E-održavanje kao nova paradigma upravljanja održavanjem telematičkih sustava

Bago, Antonia

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:804832

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonia Bago

E-ODRŽAVANJE KAO NOVA PARADIGMA UPRAVLJANJA ODRŽAVANJEM TELEMATIČKIH SUSTAVA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujna 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

E-ODRŽAVANJE KAO NOVA PARADIGMA UPRAVLJANJA ODRŽAVANJEM TELEMATIČKIH SUSTAVA

E-MAINTENANCE AS A NEW PARADIGM OF TELEMATIC SYSTEM MAINTENANCE

Mentor: Ivan Jovović, dipl. Ing.

Studentica: Antonia Bago, 0135 217 519

Zagreb, rujna 2016.

E-ODRŽAVANJE KAO NOVA PARADIGMA UPRAVLJANJA ODRŽAVANJEM TELEMATIČKIH SUSTAVA

SAŽETAK

Održavanje je nužno za sustav kako bi izvršavao svoje funkcije jednako dobro tijekom čitavog životnog ciklusa. E-održavanje predstavlja modernu verziju održavanja koja nije još u potpunosti razvijena, a koja je spoj starih metoda održavanja sa informacijsko komunikacijskim tehnologijama. Ključna stvar kod e-održavanja je da se sustav uz pomoć raznih senzora i aplikacija kontorolira preko Interneta. Na taj način su sve informacije i radni zahtjevi dostupni na jednom mjestu, kontrola sustava je moguća u svakom trenutku što predstavlja značajne uštede u ekonomskom smislu.

Ključne riječi: E-održavanje, integracija, sustav, tehnologija

SUMMARY

Maintenance is necessary for the system to enable the same efficiency during the whole system lifecycle. E-maintenance represents the modern version of maintenance, that integrates old methods of maintenance, with information communication technologies, but is still developing. With all types of sensors and applications, everything is monitored over the Internet. Thereby, all informations and work requirements are available anytime on-line and that means enormous economic benefits.

Keywords: E-maintenance, integration, system, technology

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPĆENITO O ODRŽAVANJU TELEMATIČKIH SUSTAVA 3
   2.1. Osnovni pojmovi o telematičkom sustavu 4
   2.2. Životni ciklus i vijek trajanja sustava 5
   2.3. Pouzdanost i održavljivost sustava 6
      2.3.1. Pouzdanost nepopravljivih sustava 8
      2.3.2. Pouzdanost popravljivih sustava 12
   2.4. Pristupi održavanju sustava 13
      2.4.1. Održavanje usmjereno na pouzdanost 13
      2.4.2. Potpuno produktivno održavanje 15
      2.4.3. Potpuno korektivno održavanje 17
3. VRSTE ODRŽAVANJA TELEMATIČKIH SUSTAVA 19
   3.1. Preventivno održavanje 19
   3.2. Korektivno održavanje 22
   3.3. E-održavanje 24
4. ZNAČAJKE I SVOJSTVA E-ODRŽAVANJA 27
   4.1. Internet stvari 27
   4.2. Paradigma upravljanja sredstvima 28
   4.3. Tehnološki korak prema E-održavanju 28
   4.4. Temeljni pojmovi E-održavanja 31
   4.5. Informacijsko - komunikacijska infrastruktura integrirana u e-održavanje 34
5. REALAN PRIMJER PRIMJENE E-ODRŽAVANJA 36
6. ZAKLJUČAK 43

LITERATURA 44

POPIS KRATICA 46

POPIS SLIKA 47

1. UVOD

Razvojem informacijsko komunikacijskih tehnologija, načina prijenosa i dohvata podataka sa različitih mrežnih entiteta došlo je do tehnološkog iskoraka u industrijskim primjenama. Održavanje je neizbježna značajka svih industrijskih sustava i procesa. Za razliku od tradicionalnih metoda održavanja, E-održavanje objedinjuje postojeće principe održavanja sa metodama suvremenih tehnologija i web uslugama. U prvom redu se misli na ICT tehnologiju.

Primjenom ICT principa na upravljanje održavanja sustava pokazuje se velik napredak u smislu organizacije, pouzdanosti, održavljivosti kao i cijene i kvalitete održavanja. Korištenjem pametnih senzorskih mreža, skupa sa bežičnim i žičanim mrežama osigurava se kontinuiran pristup podacima o stanju kako pojedinog uređaja tako i čitavog sustava. Moderni programski alati koji se koriste u industriji u stanju su koncentrirati sve upravljačke funkcije vezane uz održavanje sustava, kao i automatski generirati korisne izvještaje o vremenskim trendovima mjerenja, stanju uređaja, sekvencama i vrstama održavanja koje je potrebno primjeniti, što značajno olakšava održavanje sustava.

Cilj rada je objasniti i prikazati osnovne značajke, svojstva i primjene E-održavanja kao nove paradigme upravljanja održavanjem sustava. Rad se sastoji od 6 poglavlja koja su redom posvećena temama održavanja telematičkih sustava.

Općenite pretpostavke i svojstva telematičkih sustava kada je u pitanju održavanje opisane su u drugom poglavlju.

Treće poglavlje je posvećeno vrstama održavanja koje se koriste- preventivno i korektivno održavanje te e-održavanje kao nova paradigma. Opisana su svojstva načina rada i razlike istih.

Koncept, svojstva i značajke E-održavanja obrađena su u četvrtom poglavlju, kao i arhitektura sustava, odnos prema ICT tehnologijama, mogućnostima i primjerima.

Peto poglavlje prikazuje realan primjer E-održavanja softvera, gdje je upotrijebljen programski alat eMaintX3 koji se koristi u industrijskim postrojenjima za upravljanje održavanjem sustava, jednostavan je i praktičan a posjeduje i mobilnu aplikaciju sa stvarnovremenskim podacima.

„Zaključak“ objedinjuje informacije obrađene u radu.

Na posljednjim stranicama nalazi se „Literatura“ koja daje uvid u internet stranice, knjige i ostale izvore korištene pri izradi ovoga rada.

2. OPĆENITO O ODRŽAVANJU TELEMATIČKIH SUSTAVA

Održavanje se može definirati kao proces kojim se izvedba (tj. mogućnost izvođenja zahtijevane funkcije) u trenutku puštanja u rad zadržava na istoj razini tijekom vijeka trajanja – sklop svih radnji čija je svrha zadržavanje ili obnova sustava u stanje u kojem može izvoditi zahtijevane funkcije. Pod pojmom održavanje u smislu tehničkog sustava podrazumijeva se postupak pregleda, popravka ili poboljšanja nekog uređaja ili sustava u svrhu otklanjanja kvarova, poboljšanja postojećeg stanja sustava ili produživanja radnog vijeka. Iako je održavanje nužno, često se smatra kao nešto negativno, kao trošak, nužno zlo, a ne kao suradnik u poslovanju. Većina smatra da je uloga održavanja popraviti nešto kada se pokvari, međutim, kada se kvar već dogodio očigledno je da je održavanje zakazalo.

Teorija održavanja temelji se na dva suprotstavljena zahtijeva – troškovi održavanja moraju biti što manji i uređaj, odnosno sustav mora raditi što pouzdanije. Ovisno o strategiji održavanja mogu se navesti dvije vrste: korektivno održavanje i preventivno održavanje. Korektivno održavanje se najčešće realizira neplanski, a preventivno planski, odnosno kada se za to ukaže određena potreba. Obično se primjenjuje kombinirani pristup u kome su prisutna oba oblika održavanja. O vrstama održavanja biti će više riječi u idućem poglavlju.

Ovisno o tome može li se određeni sustav popraviti određena je podjela sustava na popravljive – nakon kvara sustav se može vratiti u stanje spremnosti (zadovoljavajućih svojstava) na bilo koji mogući način, osim zamjene čitavog sustava novim i nepopravljive – samo jedan kvar unutar sustava ujedno znači i prestanak izvođenja zahtijevane funkcije. Nepopravljivi sustavi se najčešće opisuju parametrom TTF[1] – vrijeme do prestanka rada, dok se popravljivi sustavi opisuju parametrom TBF[2] – vrijeme između dva uzastopna kvara [1].

Osim spomenutih parametara u praksi se koriste i različite distribucije kojima se opisuje učestalost kvarova, odnosno vjerojatnosti kvara i/ili očekivana vremena ispravnog rada –

---

[1] TTF – (eng. *Time To Failure)* vrijeme do prestanka rada ili kvara

[2] TBF – (eng. *Time Before Failure*) vrijeme između dva uzastopna kvara

čime se bavi teorija vjerojatnosti. Pojam sustav može se definirati kao hijerarhijska zajednica sastavnih dijelova strukturirana tako da obavlja određene zadaće, odnosno vrši određene funkcije. Zadaće sustava formuliraju se u obliku radnih zahtijeva [9].

2.1. Osnovni pojmovi o telematičkom sustavu

Telematika je interdisciplinarno područje koje uključuje telekomunikacije, tehnologiju vozila, cestovnog prometa, cestovne sigurnosti, električnog inženjeringa (senzorska instrumentacija, bežična komunikacija), računalne znanosti (multimedije, Internet). Svoju primjenu telematika nalazi unutar tehnologija slanja, primanja i spremanja informacija unutar mreže telekomunikacijskih uređaja zajedno sa upravljanjem udaljenim objektima, tehnologija koje integriraju telekomunikacije i informatiku s primjenom na upravljanje vozilima i/ili prometom te GPS[3] tehnologija integriranih u komunikacijske mreže vezane uz automobilsku ili navigacijsku industriju.

Telematika objedinjuje moderne informacijske i telekomunikacijske tehnologije. U najužem smislu telematika vezana uz cestovna vozila naziva se još i telematika vozila. Telematički sustavi predstavljaju sastavni dio suvremenih informacijskih sustava. Osnovna uloga telematičkog sustava je da osigura podatke vezane uz transportni proces ili podatke o pojedinačnom vozilu te prijenos tih podataka do krajnjeg korisnika [3].

Moderni telematički sustavi tako omogućuju bežični prijenos podataka od vozila i ka vozilu. Analizom podataka o transportnom procesu ili vozilu dobivaju se informacije značajne za donošenje odgovarajućih upravljačkih odluka u cilju poboljšanja efikasnosti sustava i maksimalnog korištenja raspoloživih resursa. Neke od funkcija telematičkog sustava su:

- prikupljanje podataka o radu i stanju vozila,
- praćenje rada vozača,
- upravljanje transportnim procesima,
- praćenje pozicije vozila – lokalizacija vozila u stvarnom vremenu,
- određivanje ruta vožnje – sustavi za navigaciju vozila u prostoru,

[3] GPS – (*eng. Global Positioning System*) globalni sustav pozicioniranja

- osiguravanje informacija vezanih uz uvjete na određenoj putanji vozila,
- itd.

Ovisno o vremenskoj raspoloživosti spomenutih podataka telematički sustavi se mogu podijeliti na:

- stalno raspoložive (*on-line*) i
- raspoložive u zadanim trenucima (*off-line*).

Raspoloživost se definira kao vjerojatnost da je popravljivi sustav ispravan (spreman za rad) u bilo kojem trenutku *t*., oznaka za raspoloživost je *A(t)*. Za nepopravljivu opremu kod koje se raspoloživost i pouzdanost izjednačuju odlučujuća je pouzdanost, a za popravljive raspoloživost.

Također se može navesti i podjela telematičkih sustava ovisno o stupnju nezavisnosti samog sustava:

- nezavisni ili autonomni sustavi,
- zavisni i djelomično zavisni sustavi.

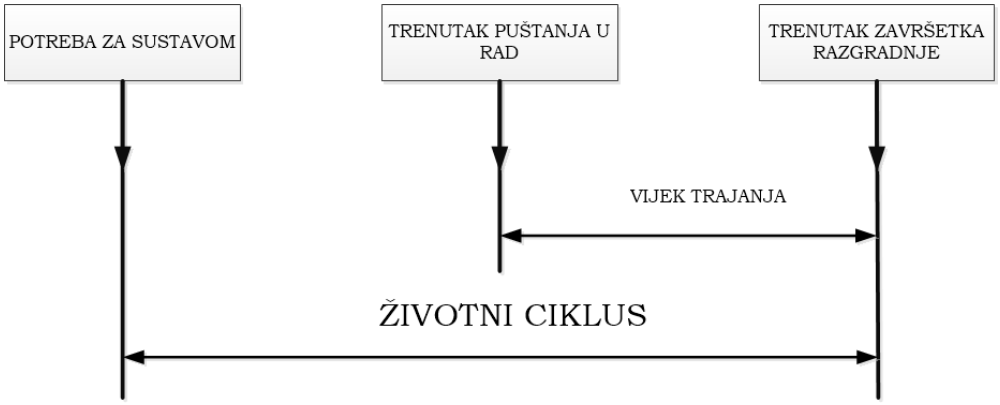
2.2. Životni ciklus i vijek trajanja sustava

Svaki sustav je određen sa pripadnom prostornom i vremenskom dimenzijom, pri čemu prostornu dimenziju definiraju sredstva sustava (materijali, zgrade, uređaji, pomoćna sredstva), a vremensku dimenziju definira životni ciklus s vijekom trajanja sustava [1].

