

## СИСТЕМ ИЗВРШЕЊА ПРОИЗВОДЊЕ - (Manufacturing Execution System -МЕС)

Термин *Manufacturing Execution System* (МЕС) је први пут скован раних 1990-их. У својој фокусној тачки, овај систем покушава да понуди најбољу контролу и видљивост у производњи кроз прикупљање и анализу података у реалном времену. Основна снага МЕС-а лежи у интерфејсу између фабрике и менаџмента. „МЕС наглашава пренос информација између производног и пословног слоја и оптимизује производни процес целог предузећа кроз интеграцију информација.“ (Во, Zhenghang, 2004). Ово преношење информација у реалном времену пружа менаџменту ажурне информације на основу којих може доносити потпуно информисане одлуке. Да би се испитала пуна корисност МЕС-а, мора се претпоставити придружени систем планирања ресурса предузећа (ЕРП). Укратко, овај ЕРП систем омогућава интеракцију МЕС-а са другим функцијама унутар компаније и комплетира алокацију информација широјој публици компаније. Квалитет имплементације и темељна интеграција МЕС-а диктира ниво функционалности који треба постићи (Elliott, 2013).

МЕС је развијен да би помогао у извођењу производње, са концептом онлајн управљања активностима у радњи. Он премошћује јаз између система планирања (као што је ЕРП) и контролних система (као што су сензори, ПЛЦ) и користи информације о производњи (као што су опрема, ресурси и наруџбине) за подршку производним процесима. Као и сваки алат за информационе системе предузећа, и МЕС је еволуирао с временом да интегрише неколико проширења за обављање различитих производних активности користећи софистицираност напретка компјутерске технологије (Mantravadi, 2018).

У прошлости су производна одељења многих компанија преферирала информационе системе направљене по мери за радни простор и локално су прикупљали податке о производњи у табелама или другим базама података, што је отежавало одржавање софтвера и консолидацију података. МЕС је развијен са сврхом да интегрише вишеструке системе тачака и стога су добављачи софтвера били у могућности да пакују различите функције извршења производње у облику МЕС софтвера (Угарте, 2009). Међутим, производња следеће генерације има потребу за побољшањем процеса даљим коришћењем алата за аутоматизацију и система у реалном времену како би се у потпуности избегао папиролошки рад. Ова визија води ка концепту паметних фабрика (са индустријским интернетом), где бежична технологија и мобилне информационо- комуникационе технологије (ИКТ) постају кључни покретачи индустријског интернета. Али таква дигитализација у производњи је још увек у повоју. Будуће фабрике ће се ослањати на софтвер у реалном времену и ИКТ, при чему ће МЕС имати већу улогу у паметним фабрикама него само пружање функција за управљање производњом (Sauer, 2014).

Ричард (*Richard Beregi*, 2021) истиче да су се појавиле многе дефиниције и приступи МЕС- а, али су све некако покушале да модулишу и инкорпорирају сваки аспект производње и да их комбинују у један монолитни систем. До сада није постојао минималистички, суштински концепт МЕС-а. Онај који има само најосновније, основне функције за извршење плана производње. Циљ је био да се уклоне сви интелигентни аспекти МЕС-а који доносе одлуке како би се створио нервни систем за производњу, који повезује ресурсе ниског нивоа и њихове операције заједно, поред тога што их повезује са менаџментом на високом нивоу, попут планера или Планирања ресурса предузећа (ЕРП). Овај приступ функционише са очекивањем да и компоненте ниског и високог нивоа имају уграђену интелигенцију која омогућава паметну производњу кроз дигитализацију свог окружења. Основа за ово очекивање је подизање феномена сајбер- физичких система (CPS) у производним погонима и ширење општеприхваћеног дистрибуираног доношења одлука које подржава концепт сајбер-физичког производног система (CPPS).

Дигитализација производње све више преовлађује и у индустријализованим земљама које сада имају сопствене иницијативе да то подрже (Ezell, 2020). Индустрија 4.0 (И4.0) се односи на интеграцију и дигитализацију и, с обзиром на кључну улогу података и индустријских интернет ствари (енг. Industrial Internet of Things - IIoT) у својим технолошким сценаријима, постоји заједнички став да је интегрисани МЕС још увек пресудан, иако се креће ка ширем менаџменту производних операција (енг. Manufacturing Operations Management MOM) и приступу оријентисаном на услуге. Поред тога, роботика се шири развијеним светом, такође и у системима извршења производње, и очекује се пораст са садашње вредности од 15 милијарди америчких долара на 67 милијарди до 2025. године.

## Функције МЕС -а

Функционалности потпуно имплементираног МЕС-а нуде снажну конкурентску предност. Концепт МЕС-а као система за управљање информацијама показује се најлакшим за разумевање. Јасно разумевање функционалности које нуди комплетан МЕС омогућава laku идентификацију његових бројних предности. МЕСА (*Manufacturing Enterprise Solutions Association*) Међународна асоцијација која представља професионалце који раде око производних извршних система, дефинише једанаест специфичних МЕС функционалности.

1. Прва од ових функција је управљање ресурсима. МЕС пружа могућност контроле машина, радних вештина, материјала и докумената између осталих ресурса неопходних за обављање операције. Историја ресурса, тренутно подешавање, доступност и друге критичне информације су истовремено доступне техничару у радњи и менаџеру. Контрола ових информација омогућава ажурирање статуса у реалном времену и контролу процеса.
2. Заказивање радних налога је друга функција МЕС-а. Редослед рада на основу приоритета, атрибута и захтева за ресурсима настоји да минимизира време подешавања и максимизира проток кроз производни систем. Тачан прорачун утрошеног времена се саставља из сваке независне операције чак и са додатном сложености преклапајућих или паралелних операција. Функција планирања МЕС-а такође обезбеђује ниво оптерећења рада и опреме.
3. Отпремање производне јединице је следеће на листи функција. МЕС врши отпремање у реалном времену за све производне операције, пажљиво управљајући количином и бафером производа у целом простору, смањујући рад у току (енг. Work in progress - WIP). МЕС управља фабричким операцијама. Он надгледа системе контроле процеса, одлучује о рутама које производи прате кроз систем и одлучује када и где почињу операције на производима. (Valckenaer, 2005) Због повратне спреге у реалном времену, одлуке које мењају утврђени распоред могу се лако узети у обзир и производња усмеравати у складу са тим. МЕС ради са свим сценаријима фабричке производње укључујући прераду или спасавање.
4. Једна од најистакнутијих предности МЕС-а лежи у контроли докумената. Имплементација МЕС-а елиминира употребу папирних метода контроле докумената. Ова функционалност пружа предности које се појављују у целој компанији. Сваки корисник МЕС-а има приступ потребним документима. Техничар има приступ свим информацијама у вези са производном јединицом, укључујући упутства за рад, стандардне оперативне процедуре (СОП), налоге за инжењерске промене (ЕЦО), опис материјала (БОМ), историју и друге обавезне информације које би пре МЕС-а биле тешке да добије и задржи наруџбу у папирној форми. Такође, МЕС електронски контролише путнике на папиру са информацијама о производњи и могућим потписима техничара. Ово

