

EMS систем за надзор и анализу стања и перформанси производних линија у пиварама

EMS system for monitoring and analysis of state and performance of production lines in breweries

Борјан Шаренац, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – РАЧУНАРСТВО И АУТОМАТИКА

Кратак садржај – Предмет овог рада је развој и имплементација EMS (Efficiency Monitoring System) система за надзор и анализу стања и перформанси производних линија у пиварској индустрији.

Кључне речи: анализа застоја, ефикасност производње, PLC/HMI, производне линије

Abstract – The subject of this paper is the development and implementation of an EMS system for monitoring and analysis of the state and performance of production lines in the brewing industry.

Keywords: stoppage analysis, production efficiency, PLC/HMI, production lines

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Бугарски, доцент

1. УВОД

Савремене производне линије у пиварској индустрији карактеришу високи капацитети, велики број међусобно повезаних машина и изражена динамика рада. У таквом окружењу и краткотрајни застоји, неправилности у раду или пад ефикасности појединих машина могу имати значајан утицај на укупну продуктивност линије. Због тога се јавља потреба за систематским надзором рада производних линија, прикупљањем релевантних података и њиховом анализом у реалном времену.

Класични аутоматизациони системи, засновани на PLC (Programmable Logic Controllers) контролерима и локалним HMI (Human Machine Interface) панелима, омогућавају поуздано управљање процесом, али не пружају довољно информација о узроцима застоја, губицима у ефикасности и стварним перформансама линије. Из тог разлога у савременим пиварама све већу примену налазе EMS (Efficiency Monitoring System) системи, чији је циљ праћење рада машина, анализа застоја и процена ефикасности производње.

У овом раду приказан је развој и имплементација EMS система за надзор и анализу стања и перформанси производних линија у пиварама, са посебним освртом на интеграцију са постојећим PLC и HMI системима и

примену Weihenstephan стандарда за аквизицију података.

2. ОПИС EMS СИСТЕМА

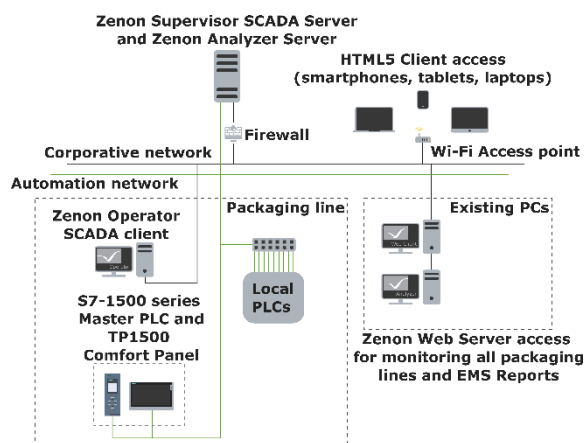
Развијени EMS систем представља надоградњу постојећег аутоматизационог система производних линија за пуњење, реализовану на начин који не утиче на основне управљачке и сигурносне функције машина. Систем је пројектован као независан слој за надзор и анализу, који користи већ доступне сигнале из PLC контролера, чиме се избегавају интервенције у постојећој логици управљања и минимизује ризик по стабилност производног процеса.

Основна намена EMS система је континуирано прикупљање података о стању рада машина, производним циклусима, застојима и њиховим узроцима, као и количини и динамици производње. Прикупљени подаци се обрађују у реалном времену у централном контролеру, а затим визуализују путем HMI и SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) интерфејса, што омогућава оператерима и инжењерима јасан и транспарентан увид у тренутне и историјске перформансе производне линије [1].

Посебан акценат у развоју система стављен је на стандардизацију података о раду машина применом Weihenstephan стандарда, чиме је обезбеђена униформна интерпретација стања и догађаја на различитим машинама. Оваквим приступом створена је поуздана основа за анализу ефикасности линије, идентификацију критичних тачака и доношење одлука усмерених ка смањењу застоја и унапређењу укупних перформанси производње.

