

Uloga e-održavanja u poslovanju poduzeća

Milan Davidović

Visoka škola za informacijske tehnologije, Zagreb, Hrvatska
milan.davidovic@vsite.hr

Sažetak - Uvođenjem e-održavanja funkcija održavanja osnovnih sredstava poduzeća pretvara se iz troškovnog u investicijski centar, a u poduzećima koja se bave proizvodnjom opreme u sve značajniji poslijeprodajni profitni centar. U radu su analizirane osnovne pretpostavke za takvu promjenu poslovnog modela poduzeća – izgradnja informacijske i komunikacijske infrastrukture e-održavanja te integracija sustava e-održavanja sa sustavima e-proizvodnje i e-poslovanja.

Ključne riječi - e-održavanje, održavanje po stanju, CBM, centri odgovornosti, ERP

I. UVOD

Termin **e-maintenance**, koji se može prevesti kao **e-održavanje** [1], pojavio se početkom dvadesetog stoljeća u stručnim i znanstvenim radovima koji su se bavili primjenom informacijskih i komunikacijskih tehnologija na području održavanja, reduciranjem gubitaka zbog prekida proizvodnje izazvanih kvarovima opreme te povećanjem konkurentnosti poduzeća na temelju rasta produktivnosti, učinkovitosti i kvalitete održavanja [2].

U znanstvenoj i stručnoj literaturi koriste se različite definicije **e-održavanja** (engl. e-maintenance), ovisno o pristupu autora razvoju sustava održavanja kao podsustava e-proizvodnje i e-poslovanja koji realizira određenu koncepciju i strategiju održavanja. Koncepcija održavanja utvrđuje se ovisno o utjecaju održavanja na proces proizvodnje i poslovanje poduzeća. U skladu s tim, koncepcija održavanja može biti usredotočena na pouzdanost, produktivnost (maksimalnu učinkovitost strojeva i druge opreme za proizvodnju) ili kvalitetu procesa održavanja i svih njegovih komponenata.

U ovom radu **e-održavanje** definira se kao sustav koji obuhvaća informacijsku i komunikacijsku infrastrukturu te modele, metode i metodologije za kontinuirano poboljšavanje performansi procesa održavanja i održanih sustava (objekata održavanja). E-održavanje je informacijski sustav **održavanja po stanju** (engl. Condition-Based Maintenance, CBM) koji djeluje u stvarnom vremenu i koristi široku paletu aplikativnih programa i holističke procese planiranja koji omogućuju integraciju tehničkih i poslovnih sustava. Sustav e-održavanja može podržavati i druge strategije održavanja kao što su korektivno održavanje, plansko preventivno održavanje ili održavanje usredotočeno na pouzdanost ili održavanje potpune kvalitete. Međutim, sustav koji ne podržava CBM ne smatra se sustavom e-održavanja [1].

U ovom radu analizira se uloga e-održavanja u poslovanju poduzeća polazeći od mjesta održavanja u

lancu vrijednosti poduzeća i njegovog utjecaja na profitabilnost poslovanja poduzeća i kvalitetu proizvoda (poglavlje II). Funkcija održavanja promatra se kao centar odgovornosti koji djeluje kao troškovni, prihodni ili profitni centar. Uspostavljanjem sustava e-održavanja funkcija održavanja postaje investicijski centar jer može kontinuirano smanjivati udio troškova održavanja u cijeni proizvoda i usluga zahvaljujući praćenju stanja objekata održavanja u stvarnom vremenu i pravovremenom poduzimanju preventivnih akcija na temelju dijagnosticanja i prognoziranja kvarova i zatajenja te sprječavanja neplaniranih prekida procesa proizvodnje i drugih nesukladnosti. Uvođenjem e-održavanja mijenja se, dakle, poslovni model funkcije održavanja iz troškovnog u investicijski ili profitni centar koji podržava rast profitabilnosti poslovanja poduzeća stvaranjem nove dodane vrijednosti. Tom investicijom mijenjaju se tehnološka osnovica, organizacija i metode održavanja te uspostavlja efikasnije upravljanje znanjem o procesima i objektima održavanja [1].

