

Povećanje energetske efikasnosti u proizvodnji primjenom lean metoda

Maja Vuković¹, Nemanja Sremčev², Zorana Tanasić¹, Goran Janjić¹, Rade Repajić¹

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

²Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

maja.vukovic@mf.unibl.org, nextesla@gmail.com, zorana.tanasic@mf.unibl.org, goran.janjin@mf.unibl.org, rade.repajic@student.mf.unibl.org

Sažetak— U savremenoj industriji, energetska efikasnost postaje ključni faktor u postizanju konkurentne prednosti, smanjenju operativnih troškova i održivom razvoju preduzeća. U industriji proizvodnje papira optimizacija proizvodnih procesa postaje neophodna kako bi se smanjila potrošnja energije i poboljšala ukupna efikasnost. Implementacija lean metoda, kao što su TPM (Total Productive Maintenance) i 5S, značajno doprinosi smanjenju energetske potrošnje, poboljšanju održavanja mašina i smanjenju zastoja, što direktno utiče na povećanje produktivnosti i smanjenje operativnih troškova. Ovaj rad se fokusira na analizu procesa proizvodnje papira, sa posebnim naglaskom na primjenu lean metoda u optimizaciji proizvodnje. Kroz analizu faktora koji utiču na efikasnost proizvodnih linija i primjenu strategija za prevenciju zastoja, istražuje se kako unaprjeđenje održavanja i upravljanja proizvodnim resursima može značajno doprinijeti energetske efikasnosti. Korišćenje naprednih sistema za praćenje i analizu podataka omogućava bolje upravljanje procesima, identifikaciju problematičnih tačaka i uvođenje korektivnih mjera koje vode ka smanjenju potrošnje energije i optimizaciji rada mašina.

Ključne riječi— lean; TPM; 5S; energetska efikasnost;

I. UVOD

U uslovima sve dinamičnijeg tržišta i potrebe za većom efikasnošću, preduzeća nastoje da optimizuju sve aspekte proizvodnje. Jedan od ključnih elemenata u postizanju stabilnog i pouzdanog proizvodnog procesa jeste efikasno upravljanje održavanjem opreme. U tom kontekstu, Totalno produktivno održavanje (TPM) se izdvaja kao sistematski pristup koji ima za cilj eliminisanje zastoja, smanjenje gubitaka i aktivno uključivanje svih zaposlenih u proces unaprjeđenja.

A. Totalno produktivno održavanje - TPM

Totalno produktivno održavanje (TPM) predstavlja metodu koja ima za cilj eliminaciju kvarova i zastoja kroz aktivno učešće svih zaposlenih, čime se postiže stalno unaprjeđenje učinkovitosti proizvodne opreme [1].

Analizom i obradom svih podataka koje su godinama skupljali članovi JIRM instituta definisali su osnovne ciljeve za ostvarivanje TPM-a:

- da se efikasnost i raspoloživost opreme maksimizuju,
- da se razvije produktivno održavanje opreme,

- maksimalna uključenost svih sektora u implementaciju ove metode,
- povećano promovisanje TPM koncepta kao dijela poslovne filozofije,
- formiranje timova za kontinuirana unaprjeđenja [1].

TPM metoda zasniva se na osam osnovnih stubova koji obuhvataju ključna područja djelovanja usmjerenih ka povećanju pouzdanosti i efikasnosti proizvodne opreme. Ovi stubovi su: fokusirana poboljšanja, autonomno održavanje, planirano održavanje, rano upravljanje opremom, održavanje kvaliteta, administrativno održavanje, obuke i edukacije i bezbjednost i zaštita na radu [2].

B. Metoda 5S

Svih osam stubova TPM metode se zasnivaju na jednoj drugoj metodi, a to je 5S metoda. Ova metoda predstavlja temelj lean koncepta i jedna je od efikasnijih metoda za kontinuirano poboljšanje procesa unutar organizacije. Naziv ove metode potiče od pet japanskih pojmova koji počinju slovom „S“, a koji znače [1]:

- sortirati – označava da je potrebno razvrstati i sortirati sve materijale, opremu, alate i dokumentaciju prema učestalosti korištenja,
- složiti – u ovom koraku teži se da sve bude na svom mjestu, pri čemu se određuju lokacije za skladištenje materijala, alata i dokumentacije,
- srediti – označava da je potrebno sve redovno čistiti i održavati po unaprijed definisanom rasporedu,
- standardizovati – označava standardizaciju procesa rada uz pomoć različitih procedura i propisa,
- sprovoditi / samodisciplina – predstavlja najteži korak u ovoj metodi, a to je njegovo održavanje u određenom kontinuitetu.

