja i otklanjanja suvišnih pojava u poslovanju kompanije, tj. eliminisanje svega što ne predstavlja vrednost iz perspektive kupca.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milovan Lazarević, red. prof.

2. ISTRIJA I OSNOVE LEAN FILOZOFIJE

Sam početak Lean-a može se vezati za nastanak automobila, jer je upravo u toj industriji započela njegova primena, i uticaje iz dve zemlje koje su imale najveći doprinos u toj industriji, Sjedinjene Američke Države kao začetnik masovne automobilske industrije, i naravno Japan kao zemlja koja je svetu dala Lean i danas je predvodnik u automobilske industriji. Eli Whitney, Frederick Taylor, Frank Gilbreth i Henry Ford se smatraju ljudima čija su otkrića i ideje među prvima vodili ka razvoju Lean-a. Međutim za njegov nastanak je ipak najzaslužnija japanska kompanija Toyota, na čelu sa porodicom Toyoda i industrijskim inženjerom Taiichi Ohno-m.

Dva stuba ove filozofije predstavljaju Jidoka i Just-In-Time, oni predstavljaju ideje dva osnivača kompanije Toyota, Sakichi-a i Kiichir-a Toyode. Taiichi Ohno, čije ideje i rad su dovele do stvaranja današnje Lean filozofije, se smatra glavnim autorom ovog koncepta. Krajem 1950-ih godina počinje njegova upotreba u proizvodnom pogodu Toyote, početkom 1970-ih ovaj sistem počinje da se širi i po ostalim granama industrije Japana a krajem 70-ih i početkom 80-ih ulazi i u Američku industriju.

1988. godine TPS dobija globalno poznati termin LEAN.

Lean se može definisati kao sistematski pristup identifikaciji i eliminaciji rasipanja (gubici) kroz kontinuirano poboljšanje. Kako bi se identifikovali i eliminisali gubici u sistemu, u Lean-u postoji definisano 5 principa:

1. **Vrednost (Define Value)** - Vrednost je ono što je kupac spreman da plati, da se razume šta je ono što kupac „vrednuje – ceni“.
2. **Tok Vrednosti (Map the Value stream)** - Služi da se identifikuje i mapira tok vrednosti. Cilj je da se vrednost kupca, koju smo definisali prvim principom, koristi kao referentna tačka i identifikuju sve aktivnosti koje doprinose ostvarenju ove vrednosti. Aktivnosti koje ne doprinose ostvarivanju vrednosti krajnjem kupcu smatraju se otpadom i potrebo ih je eliminisati.
3. **Tok (Create Flow)** - Nakon uklanjanja otpada iz toka vrednosti, sledeća akcija je da se osigura da protok preostalih koraka teče glatko bez prekida ili kašnjenja.
4. **Povlačenje proizvodnje (Establish Pull)** - Inventar se smatra jednim od najvećih otpada u bilo kom proizvodnom sistemu. Cilj sistema zasnovanog na povlačenju je da ograniči zalihe i rad u procesu (WIP), istovremeno osiguravajući

da su potrebni materijali i informacije dostupni za nesmetan tok rada.

5. **Težiti ka savršenstvu (Continuous Improvement)** – Kada su primenjena prva četiri principa ne treba se potpuno zadovoljiti postignutim rezultatima već se kontinualno traže i otkrivaju novi načini kako da se proces stvaranja vrednosti učini još savršenijim

Pod gubitke spada sve što ne dodaje vrednost konačnom proizvodu, i Lean terminologiji gubici se svrstavaju u 3 kategorije:

MUDA znači rasipanje, beskorisnost i uzaludnost, što je u suprotnosti sa dodavanjem vrednosti. Razlikuje se sedam vrsta MUDA uz osmu koja je kasnije identifikovana:

1. Prekomerna proizvodnja
2. Čekanje
3. Transport
4. Neodgovarajuća obrada
5. Prevelik nivo zaliha
6. Nepotrebni pokreti
7. Škart
8. Neiskorišćeni ljudski potencijal

MURA znači neravnomernost, neujednačenost i nepravilnost. Mura je razlog postojanja bilo koje od sedam gubitaka MUDA. Odnosno Mura vodi do Muda.