додаје сигурност и поузданост петљи повратних информација из производње на производном поду.

5. Прикупљање података поставља границу значаја у МЕС-у. Наведен као функција, овај аспект пружа све податке у вези са производњом у руке менаџмента у форматима који пружају вредне метрике и увид у карактеристике производње.  
„Суштина МЕС-а је примање и прикупљање података о производњи и пружање информација у реалном времену целој организацији, омогућавајући правовремену подршку у доношењу одлука.“ (Баљет, 1999) Ови подаци се могу прикупити или аутоматски из интелигентне опреме или ручно из интерфејс форми за људско коришћење. Метрике и црвене заставице се аутоматски ажурирају у овој петљи повратних информација у реалном времену. Шаљу се уз наруџбину кроз цео производни процес, ови подаци се на крају архивирају ради лаког проналажења и историјских прорачуна.
6. Шесто на МЕСА листи функционалности је управљање радом. Основна функција обухвата контролу статуса запослених и присуства током целог радног дана. Након повезивања са ЕРП системом, финансијски трошкови могу бити додељени одређеним пројектима на основу евидентираних радњи запосленог. Утврђивањем статуса запосленог, вредности и активности без додане вредности могу се идентификовати и адресирати због потпуног разумевања повезаних трошкова. На вишем нивоу, сертификација запослених и праћење одобрења, као и могућа оптимизација рада су операције које обезбеђују функције управљања радом МЕС-а.
7. МЕС нуди анализу квалитета у реалном времену. Подаци прикупљени из производних операција могу се синтетизовати и приказати у средствима која се лако читају да би се идентификовали проблеми који захтевају накнадну акцију. Паметни системи за извршење производње нуде могућност да се испитају историјски записи за сличне дефекте који идентификују основни узрок из претходних симптома. Потпуно имплементирани системи укључују статистичку контролу процеса и повратне петље контроле квалитета добављача. У оквиру функције прикупљања података МЕС-а, контрола квалитета има могућност да изврши било какву инспекцију и електронско потписивање у обрасцима за ручни унос. Могућност идентификовања могућих недостатака квалитета и упозорења у реалном времену представља смањење прераде и повећање задовољства купаца због поузданијег производа.
8. Управљање процесима је нуспроизвод прикупљања података из ресурса, рада и опреме. МЕС надгледа производњу док се прилагођава за максимизирани производне активности или аутоматски или пружањем информација за доношење информисане одлуке. Производне јединице се прате како интраоперативно (енг. intra-operational), унутар једне операције, тако и међуоперативно (енг. inter-operational), између операција. МЕС ће означити сва неслагања са планираним операцијама да упозори менаџмент.
9. Девета функционалност је управљање одржавањем. Иако је релативно једноставан задатак, МЕС систем пружа средства за праћење одржавања заснованог на раду. Идентификован по радним сатима, заказивање укупног превентивног одржавања може се интегрисати у систем. Непосредни проблеми су стављени на пажњу менаџмента. Сви проблеми везани за одржавање се евидентирају у историји за референцу и као помоћ у дијагностици тренутних проблема.
10. Праћење производа и генеалогичка се манифестују као још једна сарадња горе поменутог прикупљања података у целом погону. Како се производ креће кроз производњу, бележе се информације о статусу људских и механичких ресурса, као и

друге идентификационе информације или повратне информације у погону. Ови снимљени подаци пружају следљивост и историјске информације о стварању крајњег производа и свих његових компоненти.

11. Коначно, једанаеста функција МЕС-а је анализа учинка. Анализа учинка употпуњује повратну спрегу менаџменту. Информације о тренутним обрасцима производње упоређују се са историјским резултатима. Слични и једноставни извештаји и визуелизације представљају вредне показатеље укључујући коришћење ресурса, време циклуса и такта, придржавање распореда и информације о квалитету између осталих корисних компаративних информација.

„МЕС, језгро управљања производњом, има улогу „средњег софтвера“ која повезује производни слој са менаџментом предузећа.“ (Бо, 2004) МЕС даје менаџменту вишег нивоа најјаснију визуелизацију радњи које се дешавају у погону. Анализе које је доставио МЕС јасно идентификују снаге и слабости и помажу у непрестаној потрази за сталним побољшањем.