C. Ukupna efikasnost opreme (OEE)

Ukupna efikasnost opreme (Overall Equipment Efficiency – OEE) predstavlja osnovni standard za mjerenje proizvodne produktivnosti i analizu efikasnosti primjene TPM koncepta. Koristi se za mjerenje sposobnosti mašina sa ciljem da se na

vrijeme naprave proizvod traženog kvaliteta radi osiguranja lojalnosti kupca. S obzirom na to da je u najvećem broju slučajeva vrijeme proizvodnog ciklusa ograničeno sposobnošću mašina da dosegnu taj ritam, primjena OEE mjere omogućava da se identifikuje problem koji sprječava ostvarivanje zadatog tempa proizvodnje [3].

II. PRIMJENA LEAN METODA U INDUSTRIJSKOJ PROIZVODNJI

Jedan od odlučujućih faktora koji utiče na energetska efikasnost u industriji proizvodnje papira je upotreba modernih proizvodnih linija i stalno ulaganje u tehnologiju. Uz korišćenje naprednih sistema za praćenje proizvodnje, kao što su softverski paketi za praćenje i analizu podataka, mogu se identifikovati problematična područja koja utiču na smanjenje efikasnosti i povećanje potrošnje energije. U kontekstu energetske efikasnosti, važno je ne samo analizirati tehničke parametre rada mašina, već izvršiti i optimizaciju procesnih tokova u cilju smanjenja nepotrebnih zastoja i povećanja produktivnosti.

Implementacija lean metoda u proizvodnji predstavlja ključnu strategiju za unapređenje energetske efikasnosti. Lean pristupi, koji se temelje na eliminaciji otpada i optimizaciji resursa, omogućavaju poboljšanje rada kroz minimiziranje zastoja, smanjenje vremena potrebnog za rješavanje kvarova i efikasno upravljanje svim resursima – od ljudskih kapaciteta do energetske potrošnje. Ovaj pristup doprinosi boljoj iskorišćenosti proizvodnih linija i smanjenju troškova, čime se direktno utiče na veću energetska efikasnost.

Energetska efikasnost u proizvodnji papira može se postići kroz analizu faktora koji direktno utiču na efikasnost proizvodnih linija. Jedan od najvažnijih parametara u ovoj analizi je Overall Equipment Effectiveness (OEE), koji mjerenjem dostupnosti, efikasnosti i kvaliteta rada mašina pruža sveobuhvatan uvid u cjelokupnu proizvodnju. U konkretnim analizama (Slika 1), uočeno je da početni nivoi OEE mogu biti niski zbog tehničkih problema, podešavanja mašina i obuke radnika, ali s vremenom, kroz praćenje i optimizaciju tih parametara, dolazi do poboljšanja i smanjenja potrošnje energije po proizvedenoj jedinici proizvoda.

	2022													2023
	Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktobar	Novembar	Decembar	Ukupno 2022	Januar
Raspoloživost (A)	32.4	40.9	51	54.2	53.2	60.9	61	62.8	64	72	66.2	73.7	57.69	74.5
Efikasnost (U)	60.1	70.6	68.5	69.9	67.2	69.9	77.5	67.4	81.8	85.2	70.9	87.5	73.04	81.6
Kvalitet (Q)	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.00	99.0
OEE (stvarni)	19.3	28.6	34.6	37.5	35.4	42.1	46.8	41.9	51.8	60.7	46.5	63.8	42.42	60.2
OEE (planirani)	47.4	54.6	57.4	59.2	62.8	63.8	66.5	67.4	64.5	67.4	67.4	67.4	62.15	63.4
Stvarno tona (T)	130	289.1	551.3	541.5	644.1	650.4	823.6	838.5	858.2	1123.1	848.5	1029.1	693.95	668
Planirano tona (T)	443	525.1	679.3	721.8	868.9	876.3	968	1069.9	1057	1075.5	1015.7	1034.8	861.28	1135.6

Sl. 1. Ukupno OEE po mjesecima

Dalje, analiza zastoja u proizvodnji takođe igra ključnu ulogu u povećanju energetske efikasnosti. Zastoji mogu biti rezultat tehničkih problema, poput kvarova na mašinama, ali i organizacionih grešaka, kao što su loše postavljeni rasporedi proizvodnje ili neadekvatno održavanje. Analizom uzroka zastoja, kao što su problemi sa rezanjem papira ili kvarovi na pojedinim proizvodnim jedinicama, moguće je ne samo smanjiti vremena neproduktivnosti, već smanjiti nepotrebnu potrošnju energije koja nastaje tokom perioda kada su mašine neaktivne.

