

Panon – Institut za strateške studije - Osijek
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija - Osijek
Građevinski i arhitektonski fakultet - Osijek
Centar kompetencija d.o.o. za istraživanje i razvoj - Vinkovci

Panon – Think tank for strategic studies - Osijek
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology - Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture - Osijek
Competence Centre Ltd. for research and development - Vinkovci

29. Međunarodni znanstveni skup 'ORGANIZACIJA I TEHNOLOGIJA ODRŽAVANJA' OTO 2020.

Zbornik radova – knjiga 1

29th International Scientific Conference 'ORGANIZATION AND MAINTENANCE TECHNOLOGY' OTO 2020

Conference Proceedings - book 1

Osijek, 2020.

Izdavač / Publisher

Panon – Institut za strateške studije, Osijek / *Panon Think tank for strategic studies, Osijek*
<https://www.panon.eu>

Mjesto i datum održavanja konferencije / Venue and date of the conference

Osijek (Croatia), 12.12. 2020.

Organizacijski odbor / Organizing Board

Davor Vić, dipl. ing. građ. – predsjednik / *Chairman*

dr. sc. Milan Ivanović

dr.sc. Zlatko Lacković

izv. prof. dr. sc Tomislav Keser

mr.sc. Tatjana Mijušković-Svetinović

mr.sc. Držislav Vidaković

Portal konferencije / Conference Web

<https://oto2020.panon.eu/>

Službeni jezici / Official Languages

Službeni jezici konferencije su hrvatski i engleski.

The official languages of the conference are Croatian and English.

Uredništvo / Editorial Board

izv. prof. dr .sc. Mirko Karakašić - glavni urednik

mr. sc. Držislav Vidaković - tehnički urednik

doc. dr.sc. Krešimir Fekete

izv. prof. dr. sc. Damir Blažević

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

Grafička oprema / Design and layout

Alberta naklada - Osijek

Tisak / Printed by

Skripta d.o.o. - Osijek

Naklada / Issue: 100

ISSN 2706-4131

Kontakt / Contact

e-mail: panon.institut@gmail.com

Zbornik radova sadrži radove koji su prošli neovisne recenzije. Organizator konferencije nije ulazio u načine izražavanja te oni predstavljaju stavove i stil autora.

Each paper in the conference proceedings was reviewed by independent reviewers. The content of the conference proceedings does not reflect the official opinion of the conference organizers. Responsibility for the information and views expressed in the papers lies entirely with the respective author(s).

Međunarodni programski odbor / *International Programme Committee*

(Prema abecednom redu prezimena / *List in alphabetical order*)

prof. emer. dr. sc. Safet Brdarević (BiH)
prof. dr. sc. Eleonora Desnica (Serbia)
prof. dr. sc. György Elmer (Hungary)
izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš (Croatia)
prof. dr. sc. Lajos Jozsa (Hungary)
doc. dr. sc. Svilen Radoslavov Račev (Bulgaria)
izv. prof. dr. sc. Ljiljana Radovanović (Serbia)
prof. dr. sc. Tihomil Rausnitz (Germany)
doc. dr. sc. Nataša Šuman (Slovenia)
izv. prof. dr. sc. Damir Varevac (Croatia)
prof. dr. sc. Drago Žagar (Croatia)

Znanstveni odbor / *Scientific Committee*

(Prema abecednom redu prezimena / *List in alphabetical order*)

izv. prof. dr. sc. Naida Ademović (BiH)
dr. sc. Ivan Ambroš (Croatia)
doc. dr. sc. Josip Cumin (Croatia)
doc. dr. sc. Josip Balen (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Tomislav Barić (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Damir Blažević (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Mirjana Bošnjak-Klečina (Croatia)
doc. dr. sc. Tihomir Dokšanović (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Irena Galić (Croatia)
dr. sc. Ivan Grgić (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić (Croatia)
ak. prof. dr. sc. Zijad Haznadar (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Marijana Hadzima-Nyarko (Croatia)
dr. sc. Ivana Hartmann Tolić (Croatia)
prof. dr. sc. Željko Hocenski (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Aleksandar Jurić (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Josip Job (Croatia)
prof. dr. sc. Isak Karabegović (BiH)
doc. dr. sc. Mirko Köhler (Croatia)
doc. dr. sc. Goran Knežević (Croatia)
doc. dr. sc. Krešimir Lacković (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Časlav Livada (Croatia)
doc. dr. sc. Ivica Lukić (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Predrag Marić (Croatia)
doc. dr. sc. Emmanuel Karlo Nyarko (Croatia)
doc. dr. sc. Barbara Pisker (Croatia)
doc. dr. sc. Mirjana Radman-Funarić (Croatia)
prof. dr. sc. Mirsad Raščić (BiH)
doc. dr. sc. Goran Rozing (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Sebastijan Seme (Slovenia)
izv. prof. dr. sc. Marinko Stojkov (Croatia)
prof. dr. sc. Damir Šljivac (Croatia)
izv. prof. dr. sc. Marija Šperac (Croatia)
prof. dr. sc. Andrej Štrukelj (Slovenia)
ak. prof. dr. sc. Božo Udovičić (Croatia)
dr. sc. Bruno Zorić (Croatia)

Contents

| | |
|---|-----|
| 1. Optimizing the Mass of the Structure Using the Response Surface Method | 1 |
| Mirko Karakašić, Dalibor Perković, Ivan Grgić, Hrvoje Glavaš | |
| 2. Design of the Auxiliary Equipment and Tool for the Overhaul of Mining Machines | 9 |
| Eleonora Desnica, Vladimir Jakovljević, Mića Đurđev, Ivan Palinkaš | |
| 3. Use of Modern Diagnostic Methods to Identify Gear Pump Failures | 15 |
| Borivoj Novaković, Ljiljana Radovanović, Darko Žikić, Jasmina Pekez, Luka Đorđević | |
| 4. Construction of 5t Hydraulic Workbench Press | 21 |
| Josip Cumin, Tomislav Marijanović, Hrvoje Glavaš | |
| 5. Voltage Regulation in Distribution Network Using Biomass Power Plants | 27 |
| Marina Dubravac, Krešimir Fekete, Ružica Kljajić, Robert Noskov | |
| 6. Assessment of the Condition of the Industrial Fan | 37 |
| Emir Đulić, Nermin Redžić, Vahid Redžić, Amel Karić | |
| 7. Thermal Resistance Measurement of Finned Heat Sinks | 43 |
| Marija Bivolčević Tomislav Barić | |
| 8. Integral Spatial Planning as a Prerequisite for Sustainable Planning of the Railway System within the Cities | 51 |
| Željka Jurković, Danijela Lovoković, Ivan Cingel | |
| 9. Green Infrastructure of Urban Areas - The City Center of Osijek - Case Study | 59 |
| Dina Stober, Filip Dogančić | |
| 10. Various Approaches in Identifying Buildings Deficiencies and Their Maintenance | 67 |
| Silva Lozančić | |
| 11. Maintenance of Site Roads | 73 |
| Sanja Dimter, Zlata Dolaček-Alduk, Martina Zagvozda | |
| 12. Analysis of Maintenance and Operation Costs of a Preschool Educational Institution | 81 |
| Hrvoje Krstić, Andrea Štefanac, Dino Obradović | |
| 13. Operation and Maintenance of Vacuum Sewer System | 89 |
| Tatjana Mijušković-Svetinović, Ivona Vareševac | |
| 14. A Comparison of MVVM and MVP Architectural Patterns in Android Application - a Warehouse Management System Case Study | 97 |
| Luka Omrcen, Martin Zagorščak, Mirko Köhler, Ivica Lukić | |
| 15. Data Management Level Structure and Maintenance in System for Actively On-Field Wood Moisture Content Monitoring | 103 |
| Tomislav Keser, Marko Božić, Hrvoje Radman, Marin Čereg | |

