

PRIMENA TEORIJE OGRANIČENJA ZA REŠAVANJE PROBLEMA I DONOŠENJE ODLUKA U PROIZVODNOM SISTEMU

Nenad Medić¹, Radoš Vasović²

^{1,2} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹medic.nenad@uns.ac.rs, ²vasovic.i126.2020@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Teorija ograničenja se zasniva na utvrđivanju ključnog ograničenja u sistemu i njegovom unapređenju sa ciljem poboljšanja performansi kroz povećanja protoka u datom sistemu. Ovi principi pronalaze veliku primenu u rešavanju realnih problema, pre svega u proizvodnim sistemima, ali i u drugim oblastima rada. U ovom radu će biti predstavljen konkretan primer primene principa teorije ograničenja i njegovih efekata na unapređenje i poboljšanje kapaciteta proizvodne linije u kompaniji. Pozitivni efekti se ogledaju u skraćanju vremena trajanja operacija i adekvatnoj preraspodeli ljudskih resursa, koji rezultuju većim obimom proizvodnje po jedinici vremena. Rezultati predstavljeni u ovom radu ukazuju na mogućnost primene teorijskih koncepata koji se izučavaju na studijskom programu master akademskih studija Industrijsko inženjerstvo u realnom poslovnom okruženju. Na taj način, može se uočiti određen stepen usklađenosti sadržaja ovog studijskog programa sa potrebama savremene industrije.

Ključne reči: Industrijsko inženjerstvo, Proizvodni sistemi, Teorija ograničenja.

THE USE OF THEORY OF CONSTRAINTS FOR PROBLEM-SOLVING AND DECISION-MAKING IN THE PRODUCTION SYSTEM

Nenad Medić¹, Radoš Vasović²

^{1,2} University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia

¹medic.nenad@uns.ac.rs, ²vasovic.i126.2020@uns.ac.rs

Summary: Theory of constraints is based on identifying a key constraint in a system and improving it with the goal of improving the performance through increased throughput in a system. These principles are very important in solving real world problems, primarily in production systems, but also in other areas. This paper will present an example of the application of the principles of theory of constraint and its effects on improving and enhancing the capacity of the production line in the company. The positive effects are reflected in the shortening of the duration of operations and efficient allocation of human resources, which result in a higher volume of production per unit of time. The results presented in this paper indicate the possibility of applying theoretical concepts that are studied in the study program of master's academic studies in Industrial Engineering in a real business environment. In this way, a certain degree of harmonization of the content of this study program with the needs of modern industry can be identified.

Keywords: Industrial engineering, production systems, theory of constraints.