2.1. Архитектура система

Архитектура система заснована је на децентрализованим локалним PLC контролерима, који прикупљају сигнале са појединачних машина, којима уједно и управљају, и централном Master PLC-у, који врши обједињавање података, логичку обраду и дистрибуцију ка HMI и SCADA нивоу. Комуникација између контролера реализована је путем индустријске PROFINET мреже и OPC UA протокола [2], што обезбеђује поуздан и временски детерминисан пренос података. На слици 1 је приказана мрежна архитектура EMS система.



Слика 1: Мрежна архитектура EMS система

2.2. Weihenstephan стандард

За стандардизацију података о раду машина примењен је Weihenstephan стандард, који дефинише јасну структуру сигнала за стања машине, производњу, застоје и узроке застоја [3]. Овим приступом омогућена је униформна интерпретација података са различитих машина и линија, као и једноставна дефинише велики број параметара које треба да поседује систем за валидну и прецизну анализу ефикасности, а за EMS систем је најбитнији параметар који означава тренутно стање машине. Тај параметар се дефинише као INTEGER и на основу његове вредности, Weihenstephan стандард препознаје стање машине. Емпиријски се показало да се може дефинисати неколико основних стања којима се слична стања могу приписати, те су та основна стања дефинисана у табели 1.

Табела 1: Стања машина по Weihenstephan стандарду

Вредност	Стање	Опис
0	Недефинисано	Стање није валидно
1	Заустављено	Машина има електричну енергију, али је у стационарном стању
8	Недостатак	Детектован недостатак материјала
16	Загушење	Детектовано загушење материјалом
32	Недостатак споредне линије	Детектован недостатак материјала на секундарној линији

64	Загушење споредне линије	Детектовано загушење материјалом на споредној линији.
128	Оперативно	Машина обавља своју предвиђену функцију
1024	Грешка опреме	Квар у самој машини
4096	Сигурносни стоп	Активирана заштитна опрема (прекидач хитног заустављања или сигурносна врата)

2.3. First Fault Cause механизам

За сваку машину на производној линији развијен је прецизан и поуздан механизам детекције под називом „First Fault Cause“. First Fault Cause је механизам који дефинише First Fault и First State параметре. Сврха овог механизма је да омогући тачну идентификацију главног узрока застоја на машини, а касније и на целој производној линији. У сложеним производним системима, у једном кратком временском интервалу може се генерисати велики број алармних и статусних порука од којих већина представља последице, а не узроке застоја. Из тог разлога неопходно је да систем забележи управо оног првог узрочника који је довео до преласка машине из оперативног у неисправно стање. У тренутку застоја на машини, First Fault Cause механизам:

1. Детектује прву грешку (First Fault)

Ово је иницијални аларм који је директно довео до тога да машина напусти стање рада. Иако се касније може појавити много других аларма, порука или последичних грешака, само је ова прва грешка релевантна за дијагностику.

2. Бележи прво стање машине (First State)

Ово је прво стање у које је машина прешла након напуштања нормалног оперативног режима (нпр. грешка опреме или недостатак). Систем тиме јасно дефинише контекст застоја и омогућава јединствено тумачење узрока.

3. Закључава прву грешку и прво стање

Након иницијалне детекције, First Fault и First State се не мењају, без обзира на то шта се касније дешава са машином. Машина може да генерише десетине накнадних аларма, али они више не утичу на евидентирани главни узрок застоја.

4. Памти их док се машина не врати у оперативни режим

Тек када машина поново пређе у стање рада, механизам се ресетује и спреман је за нови циклус.

Јако битна напомена је да First Fault Cause механизам ради искључиво са подацима који су стандардизовани Weihenstephan стандардом.

3. ROOT CAUSE АЛГОРИТАМ

Root Cause је алгоритам који представља централни механизам EMS система за детекцију главног узрока застоја производне линије. Он је заснован на догађајима и покреће се у тренутку када систем региструје застој централне машине, односно пуњача.