### Фазе у имплементацији МЕС

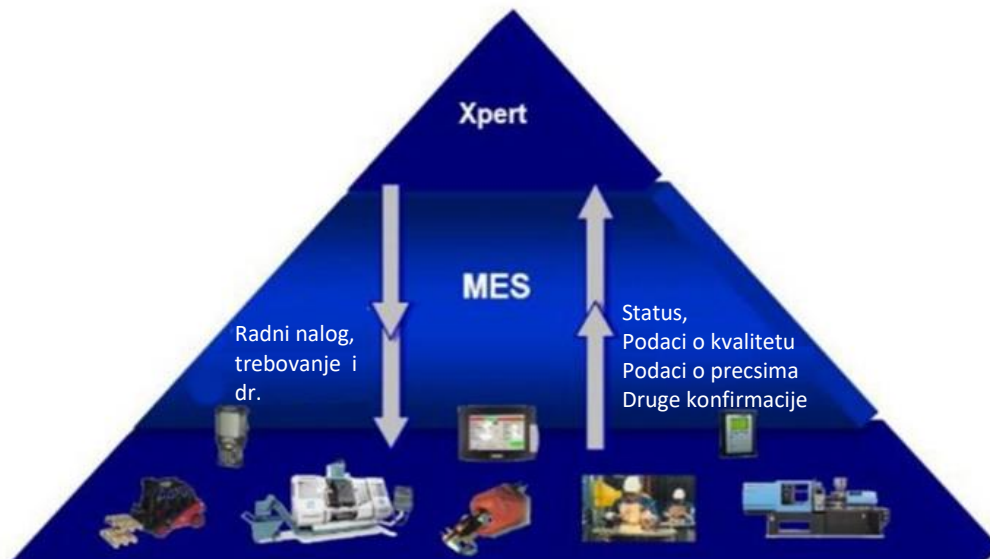
1. Фаза: Истражити МЕС – долази као решење за текуће проблеме или план.
2. Фаза: Изводљивост МЕС пројекта - изводљивост се појављује са дефинисањем захтева и укључивањем заинтересованих страна
3. Фаза: Анализа пројекта - анализа празнина сагледава садашњост и будућност и идентификује пут и резултате
4. Фаза: Направити или купити – прикупљање података о доступним системима
5. Фаза: Бирање продавца – алати за доношење одлука који се користе да би се направила квалитативна и квантитативна анализа предложених решења
6. Фаза: Изјава о раду – сарадња између компаније и продавца на дефинисању свих аспеката пројекта (укључујући и пилот производ
7. Фаза: ГАП анализа – разумевање разлика које колебају имплементацију МЕС-а (структуре података, интерфејс са околним системом, захтеви корисника, итд.)
8. Фаза: Архитектура система - дизајн софтвера и хардвера према спецификацијама МЕС.
9. Фаза: Пилот програм (пробни период) – учвршћује жељене функционалности унутар МЕС-а специфичне за пилот програм и одређује методе прикупљања података
10. Фаза: Имплементација – имплементација свих претходно дефинисаних пројеката, детаљно и на високом нивоу
11. Фаза: Тест прототипа МЕС-а – пилот програм за конференцијску собу где заинтересоване стране додељују теоријске услуге и провлаче производ кроз систем
12. Фаза: Верификација и валидација – квалификовати директне и индиректне користи и проверити да ли је систем испунио жељене нивое функционалности
13. Фаза: Имплементација у пуном обиму – све радње се морају поновити за сваку линију производа и функционалност
14. Фаза: Праћење и одржавање – одржава се свакодневни рад и управља сабирањем/одузимањем карактеристика

### Вертикална и хоризонтална интеграција МЕС-а

Као што је већ поменуто, МЕС систем функционише на вертикалном и хоризонталном принципу (Берић, 2018). Вертикални принцип обезбеђује све релевантне податке, односно контролу свих аспеката производње/потврђивања (слика 9) у реалном времену у односу на:

- Тренутне капацитете (машине, алати, материјали и запослени) и искоришћеност капацитета;
- Статус и напредак производних процеса у реалном времену;

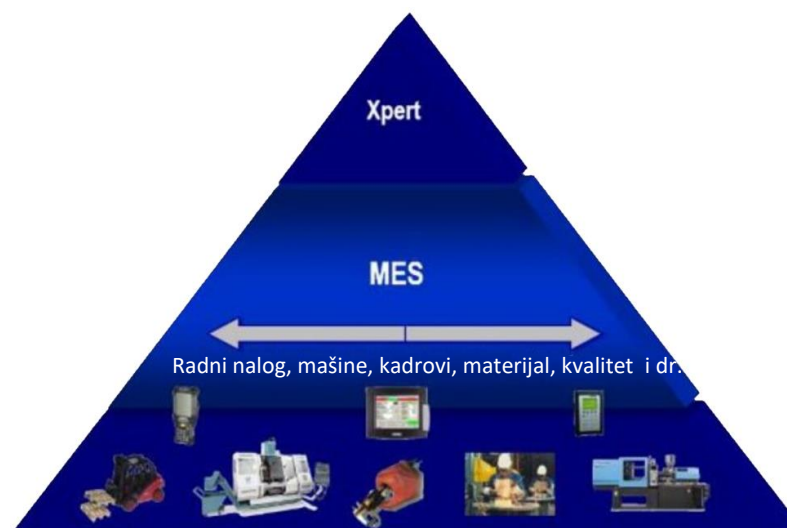
- Преостало време обраде;
- Заостаји;
- Време циклуса/кораци;
- Резервисање капацитета (машине, алати, материјали и запослени);
- Решавање сукоба (рокови, алати, машине, материјали, итд.);



Слика 1. Вертикална интеграција МЕС-а (Берић, 2018)

Хоризонтална интеграција са МЕС системом (слика 10) обухвата цео производни процес у индустријским предузећима без додатних примена. Хоризонтални принцип је интегрисан:

- Прибављање производних података и налога;
- Прикупљање и обрада података о машинама и запосленима;
- Стварно планирање производње;
- Квалитет;
- Одржавање;
- Складиште/логистика;
- Људски ресурси;
- Информације о другим процесима;
- ДНЦ подаци;
- Подаци о перформансама индустријског система.