MURI znači preopterećenje, izvan nečije moći, preteranost, nemoguće ili nerazumno. Muri može biti rezultat Mure i u nekim slučajevima biti uzrokovan prekomernim uklanjanjem Muda (otpada) iz procesa.

Osnovna filozofija Toyota-inog proizvodnog sistema zasniva se na dva stuba. Prvi stub je Jidoka - što se može slobodno prevesti kao "automatizacija sa ljudskim dodirima" - zasnovana na konceptima zaustavljanja odmah kada se otkrije abnormalnosti kako bi se sprečila proizvodnja neispravnih proizvoda i poboljšanje produktivnosti kako bi se eliminisala potreba da ljudi jednostavno gledaju na mašine. Drugi stub je Just-in-Time, zasnovan na konceptu sinhronizacije proizvodnih procesa - povezivanju svih postrojenja i njihovih proizvodnih procesa u kontinuiranom toku - pravljenjem samo onoga što je potrebno, kada je to potrebno i u potrebnoj količini [3].

Postoje tri cilja koja se smatraju osnovama TPS-a [4]:

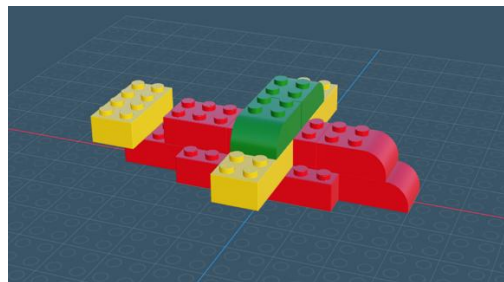
1. Sve što tokom proizvodnog procesa ne doprinosi vrednosti gotovog proizvoda potrebno je ukloniti iz procesa
2. Smanjiti što je više moguće vreme ciklusa proizvodnje proizvoda I smanjiti troškove nezavršene proizvodnje, a pri tome povećati fleksibilnost Sistema
3. Ne proizvoditi proizvode za koje ne postoji kupac. Napraviti kupcu proizvod kakav želi u što kraćem roku.

3. OPIS PROIZVODA I PROBLEMA

Ovaj avion sastoji se od 14 kockica u tri različite boje, na (Slika 1) nalazi se 3D model, u tabeli 1 je prikazana sastavnica proizvoda.

Tabela 1. Sastavnica proizvoda

SASTAVNICA PROIZVODA			
MATERIJAL	DIMENZIJE	OZNAKA	KOMADA
Crvene kockice	3x2	CK3x2	4
	4x2	CK4x2	3
	2x2- nagib	CK2x2n	2
Žute kockice	4x2	ŽK4x2	3
Zelene kockice	2x2 - nagib	ZK2x2n	2



Slika 1. 3D model LEGO aviona [1]

Proces montaže aviona vršen je na radnom mestu gde su sve kockice pomešane ne samo sa drugim bojama nego i sa oblicima koji nisu bili neophodni, stoga je radnik morao da „kopa“ po gomili kako bi pronašao adekvatne delove – adekvatne boje. U toj situaciji javljali su se gubici vremena, prekomerni potezi radnika, preopterećenost radnika. Sama montaža proizvoda je bila znatno duža nego što je potrebno i to sve jer je vreme koje ne dodaje vrednost bilo duže nego što treba biti (Slika 2).



Slika 2. Početno stanje radnog mesta [2]

Odabran je jedan jednostavan primer koji bi trebalo na veoma lak način dočara kako bi trebalo da se primenjuju Lean alati na radnom mestu. Odabrani alati su: 5S i vizuelni menadžment, Kaizen, Kanban kartice i deo Jidoke odnosno Poka-Yoke.