Životni ciklus sustava je vremenska dimenzija sustava koja sadrži četiri osnovna vremenska perioda:

1. Razdoblje stvaranja pojma i definiranje sustava – određuje se svrha sustava i njegova opća svojstva,
2. Razdoblje projektiranja i razvoja – oblikovanje prototipa sustava i provjera mogućnosti postizanja zadanih funkcija,
3. Razdoblje implementacije sustava i puštanje sustava u rad,
4. Razdoblje rada i održavanja – nastupa završetkom implementacije sustava.

Vijek trajanja sustava predstavlja vremenski odsječak koji počinje u trenutku puštanja sustava u rad, a završava u trenutku završetka razgradnje sustava, kako je to ilustrirano na slici 2.1..



Slika 2.1. Životni ciklus i vijek trajanja sustava

2.3. Pouzdanost i održavljivost sustava

Pouzdanost sustava može se definirati na više načina, neke od definicija pouzdanosti su:

- svojstvo sustava s obzirom na proces pojavljivanja kvarova,
- sposobnost ispravnog rada sustava, uz zadane radne uvjete i tijekom određenog vremenskog razdoblja,
- vjerojatnost rada bez kvara tijekom promatranog razdoblja trajnosti u skladu sa unaprijed zadanim radnim uvjetima [9].

S druge strane pojam održavljivosti se određuje kao:

- sposobnost sustava s obzirom na proces popravljanja i smanjivanja vjerojatnosti pojavljivanja kvarova,
- sposobnost sustava da uz zadane radne zahtjeve zadržava stanje spremnosti, izvođenja zadane funkcije, ako se održavanje izvodi uz zadane uvjete, postupke i sredstva,
- vjerojatnost da tijekom promatranog razdoblja trajanja održavanja neće biti dulje od predviđenog iznosa, da neće biti potrebno provesti određenu operaciju više od zadanog broja puta, i da troškovi obavljanja zadane operacije neće prijeći već unaprijed određeni iznos.

Upravljanje održavanjem se obično definira kao funkcija vezana uz tehnologije održavanja, dizajn opreme u smislu pouzdanosti i održavljivosti i istraživanja održavljivosti i pouzdanosti u smislu poboljšanja rada sustava. Upravljanje pouzdanosti s druge strane orijentirano je na funkcije vezano uz odgovorno upravljanje rizikom kao i životnim ciklusom opreme i cjelokupnog sustava. Cilj upravljanja pouzdanosti je razvijanje strategija koje će općenito osigurati pouzdan rad sustava i produljiti vijek trajanja opreme i uređaja. [12]. Upravljanje pouzdanosti je primarno orijentirano na primjenu tehničkih vještina i metoda s ciljem ispravljanja problema s uređajima i komponentama sustava koji uzrokuju značajne gubitke vremena popravljanja. Funkcije i zadaci upravljanja pouzdanosti su usmjereni prema eliminaciji kvarova koji se najčešće javljaju unutar sustava. Neki od zadataka upravljanja pouzdanosti u praktičnim primjenama su:

- osigurati održavljivost novih instalacija unutar sustava,
- identificirati i ukloniti kronične i skupe probleme s uređajima i opremom, ukloniti repetitivne kvarove,
- dizajnirati i pratiti efikasne i ekonomične programe preventivnog i prediktivnog održavanja,
- pravilan rad i pregled opreme,
- inspekcije, podešavanje opreme i sustava te zamjena dijelova,
- održavati i analizirati podatke dostupne o opremi i uređajima s ciljem procjene potreba za održavanjem.

Uloga upravljanja održavljivosti je više strategijske prirode, npr. pružiti sigurnost u pravilan rad opreme koji rezultira unaprijed zadanim zahtjevima, dakle da sustav ili uređaj radi u skladu sa zadanim performansama. Upravljanje održavljivosti je za razliku od upravljanja pouzdanosti (koje je usmjereno na dugotrajno osiguranje pouzdanosti sustava) usmjereno na kratkoročne, svakodnevne zadatke vezane uz osiguranje pouzdanosti. Neki od zadataka upravljanja održavljivosti vezani su uz:

- identifikacija, koordinacija i ukupan strategijski pristup održavanju procesa i unaprjeđivanju istoga,
- tehnička podrška operacijama održavanja,

- periodičan pregled opreme ili sustava s ciljem osiguranja kvalitete, održavljivosti ili potrebe za rezervnim dijelovima,
- kontinuirano praćenje troškova održavanja,
- itd.

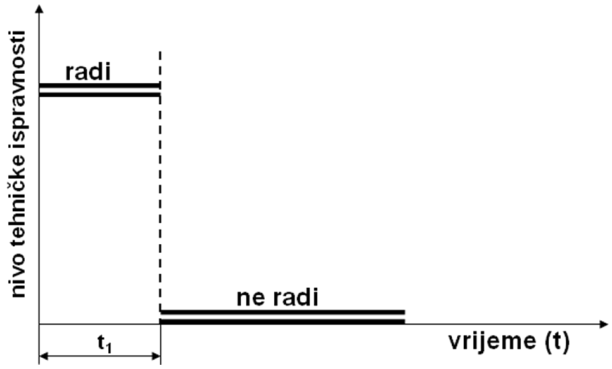
Sadržaj samog upravljanja održavljivosti je podijeljen na dvije skupine zadataka:

1. skupina preventivnih zadataka održavanja koji uključuju prepoznavanje mogućih kvarova, planirani pregled opreme,
2. skupina zadataka vezanih uz održavanje usmjereno na pouzdanost, a zadaci iz ove skupine usmjereni su na održavanje opreme na razini prihvatljivoj od strane sustava, dovoljne za obavljanje zahtijevane funkcionalnosti [4].

2.3.1. Pouzdanost nepopravljivih sustava

Djelomična definicija pojma održavljivosti je i sposobnost sustava s obzirom na proces popravljanja, odnosno sustavi se u tom smislu mogu podijeliti na nepopravljive i popravljive. Nepopravljivi sustavi pokazuju svojstvo dotrajalosti, nakon prvog kvara sustav se odbacuje zbog nemogućnosti ili neisplative cijene popravka.

Pouzdanost nepopravljivog sustava je funkcija strukture sustava, broja komponenti, svojstava komponenti, vremena uporabe, režima i uvjeta rada te vrsta spojeva komponenti.

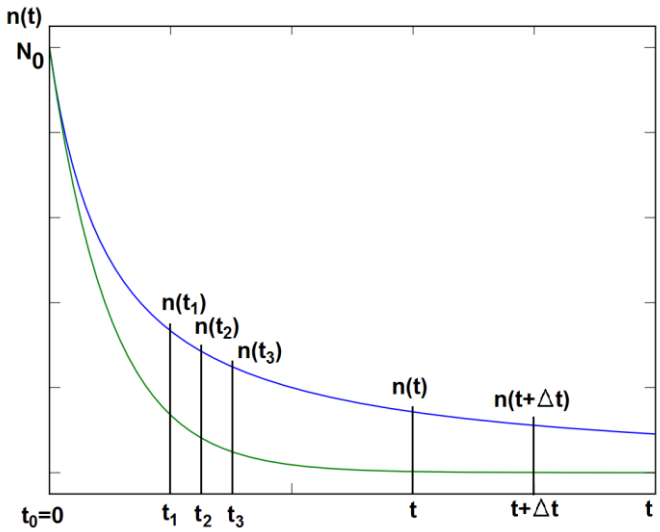


Slika 2.2. Vremensko ponašanje nepopravljivog sustava

Kako je to prikazano na slici 2.2. pokvareni sustav se nepovratno odstranjuje u trenutku kada prestaje raditi na razini koja se može smatrati tehnički ispravnom.

Promatra se skupina sustava od N_0 članova koje se uključuje u rad u trenutku t_0, broj „preživjelih“ u trenutku t sa $n(t)$. Pokvareni sustavi se nepovratno odstranjuju i bilježi se

broj preživjelih. Ako se ispitivana skupina promatra u vremenski diskretnim trenucima t_1, t_2, ... i bilježi broj „preživjelih“ $n(t_1)$, $n(t_2)$... dobit će se tzv. „krivulja preživjelih“, kako je to prikazano na slici 2.3..



Slika 2.3. Krivulja preživjelih

Omjer ($n(t)/N_0$) predstavlja vjerojatnost, pri čemu se $n(t)$ može gledati kao broj „povoljnih slučajeva“, a N_0 kao „broj svih slučajeva“. Iz krivulje preživjelih mogu se zatim očitati sljedeće vjerojatnosti:

$$P\left[X > t_i\right] = \frac{n(t_i)}{N_0} = \hat{R}(t_i) \qquad (1)$$

gdje je P[$X > t_i$] označava „vjerojatnost preživljavanja do uključivo t_i“, tj. vjerojatnost kvara nakon t_i, a to je empirijski (mjereni) iznos pouzdanosti ($R(t)$ – pouzdanost),

$$P\left[t_i < X \le t_i + \Delta t_{i+1}\right] = \frac{\Delta n_{i+1}}{N_0} \approx \hat{f}(t_i)\Delta t_{i+1} \qquad (2)$$

gdje je P [$t_i < X \le t_i + \Delta t_{i+1}$]- „vjerojatnost pojave kvara unutar Δt_{i+1}“, a to je empirijski iznos funkcije gustoće vjerojatnosti, koja je sa funkcijom razdiobe vjerojatnosti povezana na sljedeći način:

$$f(t) = \frac{dF}{dt} \rightarrow f(t)dt = dF(t) \approx F(t+dt) - F(t) = P(t < X \le t + dt), \qquad (3)$$

$$P\left[t_i < X \le t_i + \Delta t_{i+1} \middle| X > t_i\right] \qquad (4)$$

Gdje je P [$t_i < X \le t_i + \Delta t_{i+1} \mid X > t_i$]- „vjerojatnost pojave kvara unutar Δt_{i+1} za primjerke koji su bili ispravni do uključivo t_i“, a to je empirijski iznos funkcije brzine kvarenja $\lambda(t_i)$ pomnožen s Δt_{i+1}, kako je to prikazano u nastavku:

$$P\left[t_i < X \le t_i + \Delta t_{i+1} \middle| X > t_i\right] \approx \frac{\frac{\Delta n_{i+1}}{N_0}}{\frac{n(t_i)}{N_0}} = \frac{\Delta n_{i+1}}{n(t_i)} = \hat{\lambda}(t_i)\Delta t_{i+1} \to \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}. \qquad (5)$$

Kao što se može vidjeti iz gornjeg izraza brzina kvarenja $\lambda(t)$ predstavlja temeljnu veličinu bitnu za procjenu pouzdanosti nepopravljivog sustava. To se još bolje može vidjeti ako se promotri u kakvom je odnosu brzina kvarenja sa veličinama pouzdanosti i nepouzdanosti, komplementu funkcije pouzdanosti:

$$\begin{aligned}\lambda(t)dt &= \frac{f(t)dt}{R(t)} = \left\langle f(t)dt = dF(t) \cup dR(t) = d(1-F(t)) = -dF(t)\right\rangle = \\ &= \frac{dF(t)}{R(t)} = \frac{-dR(t)}{R(t)} = -\frac{R'(t)dt}{R(t)}\end{aligned} \qquad (6)$$

Integracijom obje strane jednadžbe sada se dobije:

$$\int_0^t \lambda(t)dt = -\int_0^t \frac{R'(t)dt}{R(t)} = -\ln R(t)\Big|_0^t = -\ln R(t) \qquad (7)$$

Sada se mogu dati konačni rezultati vezani uz brzinu kvarenja $\lambda(t)$, pouzdanost *R(t)*, nepouzdanost *F(t)=1-R(t)*, kao i vremena do kvara - MTTF:

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \text{ - pouzdanost,} \qquad (8)$$

$$F(t) = 1 - R(t) \text{ - nepouzdanost,} \qquad (9)$$

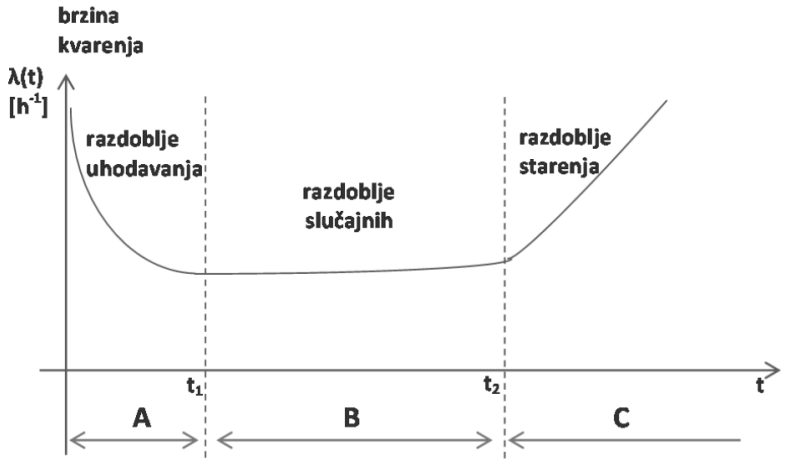
$$f(t) = \frac{dF}{dt} = \lambda(t)R(t), \qquad (10)$$

$$MTTF = \int_0^\infty tf(t)dt = \int_0^\infty t\lambda(t)R(t)dt \text{ - vrijeme do kvara.} \qquad (11)$$

U slučaju da je funkcija brzine kvara konstantna kao funkcija pouzdanosti dobije se eksponencijalna razdioba vjerojatnosti, koja ima svojstvo „zaboravljivosti“, koje se definira na sljedeći način: „prošlost ne utječe na pojavljivanje budućih događaja, u vjerojatnosnom smislu“. Vrijeme do kvara je u tom slučaju obrnuto proporcionalno konstantnoj brzini kvarenja, odnosno:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \qquad (12)$$

Krivulja brzine kvarenja ima za mnoge sustave, uređaje i sklopove karakterističan izgled, koji je prikazan na slici 2.4..