U poglavlju III je opisano djelovanje sustava e-održavanja i njegov utjecaj na poslovanje poduzeća. e-održavanje je nova paradigma održavanja i koncept razvoja poslovnih procesa e-održavanja, organizacije e-održavanja, usluga te podatkovne arhitekture i IT infrastrukture e-održavanja [3]. U radu su opisane:

- osnovne funkcije e-održavanja (v. III.A),
- arhitektura sustava e-održavanja (v. III.B) i
- arhitektura sustava e-održavanja u računalnom oblaku (v. III.C).

e-održavanje se razvija kao potpora različitim koncepcijama, strategijama i aktivnostima održavanja te upravljanja dokumentacijom održavanja [4] u skladu sa standardima HR EN 13306:2017 [5], ISO 13374-2:2007 [6] i ISO 17359:2001 [7].

Integracijom sustava e-održavanja sa sustavima e-proizvodnje i e-poslovanja stvara se jedinstvena IT infrastruktura poduzeća koja podržava stalni rast profitabilnosti poslovanja poduzeća kroz bolje upravljanje resursima i učinkovito ostvarivanje ciljeva proizvodnje izvedenih iz ciljeva poslovanja poduzeća (v. III.D). Pri tom treba naglasiti da se koncept e-održavanja razlikuje od koncepta integracije upravljanja održavanjem u sustav upravljanja resursima poduzeća (engl. Enterprise Resource Planning, ERP) u kojem se održavanje još uvijek promatra kao troškovni centar proizvodnje. U skladu s tim je naglašeno kako je zadaća održavanja kao investicijskog centra kontinuirano poboljšavanje procesa održavanja, tako što svaka inovacija donosi novu dodanu vrijednost u lancu vrijednosti poduzeća i povećava profitabilnost poslovanja (v. III.E).

II. ODRŽAVANJE KAO CENTAR ODGOVORNOSTI

A. Mjesto održavanja u lancu vrijednosti poduzeća

Održavanje (engl. maintenance) je proces koji izravno utječe na kontinuitet proizvodnje i poslovanja poduzeća. Kao poslovna funkcija i organizacijska jedinica poduzeća (sektor ili služba) održavanje je **centar odgovornosti** (engl. responsibility center) za troškove i prihode, ovisno o njegovom mjestu u lancu vrijednosti poduzeća (engl. value chain) – v. sliku 1.

Osnovna pretpostavka za kontinuitet proizvodnje i poslovanja je da su strojevi i druga tehnička sredstva za proizvodnju operativna. Njihov **kvar** (engl. fault) uzrokuje prekid proizvodnje ili smanjenje kapaciteta proizvodnje što ima za posljedicu gubitak prihoda i dobiti. Zbog toga se održavanje organizira kao poslovna funkcija koja treba osigurati što dulje vrijeme ispravnog rada opreme za proizvodnju. Služba održavanja organizira akcije korektivnog i preventivnog održavanja, tako da bude raspoloživost proizvodnih kapaciteta što veća.

Ključni indikatori uspješnosti poslovanja (engl. key performance indicator, KPI) funkcije održavanja u industrijskom poduzeću su pouzdanost i raspoloživost objekata održavanja te troškovi njihovog održavanja. Funkcija održavanja organizira se kao **troškovni centar** (engl. cost center), jer održavanje angažira značajne resurse poduzeća, a troškovi održavanja i gubici zbog prekida proizvodnje i poslovanja izravno utječu na profitabilnost poslovanja poduzeća.

Profitabilnost poslovanja povećava se smanjenjem troškova održavanja:

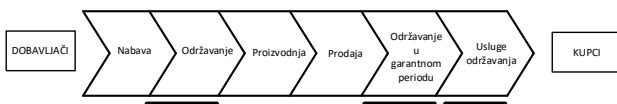
- izmještanjem službe održavanja (korištenjem vanjskih usluga održavanja proizvođača opreme i njegovih ovlaštenih servisa) ili
- pretvorbom funkcije održavanja iz troškovnog centra u **investicijski centar** (engl. investment center).