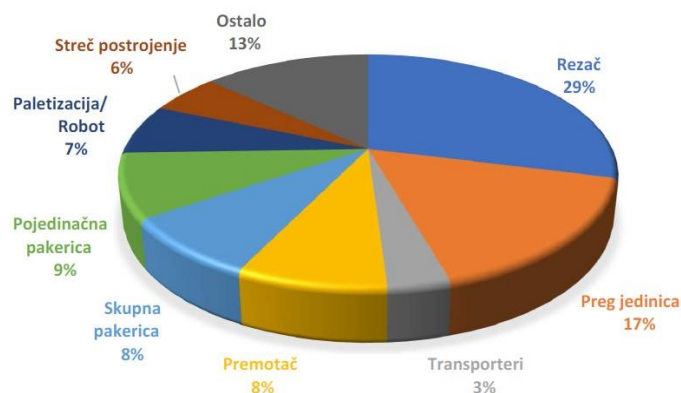
Za implementaciju ovih strategija, potrebno je koristiti alate za analizu podataka i kontinuirano praćenje proizvodnih linija, kako bi se na vrijeme detektovali problemi i preventivno reagovalo.

Na osnovu dostupnih podataka iz softverskog paketa ESO/ES, izvršena je analiza zastoja koji su se dogodili na proizvodnoj liniji TL15. Na Slici 2 prikazana je tabela sa svim registrovanim zastojima, kao i ukupno vrijeme njihovog trajanja, iskazano u satima. Jasno se uočava da je najveći broj zastoja izazvan problemima na rezaču i preg jedinici, koji su bili povezani sa intervencijama održavanja. Ukupno vrijeme neplaniranih intervencija održavanja iznosilo je 145 sati.

Ek. jedinica	Naziv org. komponente	Kod (1), tipa	Kod (2), tipa	Kod (3), tipa	Kod tipa zastoja	Trajanje stvarno
					11124x	6
					11150x	1
					111581x	2
					111583x	0
					111584x	2
					111587x	0
					TEHNOLOŠKI ZASTOJI	10
					1123x	1
					112	1
					11301	1
					11301x	4
					11303	0
					11303x	2
					11305x	1
					11313x	24
					113150	2
					11315x	12
					11317x	3
					11318	25
					11318x	17
					11310x	6
					11311x	2
					113203	0
					11320x	13
					113211	3
					11321x	12
					11322	10
					11323	0
					11323x	8
					Kvarovi	145
						158
					1224x	1
					122	1
					Energije i medija	1
					Ostalo	1
						157
					71115A	1
					TEHNOLOŠKI	1
					POGOŠKI	1
						1
2117	Konfekcija TL15					158

Sl. 2. Evidencija zastoja na liniji TL15

Na Slici 3 grafički je prikazana struktura zastoja, pri čemu se jasno uočava da zastoji na rezaču čine 29% ukupnog vremena, dok zastoji na preg jedinici iznose 17%. S obzirom na to da rezač predstavlja najznačajniju tačku zastoja, u nastavku će biti izrađena TPM karta za rezač, kao i prikazana predložena poboljšanja. Ova poboljšanja imaju za cilj smanjenje zastoja i povećanje ukupne efikasnosti proizvodne linije TL15.



Sl. 3. Grafički prikaz zastoja usljed održavanja

A. Rezač – analiza zastoja

Za prikupljanje podataka korišćena je intervencijska knjiga koju smjenski radnici u održavanju popunjavaju nakon svake intervencije, a podaci se kasnije unose u elektronsku bazu. Ovakva sistematizacija omogućava precizno praćenje vrste i učestalosti zastoja po pojedinim mašinama.

Jedan od najznačajnijih problema na rezaču dogodio se u dva navrata, kada je došlo do pucanja vijka koji pričvršćuje osovinicu na kojoj je postavljen protuteg koji služi kao balans. Takav kvar je značajno uticao na stabilnost rada mašine.

Proces otklanjanja ovog problema, koji je prikazan kao poboljšanje (Slika 4), započet je potpunim demontiranjem sklopa rezača. Usljed velike mase – preko 700 kilograma – noseća ploča je morala biti izvučena pomoću kрана. Nakon toga, izvršeno je precizno proširivanje utora i izrada dodatnih navojnih otvora kako bi se obezbjedila čvršća i pouzdanija konstrukcija veza. Nakon ponovnog sklapanja i puštanja

rezača u rad, isti problem više nije evidentiran, što ukazuje na uspješnost sprovedenog poboljšanja.