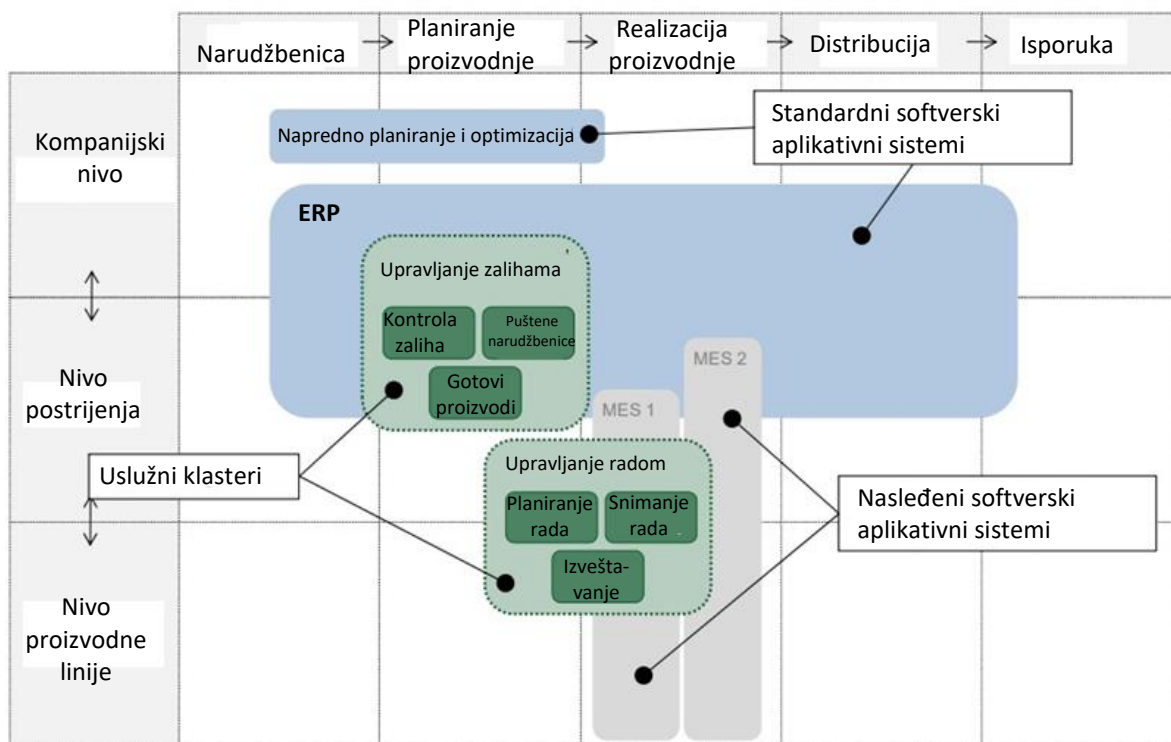


Слика 2. Хоризонтална интеграција МЕС-а (Берић, 2018)

Упркос еуфорији, одлуке везане за дигитализацију су скупе (Chen, 2017) и захтевају чврсте концепте да би компаније покренуле своје „путовање дигиталне трансформације“ (Берман, 2012). Доносиоци одлука у индустрији могу да бирају између широког спектра дигиталних технологија као што су сензори, рачунарство у облаку, системи за извршење производње (МЕС), аналитика великих података (БДА) или роботика. Све ово је повезано са парадигмом индустрије 4.0 (Wiecha, 2020). Предуслови, обрасци имплементације и ефекти перформанси могу се разликовати за сваку технологију. Стога је веома релевантно позвати се на одређене технологије када се одговара на питање „[...] како типични произвођачи могу постићи организациону, оперативну, техничку и правну спремност у припреми за индустрију 4.0“ (Ghobakhloo, 2018). Емпиријски докази за примену и ефекте И4.0 технологија доступни су у литератури, али Индустрија 4.0 је широк и лоше дефинисан концепт. Емпиријске студије које се фокусирају на утицаје специфичног учинка остају ограничене, упркос широком позиву за већу фокализацију истраживања индустрије 4.0 (Papadopoulos, 2017; Rossini, 2019).

### **Архитектура МЕС система**

Због низа могућих апликација, архитектура МЕС система драматично варира. Системи се крећу од једног рачунара у оквиру одељења до многих рачунара у одељењима у различитим постројењима у бројним земљама. Без обзира на структуру и дубину система, основна функционалност остаје иста. Да би обезбедио ову функционалност, МЕС пружа *он-лине* обраду трансакција (ОЛТП). Овај дизајн система омогућава тренутни пренос података и доступност. Брзо време одзива у високо аутоматизованом систему где се подаци континуирано креирају и ажурирају описују МЕС и ОЛТП. Са ОЛТП-ом више корисника може истовремено приступити подацима. Величина производног окружења и припадајући број тачака за прикупљање података представља једно од најтежих ограничења за архитектуру система. Када су бројне радне станице, уређаји за машинску обраду, штампачи, добављачи, библиотеке података итд. повезани преко МЕС-а, сложеност дизајна драматично расте. Ни један од ових процеса, а још мање сви се не могу замрзнути у времену док МЕС ради. Ово захтева од МЕС-а да континуирано израчунава и пружа ажурне информације у реалном времену како је дефинисано његовим дизајном ОЛТП система (Elliott, 2013).



Слика 3. Архитектура MEC система (Otto, 2010)

Илустрација (слика 3) идентификује две централне димензије MEC архитектуре, односно (1) Процес наруџбине купаца, који се састоји од пет фаза од управљања наруџбинама купаца до Испорука и (2) Ниво планирања, на који се примењује MEC у распону од нивоа компаније до нивоа производне линије. Обе димензије чине матрицу у којој и Uslužni klaster и Aplikativni sistemi (Applications System Cluster) могу бити приказани. Матрица омогућава идентификацију:

- преклапање функционалности система апликација;
- недостатка функционалности;
- идентификација стандардне функционалности;
- идентификацију потребних кластера услуга.

Идентификовањем главних употребљених случајева, матрица поставља основу за дизајн методологије и алата који подржавају анализу и дизајн MEC архитектуре (Schmidt, 2010).

Очекује се да ће нова класа MEC-а пружити додатне информације у реалном времену оперативним одељењима тако што ће дати „свестрани преглед“ свих ресурса укључених у производњу и да ће деловати као „производни кокпит“. Са напретком нивоа интеграције и рачунарских технологија, MEC алат се развија као и моћан софтверски пакет. Очекује се да ће одговарати потребама купаца за бржим одговорима у реалном времену и управљати сложеносту у производњи уз проширене функционалности. То је зато што фабрике будућности морају имати беспрекорну сарадњу и проток података унутар сва три нивоа предузећа, као што су – слој управљања предузећем, слој управљања производњом и ниво контроле/аутоматизације. Такве фабрике су боље опремљене да се носе са будућим захтевима уграђивањем система управљања производњом као што су – управљање циљевима, интеграција апликација и података, управљање подацима у реалном времену, управљање информацијама, управљање усклађеношћу итд. (Meuer, 2009). Ово потврђује значај MEC-а и закључује да компаније морају да инвестирају у такве дигиталне технологије да би побољшале своје укупне пословне перформансе. Да би пружиле боље услуге купцима, паметним фабрикама у Индустрији 4.0 је IoT технологија омогућена да сакупљају и анализирају податке прикупљене са паметних уређаја и паметних

апликација. На овај начин, паметна фабрика омогућава укључивање купаца у процес пројектовања производње и захтева коришћење виртуелне производње за симулацију производних процеса, чиме се даје простор за истраживање сваке фазе производног процеса.