Održavanje proizvoda u garantnom periodu organizira se kao troškovni centar proizvodnje, a obavljanje usluga održavanja kao **prihodni centar** (engl. revenue center) ili **profitni centar** (engl. profit center) – v. sliku 1. Indikatori uspješnosti poslovanja ovih centara odgovornosti su ostvareni prihod, odnosno ostvarena dobit.

B. Pretvorba održavanja u investicijski i profitni centar

Funkcija održavanja je kao investicijski centar odgovorna za investicijska ulaganja u poboljšavanje performansi procesa održavanja kojima se:

- smanjuju troškovi održavanja,
- smanjuju gubici zbog kvarova i zatajenja,



Slika 1. Mjesto održavanja u lancu vrijednosti industrijskog poduzeća

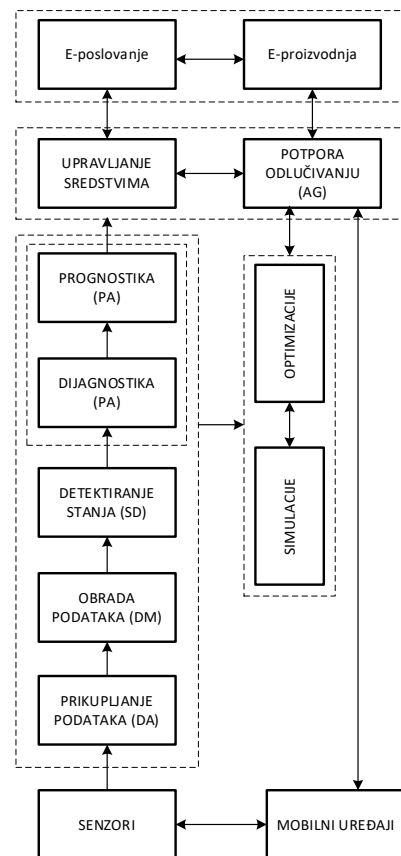
- povećavaju prihodi zbog bolje iskorištenosti proizvodnih kapaciteta i veće učinkovitosti objekata održavanja (bez promjene njihovog dizajna koji je intelektualno vlasništvo proizvođača opreme).

Uvođenjem e-održavanja funkcija održavanja postaje investicijski centar. To je investicija u proces održavanja kojom se uvode sljedeća poboljšanja:

- detektiranje stanja objekata održavanja u stvarnom vremenu,
- primjena učinkovitih postupaka i sustava za dijagnostiku i prognostiku, analizu kvarova i zatajenja te analizu pouzdanosti i raspoloživosti objekata održavanja,
- preveniranje kvarova i zatajenja,
- povećanje djelatnosti službe održavanja te
- korištenje simulacija, optimizacija i ekspertnih sustava za povećanje djelatnosti i učinkovitosti menadžmenta održavanja.

Proizvođači opreme pretvaraju organizaciju usluga održavanja opreme iz prihodnog centra postprodaje u učinkovit profitni centar korištenjem e-održavanja (na primjer, e-održavanje Cannonovih printera [8]).

Održavatelji, kojima je osnovna djelatnost pružanje usluga održavanja opreme, mogu primjenom e-održavanja unaprijediti profitabilnost svog poslovanja i organizirati profitne i investicijske centre po korisnicima usluga ili po vrsti opreme ne zadirući u prava intelektualnog vlasništva proizvođača opreme.



Slika 2. Sustav e-održavanja

III. DJELOVANJE SUSTAVA E-ODRŽAVANJA

A. Funkcije e-održavanja

e-održavanje je informacijski sustav koji podržava **održavanje po stanju** (engl. Condition-Based Maintenance) i na njemu zasnovano planiranje, izvođenje, kontrolu i analizu provedbe korektivnih i preventivnih akcija održavanja (e-operacije), što uključuje i planiranje potrebnih resursa, sve to uz minimalan utjecaj akcija održavanja na kontinuitet proizvodnje i poslovanja zahvaljujući povezivanju sustava e-održavanja sa sustavima e-proizvodnje i e-poslovanja.