| | |
|---|-----|
| 16. Maintenance of LoRa Infrastructure in Densely Obstacle-Populated Application Areas | 111 |
| Tomislav Keser, Andi Bašić, Marko Božić, Hrvoje Radman | |
| 17. Physical Realization of Digital Google Calendar | 117 |
| David Turkalj, Robert Šojo, Ivan Aleksi | |
| 18. Maintenance of a TV Unit with LC Display | 125 |
| Dina Jukic, Tomislav Barić, Hrvoje Glavaš, Tin Kvesić | |
| 19. Application for Fat Calculation in Food as Assistance in VLCAD Deficiency | 133 |
| Filip Šangut, Marina Peko, Robert Šojo | |
| 20. Staying Active with Android Fitness Application | 137 |
| Tomislav Jukić, Mirko Mesić | |
| 21. Economic and Technological Efficiency and Effective Application of Smart Signalization and Illuminance For Pedestrian Crossings | 141 |
| Dominika Crnjac Milić, Ivica Čabraja, Marko Dumančić | |
| 22. Wireless Technologies of Wide and Open Areas | 151 |
| Ana Pejković, Josip Spišić, Matko Zrnić, Krešimir Grgić, Josip Balen | |
| 23. Development of Maintenance Strategies and Possibility of Application in Organizations of Construction Project Contractors | 157 |
| Držislav Vidaković, Aleksandar Jurić, Krešimir Pavelić, Vladimir Moser | |
| 24. Industrial Logistics on the Example of Organization of the Maintenance Sector In The Coal Mine Zenica | 167 |
| Emir Đulić, Tarik Karalić | |
| 25. Knowledge Society and Crisis of Development Policy in the Croatia | 173 |
| Milan Ivanović | |
| 26. Development of Derelict Areas of the Republic of Croatia - Contributions to Model Building | 181 |
| Milan Ivanović | |

RAZVOJ STRATEGIJA ODRŽAVANJA I MOGUĆNOST PRIMJENE U ORGANIZACIJAMA IZVOĐAČA GRAĐEVINSKIH PROJEKATA

Development of maintenance strategies and possibility of application in organizations of construction project contractors

Subject review

Držislav Vidaković, Aleksandar Jurić, Krešimir Pavelić, Vladimir Moser

Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, Hrvatska
E-mail: dvidak@gfos.hr

Sažetak

U radu su pojašnjeni zahtjevi koje održavanje općenito treba ispuniti i dan je sažeti pregled karakteristika preventivnog održavanja, održavanja na temelju vremena, održavanja temeljenog na stanju te održavanja usmjerenog na pouzdanost (rizike) i integriranog produktivnog održavanja (tzv. strategije održavanja 4. generacije). Istaknute su specifične karakteristike radova na izvedbi građevinskih projekata i, obzirom na to, izvedeni su zaključci o pogodnostima pristupa i metodologija održavanja za radnu opremu (strojeve, oplata i dr.) izvođača građevinskih projekata.

Ključne riječi: Strategija održavanja, Troškovi, Upravljanje, Građevinski izvođači, Radna oprema, Informatizacija

Abstract

The paper clarifies the requirements that maintenance should generally meet and provides a summary of the characteristics of Preventive maintenance, Time-based maintenance, Condition-based maintenance and Reliability (Risk) centered maintenance and Total productive maintenance (called 4th generation maintenance strategies). The specific characteristics of works on the realization of construction projects are highlighted and, given that, conclusions are drawn on the benefits of access and maintenance methodologies for work equipment (machines, formwork, etc.) of construction contractors.

Keywords: Maintenance Strategy, Costs, Management, Construction contractors, Work equipment, Informatization

1. Uvod

Održavanje se najjednostavnije može definirati kao upravljanje kvarovima [1]. Uz snižavanje sveukupnih troškova, održavanje radne opreme i tehničkih sustava usmjereno je na [2]:

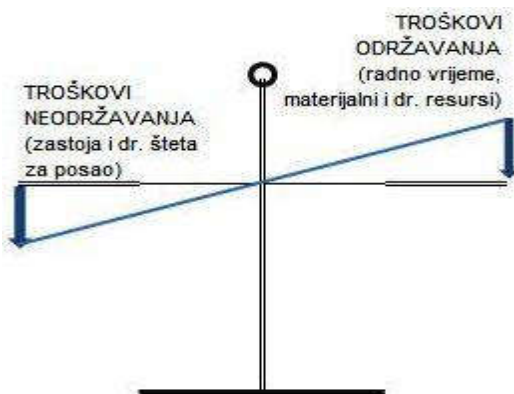
- očuvanje funkcije i veću raspoloživost i pouzdanost funkcioniranja sustava/opreme,
- očuvanje ili povećanje produktivnosti,
- smanjenje greški - proizvoda s nedostatkom, tj. povećanje kvaliteta proizvoda ili usluga,
- zadovoljavajuću sigurnost zaposlenih i drugih osoba te očuvanje okoline.

Zbog jedinstvenosti za svaki pojedini sustav, na održavanje se može gledati kao na projekt (u čijem razvoju postoje faze koncipiranja, definiranja, izgradnje s implementacijom te uporabe s prilagodbama i konstantnim usavršavanjem). No, danas se na održavanje uglavnom gleda kao na proces, koji provodi služba, tj. podsustav održavanja u organizaciji.

Za analizu isplativosti i izbor odgovarajuće strategije održavanja, potrebno je dati odgovor na sljedeća pitanja [1]:

- Koliko kvarova će se dogoditi?,
- Koje vrste kvarova će se dogoditi?,
- Kolika će biti učestalost kvarova?,
- Kako će se kvarovi detektirati?,
- Koliko će dugo sustav/oprema biti izvan funkcije u slučaju kvara?