### **Osnovne MES funkcionalnosti**

MES se ističe po tome što nudi sveobuhvatan pregled proizvodnje i naglašava glavne tačke proizvodnje. Ove tačke mogu da se kreću od upravljanja proizvodnjom i završetka radnih naloga, do potpunog praćenja kvaliteta i genealogije. Kao takav, integrisani MES vam efikasno daje pogled na proizvodni pod iz ptičje perspektive, kao i transparentnu komunikaciju podataka između operatera.

MES ima skup osnovnih funkcionalnosti koje obuhvataju planiranje, kroz resurse, naloge i administraciju zaposlenih. MES takođe podržava sve oblasti upravljanja kroz pristup informacijama, organizaciju i održavanje. Analiza performansi i vizualizacija ukupne efikasnosti opreme (OEE) omogućavaju sintezu proizvodnje u smislu mašinskog procesa i kvaliteta. Konačno, ova međupovezanost omogućava veću fleksibilnost u pogledu upravljanja kvalitetom i praćenja proizvodnje u realnom vremenu.

#### **1. Prikupljanje i akvizicija podataka**

Prikupljanje podataka je zaista ključni fokus kada je u pitanju pametna proizvodnja i industrija 4.0.

Prikupljanje podataka je omogućeno povezivanjem opreme za praćenje i prikupljanje podataka kroz proizvodne procese u realnom vremenu. Organizovanjem i centralizacijom podataka, imate ovlašćenje da imate potpun i transparentan pregled vašeg poslovanja. Ovaj investicioni alat vam omogućava da vidite rad u novom svetlu i omogućava vašim timovima da optimizuju ključne procese kako bi maksimizirali produktivnost na osnovu prikupljenih podataka.

#### **2. Praćenje proizvodnje i genealogija**

Praćenje i genealogija su od suštinskog značaja za svaku operaciju koja se bavi rastućom potražnjom i potrebama sveta.

MES nudi kompletno praćenje životnog ciklusa proizvodnje. Genealogija vam omogućava da vidite kako se vaši proizvodi razvijaju, a istovremeno pojednostavljuje kontrolu kvaliteta kako biste bili sigurni da ispunjavate standarde vaše industrije. Sledljivost pojednostavljuje praćenje gde i kada se proizvod nalazi u svom životnom ciklusu. U slučaju opoziva, ovlašćeni ste da bez napora pružite sve potrebne informacije da biste saznali šta i gde je nešto moglo da pođe po zlu.

#### **3. Upravljanje kvalitetom**

Kako masovna proizvodnja postaje sve konkurentnija, upravljanje kvalitetom je sve veća briga.

Sa sve većom potražnjom za složenim proizvodima koji se proizvode i isporučuju milju u minutu, dubinsko praćenje procesa omogućava vam da osigurate zadovoljstvo kupaca. Automatizacijom aspekata osiguranja kvaliteta, vaš menadžment kvalitetom je ovlašćen za praćenje i sintezu proizvodnih procesa na kontrolne table koje su prilagođene korisniku. Možete da ublažite rizike tako što ćete dokumentovati i centralizovati proizvodnju bez brige da ćete propustiti nešto važno. Takođe možete smanjiti rizike zahvaljujući unapred programiranim alarmima i obaveštenjima.

#### **4. Raspodela resursa i status**

Povećanje proizvodnje često znači dodavanje novih resursa i izazova planiranja. MES služi kao toranj snage za obuzdavanje većeg broja briga koje zadovoljavaju rastuću potražnju.

Efikasnim povezivanjem i razmenom informacija u realnom vremenu sa administrativnim sistemima kao što je softver za planiranje resursa preduzeća (ERP), upravljanje resursima je olakšano pomoću MES-a. Ova međupovezanost onda može omogućiti i rukovodiocima i operaterima da nadgledaju operacije u smislu ponude i potražnje.

#### **5. Menadžment rada**



Iako MES još uvek ne može autonomno da upravlja fabričkim podovima i algoritamski se organizuje kao kvazi-simbiotska operacija, on u velikoj meri poboljšava vaše mogućnosti planiranja.

Tamo gde upravljanje radom često može biti zamorno i potpuno zastrašujuće, MES služi kao desna ruka za zakazivanje. Pored alokacije resursa za napredno planiranje i zakazivanje (APS), operacija povezana sa MES-om omogućava vam da optimizujete planiranje smena na osnovu radnih obrazaca, atribucije zaposlenih i poslovnih potreba. Kako vreme odmiče i naučite o ovim prednostima i slabostima, osnaženi ste da podržite svoje timove upravo onako kako im je potrebno.

## **6. Upravljanje operacijama i planiranje**

Povezivanjem vašeg fabričkog sprata, pravite rezime u realnom vremenu za pregled vaših procesa.

MES vam nudi transparentnost koja vam omogućava da uspešno planirate najbolji redosled, kao i da reagujete kada stvari ne budu sinhronizovane. Koristeći međusobnu povezanost između MES-a i ERP-a, rukovodioci i operateri mogu da osmisle planove i scenarije u skladu sa vašim operativnim ograničenjima. Ovo planiranje efikasno smanjuje gubitke, minimizira vreme promene i omogućava vašem timu da ispoštuje rokove.

Otprema proizvodnih jedinica

MES-ov nadzor proizvodnje daje vam povećanu agilnost u upravljanju brzim promenama.

MES vam daje bolji način za izračunavanje nepredviđenih zahteva za prilagođavanje otpreme. Ova omogućena reaktivnost osigurava da se proaktivno prilagođavate merenjima, veličinama i obradi osetljivoj na vreme. Pomažući vam da sprečite ove gubitke, MES vam omogućava da maksimizirate tok proizvodnje na osnovu vaše operativne realnosti. Na primer, može pomoći u razlikovanju brzih i sporih trkača u paletizaciji kako bi se prilagodili za brži promet.

## **7. Upravljanje procesima**

MES služi kao centralno čvorište u nadgledanju svih aspekata onoga što se dešava u celoj fabrici.