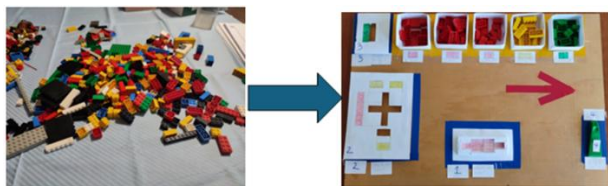
4. PRIMENA LEAN ALATA

5S predstavlja alat za sistemsko uređenje radnog prostora sa planom za održivost tog uređenog radnog prostora. To je alat čija je namena povećanje efikasnosti radnog mesta, koji se najpre koristi za uspostavljanje i održavanje kvalitetnog okruženja u sistemu, tako što eliminiše se nečistoće i nepotrebne stvari koje mogu ometati ili sputavati stvaranje vrednosti.

Vizuelni menadžment predstavlja način prenosa informacija gde se putem nekih vizuelnih jednostavnih

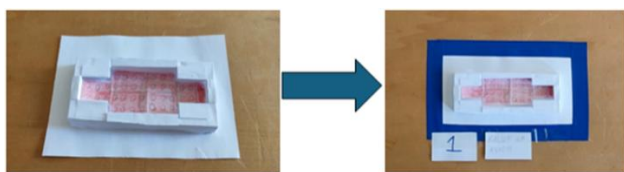
signala, omogućavaju razumevanje trenutne situacije, očekivanja, performansi, standarda i problema [5].

Primenom svi delova alata 5S i vizuelnog menadžmenta došlo se do promene stanja radnog mesta kao što je prikazano na (Slika 3).



Slika 3. Unapređenje početnog stanja radnog mesta [2]

Kaizen predstavlja kontinualna manja unapređenja tokom vremena i njemu nikada nema kraja. Na ovom primeru kao rezultat Kaizena jeste lepljenje kalupa za radnu površinu (Slika 4).



Slika 4. Primena Kaizen-a [2]

Kalup koji je napravljen kao jedna od Poka-Yoke služi za pravilno postavljanje prvog reda kockica, međutim postoji mogućnost da kalup radniku sklizne iz prvobitno postavljene pozicije i time produži vreme montaže i doprinese nepotrebnim pokretima radnika kada ga vraća na mesto. Kako bi se ova moguća greška eliminisala, okvir je zalepljen/fiksiran za radnu površinu i time je obezbeđeno da uvek bude u potrebnom položaju za rad.

Iz primene Kaizena proističu i Poka-Yoke okviri koji su namenjeni za eliminaciju grešaka prilikom montaže.

Poka-Yoke potiče od japanskih reči i znači „Izbegavanje Grešaka. Alat koji je osmislio Shingeo Shinge služi da radnicima u procesu pomogne da izbegnu nastajanje grešaka a samim tim i nastanak defektnih proizvoda. Poka-Yoke uređaji mogu biti na principu: prevencije – gde se ne mogu napraviti greške u procesu; ili detekcije – gde se nastale greške detektuju na vreme i ne prolaze u sledeće korake procesa. U ovo radu Poka-Yoke je primenjena kroz pravljenje jednog kalupa i dva okvira kojima se radnicima daju jasne instrukcije koje i gde kockice treba montirati. Ovim se eliminisao problem nastanka defektnih proizvoda i smanjuje vreme montaže. Ovi uređaji će biti prikazani na slikama kod koraka montaže.

Kanban sistem predstavlja način da svi proizvodni procesi rade kontinuirano, i da ne ostanu bez predmeta rada (ili ne proizvedu previše), putem vizuelne signalizacije u fabrici.