Slika 2.4. Koritasta krivulja brzine kvarenja, [1].

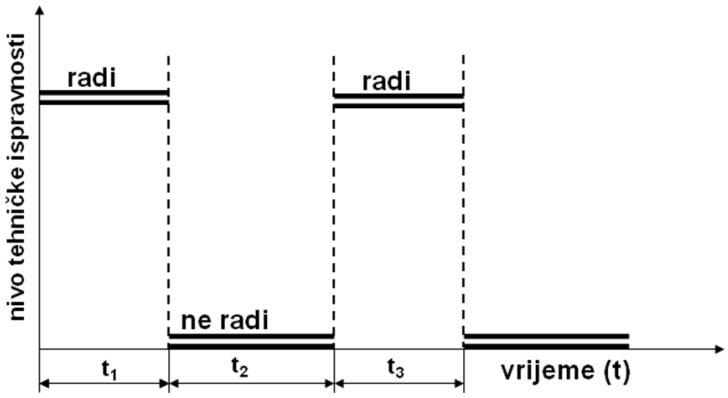
Prvi dio krivulje između t=0 i t=t1 naziva se razdobljem uhodavanja jer se tu pokazuju skriveni ili ugrađeni kvarovi koji su posljedica pogrešaka u proizvodnji i/ili ugradnji. U razdoblju uhodavanja uklanjaju se pogreške koje imaju neslučajni uzrok.

Drugi dio krivulje obilježen je konstantnom brzinom kvarenja, a njegova duljina predstavlja korisni vijek trajanja, kada kvarovi nastaju samo zbog slučajnih uzroka. Kako je to već spomenuto, konstantna brzina kvarenja odgovara eksponencijalnom modelu pouzdanosti, odnosno eksponencijalnoj razdiobi vremena do kvara.

Treći dio krivulje obilježava stalni rast brzine kvarenja zbog starenja svih sastavnih dijelova sustava, ti kvarovi su djelomično neslučajni. Ovaj dio zahtjeva značajno održavanje [1].

2.3.2. Pouzdanost popravljivih sustava

Pouzdanost popravljivih sustava opisuje svojstvo istrošenosti, ovakav sustav se za razliku od nepopravljivog, nakon prestanka obavljanja barem jedne funkcije zbog koje je načinjen, može obnoviti na bilo koji način, osim zamjenom dijelova ili zamjenom cijelog sustava, tako da ponovno dođe u stanje obavljanja svojih funkcija. Ilustracija takozvanih ciklusa „spremnosti“ i „nespremnosti“ popravljivih sustava prikazana je na slici 2.5..



Slika 2.5. Vremensko ponašanje popravljivog sustava – ciklus „spremnost“ – „nespremnost“

Mjerila pouzdanosti su veličine ili parametri s pomoću kojih se pouzdanost kao sposobnost pretvara u količinsko obilježje, a najvažnije su: funkcija jakosti kvarenja *z(t),* i učestalost pojavljivanja kvarova *μ(t)* kako je to opisano u nastavku:

$$Z(t) = E\{N(t)\}, \qquad (13)$$

odakle slijedi:

$$\mu(t)\frac{dZ(t)}{dt} \qquad (14)$$

a to je učestalost pojavljivanja kvarova, što znači:

$$E\{N(t)\} = \int_0^t \mu(t)dt \,. \qquad (15)$$

$$z(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P\left[N(t, t+\Delta t) \geq 1\right]}{\Delta t} \qquad (16)$$

gdje je z- funkcija jakosti kvarenja, vjerojatnost pojave kvara između dva vremenska intervala podijeljena sa duljinom vremenskog intervala. Ako u nekim razdobljima *z(t)* ima velike iznose u njima će biti više kvarova nego u razdobljima u kojima *z(t)* ima manje vrijednosti.

Ovisnost funkcije jakosti kvarenja o vremenu, a koja ima karakterističan oblik i slična je koritastoj krivulji za nepopravljive sustave, ali os ordinate ima različite fizikalne značajke.

2.4. Pristupi održavanju sustava

U nastavku će biti izloženi osnovni pristupi i metode održavanja sustava, održavanje usmjereno na pouzdanost, potpuno produktivno održavanje i potpuno korektivno održavanje.

2.4.1. Održavanje usmjereno na pouzdanost

Održavanje usmjereno na pouzdanost (RCM[4]) predstavlja pristup usmjeren prema identificiranju i unaprjeđenju glavnih operacija i strategija održavanja s ciljem efikasnog upravljanja rizikom kvara pojedinačnog uređaja ili cjelokupnog sustava. Održavanje je usmjereno na definiranje ukupnog režima održavanja koji će osigurati ispravan rad funkcija sustava unutar zadanih radnih uvjeta. Neki koraci ovoga pristupa određuju:

- prepoznavanje glavnih funkcija pojedinog uređaja,
- određivanje dominantnih kvarova i kvarnih stanja i pripadnih uzroka,
- posljedice kvara na rad ostatka sustava,
- pridjeljivanje razine kritičnosti pojedinoj posljedici kvara,

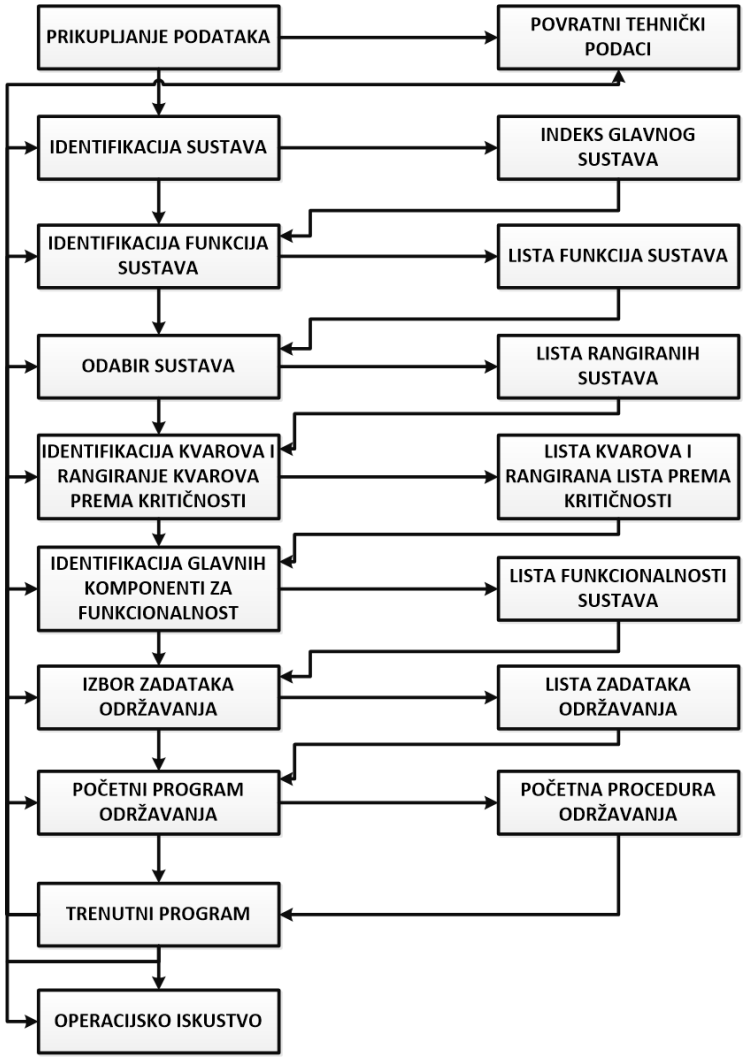
[4] RCM – (*Reliability Centered Maintenance*) – održavanje usmjereno na pouzdanost

- odabir zadataka održavanja – koji se tiču glavnih kvarova.
- odabir i implementacija redundantnih jedinica unutar sustava,
- određivanje konačne liste rizika od kvara.

Statistički podaci ukazuju na to da 33-42% radova vezanih uz preventivno održavanje ne podižu stupanj, odnosno razinu pouzdanosti ili održavljivosti. Održavanje usmjereno na pouzdanost stoga se usmjerava upravo na zadatke koji ne donose poboljšanja u smislu pouzdanosti s ciljem da ih iskoristi [5].

Na slici 2.6. prikazan skup zadataka održavanja usmjerenog na pouzdanost. Neki od zadataka sa slike su:

- identifikacija sustava – određivanje dijelova sustava koji ostvaruju pojedinačnu funkcionalnost, određivanje podsustava koji ostvaruju kritične funkcije sustava,
- identifikacija funkcija sustava – određivanje glavnih i pomoćnih funkcija koje ostvaruje pojedini sustav, odnosno podsustav,
- izbor sustava – cilj je odabrati sustave i napraviti prioritetnu listu koja se kasnije može koristiti za određivanje važnosti pojedinih dijelova sustava,
- identifikacija kvarova i rangiranje kvarova prema kritičnosti – temelji se na identifikaciji funkcija sustava, prepoznavanje kvarova koji utječu na funkcije sustava, rangiranje ovisno o značajnosti za operativnost sustava i ovisno o ekonomskim značajkama,
- izbor zadataka održavanja – izbor zadataka održavanja koji se trebaju obavljati ovisno o identificiranim kvarovima i rang listi kvarova,
- itd.



Slika 2.6. Razvoj zadataka održavanja usmjerenog na pouzdanost, [9].

Još jedna bitna značajka procesa implementacije održavanja usmjerenog na pouzdanost je određivanje učestalosti i intervala pojedinih zadataka održavanja. Obično se vremenski plan održavanja određuje na temelju operativnog iskustva, informacije o opremi i komponentama sustava, tablice pouzdanosti, itd [9].

2.4.2. Potpuno produktivno održavanje

Potpuno produktivno održavanje (TPM[5]) kao pristup nastaje 1970-ih koja po prvi put uključuje operatora stroja ili uređaja u prevenciju kvara i održavanje svoga stroja. Pristup nastaje kao reakcija na povećanu specijalizaciju i centralizaciju funkcija održavanja koja je

[5] TPM – (*eng. Total Productive Maintenance*) – potpuno produktivno održavanje

razdvojila operatora od održavanja stroja. Dakle, ideja potpuno produktivnog održavanja je u proces održavanja uključiti i operatora, odnosno u slučaju telematičkih sustava i krajnjeg korisnika [9]. Glavni ciljevi implementacije ovoga pristupa su:

- smanjivanje broja kvarova uređaja,
- skraćivanje trajanja vremena popravka,
- eliminacija kratkih zastoja,
- smanjenje gubitaka.