MES daje transparentan pogled koji pomaže u postavljanju pametnih ciljeva za vaš tim. Koristeći povezanost ekosistema (kao što je ERP) i osiguravajući da su radni nalozi na pravom putu, rukovodioci mogu efikasno da ciljaju na postizanje ciljnih proizvodnih ciljeva. Procedure digitalnog snimanja generiše ključne metrike o proizvodnim vrednostima kako bi se olakšalo donošenje odluka i najbolja upotreba u svakom trenutku.

## **8. Upravljanje održavanjem**

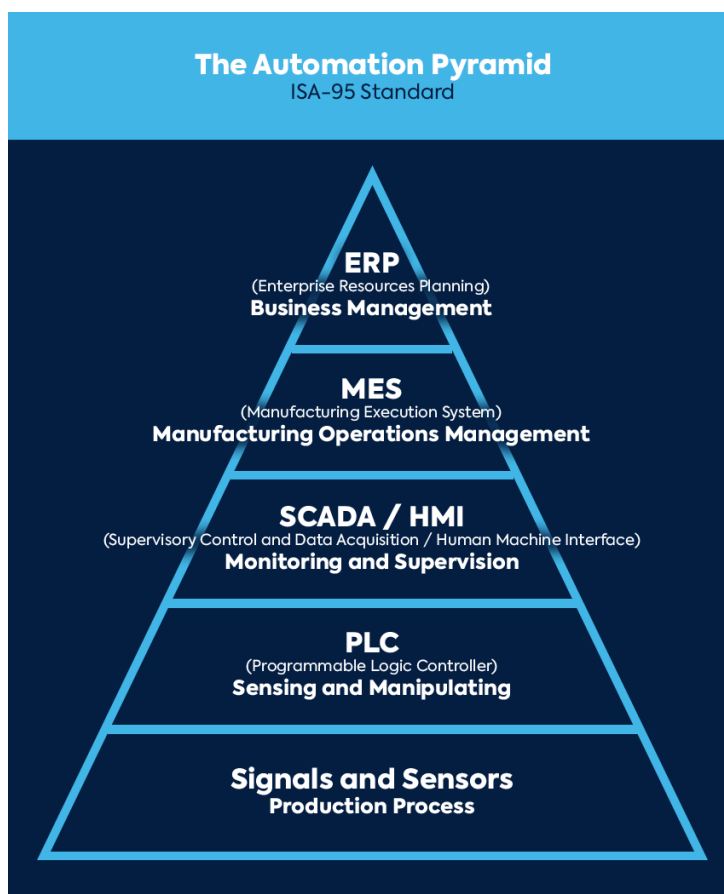
Bez obzira da li radite u zamršenosti izrade satova, ili masovnoj proizvodnji i pakovanju hrane, periodično i preventivno održavanje je od ključnog značaja za uspešan završetak procesa.

Osiguravanjem da se servisiranje i pregledi obavljaju na vreme i trajno, značajno smanjujete šanse za nezgode. MES efikasno povezuje i prikuplja podatke o svakom aspektu produktivnosti. Ovo vam daje do znanja kada je potrebno izvršiti popravke, sprečavajući moguće povrede na radnom mestu i zaustavlja skupe popravke pre nego što se pogoršaju.

## **9. Upravljanje dokumentima**

Odlazak bez papira je jedna od ključnih karakteristika koje privlače veliki broj upita za integraciju MES-a.

Implementacija MES-a nudi oslobađanje svojih korisnika od dosadnih zadataka vezanih za prakse koje se oslanjaju na papir. Prelazak bez papira daje nekoliko prednosti, kao što je automatizacija registra inventara ili digitalizacija ključnih proizvodnih dokumenata (kao što su planovi montaže). MES daje više od sigurnosti podataka, oslobađanjem članova tima od snimanja i pisanja, omogućavate im i osnažujete ih da rade ono što najbolje rade.



Слика 4. Pozicija MESa u IT arhitekturi preduzeća

Programabilni logički kontroler (PLC) će prikupljati podatke preko senzora i signala, koji će biti sintetizovani i prosleđeni nadzornoj kontroli i akviziciji podataka (SCADA) i ljudskom mašinskom interfejsu (HMI) – ovi interfejsi direktnog kontakta mogu dati operateru kontrolu nad mašinama. Kontrolni podaci se proširuju na MES, gde su oni najvažniji u kontroli operacije. MES će komunicirati naviše i naniže između ERP-a i ostatka piramide kako bi kontrolisao i optimizovao proizvodni proces.

MES radi na nivou procesa proizvodnje. Njegov cilj je da maksimizira efikasnost u okviru uloga koje inženjeri, operateri, menadžeri pogona i drugi zaposleni imaju u fabričkom podu. Nasuprot tome, ERP radi na nivou procesa preduzeća. Upravlja ispunjavanjem naloga, finansijama, predviđanjem; u suštini, šira slika.

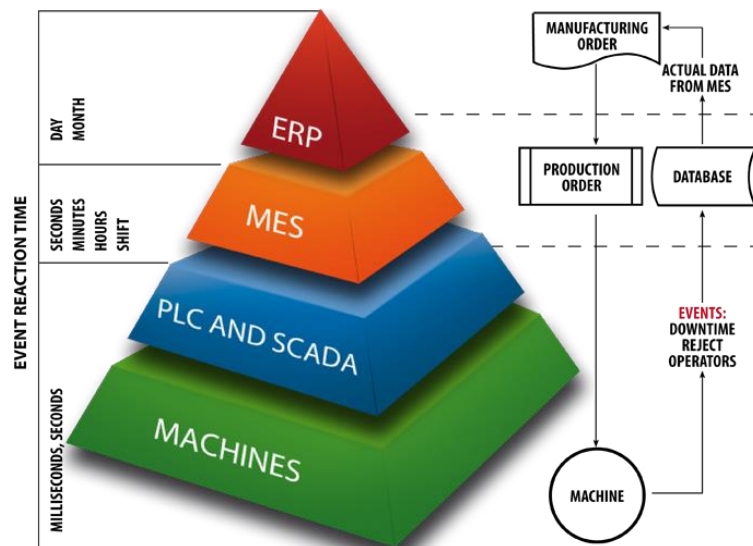
Komplementarni odnos između MES-a i ERP-a je ono što omogućava proizvođačima da se ističu. MES služi kao tačka kontakta između ERP-a i ostatka digitalnog ekosistema unutar fabričkih zidova. ERP će upravljati makro aspektima operacije i hraniti MES informacije o radnim nalogima, na primer. S druge strane, MES će upravljati mikro aspektima i prosleđivati informacije o zalihama u odnosu na stope proizvodnje u ERP. Ukratko, oba sistema deluju kao jedna jedinica za pregled, upravljanje i proaktivno prilagođavanje rada proizvodnog pogona.