1. UVOD

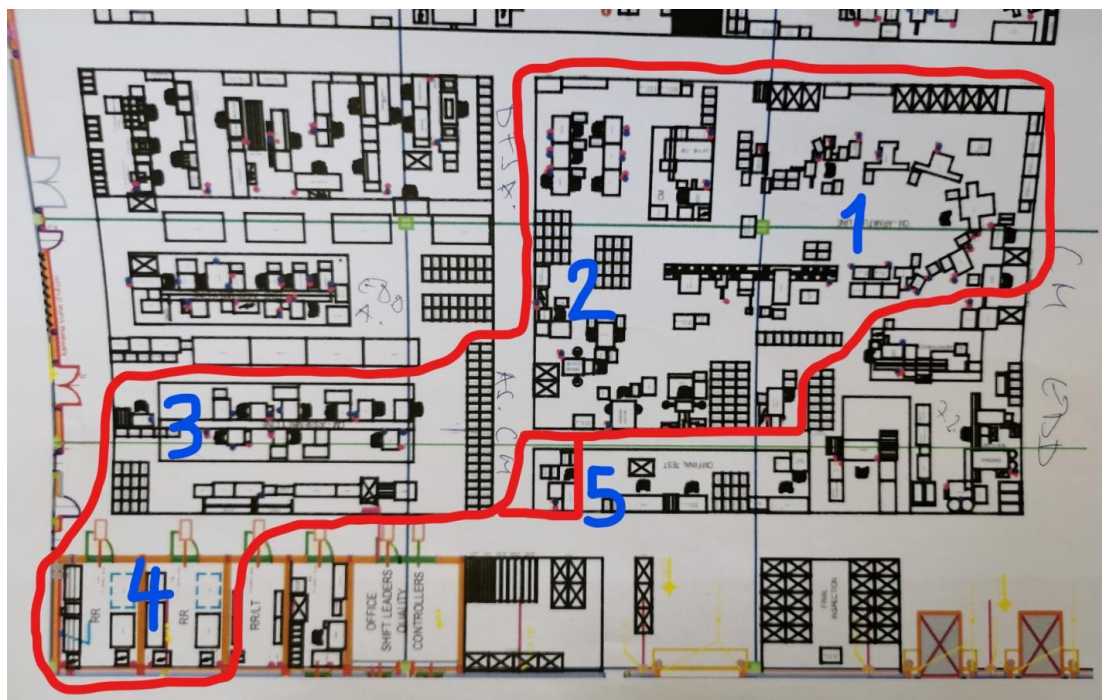
Teorija ograničenja je pristup koji se odnosi na kontinuirano unapređenje proizvodnih i uslužnih sistema, koji je razvio Eli Goldrat, zasnovan na tvrdnji da ograničenja sistema određuju njegove performanse [1]. Iako je ova teorija razvijena primarno za rešavanje problema u proizvodnim sistemima, danas se uspešno koristi u oblastima kao što su operacioni menadžment [2], upravljanje projektima [3], marketing i prodaja [4] i upravljanje lancima snabdevanja [5]. Kontinuirano unapređenje sistema je zasnovano na pet koraka za fokusiranje koji podrazumevaju identifikaciju ograničenja, iskorišćenje ograničenja, podređivanje ostalih procesa ograničenju, unapređivanje ograničenja i ponavljanje postupka kao deo kontinuiranog procesa unapređenja [6]. Jedan od pokazatelja značaja teorije ograničenja, u praktičnom smislu, ogleda se u njenoj primeni u kompanijama koje su bile i na listi „Fortune 500“, kao što su Amazon, Boeing, Ford i 3M [7].

U ovom radu će biti prikazana primena principa teorije ograničenja za rešavanje problema na proizvodnoj liniji u kompaniji. Ovo rešenje je rezultat rada na predmetu Teorija ograničenja koji se realizuje na master akademskim studijama Industrijsko inženjerstvo, na Departmanu za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu. Osnovni razlog predstavljanja ovih rezultata je težnja da se ukaže na usklađenost studijskog programa Industrijsko inženjerstvo, odnosno sadržaja predmeta Teorija ograničenja, sa potrebama savremene industrije.

2. OPIS PROBLEMA

U okviru ovog dela rada će biti predstavljen problem u kompaniji čiji proizvodi pokrivaju širok spektar duvalica i tipova elektromotora - univerzalni AC / DC, trajni magnet DC, koračni i bez četkica - koji se mogu dizajnirati u

kombinaciji sa menjačima, enkoderima i kočnicama. Konkretno će fokus biti na problemu koji se odnosi na proizvodnju elektromotora. Prilikom detaljne analize sistema izrade elektromotora, ustanovljeno je da postoji veliki problem prilikom održavanja kontinuiteta proizvodnje, prouzrokovanim ograničenjem sistema na pojedinim operacijama zbog čega je došlo do pojave uskog grla u sistemu. Na Slici 1 je prikazana prostorna struktura linije za proizvodnju elektromotora.