Osnovne funkcije e-održavanja su (slika 2) [2][6]:

- prikupljanje podataka o stanju objekata održavanja i njihovog utjecaja na okoliš (DA - Data Acquisition),
- obrada prikupljenih podataka (DM - Data Manipulation),
- detektiranje stanja objekata održavanja (SD – State Detection),
- dijagnostika stanja objekata održavanja (HA – Health Assessment),
- prognoza stanja objekata održavanja (PA - Prognostic Assessment) i
- potpora odlučivanju (AG – Advisory Generation).

Ove funkcije realiziraju istoimeni funkcionalni blokovi u skladu sa specifikacijama CBM sustava utvrđenim u standardu ISO 13374 -2 [6].

B. Arhitektura sustava e-održavanja

Sustav e-održavanja ima šest funkcionalnih blokova (podsustava) koji su povezani kao na slici 2 [3]. Sučelja među blokovima određuje standard ISO 13374 -2 [6][7].

Podsustav za prikupljanje podataka DA realizira se kao mreža senzora i mobilnih uređaja za prikupljanje podataka o objektima održavanja i njihovoj lokaciji, stanju objekata održavanja, stanju u njihovoj radnoj okolini i aktivnostima korektivnog i preventivnog održavanja. Analogni i digitalni podaci prikupljeni u stvarnom vremenu te podaci ručno unijeti preko mobilnih uređaja spremaju se u bazu podataka sustava e-održavanja. Analogni podaci se digitaliziraju prije spremanja u bazu. Svim prikupljenim podacima dodaje se vrijeme i indikator kvalitete. Prikupljeni podaci se kaskadiraju i šalju u podsustav za obradu DM. Uspostavljanje podsustava prikupljanja podataka je ključni faktor uspjeha e-održavanja [9].

Podsustav za obradu DM obrađuje prikupljene podatke po objektima održavanja i redoslijedu pristizanja, te izlučuje i selektira deskriptore za proces nadzora i dijagnostike. Podsustav DM šalje kaskadirane podatke u podsustav za detektiranje stanja operativnosti objekata održavanja SD.

Podsustav za detektiranje stanja SD na temelju sadašnjih i povijesnih kaskadiranih podataka utvrđuje stanje funkcija objekata održavanja te po potrebi generira alarm. Kaskadirani sadašnji i povijesni podaci dalje se obrađuju u podsustavu za dijagnostiku HA.

Podsustav za dijagnostiku HA utvrđuje stanje operativnosti objekata održavanja i dijagnosticira **kvar** (engl. fault) kao stanje neoperativnosti, odnosno prepoznaje **zatajenje** (engl. failure) kao odstupanje funkcije objekata održavanja koje je veće od dopuštenog. Na temelju dijagnosticiranog stanja neoperativnosti sustav HA utvrđuje korektivne akcije za otklanjanje zatajenja, odnosno kvara, stupanj hitnosti njihove provedbe i preporuke za operativno planiranje održavanja.

Podsustav za prognostiku PA prognozira buduće stanje operativnog objekata održavanja, procjenjuje preostalo pogonsko vrijeme i prognozira vrijeme zatajenja i pojave kritičnog kvara (kvara zbog kojeg mogu biti ugroženi okoliš i sigurnost ljudi i imovine) te određuje stupanj hitnosti preporučenih korektivnih i preventivnih akcija s neophodnim obrazloženjem.

Podsustav potpore odlučivanju AG integrira informacije iz ostalih modula i korištenjem postupaka simulacije i metoda optimizacije utvrđuje operacije koje treba provesti, uvažavajući vanjska ograničenja kao što su raspoloživost resursa i plan proizvodnje. Izbor optimalnih operacija i njihov redoslijed temelji se na unaprijed utvrđenim scenarijima koji se kontinuirano poboljšavaju. Ovaj sustav održava komunikaciju s osobljem održavanja na terenu koje izvršava radne naloge operativnog menadžmenta održavanja.