## Vrste MES-a

### Cloud, lokalna i hibridna rešenja

Lokalni sistemi su rešenja koja mogu fizički da skladište sve vaše podatke na licu mesta. Ove vrste smeštaja će obično tražiti industrije koje se bave izuzetno osetljivim informacijama ili one koje ne moraju da proširuju bilo kakvu informaciju van svog sajta. Lokalni sistemi zahtevaju velika ulaganja u smislu kapaciteta skladištenja i održavanja pored kupovine hardvera i servera.

S druge strane, sistemi zasnovani na oblaku su suprotni od lokalnih sistema. Oni su veoma efikasni u spajanju i organizovanju podataka kako bi se maksimalno iskoristilo skladištenje. Rešenja u oblaku nude lakšu skalabilnost, jer ne morate da kupujete dodatni težak hardver da biste skalirali svoje sisteme; ovo dalje rezultira nižim početnim ulaganjima, pošto se troškovni pristup pretvara u niske naknade za pretplatu. Rešenja zasnovana na oblaku nude dodatne prednosti u pogledu proizvodnje u mešovitom režimu i konfiguracije na više lokacija: pošto vam nisu potrebne fizičke implementacije u svim postrojenjima, sistemi u klauđu mogu da se pokrenu sa manje resursa i sredstava na licu mesta.



Слика 5. Pozicija MES-a

### Tri ključna koncepta MES-a

(MES može imati i više ključnih konceptata u cilju potreba proizvodnog procesa ili preduzeća)

1. Radni Nalozi
2. Proizvodno planiranje -Production Scheduling
3. Praćenje zastoja/OEE

### Ukupna efikasnost opreme (OEE)

OEE je broj se računa iz kombinacije faktora koji opisuju proizvodne procese.

Koristeći OEE, može se dati prioritet aktivnostima održavanja, obuke i upravljanja materijalom kako bi zvuikli maksimum iz posmatranog porizvodnog procesa—sve bez potrebe za dodavanjem nove opreme ili radne snage.

### OEE se računa kao proizvod:

$$OEE = A \times P \times Q$$

A= raspoloživost= vreme rada/ukupno raspoloživo produkciono vreme

P= Performanse= Trenutna brzina rada/ Idealna brzina rada

K=Kvalitet= Broj dobro proizvedenih delova/Ukupan broj proizvedenih delova



Слика 6. Primer OEE tabla sa performansama

## Zastoji

U idealnom slučaju, proizvodna oprema bi radila 24/7/365 i nikada ne bi prestala da proizvodi delove. U stvarnosti ćete doživeti niz manjih isključenja, problema sa održavanjem i smetnji u procesu koji sprečavaju proizvodnju.

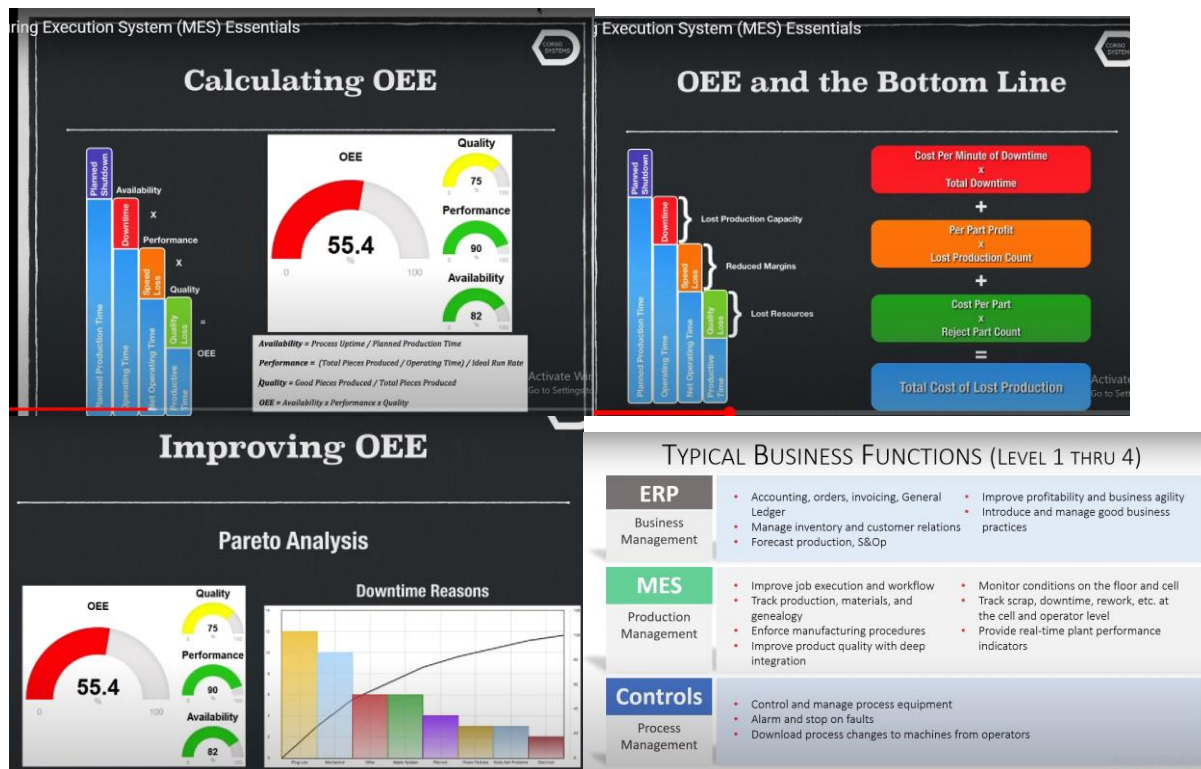
Praćenje ovih događaja je ključno za rad. Poznavanje učestalosti i trajanja zastoja pomoći će da se odrede prioriteta u otklanjanju problema i pružice bolji uvid u slabosti postrojenja.