TPM metoda najčešće koristi sljedeća tri indeksa: MTTR[6], MTBF[7] i OEE[8] (mjera ukupne efektivnosti opreme i/ili uređaja). MTTR definira vremensko trajanje uklanjanja kvara, odnosno popravka uređaja, može se opisati sljedećim izrazom:

$$MTTR = \frac{\sum \text{trajanje popravka}}{\text{broj popravaka}} \qquad (17)$$

MTBF definira vremensko trajanje perioda između dva uzastopna pojavljivanja kvara na uređaju ili sustavu, a opisuje se sljedećim izrazom:

$$MTBF = \frac{\sum \text{trajanje rada bez kvara}}{\text{broj pojava uspješnih operacija}} \qquad (18)$$

Primarna mjera koju TPM metoda koristi je OEE – predstavlja ili ukupna efektivnost ili općenitu efikasnost uređaja. OEE indeks pokazuje koliki postotak od teoretski moguće efikasnosti pojedini stroj, uređaj ili sustav karakteristično ostvaruje. TPM opisuje i 6 glavnih uzroka gubitaka (prikazanih u 3 podgrupe):

- Vremenski gubici (ovisno o dostupnosti):
    1. gubici zbog kvarova,
    2. gubici zbog dodatnih podešavanja,
- Gubici na efikasnosti:

---

[6] MTTR – (*eng. Mean Time to Repair*) očekivano vrijeme popravka

[7] MTTBF – (*eng. Mean Time Before Failure*) očekivano vrijeme prije kvara

[8] OEE – (*eng. Overall Equipment Effectivness*) ukupna efektivnost opreme

3. gubici uzrokovani mrtvim vremenom sustava,
4. gubici zbog pada brzine procesa,

- Gubici uzrokovani defektima prema pitanju kvalitete:

5. gubici zbog pojave odbijanja i popravaka,
6. gubici puštanja u rad.

Indeks OEE se najčešće izračunava uz pomoć jednostavne formule:

$$OEE = D \times W \times J \times 100[\%] \tag{19}$$

Pri čemu su korištene sljedeće oznake: D – dostupnost (u smislu vremena), W – efikasnost, efikasnost rada, J – kvaliteta, faktor kvalitete. Pojedini koeficijenti se dalje određuju kao:

$$\begin{aligned} D &= \frac{D2}{D1} = \frac{\text{ukupno vrijeme ispravnog rada}}{\text{ukupno proteklo vrijeme}} \\ J &= \frac{J2}{J1} = \frac{\text{broj ispravnih proizvoda/operacija}}{\text{ukupan broj proizvoda/operacija}} \\ W &= \frac{W2}{W1} = \frac{\text{stvarna produkcija}}{\text{ciljana produkcija}} \end{aligned} \tag{20}$$

Analiza pruža dobre temelje za proces određivanja značajnosti pojedinog uređaja kao i identifikaciju utjecaja kvara na pojedinačne uređaje. Podaci o kvarovima se dalje koriste za određivanje prioriteta operacija i uspostave plana rada [6].

2.4.3. Potpuno korektivno održavanje

Model potpuno korektivnog održavanja (TCM[9]) sastoji se od 5 značajki, a za određivanje performansi sustava koriste se različiti indikatori. Ideja ove metode je da se održavanje izvodi na način da se identificira, izolira i ispravi neispravna oprema, uređaj ili

[9] TCM – (*eng. Total Corrective Maintenance*) potpuno korektivno održavanje

sustav, tako da sustav može dalje nastaviti sa ispravnim radom definiranim unutar određenih granica tolerancije. O korektivnom održavanju će biti više riječi u idućem poglavlju. [6].

3. VRSTE ODRŽAVANJA TELEMATIČKIH SUSTAVA

U nastavku poglavlja će biti izložene vrste održavanja koje se koriste u praksi, preventivno održavanje, korektivno održavanje i nova paradigma unutar telematičkih sustava – E-održavanje, kao i pripadna svojstva, principi rada i razlike između spomenutih vrsta održavanja [9].

3.1. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje (PM[10]) predstavlja jedan od najvažnijih elemenata efektivnog programa održavanja koji osigurava maksimalnu pouzdanost vozila, produžuje vijek trajanja vozila te poboljšava sigurnost putnika unutar vozila. Preventivno održavanje uključuje izvođenje regularnih, unaprijed planiranih popravaka u cilju sprječavanja kvarova, ispada dijelova sustava, prije nego što dođe do kritičnih kvarova. Na slici 3.1. prikazan je kompromis između planiranog i neplaniranog održavanja.

Održavanje je planirano i redovito, usmjereno na konstantnu provjeru ispravnosti rada kritičnih komponenti s ciljem sprječavanja moguće štete. Iako se u praksi pokazalo da je preventivno održavanje značajno skuplje na kratkim vremenskim periodima, na dugoročnijem planu smanjuje ukupne troškove održavanja i osigurava ispravan rad vozila. Značajke preventivnog održavanja su:

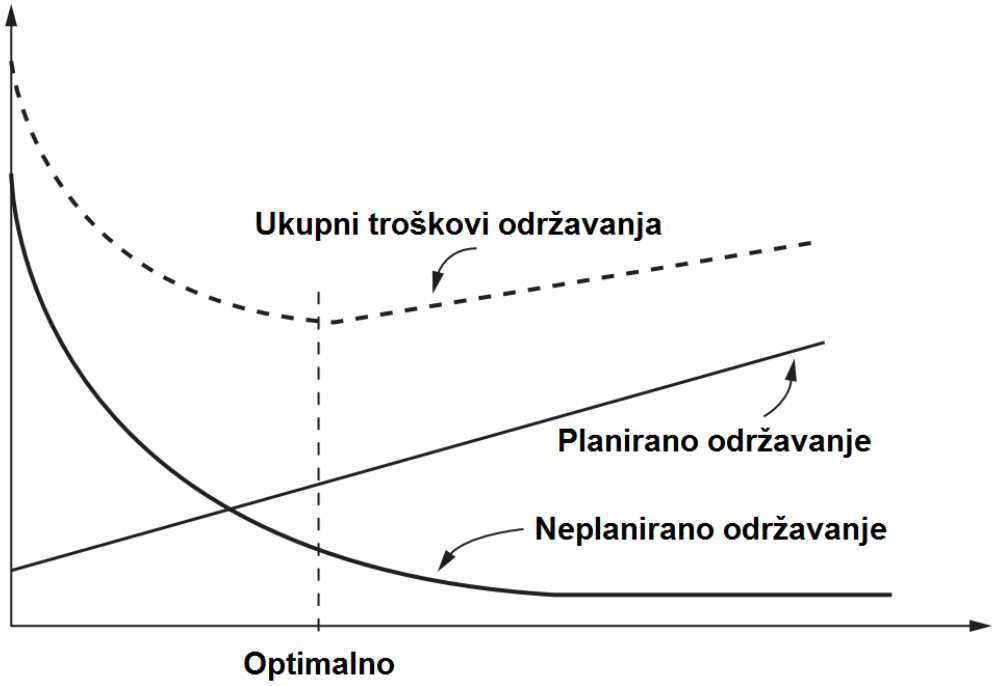
- uz pomoć sistematskih inspekcija, detekcija i popravaka sustava ukloniti kvar prije nego do njega dođe, održavati opremu u uvjetima spremnosti za unaprijed definirane radne uvjete,
- održavanje koje uključuje testove, mjerenja, podešavanja i zamjenu dijelova uređaja ili sustava s ciljem sprječavanja mogućih kvarova.

Primarni cilj ovoga tipa održavanja je ukloniti kvarove koji posljedično uzrokuju značajnu štetu ili zahtijevaju dugotrajni popravak. Da bi se kvar uklonio prije nego se dogodi, potrebno je stalnim ispitivanjima utvrđivati razinu ispravnosti rada pojedinog uređaja ili dijelova sustava. Osiguranje pouzdanosti u slučaju pronalaska „neispravne“ komponente ostvaruje se zamjenom kvarnih dijelova. Unutar modela preventivnog održavanja razlikuju se dva pristupa:

---

[10] PM – (*eng. Planned Maintenance*) plansko održavanje

- planirano održavanje – skup radova održavanja na objektu ili uređaju, vremenski isplanirano i izvedeno od strane stručne osobe i/ili tehničara s ciljem utvrđivanje ispravnog rada opreme i
- održavanje temeljeno na uvjetima – uvjetno održavanje – održavanje koje se koristi u slučaju potrebe – uvjeta koji ukazuju na kvar uređaja i/ili smanjenje efikasnosti cjelokupnog sustava.

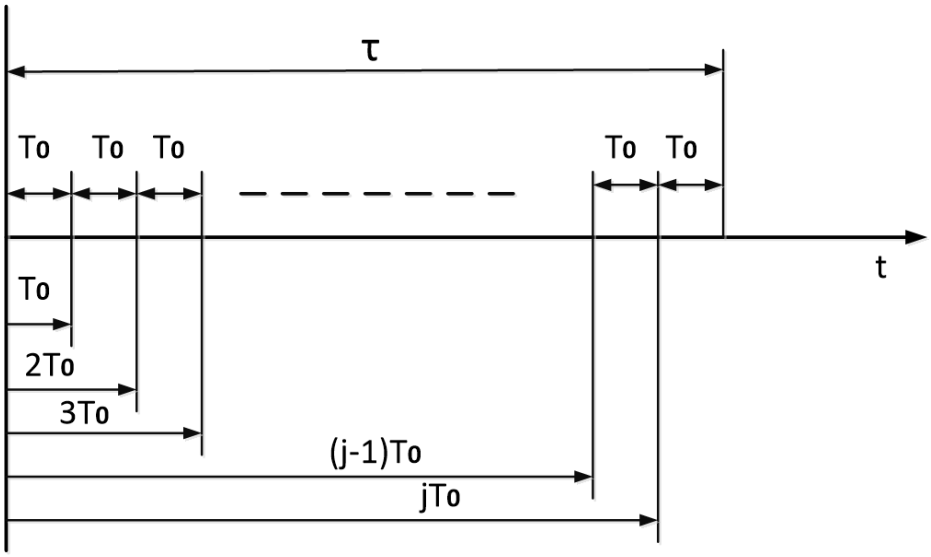


Slika 3.1. Kompromis između planiranog i neplaniranog održavanja, [8].

Glavna razlika dva navedena pristupa je u određivanju vremena održavanja ili trenutka unutar vremenskog ciklusa u kojem održavanje treba biti izvedeno.

Procjena povećanja pouzdanosti radi preventivnog održavanja

Cilj preventivnog održavanja kao i svakog drugoga je zadržati sustav na razini koju je imao u trenutku puštanja u rad. U nastavku će se razmotriti slučaj preventivnog održavanja sa predviđanjem stanja. Održavanje se provodi prema planiranom vremenskom redoslijedu, tj. u trenucima koji nisu slučajno izabrani nego koji su već unaprijed predviđeni. Objekt promatranja je sustav koji ima pouzdanost $R(t)$. Ako se preventivno održavanje provede j puta pouzdanost sustava će se povećati na $R_{PO,j}(t)$. Procjena ovoga povećanja izvodi se kako je to prikazano na sljedećoj slici.



Slika 3.2. Procjena povećanja pouzdanosti radi preventivnog održavanja, [1].

Na slici 3.2. korištene su sljedeće oznake:

- T_0 = neslučajno vremensko razdoblje između dva susjedna trenutka početka preventivnog održavanja.
- $\tau = jT_0 + x$ = ukupno vrijeme, gdje je j – cjelobrojni dio od τ / T_0, a x je ostatak.

Ako se sa A_i označi događaj: „sustav je bio ispravan u razdoblju od $\tau = (j-1)T_0$ do $\tau = jT_0$ (gdje je j=1,2,3,...)“, a sa B_i događaj: „sustav je bio ispravan u razdoblju od $\tau = jT_0$ do $\tau = jT_0 + x$.“ Sada se mogu definirati uvjetni događaji oblika [A_1]., [$A_2|A_1$].,..., [$A_j|A_{j-1}$]., i na koncu [$B|A_j$]., skupa sa uvjetnim vjerojatnostima P[A_1]., P[$A_2|A_1$].,..., P[$A_j|A_{j-1}$]. i P[$B|A_j$]., odakle se može vidjeti da vrijedi:

$$R_{PO,j}(\tau) = P\left[A_1\right] = P\left[A_2 \mid A_1\right] P\left[A_3 \mid A_2\right] ... P\left[A_j \mid A_{j-1}\right] P\left[B \mid A_j\right] \qquad (21)$$

Stvarni iznos za koji se povećava pouzdanost u odnosu na pouzdanost sustava bez preventivnog održavanja ovisi samo o T_0 i može se opisati sljedećim izrazom:

$$R_{PO,j}(\tau) = \left[R(T_0)\right]^j R(x) \qquad (22)$$

Pošto je pouzdanost održavanog sustava veća od pouzdanosti neodržavanoga, MTTF održavanoga sustava mora biti veće od MTTF neodržavanog sustava, što pokazuje i idući izraz:

$$MTTF_{pt} = \int_0^\infty R_{PO,UK}(\tau)d\tau = \frac{\int_0^\infty R(x)dx}{1 - R(T_0)}. \qquad (23)$$

3.2. Korektivno održavanje

Razlikuju se tri vrste zadataka održavanja: zadaci vezani uz prestanak rada uređaja ili sustava, korektivni i preventivni zadaci. Glavna razlika između navedenih zadataka je točka u kojoj se pojedini zadatak održavanja implementira. U održavanju koje se tiče prestanka rada sustava, ne izvode se radovi održavanja prije prestanka rada samo uređaja ili dijela sustava.