Ulaganja u resurse za održavanje i troškovi provođenja održavanja (što može biti velik iznos u odnosu na nabavnu cijenu sustava koji se održava) trebaju biti u ravnoteži, odnosno manji od troškova mogućih zastoja zbog neraspoloživosti resursa i neobavljanja aktivnosti održavanja. To prikazuje sl. 1.



Slika 1. Odnos troškova održavanja i neodržavanja – pogodno je kada troškovi neodržavanja pretežu

Prema mišljenju stručnjaka, čak do 35 % troškova građevinskih strojeva treba usmjeriti na održavanje i popravke [3] jer uštede lošim ili nedostatnim održavanjem mogu biti samo kratkoročne, obzirom da dovode do lošeg tehničkog stanja stroja i onda s tim dugotrajnijih zastoja u radu zbog kvarova, smanjenja učinka, niže kvalitete rada, većeg rizika od ozljeda i ekoloških nesreća te dr. negativnih posljedica [4].

2. Razvoj strategija održavanja

Dugo vremena održavanje je bilo samo pasivno, odnosno gotovo isključivo orijentirano na otklanjanje nastalih kvarova. To se smatra tradicionalnim održavanjem, a danas se tradicionalnim smatra i preventivno djelovanje ako je primarno usmjereno na neposredne i kratkoročne ciljeve. Kod reaktivnog djelovanja dolazi do dugotrajnijih, neplaniranih zastoja i prekomjernog oštećivanja radne opreme, što dovodi do velikih troškova i niske razine pouzdanosti u obavljanju posla.

Iako se nakon Drugog svjetskog rata održavanje u tvrtkama formiralo kao pomoćna služba (na niskoj organizacijskoj razini i većinom bez visokoobrazovanih djelatnika), na održavanje se još uvijek gledalo kao na "privjesak" proizvodnje [5]. Od sredine 20 st. razvija se znanstveni pristup održavanju, koji je doveo do prvih velikih programa preventivnog održavanja i postizanja puno boljih rezultata. U skladu s rastom očekivanja od održavanja, boljim razumijevanjem toga kako dolazi do kvarova i podizanjem razine uspješnosti održavanja, mijenja se funkcija održavanja, kao i upravljanje održavanjem [6], a isto i program, tj sistem nagrađivanja. Dok su kod reaktivnog održavanja novčane nagrade vezane za prekovremeni rad na otklanjanju iznenadnih otkaza i hitne poslove, kod plansko-preventivnog održavanja nagrađuju se oni koji posao obavljaju na vrijeme, po propi-

sanim, planiranim procedurama, tako da vrijedi pravilo da im je veća plaća što je manje otkaza radne opreme, odnosno manje rada u održavanju [7].

Suvremeni pristupi održavanju podrazumjevaju holistički pristup, dugoročno predviđanje i definiranje potrebnih aktivnosti održavanja, kako bi se otklonili uzroci kvarova da do njih ni ne dođe i ne bude otkaza. (Pod otkazima ovdje se misli na nezadovoljavajuće stanje tehničkog sustava ili radne opreme, koje može biti gubitak funkcija ili gubitak kvalitete.) U tablici 1 navedene su razlike osnovnih karakteristika tradicionalnog i suvremenog održavanja.

Tablica 1. Načelne razlike između tradicionalnog i suvremenog pristupa održavanju (prema [6, 8, 9])

| Karakterist. | Tradicionalno | Suvremeno |
|----------------------------|--------------------------------------|--|
| Orijentacija | - na popravke | - na pouzdanost |
| Prioritet kod pojave kvara | - popravak nastalih kvarova | - eliminacija uzroka kvarova |
| Koncept | - gašenje požara | - predviđanje, planiranje i definiranje aktivn. održavanja |
| Period planiranja | - kratak (ne zna se što je sljedeće) | - dugoročan |
| Udio planskih poslova | - nizak | - visok |
| Aktivnosti | - popravci | - unaprjeđenje (kontinuirano) |
| Stav - vjerovanje | - kvarovi su neizbježni | - kvarovi su samo izuzeci |
| Broj otkaza | - veliki | - mali (teži se nuli) |
| Potrebni rezerv. dijelovi | - mnogo | - minimalno |
| Pritužbe na kvalitet | - mnogo | - malo |
| Pouzdanosti | - niska | - visoka |
| Trošk. održavanja | - visoki | - niski |

Novije strategije održavanja, tzv. 4. generacija, nastale su na osnovu prethodnih, ali se bitno razlikuju odnosom prema ukupnim troškovima, pouzdanosti i riziku, pretpostavljaju veću povezanost između projektiranja i funkcioniranja opreme te puno više koriste informatičke tehnologije [10] npr. *Computerised Maintenance Management System*.

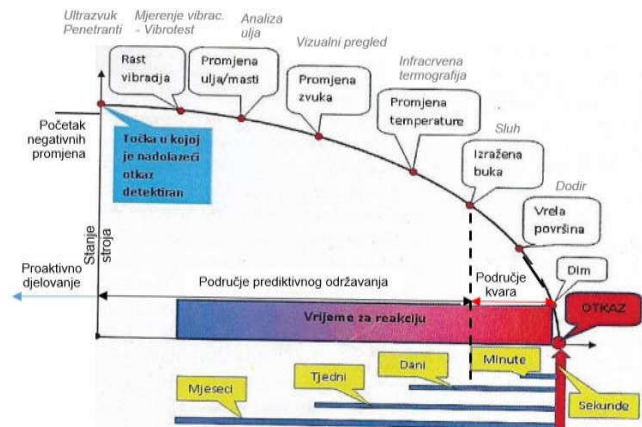
2.1. Preventivno i prediktivno održavanje

Preventivno održavanje (*Preventive maintenance* – PM) podrazumijeva fizičku provjeru opreme kako bi se spriječili kvarovi i produžio njen vijek trajanja. Ako je trošenje podjednako kada se radi i kada se ne radi, PM može biti temeljeno na vremenu (*Time Based Maintenance* – TBM) i onda se sastoji od aktivnosti koje se poduzimaju u ciklusima, nakon određenog vremenskog perioda (prema unaprijed definiranom vremenskom rasporedu). Ova vrsta održavanja ovisi o procijenjenom vijeku trajanja opreme, vremenu u kojem se može očekivati će se ona pokvariti ili da će se njene performanse znatno pogoršati (za to se koriste podaci proizvođača i korisnička iskustava). Preventivne aktivnosti na stroju, tj. radnoj opremi (npr. podmazivanje, čišćenje, zamjena dijelova, zatezanje, podešavanje itd.) mogu se poduzimati i nakon određenog broja sati rada, ostvarene količine rada stroja ili nakon određenog utroška kWh. Pri tome se također obavlja i pregledavanje radi otkrivanja znakova pogoršanja [11]. Za optimiziranje intervala zamjene dijelova i održavateljskih pregleda razvijen je veći broj matematičkih modela.