3.1. Алгоритам заснован на догађајима

Алгоритам функционише на принципу обраде структура догађаја, односно реагује на догађаје и покреће потребне акције: анализу, снимање података, израчунавање узрока, евидентирање прве грешке, обраду аларма, слање података SCADA-и и слично. Основни податак којим се врши анализа система је стање машине. Да би Root Cause алгоритам посматрао нека стања као потенцијалне узрочнике застоја, неопходно је да се испуни временски критеријум догађаја приказан у изразу (**Error! Reference source not found.**):

$$Ts_m < Te_f \wedge Te_m > Ts_f \quad (1)$$

где је:

- Ts_m - почетак стања машине,
- Ts_f - почетак стања пуњача (заправо застој)
- Te_m - крај стања машине и
- Te_f - крај стања пуњача.

Због великих бафера на производним линијама, потребно је обезбедити пропагацију времена почетка и краја стања и у ту сврху је омогућена конфигурација времена пропагације на свакој машини унутар софтвера Master PLC-а.

3.2. Ток алгоритма

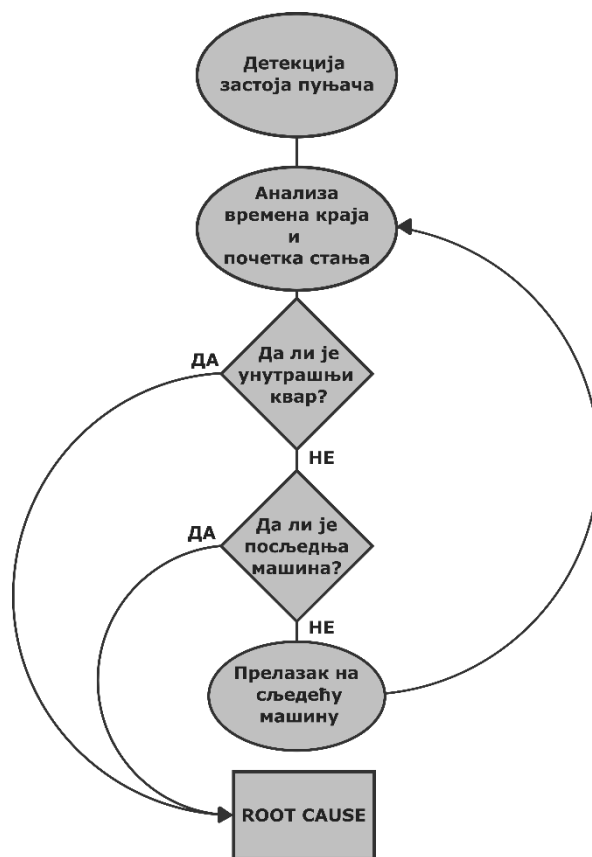
Root Cause алгоритам функционише по следећим корацима:

1. *Детекција застоја пуњача.* Када пуњач пређе из оперативног стања у неко друго стање, генерише се догађај „застој пуњача“ и активира алгоритам.
2. *Анализа времена почетка и краја.* Ова фаза се директно ослања на First Fault механизам. Ова фаза има за циљ да верификује да ли је застој стабилан, односно осигурава да се не ради о краткотрајном импулсу и да изолује тачан тренутак појаве првог стања и прве грешке.
3. *Провера да ли је застој узрокован унутрашњим кваром машине.* Овај корак важи и за пуњач и за све наредне машине. Проверава се да ли је узрок унутрашњи квар у који спадају грешке саме машине и сигурносне грешке. Уколико јесте, пуњач се проглашава за Root Cause. Уколико није, наставља се алгоритам. Када алгоритам поново дође у овај корак, само са аспекта неке друге машине, исто питање важи, и уколико постоји унутрашњи квар, та машина се проглашава за Root Cause. У спољашње кварове спадају „недостатак“ и „загушење“.
4. *Провера да ли је у питању последња машина у анализи.* Уколико застој није интерни, EMS мора

да утврди да ли је пуњач ушао у загушење или у недостатак због неке друге машине. Алгоритам се креће уназад ако је пуњач у недостатку или унапред ако је пуњач у загушењу. Затим се поставља питање да ли је машина која се посматра задња у низу. Ако јесте, онда је та машина Root Cause. Ако није, алгоритам прелази на следећу машину. Морамо напоменути да се код задњих машина, као што су дуваљка или депалетизер и оматалица, као Root Cause узима и стање недостатка или загушења јер у тим ситуацијама та стања представљају валидне кандидате.