Upotrebom prethodnih alata definisane su lokacije na radnom mestu, i radi daljeg rada reći će se da se montaža odvija kontinuirano, da postoji tok i da se primenjuje dosledna ambalaža. Ako ovo uzmemo u obzir možemo primeniti jedan „jednostavniji“ Kanaban sistem gde će se koristiti dve vrste Kanaban kartica:

1. Transportna kartica - Njena upotreba se može primeniti na dopunjavanje radnog mesta materijalom. Kada je jedna od kutija sa potrebnim kockicama prazna, transportnom karticom se daje

znak da je neophodna njena dopuna. Ova kartica se koristi za izuzimanje materijali odnosno delova iz skladišta za potrebe radnog mesta kao i za preuzimanje delova sa radnih mesta za potrebe narednog radnog mesta u procesu.

2. Proizvodna kartica - Ova kartica se koristi za signalizaciju kada je potrebno sastaviti određeni broj aviona.

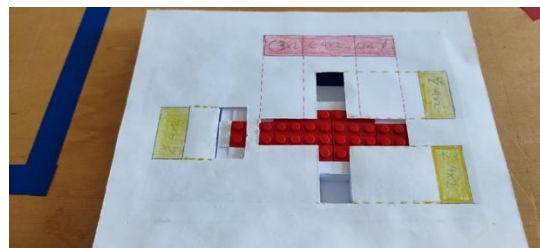
5. KORACI MONTAŽE LEGO AVIONA SA PRIMENJENIM ALATIMA

Korak 1: Postaviti prvi red crvenih kockica prema zadatom šablonu na dnu Poka-Yoke kalupa broj 1 (Slika 5). U ovom koraku potrebno je postaviti ŠEST kockica crvene boje, jednu oznake CK2x2n, dve kockice oznake CK4x2 i 3 kockice oznake CK3x2. Pozicije kockica su obeležene na dnu kalupa već spomenutim šablonom.



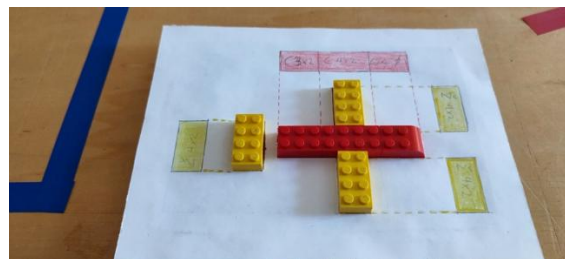
Slika 5. Postavljene kockice u kalup [2]

Korak 2: Nakon postavljenog prvo reda kockica, radnik uzima drugi Poka-Yoke „uređaj“ i pozicionira ga na kalup (Slika 6), kako bi se postigla pravilna pozicija kalupa stavljeni su sa njegove donje strane graničnici.



Slika 6. Postavljen okvir [2]

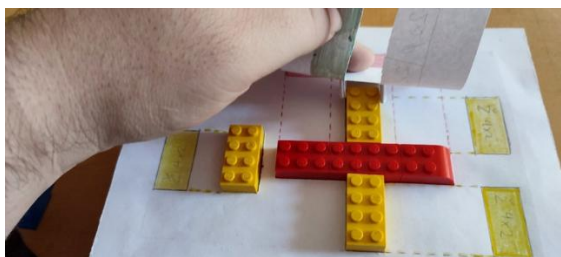
U ovom koraku se ugrađuju kockice koje čine ostatak trupa aviona kao i rep i krila. Potrebno je ugraditi: jednu kockicu oznake CK2x2n, jednu kockicu oznake CK3x2 i jednu kockicu oznake CK4x2 koje čine trup aviona. Za rep i krila potrebno je ugraditi tri kockice oznake ŽK4x2 (Slika 7).



Slika 7. Završen drugi korak [2]

Korišćenjem ovog okvira radniku se daje vizuelni prikaz dimenzija i boja kockica koje treba da ugradi, takođe okvirom je fizički sprečena ugradnja kockica na pogrešne pozicije.

Korak 3: Nakon završenog drugog koraka potrebno je postaviti poslednji okvir koji predstavlja još jedan Poka-Yoke „uređaj“ i pomaže u montaži poslednje dve kockice (Slika 8).



Slika 1. Postavljanje okvira pomoću graničnika [2]

Ovaj okvir takođe kao i prethodni ima napravljene graničnike sa donje strane kojima se pozicionira na krila.