Podvrstom PM-a općenito se smatra i prediktivno, tj. predviđajuće održavanje (*Predictive maintenance* – PdM), koje ima iste temeljne principe kao PM, samo su drugačiji kriteriji za otkrivanje potreba za određenim aktivnostima održavanja. Takvo održavanje uglavnom je temeljeno na stanju (*Condition Based Maintenance* – CBM). Kratica CBM u suvremenoj literaturi o održavanju koristi se i za monitoring stanja (*Condition Based Monitoring*) potreban za ovakvo održavanje. Kod CBM aktivnosti se poduzima kao odgovor na određeno stanje opreme, odnosno pogoršanje njenih performansi i zato zahtjeva praćenje stanja u stvarnom vremenu (*Real time monitoring*). Za odgovarajući monitoring prvo treba znati što tražiti, a zatim odabrati kako to pronaći. Pri tome treba imati u vidu da svi kvarovi nemaju trend [12]. Razvijene su dijagnostičke tehnike za mjerenje fizičkog stanja opreme. Neke provjere stanja (uglavnom istrošenosti) obavljaju se samo osjetilima, odnosno subjektivno – vizualno, najobičnijim dodiranjem prstiju i osluškivanjem, a za neke pokazatelje (npr. vibracije, temperatura, pritisak i viskoznost) potrebna su mjerenja s odgovarajućim prijenosnim ili ugrađenim instrumentima (brojila, termometri, manometri, ultrazvuk itd.), kojima se utvrđuje stanje pojedinih komponenti radne opreme bez rasklapanja (objektivne metode). Jedna od najisplativijih metoda praćenja trošenja dijelova motora

je program analize uzorkovanja ulja, po kojem se u redovitim intervalima uzimaju uzorci rabljenih ulja i ispituju kako bi se utvrdile preostale mogućnosti podmazivanja, hlađenja i čišćenja [13].

S uređajima ugrađenim u radni stroj dijagnostika je permanentna (*on-line*) i ne mora se zbog nje prekidati rad, a s priključnim i s raznim inteligentnim alatima je povremena (*off-line*), te se stroj nekada treba isključiti iz radnog procesa [14]. Slika 2. pokazuje vremenski slijed pojavljivanja upozoravajućih signala (indikatora) nastupanja kvara, na čijem se otkrivanju temelji PdM i CBM i sprječavanje otkaza.



Slika 2. Mogućnost otkrivanja indikatora kvara opreme (prema [15 i 16])

Korist PdM-a proizlazi iz obavljanja poslova održavanja kada je to zaista nužno, pa je oprema izvan uporabe samo onda kada postoji izravni dokaz da je pogoršanje stanja uznapredovalo, a ne nakon prolaska specificiranog, fiksnog perioda [11].

Učinkovitosti PdM-a doprinosi brže i bolje dijagnosticiranje i analiza izvora uzroka kvarova. Napredne metode omogućuju da planeri održavanja doznaju za probleme sustava u radu prije nego ih primjete njihovi operateri, jer kada jedan ili više od praćenih pokazatelja dosegne određenu razinu pogoršanja intervenira se na odgovarajući način i oprema se vraća u željeno stanje.

Današnja tehnologija (laptopi, pametni mobiteli, brzi internet, GPS za pozicioniranje mjesta otkaza i dr.) omogućuje daljinsko praćenje stanja tehničkih sustava te praćenje pomoću interneta. Internet stvari (*Internet of Things*) je način povezivanja uređaja, prikupljanja podataka, njihovog pretvaranja u informacije i distribuiranja informacija kroz organizaciju putem interneta (korištenjem "oblaka"). Said i dr. (2014) razvili su okvir za nadzor i kontinuiranu procjenu stanja ("zdravlja") opreme utemeljen na telematici za prikup-

ljanje vitalnih parametara performansi opreme [17]. Chen i dr. (2013) osmislili su sustav praćenja stanja i dijagnoziranja kvarova za hidraulički sustav velikih, složenih građevinskih strojeva (pomoću senzora i mreže regulatora te odgovarajućeg softvera), jer je više od 50% kvarova građevinskih strojeva povezano s njihovim hidrauličkim sustavom [18]. *Caterpillar* je razvio sveobuhvatni računalni sustav za izvješćivanje, koji se može kombinirati s ručnim metodama [13].

Podloga za donošenje odluka o poduzimanju odgovarajućih održavateljskih mjera je prognoza ponašanja tehničkog sustava, a ona se zasniva na dijagnozi trenutnog stanja ispravnosti te poznavanju tijeka oštećenja i ponašanja sustava u prošlosti [19]. Radna sposobnost u preostalom periodu funkcioniranja ocjenjuje se pomoću algoritama za prognoziranje. Suvremeni prognostički pristup na temelju velikih baza podataka o istim i sličnim tehničkim sustavim i računa vjerojatnosti daje objektivnu procjenu budućeg stanja sustava za tjedan do mjesec dana (izuzetno do 1. godinu) [20].

Za ovakvo odlučivanje na temelju brojnih procesnih parametara sposobni su samo vrlo iskusni i kvalificirani održavatelji, a takvih stručnjaka je malo. Zato je sve veća uloga ekspertnih sustava za održavanje koji nastaju razvojem tehnologije umjetne inteligencije. To su inteligentni računalni programi, koji umjesto nedostajućih eksperata, koriste teorijska i praktična znanja i postupke zaključivanja za rješavanje problema. Koristeći simboličko rasuđivanje (simboli predstavljaju različite tipova znanja kao što su činjenice, koncepti i pravila) i heuristiku (da bi smanjili područje pretraživanja), oni ubrzavaju donošenje odluka na temelju baza s velikim brojem podataka te daju objašnjenje za te odluke [21].

Najnapredniji vid održavanja je tzv. pametno održavanje (*Smart Maintenance*), koje je moguće na "inteligentnim" tehnološkim sustavima s autodijagnostikom i samoodržavanjem. Samoodržavanje se može odvijati samo u potpuno automatiziranim sustavima za koje je predviđeno da se s vremenom dograđuju i usavršavaju. U principu, koristi se više ekspertnih sustava koji daju naloge robotiziranoj tehnološkoj liniji sastavljenoj od lako zamjenjivih modula. Oni rade prema određenim pravilima, postavljajući pitanja i dajući odgovore na osnovu analize rezultata dijagnostičkih mjerenja, uz pomoć računalnih programa [10].