Slika 1. Prikaz prostorne strukture proizvodne linije

Prvi deo čini linija za proizvodnju rotora i čiji zadatak je da zasebno proizvodi rotore određenih specifikacija. Odmah do nje se nalazi deo linije za proizvodnju statora, a nedaleko je i deo za sastavljanje i montažu celog motora. Rotor i stator, a nakon toga i sastavljeni motor mora proći kroz određenu test stanicu kako bi se ispitali svi parametri i vršila merenja radi utvrđivanja ispravnosti i spremnosti motora za isporuku. Kod proizvodnje statora i rotora ovaj deo finalnog testa ne oduzima značajnu količinu vremena i proces se odvija u kontinuitetu, dok je kod testiranja sastavljenog motora proces nešto drugačiji i zahteva poseban tretman. Bitno je napomenuti i da je ovo vrsta elektromotora koja u sebi sadrži grafitne četkice koje mu omogućavaju rad i funkcionisanje. Tek sastavljen motor ne može odmah da bude testiran jer još uvek nije uhodan i četkice još uvek nisu poprimile potreban oblik. Razlog za to je grafit, koji u toj fazi još uvek nije potrošen u dovoljnoj meri zbog čega nije moguć neometan rad motora bez pojave varničenja. Iz ovog razloga u okviru procesa proizvodnje elektromotora neophodna je operacija u kojoj se motori odlažu u posebnu prostoriju i postavljaju na precizno montirana ležišta za uhadavanje motora. U ovoj fazi dolazi do stvaranja uskog grla zbog ograničenog broja mesta za postavljanje motora za uhadavanje, kao i zbog neophodnog vremena za uhadavanje koje traje 60 minuta. Osim toga, konstatovano je da na ovoj operaciji radi samo jedan operater, koji pored ovog zaduženja ima zadatak i da realizuje finalni test motora što je naredna i poslednja faza u proizvodnom procesu. Upravo između uhadavanja i finalnog testa motora postoji potencijal za unapređenje, s obzirom na to da je vreme uhadavanja motora duže i kapacitet za ovu operaciju je manji nego za finalni test motora. Ubrzavanjem vremena uhadavanja motora, mogao bi se povećati broj proizvedenih elektromotora po jedinici vremena, s obzirom na to da kapacitet i mogućnosti za finalno testiranje proizvoda nije maksimalno iskorišćen.

3. PREDLOG REŠENJE PROBLEMA

Predlog za potencijalno rešenje problema uskog grla pronalazi se u mogućnost skraćivanja vremena potrebnog za izvršavanje operacije uhadavanja motora. U ovom procesu je neophodno biti izuzetno pažljiv, kako ne bi došlo do negativnog uticaja na kvalitet uhadavanja, a samim tim i povećanja eventualnog škarta. Ovi problemi bi prouzrokovali dodatne negativne uticaje, jer bi se škart pojavio u finalnoj fazi proizvodnje. Takođe, u ovoj operaciji se pored samog uhadavanja vrši i jedan deo testiranja ispravnosti motora i pojedinih delova. Kao primer potencijalnog problema prekratkog trajanja uhadavanja grafitne četkice, ukazuje se na postojanje mogućnosti da ovakvi motori iako su prošli finalni test nakon uhadavanja i dalje imaju varničenje četkica, te bi zbog toga mogli biti vraćeni nazad na doradu nakon isporuke krajnjem kupcu. Nakon detaljne analize situacije predlažu se dva unapređenja za koja se pretpostavlja da mogu doprineti povećanju protoka kroz sistem, bez negativnih posledica na kvalitet finalnog proizvoda:

- Postavljanje jednog operatera na mesto za uhadavanje motora i jednog operatera na mesto za finalno

testiranje motora

- Skraćenje vremena trajanja operacije uhodavanja motora sa 60 minuta na 30 minuta

Način na koji bi se izvršilo skraćivanje trajanja operacije uhodavanja motora je veoma bitan, jer je svaki minut uhodavanja značajan. Predloženo skraćenje vremena uhodavanja na 30 minuta, bi se sastojalo od 15 minuta sporog hoda i 15 minuta "heat run" uhodavanja koje se izvršava pod punom snagom. Ovakav način uhodavanja je prethodno odobren od strane inženjeringa kompanije.

4. REZULTATI SPROVOĐENJA PREDLOŽENIH MERA

Test sa smanjenim vremenom uhodavanja je realizovan na deset motora. Nakon izvođenja testa ustanovljeno je sledeće:

- Prvi period uhodavanja od 15 minuta na nižem naponu prošao je bez problema. Motor je u ovoj fazi imao dovoljno vremena da potroši veći deo neravnina na četkicama i time je omogućen ulazak eksperimenta u drugu fazu testiranja.
- U drugoj fazi testiranja u 8. minutu, odnosno 23. minutu testa, polako počinje da se uočava smanjenje varničenja, što je rezultat trošenja četkica. Nije bilo pojave neprijatnih zvukova i test je protekao bez problema.
- Motor je na kraju testa, odnosno nakon 30 minuta, bio uhodan i nisu se videli tragovi varničenja.
- Nakon ovoga usledila je vizuelna kontrola rotora pri kojoj je primećeno da nema tragova gorenja komutatora i time je motor prebačen na finalnu test stanicu.