Nakon postavljanje okvira montiraju se i preostale kockice na svoje pozicije koje su obeležene (Slika 9). U ovom koraku potrebni je ugraditi dve zelene kockice oznake ZK2x2n koje služe da se krila aviona učvrste. Time se završava proces montaže LEGO aviona i sada je potrebo da se svi okviri skinu sa proizvoda i odlože na svoje pozicije. Uklanjanje okvira je podjednako lako kao i njihovo postavljanje i ne potrebe za korišćenjem dodatnog alata.



Slika 9. Montiranje poslednje kockice [2]

Vraćanjem okvira na svoje pozicije, proizvod je spreman za vađenje iz kalupa. Alat koji je se nalazi na radnom mestu služi da se avion izvadi iz kalupa i odloži u smeru crvene strelice. Ovim se završava proces montaže aviona primenom Lean alata na radnom mestu.

6. ZAKLJUČAK

Primena Lean alata znatno povećava kvalitet proizvoda, smanjuje i eliminiše greške, i povećava produktivnost i efikasnost ne samo procesa proizvodnje nego i celokupnog poslovanja

U ovom radu bila je prikazana upotreba pojedinih alata u simulaciju kroz igru sa LEGO kockicama. Akcent je bio na upotrebi alata samo na jednom radnom mestu pa su njihove primene u neku ruku bile i pojednostavljene.

Na početno stanje radnog mesta koje je rezultiralo neefikasnim radom, lošim kvalitetom proizvoda i gubicima primenjen je alat 5S i vizuelno menadžment. Radno mesto je oslobođeno nepotrebnih delova i materijala, vizuelnim znacima obeležene su pozicije za sve na radnom mestu i napravljene su liste koje obezbeđuju standardizaciju ali i održivost novog stanja.

Primena Kaizen-a je već bila prikazana kroz uvođenje 5S i vizuelnog menadžmenta ali je takođe izrodila i upotrebu Poka-Yoke koji predstavljaju isto jedno novo unapređenje procesa.

Sa Poka-Yoke uređajima eliminisana je mogućnost nastanka grešaka što bi dovelo do defektnih proizvoda. Oni daju vizuelna uputstva gde koja kockica ide, napravljeni su tako da mogu biti pozicionirani samo na

način koji treba, i radnicima omogućavaju ne napraviti ili odmah da primete grešku.

Primena Kanban kartica je prikazana na teorijskoj bazi jer je ovde bio fokus samo na jednom radnom mestu i samo sa jednim proizvodom, zbog toga je upotreba Kanban kartica svedena samo na transportnu – za dopunu radnog mesta delovima, i proizvodnu – za poručivanje broja aviona koje treba napraviti.

Ovim radom je prikazano da Lean filozofija ne predstavlja ništa teže nego samo logično razmišljanje, gde radno mesto mora da bude uvek sređeno i organizovano, da se svaki rad mora standardizovati i imati jasne instrukcije, da uvek treba težiti ka pronalaženju novih unapređenja i to sve raditi u kontinuitetu.

4. LITERATURA

- [1] Dragutin Zelenović, „Projektovanje proizvodnih sistema“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2003.
- [2] J. Womack and D. Jones, *Lean thinking*. London: Free Press, 2003. pp.15-90, 349.
- [3] <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [4] M. Lazarević and N. Sremčev, „Istorija Lean-a“, Fakultet Tehničkih Nauka, 2020.
- [5] M. Lazarević and N. Sremčev, „5S, Vizuelno upravljanje“, Fakultet Tehničkih Nauka, 2020.

Slike:

- [1] <https://www.mecabricks.com/en/workshop> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [2] Baza autora

Kratka biografija:



Marko Jerinić rođen je u Novom Sadu 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Projektovanje proizvodnih i uslužnih procesa – Simulacija procesa montaže primenom Lean filozofije odbranio je 2024.god. kontakt: jerinicmarko994@gmail.com