Preventivni zadaci se implementiraju prije nego se pojavi potencijalni problem, a korektivni zadaci se implementiraju i planiraju na način da se odrede aktivnosti koje će ispraviti određeni kvar ili neispravno stanje sustava. Svaki program održavanja uključuje tri navedene komponente.

Glavni zadatak vezan uz prestanak rada uređaja je kako što prije vratiti uređaj u ispravno stanje i osigurati ispravan nastavak rada sustava. Dok god uređaj ili sustav radi i na najmanjoj razini efektivnosti zadaci vezani uz njegovo održavanje se ne pokreću. Ovakav pristup je izuzetno skup, a uzrokovan je lošim planiranjem i nepotpunim popravljanjem komponenti. Loše planiranje je već unaprijed određeno samom nemogućnosti određivanja vremenskog trenutka kada će se ispad sustava dogoditi, tek po prepoznavanju simptoma kvara.

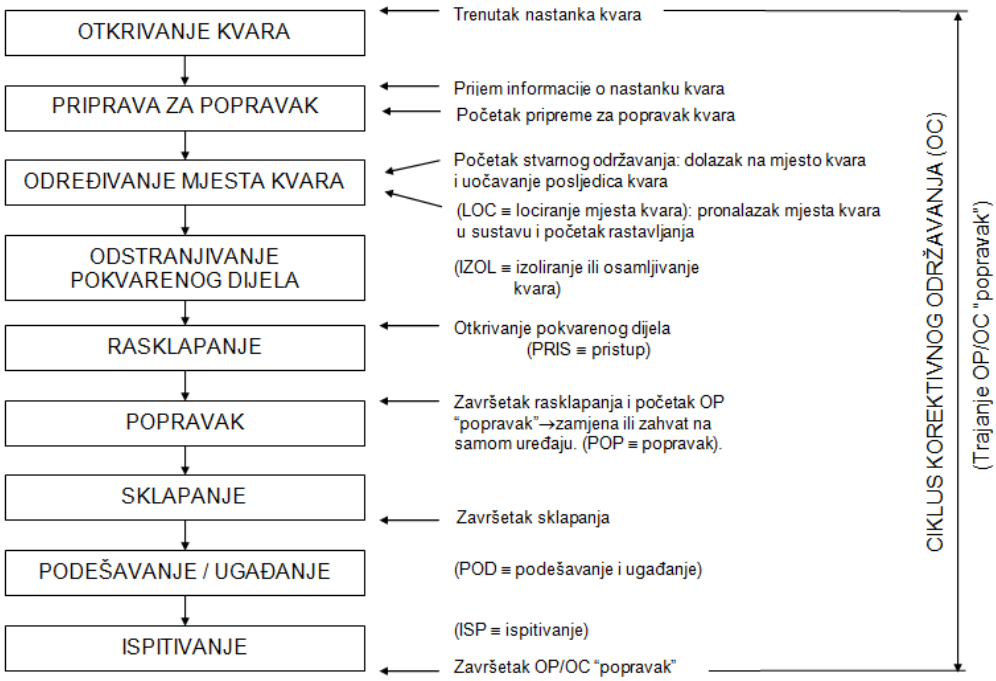
Druga loša strana ovakvog pristupa je koncentriranost resursa na samo popravljanje kvara radije nego na uzrok kvara. Kao rezultat uređaji i sam sustav ne rade na razini pouzdanosti na kojoj bi bilo prihvatljivo [1].

Glavna razlika između korektivnog i preventivnog održavanja je činjenica da problem mora već postojati prije nego se pokrenu korektivni zadaci. Korektivno održavanje je vezano uz ispravljanje kvarova – koji su se već javili. Korektivno održavanje za razliku od zadataka vezanih uz prestanak rada, koncentrirano je na održavanje kritičnih komponenti sustava na optimalnoj radnoj razini. Kvaliteta i efikasnost ovoga tipa održavanja mjere se pomoću životnog ciklusa ključnih komponenti sustava, opreme ili uređaja.

Glavna značajka ovoga pristupa je uklanjanje bilo kakvih devijacija od optimalnog radnog stanja sustava. Princip korektivnog održavanja je valjan i ukupan popravak svih problema na temelju potrebe za njihovim popravkom. Sve devijacije u odnosu na optimalno radno stanje uređaja ili sustava se uklanjaju odmah nakon detekcije.

Opis OP/OC

Cilj korektivnog održavanja je popravak kvara na takav način da sustav opet postane radno sposoban. Korektivno održavanje izvodi se u obliku održavalačkih procesa koji čine ciklus korektivnog održavanja koji se naziva OP/OC popravak. OP/OC popravak opisan je pomoću dijagrama odvijanja prikazanog na slici 3.3..



Slika 3.3. Sastav OP/OC popravak, [1].

Trajanje korektivnog ciklusa održavanja određuje se pomoću normi i priručnika u kojima se nalaze mjerni podaci o trajanju pojedinih dijelova ciklusa. Ovom postupku prethodi funkcijski rastav. Sklop A je sastavljen od više podsklopova, od kojih svaki zahtjeva prosječno trajanje korektivnog održavanja podskupa $N^0 3$ pa vrijedi:

$$\bar{M}_{ct}(N^0 3) = \frac{\sum N_i \lambda_i M_{ct,i}}{\sum N_i \lambda_i}, \qquad (24)$$

a prosječna vrijednost trajanja korektivnog održavanja za sklop će onda biti:

$$\bar{M}_{ct}(\mathrm{A}) = \frac{\sum_{UK,2}}{\sum_{UK,1}}, \qquad (25)$$

pri čemu se vrijednosti $\sum_{UK,2}$ i $\sum_{UK,1}$ uzete iz tablice 3.1., pri čemu su korištene sljedeće oznake:

λ_i = prosječna vrijednost brzine kvarenja i-te komponente,

N_i = broj i-te komponente u podsklopu,

$$M_{ct,i} = \sum(\mathrm{LOC} + \mathrm{IZOL} + \mathrm{PRIS} + \mathrm{POP} + \mathrm{POD} + \mathrm{ISP}). \qquad (26)$$

Tablica 3.1 Izračunavanje trajanja korektivnog održavanja za sklop A, [1].

Sklop A		
Podsklop	$\sum N_i\lambda_i$	$\sum N_i\lambda_i M_{ct,i}$
N=1		
N=2		
N=3		
...	...	...
	$\sum uk,1$	$\sum uk,2$

Iznosi LOC, IZOL, PRIS, POP, POD i ISP iz gornjeg izraza i prikazani na slici 3.2. određuju se empirijski, odnosno koriste se vrijednosti iz dostupnih normi i priručnika. Princip određivanja $\bar{M}_{ct,i}$ analogan je i za jedinice, skupine i podsustave.

3.3. E-održavanje

U posljednjem desetljeću razvijeno je više pristupa usmjerenih prema strukturi, organizaciji i metodi održavanja sustava, od kojih su svi imali prihvatljive rezultate u pojedinim industrijskim primjenama. Takve metode su npr. TPM – potpuno produktivno

održavanje, RCM – održavanje usmjereno na pouzdanost, CBM[11] - održavanje usmjereno na uvjetne situacije, itd.

U međuvremenu se pokazalo da strategija održavanja koja uključuje čekanje do kvara i nije najbolje rješenje. Kvar se događa nepredviđeno i može potencijalno uzrokovati velike ekonomske gubitke. Jedno od opisanih rješenja ovoga problema je planski održavati opremu i provjeravati funkcionalnost sustava. Problem ovoga pristupa je da se rad sustava mora zaustaviti da bi se ispitao pojedini uređaj ili dio sustava, što samo po sebi može dovesti do novih problema. Optimalno rješenje bilo bi kontinuirano pratiti stanje u kojem se uređaj ili komponenta sustava nalazi i poduzimati radnje popravljanja i pregleda samo ako je to potrebno [5].

Kontinuirano praćenje stanja uređaja kao i donošenje odluke o izvođenju popravljanja predstavlja velik izazov. Razvoj tehnologije omogućio je ugradnju senzora za praćenje ponašanja uređaja. Razvijene su napredne metode prikupljanja podataka o stanju uređaja, analize signala, povezivanja podataka te metoda donošenja odluka. U praksi se može naći dosta primjera primjene računalnih mreža i sustava za dijagnostiku i prognoziranje stanja sustava. Bežične tehnologije i Internet otvaraju mogućnost korištenja mobilnih ručnih računala (PDA[12] – osobni digitalni asistent) i mogućnosti pristupa velikoj količini informacija – globalno i lokalno.

Ovakvim razvojem tehnologije otvorena je mogućnost i za nove i inovativne oblike održavanja sustava. Skupni naziv za sve metode koje koriste ovakav ili sličan princip održavanja je E-održavanje, i može se definirati kao:

- Mreža koja integrira i sinkronizira različite aplikacije vezane uz održavanje i pouzdanost s ciljem da osigura pristup informacijama o trenutnom stanju uređaja, dijela opreme ili čitavog sustava, ili kao
- Koncept upravljanja održavanjem pomoću kojeg se sustav nadzire i upravlja putem Interneta.

Rješenja koja se temelje na E-održavanju obično daju odgovor na sljedeća pitanja:

---

[11] CBM – (*eng. Condition Based Maintenance*) održavanje usmjereno na stanje/uvjete u kojima se sustav ili uređaj nalazi

[12] PDA – (*eng. Personal Digital Assistant*) osobni digitalni pomoćnik

- Što: koji dio opreme ili uređaja zahtijeva održavanje?
- Kada: kada je održavanje potrebno?
- Tko: računalni sustav upravljanja održavanjem.
- Kako: pomoćna dokumentacija, dostupnost rezervnih dijelova.

Koncept E-održavanja integrira postojeće telemetrijske principe održavanja sa web servisima i modernim metodama E-suradnje. Suradnja putem web-a omogućuje dijeljenje ne samo podataka i informacija nego i znanja i tzv. E-inteligencije. Tehnologija E-održavanja sadrži i različite napredne metode i integrirana rješenja, od kojih su neka: napredni mikro-senzori, pametne mreže, PDA održavanje, aplikacije, dijagnostiku baziranu na ontologiji, metode prognoziranja, bežičnu komunikaciju, semantičke web servise za distribuiranu inteligenciju, dinamičko donošenje odluka, itd [6].

4. ZNAČAJKE I SVOJSTVA E-ODRŽAVANJA

U nastavku poglavlja će biti izložena osnovna svojstva E-održavanja i pretpostavke za ostvarivanje E-održavanja. Pojam Internet stvari za koji se može reći da je podloga E-održavanju u smislu tehnološkog iskoraka uporabom informacijsko komunikacijskih tehnologija u svim granama industrije.

4.1. Internet stvari

Internet stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) predstavlja umrežavanje fizičkih uređaja, vozila, građevina i drugih predmeta opremljenih elektronikom, softverima, senzorima, mrežnim povezivanjem koje omogućuje prikupljanje i razmjenu podataka. Povezivanje može biti bežično i pruža nove mogućnosti za međusobnu interakciju različitih sustava te donosi nove mogućnosti i načine njihove kontrole, praćenja te pružanje naprednih usluga. To mogu biti primjerice brave, perilice ili razni pogonski sustavi.

Internet stvari postaje velika nada budućnosti, a prema nedavnim analizama 15% tvrtki već koristi IoT u svojem poslovanju. Očekuje se da će taj postotak rasti u sljedećim godinama.

IoT omogućuje integraciju ogromne količine uređaja koji imaju ugrađene određene senzore koji više ili manje samostalno komuniciraju jedni sa drugima, ili sa različitim aplikacijama. Postoje tri vrste komunikacije:

- komunikacija stvari s ljudima
- komunikacija između stvari
- komunikacija između uređaja (engl. *machine to machine* - M2M)

IoT omogućava daljinsko upravljanje preko postojeće mrežne infrastrukture, stvarajući mogućnost za izravnom integracijom fizičkog svijeta u sustave bazirane na računalima čiji je rezultat poboljšana učinkovitost, točnost te korist u ekonomskom pogledu. Očekuje se da će IoT ostvariti naprednu povezivost uređaja, sustava i usluga koje nadilaze komunikaciju između uređaja (M2M) i pokriva niz protokola, domena i aplikacija. Povezanost uređaja će, uključujući i „pametne“ objekte, uvesti automatizaciju na gotovo svim područjima te se proširiti na područja kao što su „pametni gradovi“.