2.2. Poboljšanja opreme i tehničkih sustava za održavanje

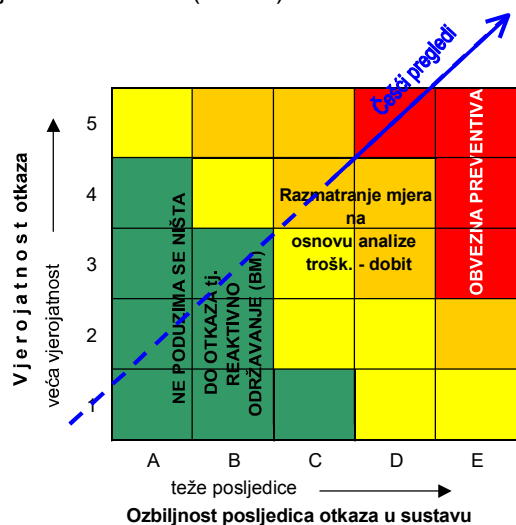
Terotehnološko održavanje (*Terotechnology*) nastalo je na temelju PM-a, a koncipirano je na tome da stručnjaci održavanja direktno ili indirektno sudjeluju u svim fazama životnog ciklusa opreme, od razvoja početne ideje. To obuhvaća postupke planiranja i razvoja svih integralnih dijelova i svih aspekata novih sustava, projektiranje i reviziju projektne dokumentacije, izradu, ispitivanje, montažu, probni rad, uporabu, održavanje, rekonstrukciju, revitalizaciju i modernizaciju (produženi životni vijek), sve do prestanka uporabe i rashodovanja (otpisa) [5]. Cilj uključivanja stručnjaka održavanja u ovo je da oni svojim poznavanjem opreme i njenih problema doprinesu efikasnosti njenog funkcioniranja i podrške proizvodnom sustavu.

Paralelno s razvojem terotehnološkog pristupa u Eu-ropi u SAD-u je razvijen tzv. logistički inženjering (*Logistics Engineering*) s istim značajkama. Vrlo sličan smisao ima i prevencija održavanja (*Maintenance prevention* – MP) i korektivno održavanje (*Corrective maintenance* – CM). Inicijative MP počinju u fazi projektiranja nove opreme (tako da nema potrebe za održavanjem) jer je strateški cilj osiguranje pouzdane opreme, o kojoj se lako brinuti i koja je jednostavna za uporabu. Pri tome se PM često služi iskustvima stečenim od ranijih kvarova opreme i neispravnih proizvoda te povratnim informacijama od kupaca, odnosno korisnika [11]. Korektivno održavanje (*Corrective maintenance* – CM) nastoji spriječiti kvarove opreme, tako da je prošireno na poboljšanje opreme (ispravljanjem nedostataka - oblika, materijala i dr.) kako bi se kvarovi na njoj mogli lako eliminirati i kako bi se unaprijedilo mogućnosti njenog održavanja. Stoga, za poduzimanje mjera CM-a mora postojati problem koji se treba riješiti. Tako se strategijom CM-a smanjuje pogoršanja i kvarove na radnoj opremi i podiže razina pouzdanosti i sigurnosti. Informacije od CM-a korisne su za PM pri uvođenju nove generacije opreme i unaprijeđenju postojećih strojeva i proizvodnih pogona, tj. sustava.

2.3. Održavanje usmjereno na pouzdanost

Održavanje usmjereno na pouzdanost (*Reliability centered maintenance* – RCM) je logički proces razvoja i optimiziranja zahtjeva održavanja fizičkih resursa u njihovom operativnom kontekstu. Za što veću učinkovitost programa održavanja identificiraju se funkcije održavane imovine te uzroci i efekti

kvarova. Pri tome se koriste alati kao što su analiza načina kvarova i njihovih posljedica (*Failure Mode and Effective Analysis – FMEA*), analiza načina kvarova, njihovih posljedica i kritičnosti (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis - FMECA*), analiza fizičke opasnosti (*Physical Hazard Analysis – PHA*), analiza stabla kvarova (*Fault Tree Analysis – FTA*), optimizacija funkcije održavanja (*Optimizing Maintenance Function – OMF*) i studija opasnosti i operabilnosti (*Hazard and Operability Study – HAZOP*) [11]. Kod RCM primarna je fokusiranost na održavanje funkcije sustava (tzv. centralnu pouzdanost), a ne toliko njegovih pojedinih elemenata. Stoga ima algoritam koji određuje postupke održavanja za izbjegavanje ili barem reduciranje otkaza funkcije sustava. Veličina rizika (kao umnoška vjerojatnosti otkaza i težinje njihovih posljedica ako bi nastupili) diktira plan održavateljskog djelovanja, a za odlučivanje se sastavlja matrica rizika (slika 3).



Slika 3. Matrica rizika od otkaza za odlučivanje kod RCM [2]

Rezultati primjene RCM-a primjetni su dosta brzo i ulaganje u ovakvo održavanje vraća se za 3 do 6 mjeseci, ali potpuna implementacija u organizaciji traje više godina [22 i 23].

Načela ovog koncepta održavanja slijedi i održavanje na osnovu rizika (*Risk Based Maintenance – RBM*) i poduzimanje održavateljskih pregleda na osnovu rizika (*Risk Based Inspection – RBI*). Optimizacija održavanja s aspekta troškova i rizika (*Maintenance Cost Risk Optimization – MACRO*) daljnja je razrada održavanja po konceptu RBI i RBM.

2.4. Integrirano produktivno održavanje

Integrirano ili potpuno, odnosno cjelovito produktivno održavanje (*Total productive maintenance – TPM*) osigurava djelotvoran rad opreme, eliminira kvarove i promiče samostalno održavanje kroz svakodnevne aktivnosti na poslu djelatnika svih razina i iz svih odjela, a primarno rukovatelja opremom [11]. Ovo održavanje se bavi identifikacijom i eliminacijom izvora oštećenja opreme više nego tradicionalni pristup, pa je manje skupih popravaka. Prvi efekti primjene TPM-a osjete se za oko 6 mjeseci, ali je potpuna implementacija višegodišnja [22 i 23]

U "Prvoj generaciji TPM-a" aktivnosti su bile fokusirane na poboljšanje performansi opreme ili samo efektivnosti, a kasnije je uočeno da je potrebna fokusiranost na cjelokupni proizvodni proces te da cijela organizacija mora biti uključena ukoliko se želi ostvariti pun potencijal u iskorištenju kapaciteta i smanjivanju troškova. Tako je nastala nova generacija TPM-a koja se bavi održavanjem uzimajući u obzir sve značajne gubitke u organizaciji [24].

2.5. Održavanje prema rezultatima rada tehničkih sustava

Održavanje prema rezultatima rada tehničkih sustava (*Results Oriented Maintenance – ROM*) predstavlja kompromis više prethodno opisanih strategija. Kod ROM-a osnovne odluke donose se na temelju podataka dobivenih statističkim praćenjem rezultata rada tehničkih sustava (npr. točnosti izrade dijelova ili kvalitete izlaznih proizvoda), a pri tome se nastoji, ako su raspoložive, koristiti i baze podataka o poduzetim postupcima i postupcima održavanja. Tako se s ovom metodologijom aktivnosti održavanja poduzimaju samo kada je to zaista nužno, pa se uz dostizanje potrebne pouzdanosti i raspoloživosti minimiziraju troškovi održavanja [25].