Podsustavi DM, SD, HM i PA koriste **duboko učenje** (engl. Deep Learning) kao osnovni alat **umjetne inteligencije** (engl. Artificial Intelligence) za razvoj i stalno poboljšavanje modela pouzdanosti i održavanja na temelju kojih se u podsustavu odlučivanja AG oblikuju strategija održavanja, planovi korektivnog i preventivnog održavanja te potrebna poboljšanja procesa održavanja. Korištenjem podsustava AG prati se provedba operacija, planova i strategije održavanja te efekti ulaganja u poboljšanje procesa održavanja i indikatori uspješnosti funkcije održavanja.

C. E-održavanje u računalnom oblaku

Veliki korisnici kao što je željeznica razvijaju sustav e-održavanja u (privatnom) računalnom oblaku ([10]-[12]). Razvoj vlastitog sustava e-održavanja je skup investicijski pothvat za male i srednje tvrtke, tako da je realno očekivati razvoj sustava e-održavanja u javnom računalnom oblaku i korištenje njihovih usluga. Sustav e-održavanja u računalnom oblaku ima četiri sloja usluga:

- Aplikacije e-održavanja (SaaS – Software as a Service),
- Platforme (PaaS – Platform as a Service),
- Infrastruktura (IaaS – Infrastructure as a Service) i
- Korisnički sloj MBaaS (engl. *MBaaS - Mobile Backend as a Service*).

Aplikacijski sloj e-održavanja u računalnom oblaku (engl. e-maintenance cloud) treba prema ISO 13374-2, imati šest funkcionalnih blokova ili podsustava (slika 2):

- Razina 6 - AG Potpora odlučivanju
- Razina 5 - PA Prognostika
- Razina 4 - HA Dijagnostika
- Razina 3 - SD Detektiranje stanja
- Razina 2 - DM Obrada podataka
- Razina 1 - DA Prikupljanje podataka.

Korisnički sloj MBaaS obuhvaća Web pretraživače i programsku podršku za dlanovnike, tablete, prijenosna i ručna računala, RFID čitače, emulatore terminala, mobilne aplikacije i druge usluge potrebne za komunikaciju korisnika s njegovim sustavom e-održavanja u računalnom oblaku.

Pružatelji usluga u računalnom oblaku omogućuju korištenje različitih operacijskih sustava, okruženje za razvoj i dogradnju aplikacijskog sustava, web servere i okruženje za openWeb i druge aplikacije e-održavanja (sloj PaaS), te korištenje servera, diskova i mrežnu opremu za pogon aplikacija e-održavanja (sloj IaaS). Korištenje usluga u javnom računalnom oblaku mogu se smanjiti troškovi razvoja i pogona sustava e-održavanja, što je prilika za mala i srednja poduzeća.

D. Integracija sustava e-održavanja, e-proizvodnje i e-poslovanja

Sustav e-proizvodnje razvija se kao podrška upravljanju proizvodnjom bez neplaniranih zastoja, što uključuje i prekide proizvodnje zbog kvarova i zatajenja ili preventivnog održavanja strojeva i drugih tehničkih sredstava u procesu proizvodnje. U skladu s tim se sustav e-održavanja razvija kao podsustav sustava e-proizvodnje koji je integriran sa sustavom e-poslovanja koji treba omogućiti zadovoljavanje rastuće potražnje proizvoda kroz sustave upravljanja opskrbnim lancem (engl. Supply Management System, SCM), upravljanja resursima poduzeća (engl. Enterprise Resource Planning, ERP) i upravljanja odnosima s kupcima (engl. Customer Relationship Management) [13]. Koncept sustava e-održavanja podržava koncept upravljanja poduzećima četvrte industrijske revolucije (engl. Industry 4.0) [14]. Štoviše, e-održavanje je pretpostavka za razvoj modernih industrijskih poduzeća.