Prvi korak u praćenju zastoja je razumevanje zašto se oprema pokvari. Zastoji opreme mogu biti uzrokovani mehaničkim ili električnim problemima, greškom operatera ili mašinama koje blokiraju nizvodno ili nesnabedvaju druge mašine materijalom/poluproizvodima.

Većina sistema uključuje uobičajene kodove razloga zastoja (E-Stop, Blokirano, Održavanje, Ostalo) i odatle sledi kako podaci moraju da postanu detaljniji. Ovi scenariji se mogu lako dodati u bilo koji PLC program kako bi se vreme zastoja razvrstalo u delove. Kako znanje o procesu raste, mogu se proširiti scenari da bi obuhvatili svoje specifične potrebe.

Zatim se događaji zastoja obrađuju u izveštaje i kontrolne table kako bi vam pokazali najštetniji događaji, bilo po vremenu, trajanju ili uticaju na prihod.





Слика 8. Прораљун OEE

У зависности од радног стања, време застоја можемо разликовати на следећи начин:

- TT - Технички застој
- TO - организациони застој
- TW - застој због одржавања

Сем застоја, укупно расположиво време за производњу можемо поделити на време посматрања, време коришћења, непланирано / резервисано време, продуктивно време и време подешавања (табела 1). У дијаграму приказаном на слици 36 представљен је однос дефинисаних времена (дијаграм временских губитака). Користећи одговарајуће време можемо израчунати потребне КПИ (енг. *Key Performance Indicators* – кључни показатељ учинка).

Табела 1 Табела дефинисаности времена

Term	Abbreviation	Description
Observation time	$T_{GES}$	The observation time is that period of time for which the collected production data shall be analysed.
Utilization time	$T_B$	The utilization time is that period of time for which a production of parts was planned for
Unplanned / reserved time (planned standstill time)	$T_{NB}$	The unplanned time is that period of time for which the production of parts is not planned (e.g. holidays)
Productive time	$T_N$	Productive time = utilization time – techn. down time – org. down time – setup time
Technical down time	$T_T$	The technical down time is the sum of all down time caused by technical defects of the machine (e.g.
Organizational down time	$T_O$	The organizational down time is the sum of all down time caused by organizational „defects“ (e.g. no orders, missing parts or tools, ...)
Setup / changeover time	$T_R$	The setup time is that period of time between the latest OK part of the old order until the first OK part of the new order
Maintenance time	$T_W$	The maintenance time is that period of time for planned maintenance tasks on the machine (it may be based on a maintenance plan)



Слика 9. Дијаграм временских губитака

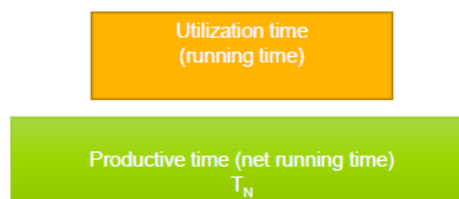
- **OEE** – Укупна ефикасност опреме (*Overall Equipment Efficiency*)

OEE је производ три КПИ-а: raspoloživost, ефикасности учинка и стопе квалитета. OEE даје податак о томе колико ефикасно машина ради у целини.

- **A** – Raspoloživost опреме (*Equipment Availability*)

Raspoloživost опреме описује однос продуктивног времена и времена коришћења опреме. Поједностављено, доступност опреме означава однос „машина ради“ / „машина не ради“. Другачије изражено, то је такође однос „ОК делови напуштају машину“ и „ниједан део не напушта машину“ (слика 10).

$$Availability = \frac{Productive\ time}{Utilization\ time} = \frac{T_N}{T_B}$$



Слика 10. Графички приказ ЕА



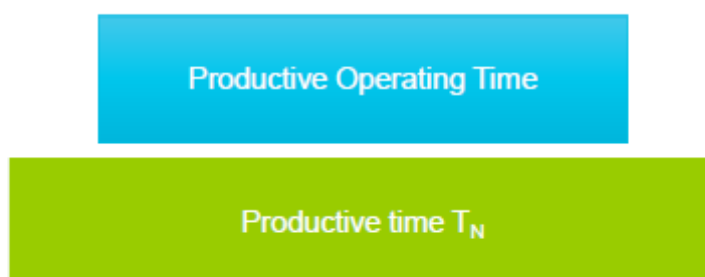
- **PE** – Ефикасност перформанси (*Performance efficiency*)

Ефикасност перформанси је однос продуктивног радног времена и продуктивног времена. Ефикасност перформанси је мера губитака узрокованих повећаним трајањем циклуса (слика 11).

$$Performance\ Efficiency = \frac{Productive\ Operating\ Time}{Productive\ Time}$$

or

$$Performance\ Efficiency = \frac{Rated\ Cycle\ Time}{Rated\ Parts\ per\ Cycle} \times \frac{Produced\ Parts}{Productive\ Time}$$



Слика 11 Графички приказ PE

- **QR** – мера квалитета (*Quality rate*)

Мера квалитета је однос нето продуктивног времена и оперативног продуктивног времена. Изражено другачије, мера квалитета је однос ОК делова и произведених делова (слика 12).

$$Quality\ Rate = 1 - \frac{NOK + NOK\ Rework}{Produced\ Parts}$$

or

$$Quality\ Rate = \frac{OK}{Produced\ Parts}$$



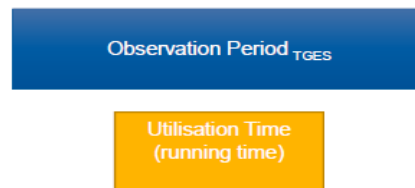
Слика 12 Графички приказ QR



- **EU** – Искоришћеност опреме (*Equipment Utilization*)

Искоришћеност опреме описује процентуално коришћење машине у посматраном периоду (слика 13).

$$\text{Equipment Utilisation} = \frac{\text{Utilisation Time}}{\text{Observation Period}} = \frac{T_B}{T_{GES}}$$



Слика 13 Графички приказ EU

- **TEEP** - Укупна ефективна продуктивност опреме-(Total effective equipment productivity)

$$\text{TEEP} = \text{OEE} * \text{EU}$$

TEEP је производ КПИ-а ОЕЕ и EU. Ниска вредност ОЕЕ или ниска вредност EU негативно утиче на TEEP.