Vrlo slično ROM-u je održavanje usmjereno na rad tehničkih sustava (*Operational Centered Maintenance – OCM*), samo što se kod njega donošenje odluka, i o o reaktivnom i o preventivnom održavanju, uz statističke podatke zasniva na verbalnim iskazima (iskustvo, zapažanje). To podrazumijeva odgovarajuću obradu ocjena ili zapažanja o svim pojavama tijekom procesa rada tehničkog sustava od strane svih zaposlenika koji u njemu sudjeluju, pa su, kao i kod TPM-a, oni indirektno uključeni u odlučivanje o održavanju [25].

3. Specifičnosti rada i održavanja opreme kod izvođača građevinskih projekata

3.1. Karakteristike građevinske proizvodnje

Posebnost graditeljske proizvodnje očituje se prije svega u njenoj projektnoj orijentiranosti. Građevinska postrojenja, strojevi, transportna vozila i druga radna oprema imaju niz bitnih posebnosti u odnosu na uporabu te uvjete i zahtjeve za održavanje u industrijskim pogonima. Uporabu mehanizacije na gradilištima karakteriziraju:

- dislociranost mjesta izvođenja radova od centralnog mjesta za smještaj strojeva (transport na gradilište, što nekada iziskuje montažu i demontažu),
- promjenjivi uvjeti rada - rad na radnim mjestima privremenog karaktera (promjena mjesta rada od gradilišta do gradilišta, kao i unutar jednog gradilišta),
- različite karakteristike obavljanih poslova tijekom uporabnog vijeka (često višefunkcionalni strojevi i ne koriste se uvijek optimalni),
- promjenjiva radna opterećenja (nekada maksimalno iskorištenje, a nekada zastoji),
- rad pretežito na otvorenom prostoru (izloženost različitim klimatskim utjecajima) i često nepogodni uvjeti (rad na visini, u skućenim prostorima i sl.),
- česte promjene vremenskog plana radova,
- opasnosti/teške ozljede u svezi rada strojeva.

Strojno izvođeni procesi imaju veliki udio u realizaciji građevinskih projekata (pogotovo kod nisko-gradnje i novogradnje - najviše za zemljane i betonske radove) često su kritični za rokove.

3.2. Istraživanja utjecaja održavanja opreme na rad izvođača na projekt

Prethodna istraživanja utjecaja na rok / zastoje realizacije građevinskih projekata i na produktivnost kod izvođača ukazuju na važnost održavanja radne opreme. U tablici 2 je navedeno 9 novijih istraživanja koja su kao utjecajni čimbenik identificirala kvarove ili održavanje radne opreme. Veličina utjecaja iskazana je srednjom ocjenom (obično između 1 i 5), indeksom relativne važnosti (*Relative Importance Index* - RII) ili indeksom učestalosti (*Frequency Index* - FI).

Tablica 2. Istraživanja koja su rangirala održavanje ili kvarove kao utjecajni čimbenik

| Izvor, god. i država | Utjecaj na | Utjecajni čimbenik | Indeks utjecaj. |
|-----------------------|-------------------------------------|--|--|
| [26], 2013, Egipat | Zastoje/rok realizacije | Učestalost kvarova | RII = 79,3% |
| [27], 2015, Šri Lanka | - II - | Kvarovi opreme | Sr. ocj. = 2,43 |
| [28], 2018, Jemen | - II - | Kvar opreme | RII = 60,2% |
| [29], 2018, Indija | Produktivnost opreme | Kvar opreme | RII = 60,2% |
| [30], 2017, Indija | - II - | Kvar opreme (održavanje) | RII = 0,60 |
| [31], 2017, Indija | - II - | Kvar opreme Nedostatak održavanja | FI=0,89 FI=0,82 |
| [32], 2020, Indija | - II - | Kasni pre- gled opreme Raspoloživ. servisn. dijel. Mogućnost zamj. dijelova Predviđanje vremen kvara | RII= 0,68 RII= 0,66 RII= 0,65 RII= 0,63 |
| [33], 2018, Indija | Produktivnost opreme za betoniranje | Neodgovar. održavanje | RII= 0,92 |
| [34], 2014, Zimbabve | Produktivnost rada | Kvar postrojenja | Sr. ocj. = 4,23 |

Koliko izvođači računaju na kvarove (kod strojeva kod kojih to ne bi prouzročilo teže ozljede) pokazuje što se pri planiranju učinka građevinskih strojeva uzima do 29% umanjenja teorijskog učinka (učinka u idealnim uvjetima) zbog dotrajalosti, odnosno kvarova pri radu [35]. (U odnosu na ostvareni učinak izgubljeni dio je znatno veći jer on može biti puno manji od teorijskog - kod nekih strojeva u nepogodnim uvjetima rada i za 90%.)

4. Analiza održavanja u organizacijama za izvođenje građevinskih projekata

Kod izvođača građevinskih radova održavanjem se bave održavatelji-mehaničari, rukovatelji strojevima i vanjski stručnjaci. Obavlja se na gradilištima, u centralnim radionicama, a može biti i u prostorima vanjskih specijaliziranih službi.

Izbor organizacijske strukture održavanja treba biti u skladu s brojem, vrstama i rasporedom radne opreme, odnosno sadržajem i trajanjem održavanja,

mjestom izvođenja radova, potrebnoj kvalifikacijskoj strukturi radne snage, sredstvima (oprema, dokumentacija, prostor i dr.) te s troškovima održavanja [21 i 35]. Organizacija održavanja treba obuhvatiti i planiranje opskrbe rezervnim dijelovima i odgovarajuću obuku održavatelja i rukovatelja opremom (barem 10 dana godišnje [7]), što danas može biti i na daljinu.

Veličina, oprema i ljudi s kojom se raspolaže i organizacija cijele tvrtke presudno utječu na izbor strategije održavanja. U Hrvatskoj su najbrojnije male, tradicijski organizirane tvrtke za izvođenje građevinskih radova, a najmanje je velikih. Kod manjih izvođača je malo opreme i obično samo nekoliko mehaničara koji su odgovorni za svu opremu. Veliki izvođači posjeduju puno opreme i rade na većem broju projekata (matrična organizacija), a svaki veći projekt zahtjeva posebni tim za održavanje. Prednost ove organizacije je što se samostalni tim za održavanje nakon završetka poslova na jednom projektu može prebaciti na drugi [13].

Održavanje opreme kod različitih izvođača građevinskih radova varira od reaktivnog do planiranog, preventivnog u raznim oblicima. U građevinskoj proizvodnji kod upravljanja radnom opremom dominiraju tri pristupa održavanju [36]:

- Tradicijski, odnosno rad do otkazivanja i zamjena dotrajalih dijelova tek nakon toga,
- TBM, kod kojeg zamjena dijelova slijedi nakon određenog vremenskog intervala, bez obzira na njihovo stanje,
- CBM, gdje stanje predmetnog dijela određuje treba li ga popraviti.