U poduzećima sa zastarjelom tehnologijom korištenjem IKT infrastrukture e-održavanja može se uspostaviti sustav nadzora proizvodnje u stvarnom vremenu kojim se osigurava specificirana kvaliteta proizvoda i ostvarivanje plana proizvodnje bez neplaniranih prekida proizvodnje izazvanih kvarovima i zatajenjima opreme koja je objekt održavanja.

E. Utjecaj inovacija e-održavanja na poslovanje

e-održavanje uključuje resurse, usluge i menadžment za realizaciju proaktivnih odluka [15]. Ključno pitanje upravljanja razvojem održavanja je kako implementirati napredne informacijske i komunikacijske tehnologije u proces održavanja i postojeću infrastrukturu proizvodnje i poslovanja, koje uštede donosi e-održavanje i uz koja investicijska ulaganja [16].

Za svaku inovaciju procesa održavanja treba provesti analizu troškova i dobiti (engl. cost-benefit analysis, CBA) ne samo sa stanovišta funkcije održavanja, već i sa stanovišta utjecaja tih inovacija na proizvodnju i poslovanje poduzeća. Analize postojećeg (AsIs) i budućeg stanja (ToBe) i jaza između njih (engl. Gap Analysis) te upravljanje promjenama (engl. Change Management) neophodni su za uspješno uvođenje i korištenje novih usluga održavanja.

Svaka inovacija treba rezultirati određenim opipljivim i neopipljivim vrijednostima. **Opipljive vrijednosti**

(engl. tangible values) su povećanje učinkovitosti i djelotvornosti održavanja i proizvodnje. **Neopipljive vrijednosti** (engl. intangible values) mogu biti zadovoljstvo korisnika, kvaliteta informacija, ugled i poštovanje pravne i tehničke legislative [16].

Indikatori uspješnosti poslovanja funkcije održavanja kao investicijskog centra su pouzdanost i raspoloživost objekata održavanja, troškovi održavanja i **povrat ulaganja** iskazan s internom stopom rentabilnosti projekata poboljšanja održavanja (engl. return on investment, ROI). Pri tom pouzdanost strojeva i drugih tehničkih sredstava za proizvodnju treba promatrati kao pokazatelj trajnosti njihove kvalitete i održavanja kvalitete proizvoda u specificiranim granicama. Povećanje njihove operativne raspoloživosti pak treba vrednovati na temelju efekata boljeg iskorištavanja njihove učinkovitosti i djelotvornosti. Uspješnost poslovanja funkcije održavanja može se opisati s 134 ključnih indikatora [17].

IV. ZAKLJUČAK

Funkcija održavanja uspostavlja se kao troškovni centar proizvodnje zbog visokog udjela indirektnih troškova održavanja u cijeni proizvoda i gubitaka izazvanih prekidima proizvodnje i slabije kvalitete proizvoda, koji nastaju zbog kvarova i zatajenja strojeva i druge proizvodne opreme. U poduzećima za proizvodnju opreme održavanje u garantnom periodu može se također organizirati kao troškovni centar proizvodnje, dok održavatelji opreme usluge održavanja organiziraju kao prihodni ili profitni centar. Tek uvođenjem e-održavanja funkcija održavanja može postati investicijski centar čija je glavna zadaća inoviranje procesa održavanja te povećanje pouzdanosti i raspoloživosti proizvodnih sredstava. Uvođenjem e-održavanja povećava se profitabilnost poslovanja poduzeća i smanjuje udio troškova održavanja u cijeni proizvoda sprječavanjem neplaniranih prekida proizvodnje i narušavanja kvalitete proizvoda praćenjem stanja objekata održavanja u realnom vremenu, detekcijom i prognoziranjem njihovih zatajenja te provedbom preventivnih akcija uz minimalno trajanje prekida proizvodnje.

e-održavanje je koncept, razvojni okvir i nova paradigma održavanja koja omogućuje kontinuirano poboljšavanje performansi procesa održavanja i objekata održavanja. Razvija se kao informacijski sustav održavanja koji djeluje u stvarnom vremenu, samostalno ili kao podsustav e-proizvodnje. S podsustavom e-poslovanja može se integrirati izravno ili preko sustava e-proizvodnje, ovisno o strategiji razvoja IT infrastrukture i integriranog informacijskog sustava. Mala i srednja poduzeća mogu se osloniti na sustave e-održavanja u računalnom oblaku proizvođača opreme ili na usluge javnog računalnog oblaka.