Pojam „Stvari“ u izrazu *Internet stvari* odnosi se na širok spektar uređaja kao što su primjerice uređaji za praćenje srčanih implatanata, automobili sa ugrađenim senzorima,

uređaji za DNK analizu hrane/okoliša, uređaji koji pomažu vatrogascima u akcijama potrage i spašavanja,... Svi ti uređaji prikupljaju korisne podatke uz pomoć različitih postojećih tehnologija, a zatim prikupljene informacije samostalno razmjenjuju s ostalim uređajima.

Internet stvari smatramo podlogom E-održavanja, ali u puno širem smislu nego što je održavanje; IoT je zapravo podloga budućem planiranju, organiziranju, djelovanju, komuniciranju, prevenciji, popravku, nadzoru o stanju različitih sustava, uređaja i stvari.

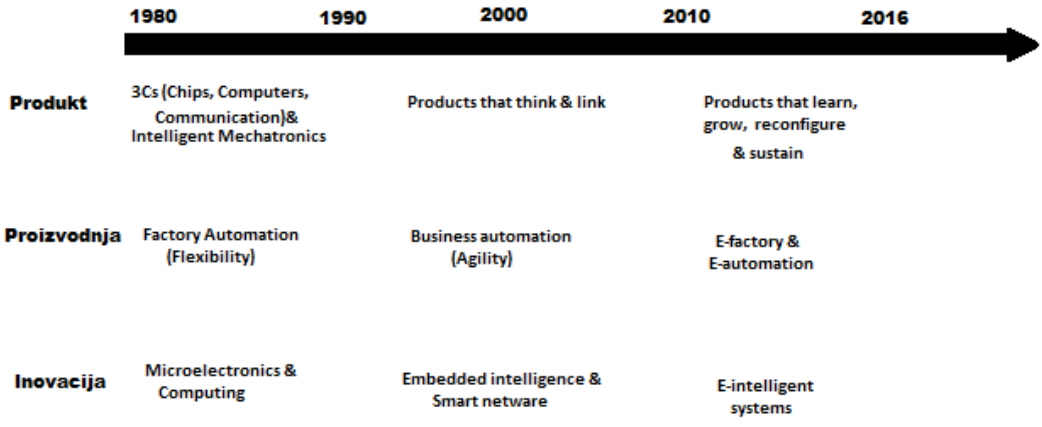
4.2. Paradigma upravljanja sredstvima

Životni ciklus sredstava i oprema kreće sa dizajnom sustava proizvodnje ili rada sustava i tipično se može podijeliti na sljedeće faze: puštanje opreme u rad, operacije, održavanje, gašenje i zamjena. Funkcije koje sustav mora obavljati pružaju temelj za oblikovanje opreme i komponenti sustava s ciljem što boljeg zadovoljenja unaprijed određenih zahtjeva. Funkcionalnost i radno opterećenje sustava kao i dizajn opreme i sredstava ujedno definiraju i zahtjeve održavanja – da bi se oprema sustava zadržala unutar radnih uvjeta. Održavanje određuje i buduću razinu pouzdanosti komponenti sustava.

Glavni cilj procesa upravljanja sredstvima i opremom je kontinuirana dostupnost servisa i funkcija koje sustav mora biti u stanju pružiti. Upravljanje sredstvima je stoga vođeno navedenom strategijom, ovisno o velikom broju informacija i s konačnim ciljem ostvarivanja najveće moguće razine efikasnosti sustava.

4.3. Tehnološki korak prema E-održavanju

Razvojem novih tehnologija u prvom redu web servisa i Interneta kao i komunikacijskih mreža dolazi do sve veće integracije naprednih metoda i tehnika u sve primjene sustava. Svoje mjesto primjena novih tehnologija naročito nalazi u sustavima koji zahtijevaju kontinuirano praćenje stanja pojedinih komponenti kao i u sustavima održavanja.



Slika 4.1. Evolucija i razvoj tehnologije

Izvor: [6].

Na slici 4.1. prikazan je tok razvoja tehnologija kao i pripadne promjene u industriji, u ovom primjeru riječ je o odnosu proizvodnje i pripadnih proizvoda. Efektivno održavanje ovisno je ponajviše o dostupnim informacijama i podacima o vremenu ispravnog rada opreme.

Donošenje odluka o održavanju stoga zahtjeva sustav podrške koji se temelji na procesu prikupljanja informacija, prijenosu podataka, fuziji podataka, analizi i vizualizaciji korisnih informacija.

Slika 4.2. Procedura procesiranja podataka bitnih za donošenje odluka vezanih uz održavanje sustava, [6].

Fuzija podataka se odnosi na proces povezivanja podataka sa različitih skupova heterogenih senzora, koji olakšavaju proces donošenja odluka vezanih uz održavanje

sustava. Iako je na slici 4.2. prikazan jednostavan tok podataka koji čini E-održavanje jako efikasnim načinom donošenja odluka, postoje razni problemi i izazovi koji se mogu grupirati u sljedeće kategorije:

- organizacijski – aspekti vezani uz upravljanje resursima, kao što je npr. restrukturiranje sustava da bi bio pogodan za primjenu E-održavanja, planiranje resursa, upravljanje informacijama i podacima,
- arhitekturalni – razvoj ukupne arhitekture E-održavanja sustava, razvijanje valjanih modela za decentralizirano procesiranje i analizu podataka, prognostički alati bazirani na modelima,
- infrastrukturalni – uvođenje odgovarajuće tehnologije i alata nužnih za održavanje, implementacija servisa za održavanje, sigurnosni mehanizmi sustava,
- sadržajni i kontekstualni – podaci koji se prikupljaju kroz E-održavanje moraju na odgovarajući način biti integrirani u sustav odlučivanja,
- integracijski – problemi vezani uz koordinaciju, sinkronizaciju i integraciju podataka kojima upravlja sustav E-održavanja, mogućnosti prijenosa tehnologije E-održavanja na različite sustave bazirane po multi-platform principu.

E-održavanje se kao vrsta održavanja nudi kao zamjena za tradicionalne metode održavanja sa novima, gdje se zapravo primjenjuje prediktivno održavanje uz primjenu sustava umjetne inteligencije, koji se koriste za praćenje stanja sustava i prognostičkih alata. Princip E-održavanja je nastao na temelju brzog razvoja informacijskih i telekomunikacijskih tehnologija. Svoje primjene nalazi osobito u automobilskoj industriji kao i u inteligentnim prometnim sustavima – npr. dijagnostika sustava, odnosno automobila sa udaljenosti. Slični iskoraci mogu se naći u industrijama vezanim za: proizvodni pogoni, kemijska industrija, industrija zračnih vozila, itd [7].

Primjena e-održavanja u različitim industrijama

Jedan od razloga uporabe E-održavanja u različitim industrijama je i konkurencija. Industrijski pogoni i tvrtke se trebaju bazirati na inovaciji usluga koje nude ali i na optimizaciji pogona. E-održavanje proizlazi iz globalizacije i brzog rasta informacijsko-komunikacijskih tehnologija te će njegova odgovarajuća implementacija, kako proizvođačima tako i korisnicima, ostvariti pouzdanost s optimalnim radom i besprijekornu

integraciju sa dobavljačima i kupcima. Osim toga, E-održavanje omogućava proizvodnju sa minimalnim postotkom prekida rada sustava.

4.4. Temeljni pojmovi E-održavanja

E-održavanje je održavanje usmjereno na proizvodnju, tj. proces dobivanja dobara unutar tvorničkog okruženja. Kako je već objašnjeno suvremena proizvodnja zahtijeva i povećanu pouzdanost kako opreme, tako i sustava. Promjena u načinu održavanja jasno slijedi, povećanje pouzdanosti zahtijeva primjenu informacijsko-komunikacijskih tehnologija i naprednih postupaka nadzora opreme.

Najjednostavnija definicija E-održavanje je da je to održavanje kojim se upravlja pomoću računala. Malo složenija definicija je: E-održavanje je interdisciplinarna djelatnost temeljena na održavanju i telematičkim tehnologijama koje osiguravaju da se E-održavanje usluge u skladu s potrebama i poslovnim zahtjevima pružatelja i korisnika usluga tijekom cijelog vijeka trajanja promatranog proizvoda. Pojam E-održavanja se odnosi na ugradnju, spajanje u jednu cjelinu, ICT-a u strategiju održavanja ili plan održavanja zbog nastanka novih potreba proizvodnje.

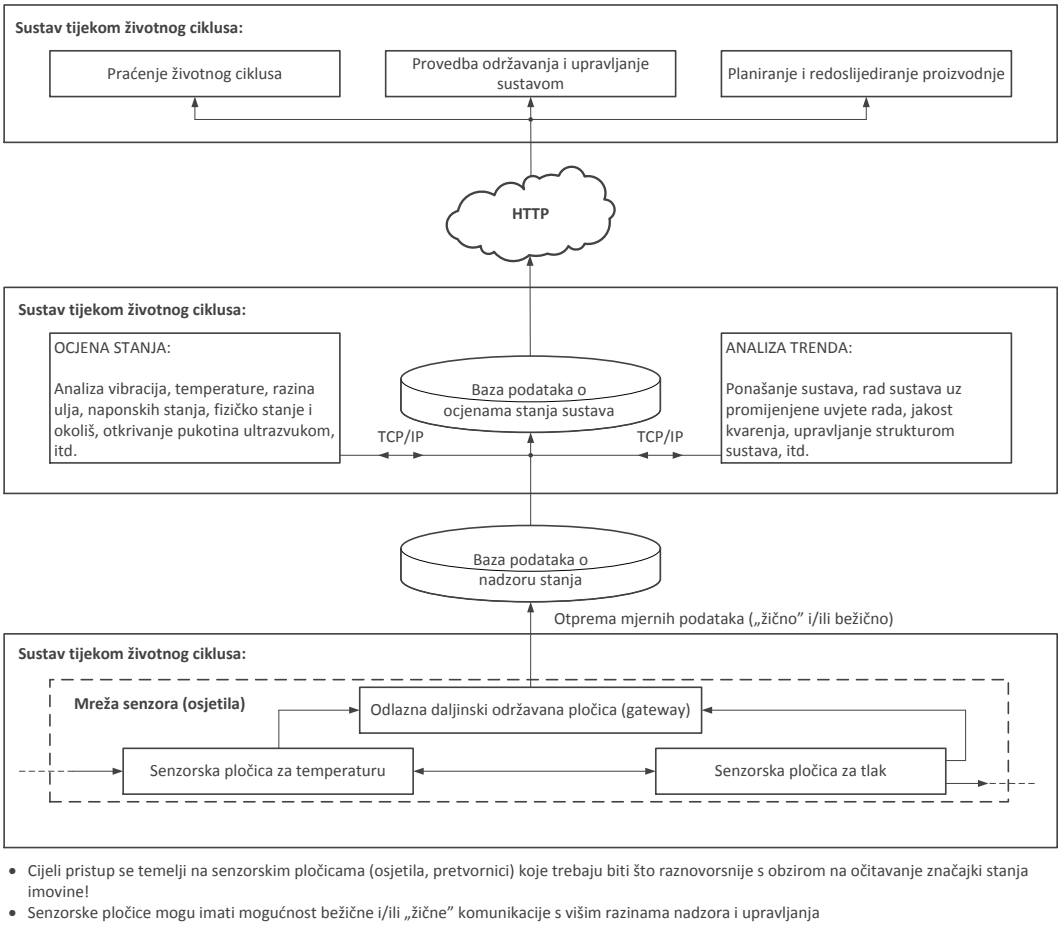
Razlikujemo 4 različita pristupa E-održavanju:

- E-održavanje kao strategija održavanja (opći pristup održavanju) – E-održavanje se može promatrati kao jedan od postupaka održavanja pri čemu se zadaćama održavanja upravlja elektronički s pomoću RT podataka o stanju opreme dobivenih odgovarajućim digitalnim tehnologijama. Neki primjeri spomenutoga su: mobilne usluge, daljinski nadzor stanja, telekomunikacije putem Internet-a.
- E-održavanje kao plan održavanja – koji zadovoljava zahtjeve budućih e-automatiziranih proizvodnih postupaka s održavanjem temeljenim na proširenom nadzoru stanja, zahtjevima preventivnog održavanja, daljinsko upravljanje i izvođenje održavalačke potpore i usluga.
- E-održavanje kao vrsta održavanja – E-održavanje se može predstaviti i kao zamjena već postojećih vrsta održavanja s jednim više preventivnim. Uobičajeno periodičko održavanje treba poboljšati ili unaprijediti i premjestiti u područje pristupa održavanju koji se temelji na primjeni umjetne inteligencije, što se javlja

kao potreba zbog sve strožih zahtjeva na pouzdanost proizvodnih postupaka. U ovom smislu se E-održavanje shvaća kao vrsta preventivnog održavanja koje ostvaruje samo funkcije nadzora i predviđanja stanja.