5. *Прелазак на следећу машину.* Алгоритам у овом кораку врши адаптацију претраге тако да посматрана машина постаје референтна, односно следеће машине и застоји се посматрају у односу на њу.

На слици 2 је приказан дијаграм Root Cause алгоритма.



Слика 2: Дијаграм Root Cause алгоритма

4. РЕЗУЛТАТИ И ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан развој и имплементација EMS система за надзор и анализу стања и перформанси производних линија у пиварској индустрији. Интеграцијом EMS система са постојећим PLC и HMI решењима омогућено је прикупљање и анализа релевантних података без нарушавања основних управљачких функција система.

Применом Weihenstephan стандарда и алгоритма за анализу узрока застоја омогућена је поуздана идентификација критичних тачака у раду производне

линије и стварање основе за унапређење ефикасности и смањење губитака. Развијени систем представља флексибилно решење које се може проширивати и прилагођавати различитим типовима производних линија у пиварама.

Даљи развој система може бити усмерен ка интеграцији са Manufacturing Execution System (MES) и Enterprise Resource Planning (ERP) системима, као и примени напредних аналитичких и предиктивних метода за оптимизацију производње у смислу динамичког усклађивања брзина машина у зависности од стања линије.

Као доказ о иновацији овог система служи његова имплементација у Molson Coors пиварској корпорацији. EMS систем је заменио претходни систем у овој корпорацији. Разлог због ког је EMS успешно постао незамењив део Molson Coors-а је његова једноставност, поузданост, брзина обраде и широк опсег параметара које прати, анализира, калкулише и уређује у извештаје. Неки од параметара којима располаже су: Mean Time Between Stops (MTBS), Mean Time To Recovery (MTTR), најчешћи застоји, најпроблематичније машине, нето и бруто производња, аларми целокупне линије, стања свих машина и линије, и други. На основу ових података се даље врше калкулације и генеришу извештаји на нивоу смене, дана, недеље, месеца или године, што је од изузетног значаја за руководство пиваре.

Још један битан фактор у аутентификацији EMS система је оптимизација рада производне линије. Овај систем је обезбедио лак приступ прегледу стања линије са било ког уређаја унутар корпоративне мреже пиваре и тиме олакшао, убрзао и побољшао посао руководиоца. Самим детектовањем проблематичних сегмената производне линије се отвара могућност превентивног одржавања, ремонта или замене компонената, чиме се перформансе производње побољшавају.

Као конкретан пример побољшања рада линије служе подаци из две пиваре у којима је имплементиран EMS систем: Пивара Требјеса у Никшићу, Црној Гори и Kamenitza Brewery у Хаскову, Бугарској. У Никшићу ће се посматрати подаци на линији за пуњење PET амбалаже, а у Хаскову за пуњење буради (KEG) [4]. У

табели 2 су приказани подаци из поменутих пивара и њихове промене након имплементације EMS система.

Табела 2: Побољшање параметара производне линије употребом EMS система

	PET	KEG
MTBS	+19%	+14%
MTTR	-9%	-5%
Број застоја	-12%	-8%
Учесталост микро застоја	-22%	-20%
Лажне детекције	-28%	-37%
Време реакције оператера	-11%	-10%
Време дијагностике квара	-37%	-35%

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] L.P.P. Muchiri, "Performance measurement using Overall Equipment Effectiveness (OEE)", *International Journal of Production Research*, Vol. 46(13), pp. 3517-3535, July 2008.
- [2] W. Mahnke, S.-H. Leitner, M. Damm, "OPC Unified Architecture", Ladenburg, Springer, 2009.
- [3] H. Weisser, "Standard Specifications for Data Acquisition Systems in Beverage Bottling Plants", Technische Universität München, 2010.
- [4] <http://indasautomation.com/solutions/efficiency-monitoring-system/> (pristupljeno u decembru 2025.)

Кратка биографија:



Борјан Шаренац рођен је у Љубовији 2000. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Рачунарство и аутоматика – Аутоматика и управљање системима одбранио је 2025. год.
Контакт: borjan0410@gmail.com