Na Slici 2 je prikazan rezultat dobijen na test stanici.



Slika 2. Prikaz rezultata dobijenih na test stanici

Prolaskom kroz ceo proces proizvodnje elektromotora i identifikacijom uskog grla, a kasnije i sprovođenjem korektivnih mera radi skraćivanja vremena trajanja pojedinih operacija, došlo je do značajnih izmena i poboljšanja u kapacitetu ove linije. Naime, kapacitet dela procesa na kojem se vrši uhodavanje nakon uvođenja poboljšanja iznosi 96 motora koje je moguće uhodati u periodu od jednog časa, što predstavlja dvostruko veći kapacitet proizvodnog procesa. Ovo opravdava i potrebu za angažovanjem operatera za svaku od operacija pojedinačno. Na ovaj način se obezbeđuje mnogo veći protok u proizvodnom pocesu. Pored toga, smanjenje opterećenja operatera omogućava njegovu maksimalnu posvećenost u realizacija zadataka i time značajno utiče na sam kvalitet izvršavanja operacija.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana primena teorijskih znanja stečena na predmetu Teorija ograničenja, koji se izvodi na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Departmanu za industrijsko inženjerstvo i menadžmentu, studentskom programu Industrijsko inženjerstvo na master akademskim studijama, za rešavanje konkretnog problema u proizvodnom sistemu. Stečena znanja su poslužila da se prepozna problem u proizvodnom sistemu, a nakon toga i da

se osmisli i implementira odgovorajuće rešenje, zasnovano na principima teorije ograničenja. Rezultat implementacije predloženog rešenja se ogleda u povećanju produktivnosti, kao i u boljem iskorišćenju ljudskih resursa.

Na ovaj način je ukazano na jasnu povezanost između teorijskih znanja koja se stiču na gore pomenutom studijskom programu sa potrebama savremene industrije, odnosno pokazano je da postoji usklađenost sadržaja studijskog programa sa potrebama tržišta. Dalje analize bi mogle da idu u pravcu utvrđivanja nedostajućih kompetencija koje bi moglo da posluži za dalje unapređenje studijskih potreba, a sve sa ciljem što kvalitetnijeg osposobljavanja studenata za rad u privredi.

6. ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja u okviru projekta “Unapređenje nastavnih procesa na DIIM kroz implementaciju rezultata naučno-istraživačkog rada u oblasti Industrijskog inženjerstva i menadžmenta”, na Departmanu za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

7. LITERATURA

- [1] J. F. COX III and J. G. Schleier, *Theory of Constraints Handbook*. 2010.
- [2] J. H. Blackstone, “Theory of constraints - A status report,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, no. 6, pp. 1053–1080, 2001.
- [3] M. Umble and E. Umble, “Manage your projects for success: An application of the theory of constraints,” *Prod. Invent. Manag. J.*, vol. 41, no. 2, pp. 27–31, 2000.
- [4] S. C. Gardiner, “Measures of Product Attractiveness and the Theory of Constraints,” *Int. J. Retail Distrib. Manag.*, vol. 21, no. 7, pp. 37–40, 1993.
- [5] T. M. Simatupang, A. C. Wright, and R. Sridharan, “Applying the theory of constraints to supply chain collaboration,” *Supply Chain Manag.*, vol. 9, no. 1, pp. 57–70, 2004.
- [6] E. M. Goldratt and J. Cox, *The Goal: a process of ongoing improvement*, vol. 2nd rev. e. 1992.
- [7] K. J. Watson, J. H. Blackstone, and S. C. Gardiner, “The evolution of a management philosophy: The theory of constraints,” *J. Oper. Manag.*, vol. 25, no. 2, pp. 387–402, 2007.