- E-održavanje kao održavalačka potpora – E-održavanje se može promatrati kao uslužna tehnologija koja pruža mogućnost suradnje umjetne inteligencije u sustavu automatizacije industrijskih procesa proizvodnje [6]. Također se može reći da je E-održavanje okoliš raspodijeljene umjetne inteligencije koja sadrži sustave:
  - obrade informacija,
  - komunikacijskih alata,
  - donošenja odluka i
  - suradnje procesa održavanja i ekspertnih sustava.

E-održavanje unutar ovakvoga pristupa može se definirati kao održavalačka potpora koja sadrži sredstva, usluge i upravljanje potrebne za ostvarivanje procesa preventivnog odlučivanja.



- Cijeli pristup se temelji na senzorskim pločicama (osjetila, pretvornici) koje trebaju biti što raznovorsnije s obzirom na očitavanje značajki stanja imovine!
- Senzorske pločice mogu imati mogućnost bežične i/ili „žične" komunikacije s višim razinama nadzora i upravljanja

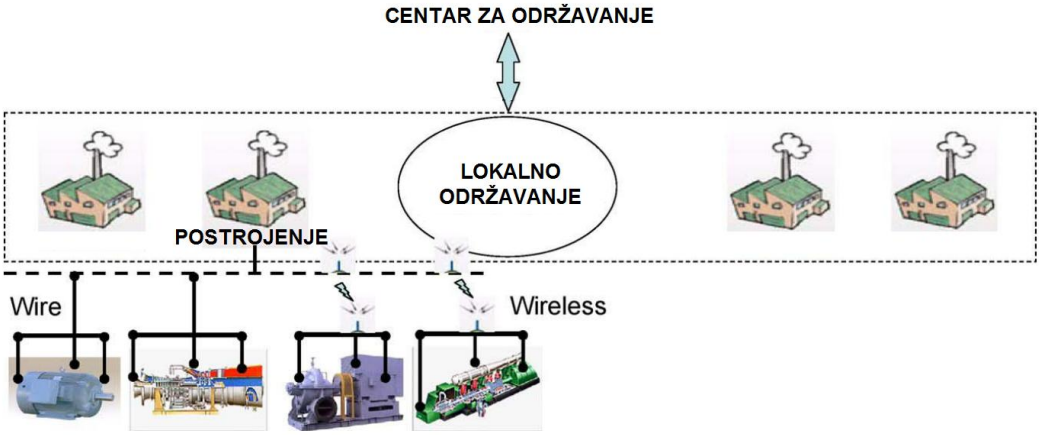
Slika 4.3. Struktura E-održavanja, [1].

Na slici 4.3. prikazana je jedna od struktura upravljanja E-održavanje. Na najnižoj razini sustava nalaze se senzorske pločice, koje su u ovom slučaju vezane uz mjerenje tlaka, temperature, itd. Podaci prikupljeni pomoću senzora šalju se na odlazni modul mreže, koji bežičnim ili žičanim putem šalje mjerne podatke u bazu podataka u nadzoru sustava. Na temelju podataka iz baze o nadzoru stanja sustava određuju se ocjene stanja, u smislu kritičnih stanja ili kvarova, i analize trenda, koje sadrže vizualizaciju ponašanja pojedinih mjerenih veličina.

Na najvišem stupnju se nalaze web servisi koji na osnovu dobivenih informacija o stanju sustava i analiza stanja sustava vrše praćenje životnog ciklusa dijelova sustava i opreme, šalju zahtjeve za održavanjem i upravljačke signale sustava te zahtjeve vezane uz proizvodnju i redoslijed operacija proizvodnje.

4.5. Informacijsko - komunikacijska infrastruktura integrirana u e-održavanje

Kako je već prije spomenuto metode E-održavanja uključuju i informacijsko komunikacijsku tehnologiju. Strategije E-održavanja koje se praktično primjenjuju su: udaljeno održavanje, prediktivno održavanje, RT održavanje, kooperativno održavanje, preventivno održavanje i korektivno održavanje. Sve navedene strategije uključuju određenu infrastrukturu koja omogućuje njihovu punu funkcionalnost, pa tako i E-održavanje. Procesi E-održavanja koji se smatraju primarnim zadacima su: dijagnostika, prognoziranje, planiranje i upravljanje proizvodnjom, dokumentiranje podataka, itd. Sve strategije E-održavanja zahtijevaju ICT podršku.



Slika 4.4. Arhitektura sustava E-održavanja, [3].

Na slici 4.4. prikazana je opća arhitektura sustava E-održavanja, centar za održavanje predstavlja platformu na kojoj se nalaze i druge funkcionalnosti, lokalno održavanje određuje održavanje pojedinog postrojenja, na razini postrojenja, dok se na najnižoj razini nalaze mreže senzora koji prate stanja pojedinih strojeva ili dijelova sustava. Sa stajališta E-održavanja ICT struktura se sastoji od elemenata kao što su: serveri, radne stanice, aplikacije, baze podataka, pametni senzor, PDA, i niz drugih. PDA uređaji mogu biti pametni telefoni, grafički tableti, prijenosna računala, opremljena sa WiFi, Bluetooth-om, RFID čitačem itd. Sustav također sadrži i potpuni Web-CMMS[13] pomoću kojega se vrši nadzor i upravlja aktivnostima i zadacima vezanim uz preventivno održavanje, ali nudeći i

[13] CMMS – (*eng. Computer Managed Maintenance System*) – sustav održavanja uz pomoć računala

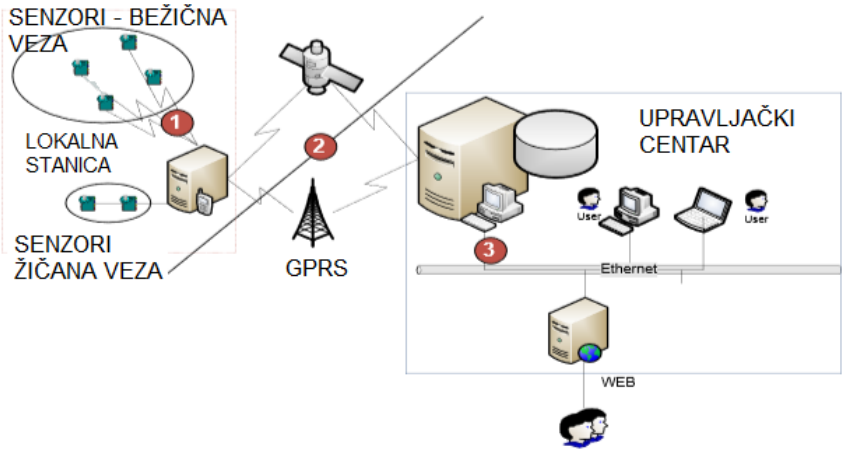
mogućnosti komunikacije preko Internet-a, povezano sa mobilnim mrežama i tehnologijama za dohvaćanje podataka, itd [3].

Pozicija ICT-a je također karakterizirana sa bežičnom infrastrukturom i standardima vezanim uz različite slojeve komunikacijske mreže. Bežične tehnologije rezultiraju značajnim uštedama unutar postrojenja, pošto smanjuju troškove ožičenja, kao i održavanja. Korištenje pametnih senzora doprinosi pouzdanosti sustava, pošto implementiraju koncept CBM i pružaju potporu kod dijagnostike sustava.

5. REALAN PRIMJER PRIMJENE E-ODRŽAVANJA

E-održavanje uključuje i upravljanja korištenjem ICT alata koji povezuju najniži sloj- mjerenje uz pomoć senzora, sa najvišim- upravljačkim dijelom sustava. Razvoj ekonomski prihvatljivih pametnih senzora koji imaju mogućnost mjerenja stanja stroja ili uređaja poboljšao je mogućnosti prikupljanja i slanja podataka prema višim razinama sustava.

Uz pomoć bežične i žičane komunikacijske tehnologije alati potrebni za održavanje postali su dostupni u obliku fleksibilnih web usluga koje se mogu integrirati na različite tipove uređaja, npr. tablet, prijenosno računalo, mobilni uređaj, i sl. Ovakva metoda e-suradnje omogućuje bržu razmjenu podataka i informacija o stanju sustava, kao i jednostavnije upravljanje održavanjem sustava.

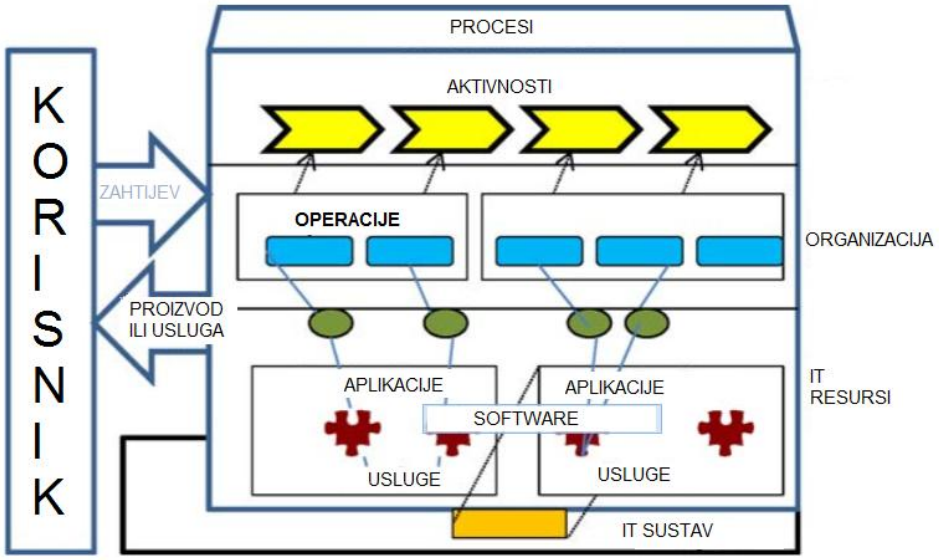


Slika 5.1. Mreža E-održavanja, [10].

Na slici 5.1. prikazana je pojednostavljena mreža E-održavanja. Kao što se vidi sa slike mreža se može podijeliti na lokalnu – gdje se vrše mjerenja i nadzor stanja sustava uz pomoć senzora i udaljenu – gdje se nalaze upravljačke funkcije sustava E-održavanja.

Važan dio sustava E-održavanja je, kako je to već spomenuto, tzv. pametni senzor. Pametni senzori omogućuju distribuirani nadzor sustavom. U usporedbi sa običnim senzorima inteligentni senzori su u stanju obavljati puno složenije funkcije od običnog prikupljanja podataka. Kombinacijom mjerenja i izračuna na razini mikročipa, ovakvi senzori mogu vršiti operacije kao što su samokalibracija, primjena adaptivnih tehnika koje poboljšavaju točnost mjerenja, i sl. Umrežavanjem ovakvih senzora može se postići velika informativna moć. Već sada se u industriji primjenjuju mrežni protokoli koji mogu osigurati povezivanje različitih vrsta i tipova senzora. Implementacijom inteligentnih

senzora dobiva se cjelokupna slika o stanju sustava. Povezivanje senzora ima još jednu prednost, a to je da se njihovim povezivanjem povećava i moć procesiranja i to eksponencijalno.



Slika 5.2. Slojevi sustava E-održavanja, [11].

Kada je u pitanju software potreban za izvođenje E-održavanja jasno je da moraju postojati definirani mrežni protokoli preko kojih se ovi lokalno prikupljeni podaci mogu slati na više razine, odnosno aplikacije sustava. (Slika 5.2.)

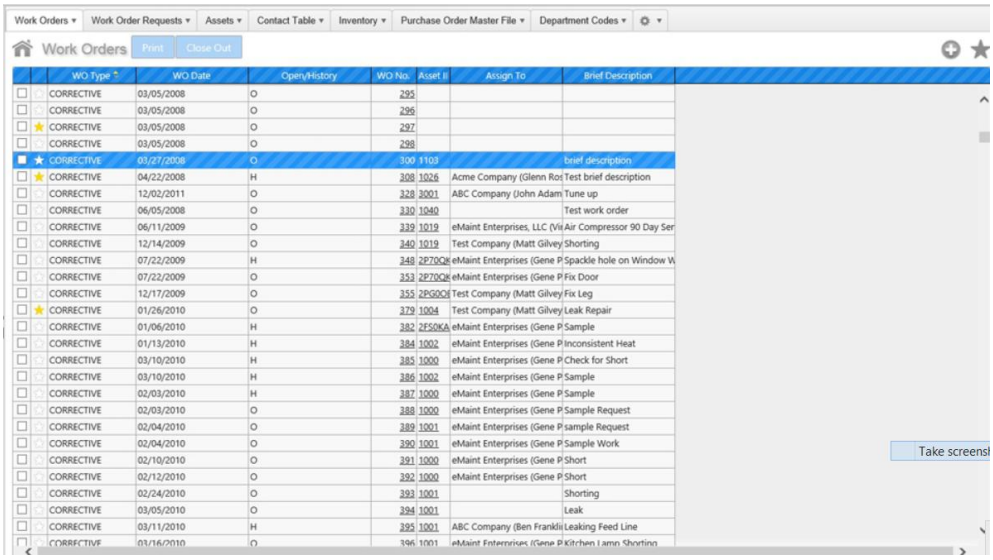
Primjer E-održavanja softvera

U primjeni se mogu naći različiti programski alati koji služe isključivo za upravljanje održavanje. Između velikog broja programskih alata koji se u praksi koriste za modeliranje i upravljanje održavanjem sustava odabran je eMaintX3, sve slike u nastavku poglavlja preuzete su sa Internet izvora [14]. i [15]., odnosno službene stranice aplikacije eMaintX3. Za više informacija o samom proizvodu potrebno je provjeriti web izvor [14]., a još neka softverska rješenja mogu se pronaći na web izvorima [15]. – *API* i [16]. – *Urgent Technology*.