U građevinskoj operativi nekada je održavanje povezano sa sezonskim radom i preventivne održavateljske aktivnosti obavljaju se u razdoblju kada oprema zbog klimatskih uvjeta nije u upotrebi, a i općenito je manja razina radnih aktivnosti kod izvođača građevinskih radova (radna snaga ima više vremena da se tome posveti). U nekim slučajevima izvođači moraju obavljati održavanje opreme strogo prema preventivnom programu proizvođača kako bi im vrijedila njegova garancija.

Mann (1983) je identificirao tri moguće strategije održavanja građevinske mehanizacije [13]:

- Djelovanje nakon prvog kvara – oprema se nikada ne izvlači iz proizvodnje radi preventivnog održavanja, već se ono provodi nakon što se dio opreme pokvari, zajedno s popravkom;
- Stavljanje u odnos troška kvara naspram troška kontrole, tj. pregleda – uspoređuju se troškovi

izgubljene proizvodnje s troškovima održavateljskih pregleda i odabire opcija s nižim troškovima;

- Nema alternative – ona oprema koja mora biti operativna kako bi projekt postigao dugoročni proizvodni cilj (npr. dizalica kod gradnje višekatnice) preventivno se održava u skladu s preporučenim planom proizvođača. Smisao ove metode je da je bolje planirati kratka razdoblja neaktivnosti za preventivno održavanje nego trpjeti posljedice nepredviđenog kvara.

Za ovo posljednje, a i općenito kako bi se odredio prioritet održavanja, potrebna je analiza kritičnosti strojeva za rad. No, u našoj praksi su rijetke metode planiranja s kojima se matematički utvrđuje kritični put realizacije i na njemu potrebni resursi. Tako dokazivanje potrebe održavanja više ostaje iskustveno i ovisno o sposobnostima pojedinaca da u organizaciji nametnu ono što njima odgovara.

Jedan je pristup usavršavanja održavanja orijentiran na elemente i procese u radnom sustavu kroz rješavanje uočenih problema, a dugi je pristup preprojektiranje sustava kao cjeline (reinženjering), što može biti povezano s prvim pristupom. Karakteristike ta dva procesa pokazane su u tablici 3. Kod građevinskih izvođača puno su češća poboljšanja potaknuta od iskusnih operativaca.

Tablica 3. Pristupi usavršavanju održavanja

| Hijerarh. razina | Opsežnost | Postignuti efekti | Karakteristike |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Od gore prema dolje | Preprojektir. (pod)sustava održavanja | Veliki | Dugotrajni s većim rizikom od grešaka |
| Od dolje prema gore | Poboljšanje dijelova i procesa | Mali | Relativno brzo s malim rizicima |

Tvrtke i radna oprema u njima su specifični, pa se često dobro rješenje nalazi u kombiniranju nekih od strategija održavanja i drugih prikladnih metoda. Činjenica da u 30% otkaza kod strojeva uzroke treba tražiti u nečistoći da 30% pneumatika otkaze zbog neodgovarajućeg pritiska [7] pokazuje da postoji veliko područje gdje sami rukovatelji strojeva mogu dati značajan doprinos ispravnosti njihovog stanja. No, uvođenje nove strategije održavanja i promjena tradicijske organizacijske strukture zahtjeva promjenu ponašanja zaposlenika, odnosno organizacijske kulture i to traje više godina [23].

5. Zaključak

Neusavršavanje znači ne samo stagniranje već i propadanje u poslu, a kod izvođača građevinskih projekata velika je konkurencija, uključujući i inozemne tvrtke. Poboljšanja u logističkom podsustavu održavanja mogu se postići s više resursa, uvođenjem novih tehnologija, permanentnom obukom djelatnika ili promjenom organizacije (npr. prijelaz na *out-sourcing*). Pri tom se mora voditi računa i o uštedama i o troškovima. Kao i svaka druga aktivnost na gradilištu, aktivnosti održavanja opreme moraju biti financijski kontrolirane. Zbog karakteristika realizacije projekta, poželjno je da obavljanje aktivnosti održavanja bude vremenski prilagodljivo.

Preventivno održavanje opreme na gradilištu povećava sigurnosti ljudi, a sigurnost na radu je jedan od čimbenika motivacije, koja povoljno djeluje na učinak radnika. Za uspješnost održavanja u tvrtki važna je uloga menadžmenta, kao i djelovanje stručnjaka održavanja i radnika koji svakodnevno koriste radnu opremu.

Velike su mogućnosti koje za održavanje radne opreme pruža napredak informacijske tehnologije (omogućuje brz prijenos podataka, rasterećuje stručnjake, ubrzava odlučivanje i dr.), ali ona u pravilu u građevinskoj operativi dobiva primjenu nešto kasnije nego na drugim područjima.

Izvođači bi trebali više pažnje posvetiti planiranju i praćenju radova kako bi mogli bolje odrediti potrebu za održavanjem i pratiti njegovu uspješnost.