Uvođenjem e-održavanja mijenja se poslovni model funkcije održavanja koja postaje investicijski centar koji je odgovoran (i nadležan) za kontinuirano poboljšavanje procesa održavanja i rentabilnost investicija kojima se povećava pouzdanost i raspoloživost objekata održavanja uz istovremeno smanjivanje udjela troškova održavanja u cijeni proizvoda.

LITERATURA

- [1] M. Buković, M. Davidović: „Strategije održavanja i e-održavanje“, 22. međunarodno savjetovanje HDO „ODRŽAVANJE 2016“, Šibenik, 2016.
- [2] B. Iung, E. Lovrat, A. Crespo-Martquez, H. Erbe: „E-maintenance: Principles, Review and Conceptual Framework“, IFAC Proceedings Volumes, Vol. 40, Issue, Pg 18-29, 2007.
- [3] I. Britvić, D. Bužić, M. Davidović: „E-održavanje i informacijske i komunikacijske tehnologije“, 22. međunarodno savjetovanje HDO „ODRŽAVANJE 2016“, Šibenik, 2016.
- [4] A. Crespo-Marquez, B. Iung: „A review of e-maintenance capabilities and challenges“, Systemics, Cybernetics and Informatics, vol. 6, Number 1, ISSN 1690-4524, 2008.
- [5] HR EN 13306:2017 Nazivlje u održavanju (Maintenance terminology), 2017.
- [6] ISO 13374-2:2007 “Condition monitoring and diagnostics of machines - Data processing, communication and presentation, Part 2: Data processing”, 2017.
- [7] ISO 17359:2018 “Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines”, 2018.
- [8] https://www.canon-europe.com/for_work/solutions/solutions/office_software/emaintenance/, pristupljeno 8.2.2021.
- [9] S. Bojanić, M. Davidović, K. Vrančić: “Razvoj inteligentnih terminalskih uređaja za e-održavanje”, 22. međunarodno savjetovanje HDO „ODRŽAVANJE 2016“, Šibenik, 2016.
- [10] R. Kour, R. Karim, A. Parida: “Cloud Computing for Maintenance Performance Improvement”, Proceedings of ICIE 2013.
- [11] R. Karim, W. Birk, P. Larson_Kraik: “Cloud based e-maintenance solutions for condition-based maintenance of wheels in heavy haul operation”, IHHA 2015 Conference, Perth, Australia, 21. – 24. June, 2015.
- [12] R. Kour, P. Tretten, R. Karim: “eMaintenance solution through online data analysis for railway maintenance decision-making”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 20 Iss 3 pp. 262 – 275, 2014.
- [13] M. Koc, J. Ni, J. Lee, P. Bandyoadhyay: “Introducing to e-Manufacturing”, The Industrial Information Technology Handbook, ISBN 9780849319853, Published November 29, 2004 by CRC Press
- [14] S. Gallego Garcia, M. Garella Garcia: “Industry 4.0 implications in production and maintenance management”, 8th Manufacturing Engineering Society International Conference 2019, MESIC 2019, 19-21 June 2019, Madrid Spain
- [15] A. Muller, A. Crespo Marquez, B. Iung: “On the concept of e-maintenance: Review and current research”, Reliability Engineering and System Safety, 92(8), 1165-1187, 2008.
- [16] M. Macchi, L. Barbera Martinez, A. Crespo Marquez, M. Holgado Granados, L. Fomagolli: “Value assessment of an E-maintenance platform”, 2nd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Service and Technology, Universidad de Sevilla, Sevilla, Span. Nov. 22-23, 2012.
- [17] E. Saari: “KPI framework for maintenance management through eMaintenance; Development, implementation, assessment, and optimization”, ISSN 1402-1544, Printed by Luleå University of Technology, Graphic Production 201