Poboljšanje procesa /Process improvement		
Broj nedostataka: 1	Naziv / Description: Rezač / Log saw	Datum / Date: 15.11.2022.
Problem / Issue:	Prije / Before:	
Pucanje vijka što drži osovinicu od protutega		
Uzrok / Cause:	Datum / Date: 11.11.2022.	
Oštećen utor u koji se postavlja osovinica		
Rješenje / Solution:	Poslije / After:	
Proširivanje utora i izrada nove osovinice u odgovarajućoj toleranciji		
		Datum / Date: 15.11.2022.

Sl. 4. Poboljšanje na rezaču

Na osnovu prikupljenih podataka, za rezač je izrađena TPM karta (Slika 5) sa ciljem unapređenja pouzdanosti i smanjenja broja intervencija. U izradi karte korišćeni su podaci iz tehničke dokumentacije proizvođača mašine, unaprijed definisani programi preventivnog održavanja, 5S metoda, zapažanja sa terena, kao i zapisi iz knjige zastoja. Ključne aktivnosti obuhvataju redovno čišćenje unutrašnjosti rezača od ostatka papira i emulzije, svakodnevnu kontrolu pritiska vazduha, održavanje čistoće posude za vodu koja prikuplja varnice i nečistoće prilikom oštrenja noža, kao i periodičnu dopunu sistema za podmazivanje. Takođe, izlazni transporter moraju se čistiti na kraju svake smjene radi sprečavanja mehaničkih oštećenja i zaglavlivanja materijala. Sve aktivnosti predviđene TPM metodom zapisuju se u obrasce za 5S i TPM, koji omogućavaju nadzor nad redovnim izvršavanjem mjera održavanja. Dosljedna primjena ovih aktivnosti doprinosi smanjenju broja zastoja, produženju radnog vijeka opreme i optimizaciji potrošnje energije. Na taj način TPM direktno podržava ciljeve energetske efikasnosti, smanjujući rasipanje resursa i obezbjeđujući stabilniji i ekonomičniji rad proizvodne linije.

5-S и TPM за радно мјесто / 5-S & TPM INSTRUCTION FOR WP			
Линија / Line	Број машине / Machine number:	Назив / Description:	Додатни текст / Additional text:
TL 15	64526	Резач / Log saw	Резач 90.46
Датум / Date:	Ревизија / Revision:	Израдио / Created by:	Потпис / Signature:
01-02-23	90.46.00	Раде Репацић	<i>Раде Репацић</i>

Појединачно / Shift	Дан / Day	Смјена / Shift	Мјесец / Month	Година / Year	Радни број / No.	Тип / Type	Опис акције / Description of the action	Потребна средства / Resources	Одговоран / Responsible
					1	SS	Очистити унутрашњост и простор око резака (обрисати прашину, уклонити остатке папире и материјале од емалјажа)	Цријево за ваздух, усисвач, метла и крпа	Вођа машине / оператор
					2	SS	Очистити транспортер за одјечивање	Четка / метла за чишћење	Вођа машине / оператор
					3	TPM	Визуелна контрола притиска (6 бара)		Вођа машине / оператор
					4	TPM	Визуелна контрола истрошености брусера		Вођа машине / оператор
					5	TPM	Контрола затегнутости ланаца и паралелности палуча		Одржавање
					6	TPM	Зачепа ножа	Заштитне рукавице и заштитни поклопац за оштрицу ножа	Одржавање
					7	TPM	Визуелна провера валуна и треноса резања		Одржавање
					8	TPM	Чишћење посуде са водом	Четка и крпа за чишћење	Вођа машине / оператор
					9	TPM	Визуелна провера димензија за експлициту		Одржавање
					10	TPM	Зачепа брусера		Одржавање
					11	TPM	Подизање свих лекарија	Пневматска пумпација ваздуха	Одржавање
					12	TPM	Зачепа валуна и треноса резања		Одржавање

Тлоцрт радног простора / Workplace layout

Појашњење / EXPLANATION:

(П) По смјени / Once per shift (на крају смјене / end of shift)
 (Д) Дневно / Daily (На крају прве смјене / end of 1st shift)
 (С) Седмично / Weekly (На крају прве смјене петком / end of 1st shift on Friday)
 (М) Мјесечно / Monthly (на крају прве смјене првог радног дана / end of 1st shift on 1st workday)