Literatura

- [1] Knezević, Jezdimir. *Increasing Profitability and Reliability through Failure Management* / Održavanje i eksploatacija, 4 (2016); str. 5-9.
- [2] Vidaković, Držislav. *Koncepti održavanja tehničkih sustava temeljeni na analizi rizika od otkaza* / Zbornik 25 Međunarodni znanstveno stručnog skupa Organizacija i tehnologija, Društvo održavatelja Osijek, Osijek, 22.4.2016. (ISBN 978-953-7973-13-1) str. 111-122.
- [3] Assakkaf, Ibrahim A. *Ence 420 – construction Equipment and Methods*, <http://www.assakkaf.com> (Pristup 15.11.2018.)
- [4] Kozlovska, Maria; Krajňák, Marek; Sirochmanová, Lenka; Bašková, Renáta; Struková, Zuzana. *New approaches to specifying performance of construction machinery*, *Građevinar*, 67 (2015), 7; str. 673-680.
- [5] Papić, Ljubiša; Milovanović, Zdravko. *Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema*, Istraživački centar za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću, Prijedor, 2007.
- [6] Dunn, Sandy. *Re-inventing the Maintenance Process* / Queensland Maintenance Conference 1998. www.plant-maintenance.com/tzd.shtml (Pristupljeno 15.10.2019.)
- [7] Stanojević, Petar; Mišković, Vasilije. *Mogućnosti i problemi primjene savremenih strategija održavanja u vojnim sistemima* / *Vojnotehnički glasnik* 2 (2004); str. 133-146. (ISSN 0042-8469)
- [8] Popović, Predrag. *Tehnička dijagnostika i tehnologija održavanja, Lekcija 11: Strategija održavanja tehničkih sistema, sistem kvaliteta i održavanje*, www.predmet.singidunum.ac.rs/pluginfile.php/3951/mod_folder/content/0/XI_Odrzavanje_Strategija_PP.ppt?.forcedownload=1 (Pristup 25.11.2019.)
- [9] Adamović, Živoslav, Ilić, Božo. *Nauka o održavanju tehničkih sistema*, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013. (ISBN 978-86-89087-06-2)
- [10] Vidaković, Držislav; Glavaš, Hrvoje; Pavelić, Krešimir. *Mogućnosti primjene suvremenih strategija održavanja za složene tehničke sustave* / Zbornik 14. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi. Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Osijek, 28.-30.09.2016. (ISSN 1849-0638) str. 243-353.
- [11] Ahuja, P. S. *Total Productive Maintenance*, poglavlje 17. u *Handbook of Maintenance, Management and Engineering*, Springer-Verlag, London, 2009. (ISBN 978-1-84882-471-3)
- [12] Murphy, J. Thomas. *Choosing the Right Diagnostic Tools* / *Maintworld – maintenance & asset management*, 3 (2016); str. 16-18.
- [13] Gransberg, D. Douglas; Popescu, M. Calin; Ryan, C. Richard. *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006. (ISBN 0-8493-4037-3)
- [14] Lacković, Zlatko. *Sustav tehničke dijagnostike*, Albert naklada i Društvo održavatelja, Osijek, 2015.
- [15] Moubrey, John. *Reliability Centered Maintenance*, Butterworth - Heinemann, Oxford, 1997. (ISBN 9781493302833)
- [16] Messer, Adrian. *Remote Monitoring with Ultrasound* / *Maintworld – maintenance & asset management*, 3 (2016); str. 48-50.
- [17] Said, Hisham; Nicoletti, Tony; Perez-Hernandez, Peter. *Utilizing Telematics Data to Support Effective Equipment Fleet-Management Decisions: Utilization Rate and Hazard Functions*, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30 (2014), 1; str. 04014122-1 - 04014122-11. (ISBN 0887-3801)
- [18] Chen, Xiaohu; Wu, Wenfeng; Wang; Hangong; Zhou Yongtao. *Distributed monitoring and diagnosis system for hydraulic system of construction machinery*, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 5 (2013), 1; str.106-110. (ISSN 2095-0233)

- [19] Adamović, Živoslav; Radovanović, Ljiljana. *Modeli održavanja na bazi tehničke dijagnostike*, Tehnička dijagnostika, 3 (2008), str. 29-35. (ISSN 1451-1975)
- [20] Heggemann, Julia; von Plate, Moritz. *The Future of a Machine's Condition Lies in Data / Maintworld - maintenance & asset management*, 2 (2015); str. 10-12.
- [21] Miljović, Budimir. *Održavanje strojeva i uređaja*, Veleučilite u Karlovcu, Karlovac, 2019. (ISBN 978-953-7343-74-3)
- [22] Stanojević, Petar; Mišković, Vasilije. *Strategije održavanja tehničkih sistema / Vojnotehnički glasnik* 6 (2003); str. 537-554. (ISSN 0042-8469)
- [23] Vidaković, Držislav; Marenjak, Saša; Glavaš, Hrvoje. *Priprema organizacija za uvođenje suvremenih strategija održavanja / Zbornik 5. Konferencija Održavanje 2018*, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, Zenica, 10-12. 5. 2018, str. 1-8. (ISSN 1986-583X)
- [24] Milekić, Mile. *Approaches contributing maintenance improvement resulted in production of transport means / Zbornik 3. Konferencija Održavanje 2014*, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, Zenica, 11-13. 6. 2014, str. 91-96. (ISSN 1986-583X)
- [25] Epler, Igor. *Modeli upravljanja održavanjem tehničkih sistema / Vojnotehnički glasnik*, 1 (2013), 11: str. 178-195. (ISSN 0042-8469)
- [26] Aziz, Remon Fayek. *Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution*, Alexandria Engineering Journal, 52 (2013); str. 387-406. (ISSN 1110-0168)
- [27] Kesavan, Manoharan; Gobidan, Navanesan; Dissanayake, Pujitha. *Analysis of Factors Contributing Civil Engineering Construction Project Delays in Sri Lankan Building Construction Industries*, Journal of Industrial Engineering Research, 7 (2015), 1; str. 5-11. (ISSN 2077-4559)
- [28] Alaghbari, Wael; Saadan, S.N. Rasha; Alaswadi, Wail; Sultan, Basel. *Delay Factors Impacting Construction Projects in Sana'a-Yemen*, Project Management World Journal, 12 (2017), 7; str. 1-28. (ISSN 2330-4480)
- [29] Methe, Priyanka; Nadaf, Mahaboobali; Rashmi, J. V.; Thejaswi, K. P. *Identification of factors influencing equipment productivity in construction projects*, International Research Journal of Engineering and Technology, 6 (2018), 5; str. 379-384. (ISSN 0974-3154)
- [30] Panda, Prakash H.; Kamat, Sahajanand. *Productivity Analysis of Pile Driving Equipment in Mumbai*, SSRG International Journal of Civil Engineering, 4 (2017), 5; str. 126-134. (ISSN 2348-8352)
- [31] Parthasarathy, Mudumbai Krishnaswamy; Murugasan, Rajiah; Murugesan, Kavitha. *A Critical Review of Factors Affecting Manpower and Equipment Productivity in Tall Building Construction Projects*, Journal of Construction in Developing Countries, 1 (2017), 22; str. 1-18. (ISSN 18236499)
- [32] Ranjithapriya, R.; Arulselvan, S. *Study on Factors Affecting Equipment Management and its Effect on Productivity in Building Construction*, International Journal of Engineering Research and Technology, 4 (2020), 9; str. 223-230. (ISSN 0974-3154)
- [33] Hasan, Abid; Baroudi, Bassam; Elmualim, Abbas; Rameezdeen, Raufdeen. *Factors Influencing Productivity of Concreting Equipment in Indian Construction Projects / Zbornik 10. International Conference on Construction in the 21st Century*, Colombo, 2-4. 7. 2018., str. 1-8.
- [34] Chigara, Benviolent; Moyo, Tirivavi. *Factors Affecting Labor Productivity on Building Projects in Zimbabwe*, International Journal of Architecture, Engineering and Construction, 1 (2014), 3; str. 57-65. (ISSN 1911-1118)
- [35] Vidaković, Držislav; Lacković Zlatko; Ivanović, Milan. *Održavanje i učinak strojeva na gradilištima / Mašinstvo*, 54 (2017), 14; str. 91-103. (ISSN 1512-5173)
- [36] Kannan, G. *Field studies in construction equipment economics and productivity / Journal of Construction Engineering and Management*, 137 (2011); str. 823-828.