На мјестима гдје је постављена наљепница / On the location on the workplace there is a label

Примјер / Example: Примјер "Једном у смјени", "активност 3" / means "Once per shift", "activity"

Трајање активности / Activity duration:

Трајање (П) и (Д) не смије бити дужи од 5 мин
 The time for (P) and (D) must not exceed 5 min
 За дужи активности резервисати вријеме / For longer duration reserve time

Ниво / Level	Извршење / Perform
1	Свака смјена / Each shift
2	1. смјена / 1st shift
3	1. смјена / 1st shift
4	1. смјена / 1st shift

Sl. 5. TPM karta rezača

III. ZAKLJUČAK

Osnovna prednost primjene lean koncepta ogleda se u sistematičnom uočavanju stvarnih problema u procesu i njihovom otklanjanju, što dovodi do kontinuiranog unapređenja načina rada. Ovakvim pristupom sistem postaje efikasniji, a aktivnosti se stalno prilagođavaju tako da budu produktivnije od prethodnih. Lean način razmišljanja podstiče zaposlene da predlažu i sprovode praktična, efikasna rješenja koja ne samo da doprinose većem profitu, već i stvaraju

dodatnu vrijednost za kupce i veće zadovoljstvo unutar kolektiva.

Nakon analize stvarnog stanja na liniji TL15, kao i uvođenja TPM karti i sprovedenih procesa poboljšanja, došlo se do zaključka da bi primjenom svih definisanih aktivnosti produktivnost linije mogla porasti za 5 do 10%. Ovo povećanje produktivnosti direktno utiče i na energetska efikasnost. Smanjenjem broja zastoja, optimizacijom radnog vremena i boljim tehničkim održavanjem opreme smanjuje se nepotrebna potrošnja energije. Na taj način, TPM i lean

pristup ne samo da poboljšavaju operativne performanse, već doprinose održivom i energetski efikasnom poslovanju.

LITERATURA

- [1] Z. Tanasić, G. Janjić, M. Soković: Napredni koncepti proizvodnje, Mašinski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2022.
- [2] O. Taiichi: Toyota Production System: Beyond Large – Scale Production. Productivity Inc., Portland, 1988.
- [3] S. Shigeo, A. Dillon: A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint, Productivity Press, Portland, 1989.
- [4] C. Marchwinski, J. Shook: Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers, Lean Enterprise Institute, 2004.
- [5] A. Chris: The 5S Playbook: A Step -by-Step Guideline for the Lean Practitioner, CRC Press Taylor & Francis Group, 2016.
- [6] D. McCarthy, N. Rich: Lean TPM – A Blueprint for Change, Elsevier Butterworth – Heinemann, Oxford, 2004.
- [7] S. Nakajima: Introduction to Total Productive Maintenance (TPM), Productivity Press, Cambridge, MA, 1988.
- [8] M. Ferazzi, S. Fercassetti, A. Bilancia, A. Portioli: Investigating the influence of lean manufacturing approach on environmental performance: A systematic literature review, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2025, DOI: 0.1007/s00170-024-13215-5
- [9] B. Ioshchikhes, M. Frank, M. Weigold: A systematic review of expert systems for improving energy efficiency in the manufacturing industry, Energies 17 (19) (2024) 4780. DOI: 10.3390/en17194780
- [10] Sietta S, Caldarelli: Lean production as a tool for green production: the Green Foundry case study, Procedia Manufacturing 42:498–502, 2020. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.042

ABSTRACT

In modern industry, energy efficiency is becoming a key factor in achieving competitive advantage, reducing operational costs, and supporting sustainable business development. In the paper manufacturing industry, the optimization of production processes is essential to reduce energy consumption and improve overall efficiency. The implementation of lean methods, such as TPM (Total Productive Maintenance) and 5S, significantly contributes to lowering energy usage, improving machine maintenance, and reducing downtime, which directly impacts increased productivity and reduced operational costs. This paper focuses on analyzing the paper production process, with special emphasis on the application of lean methods in production optimization. By examining the factors that influence production line efficiency and applying strategies for downtime prevention, the study explores how improving maintenance and managing production resources can significantly enhance energy efficiency. The use of advanced systems for monitoring and data analysis enables better process control, identification of critical issues, and the introduction of corrective actions that lead to reduced energy consumption and optimized machine operation.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN PRODUCTION THROUGH THE APPLICATION OF LEAN METHODS

Maja Vuković, Nemanja Sremčev, Zorana Tanasić, Goran Janjić, Rade Repajić