Jedan od takvih alata je i eMaintX3 – programsko rješenje koje koristi velik broj sustava. Funkcionalnosti koje ovaj programski alat pruža su:

- **svojstva sustava** – pregled zadataka, radnih opterećenja sustava, razina provjere, generiranje izvještaja, unutar ove funkcionalnosti uključeno je još i:

- pristup podacima i listama podatka u realnom vremenu,
- izrada prioritetnih listi održavanja (Slika 5.3.),
- filtriranje prikupljenih podataka,
- pristup podacima programskog alata putem web usluga.



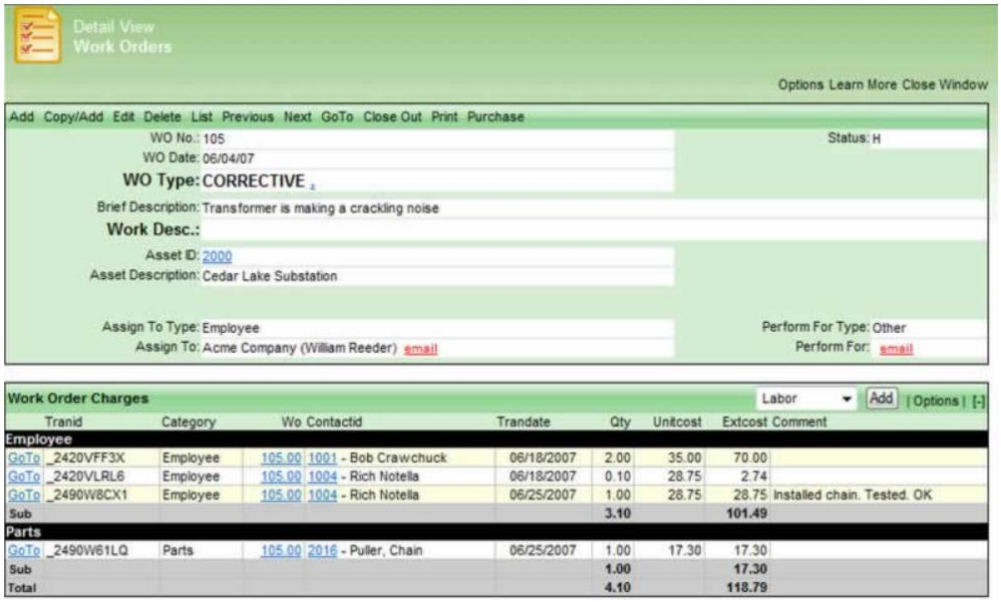
Slika 5.3. Prioritetna lista u programskom alatu eMaintX3, [14].

- **radni zahtjevi** – upravljanje opremom i upravljanje održavanjem opreme, slanje zahtjeva putem web servisa (Slika 5.4., Slika 5.5., Slika 5.6.),

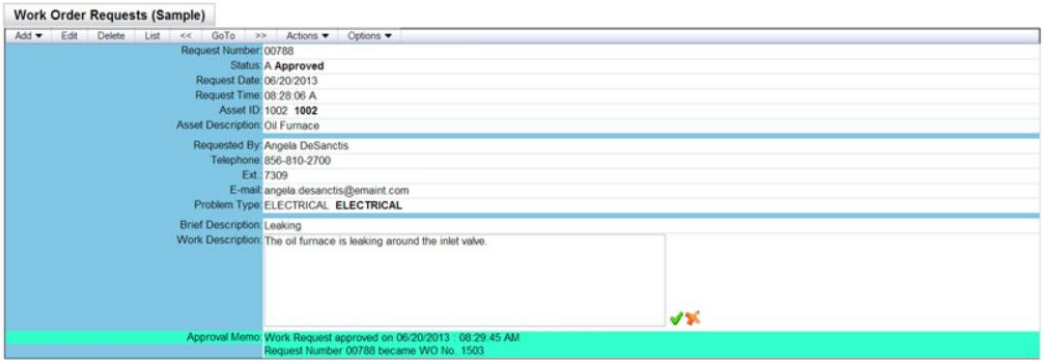
Slika 5.4. Primjer liste radnih zahtjeva, [14].

- alarmni sustav za primanje zahtjeva,

- mogućnosti podešavanja radnog toka za obradu zahtjeva zajedno sa potrebnim akcijama,



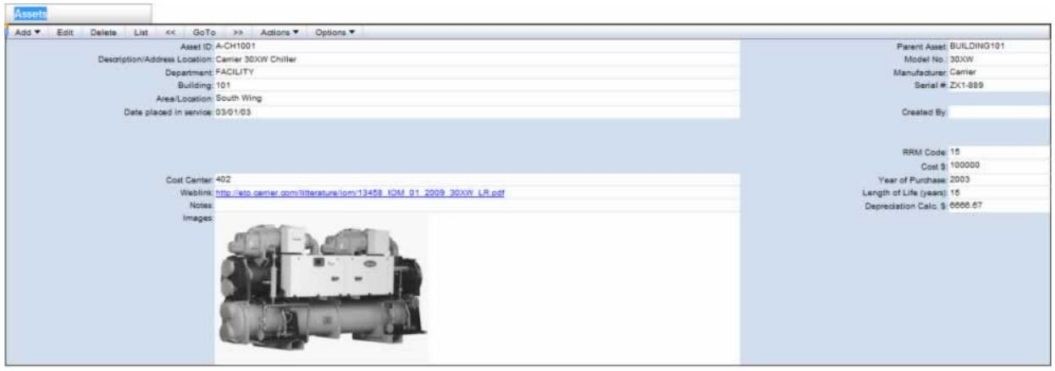
Slika 5.5. Primjer detaljnog radnog zahtjeva u programskom alatu eMaintX3, [14].



Slika 5.6. Primjer radnog zahtjeva u programskom alatu eMaintX3 [14].

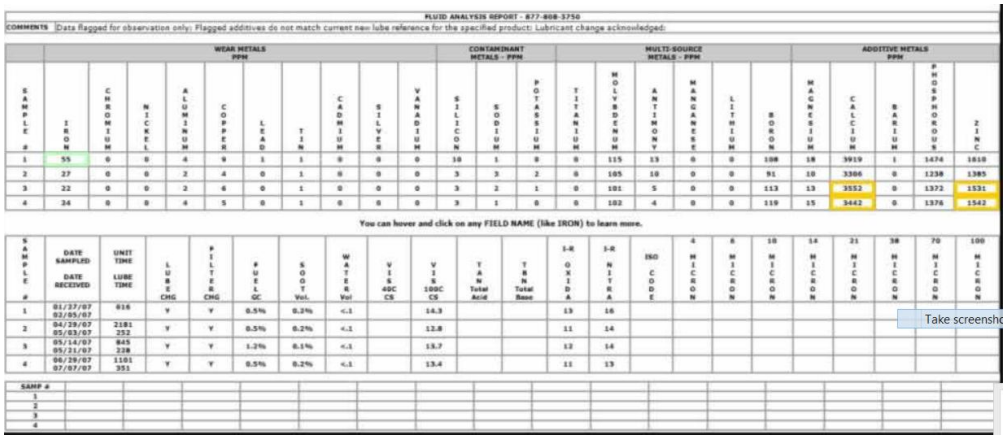
- praćenje i spremanje informacija o svim planskim i neplanskim koracima održavanja,
- notifikacija korisnika putem e-mail usluga,

- **upravljanje opremom** – služi za uklanjanje dugotrajnih i skupih ručnih praćenja procesa, glavne funkcionalnosti su:
  - upravljanje održavanjem opreme – pregled mjerenja, povezivanje stanja opreme sa listama rezervnih dijelova, organizacija dokumentacije o opremi, spremanje i prikaz opreme u hijerarhijskoj strukturi (Slika 5.7.),



Slika 5.7. Primjer unosa o dijelu opreme u programskom alatu eMaintX3, [14].

- izvještavanje i praćenje opreme – jednostavan pregled stanja opreme kao i radnih zahtjeva s kojima je oprema opterećena, provjera podataka o garanciji opreme, generiranje izvještaja o cijeni popravaka opreme, statističko praćenje podataka o broju, vrsti i učestalosti kvarova na pojedinom uređaju. (Slika 5.8.)

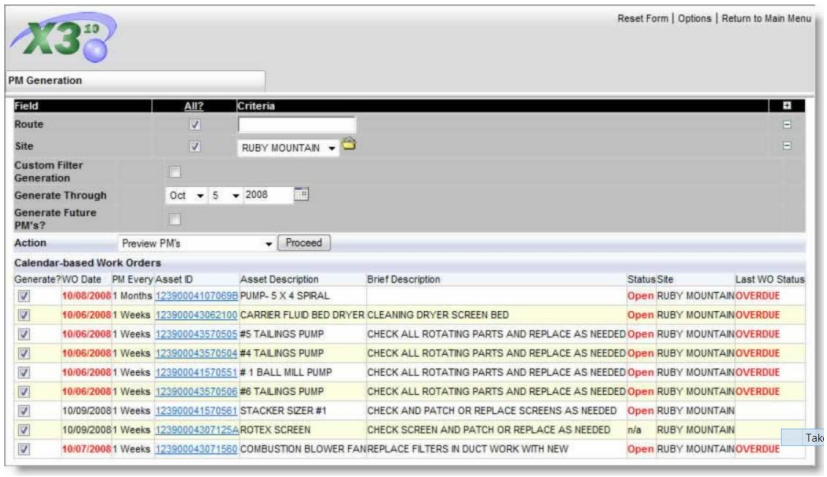


Slika 5.8. Primjer generiranog izvještaja u programskom alatu eMaintX3, [14].

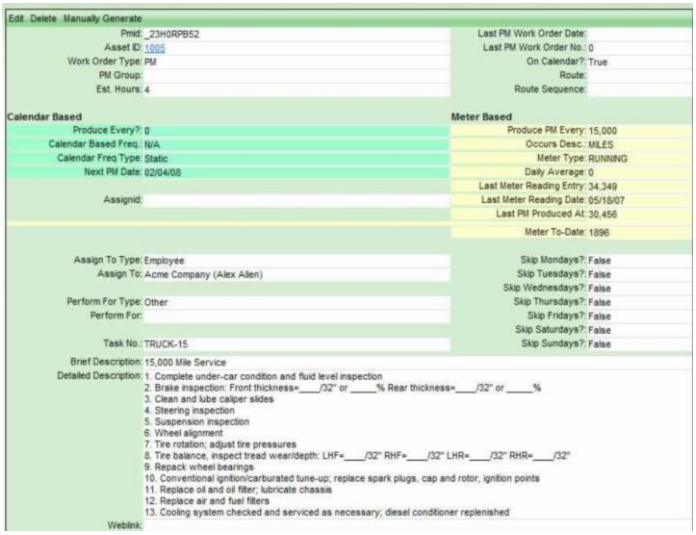
- **preventivno održavanje** – praćenje sustava održavanja kao i planiranje i slaganje zadataka koje preventivno održavanje uključuje, neke od funkcionalnosti koje ovaj dio uključuje su:
  - definiranje zadataka uključenih u preventivno održavanje,
  - definiranje prioritetnih lista za pojedini zadatak preventivnog održavanja,
  - definiranje liste zadataka ovisno o dijelu opreme ili sustava,
  - mogućnost definiranja grupa koje sudjeluju u pojedinom koraku održavanja, preusmjeravanje i definiranje sekvenci,

- ručno i automatsko obavještavanje i alarmiranje vezano uz zadatke preventivnog održavanja,
- sustav planskog održavanja – upravljanje zahtjevima za rezervne dijelove.

Na sljedećim slikama (Slika 5.9., Slika 5.10., Slika 5.11.) prikazane su neke gore navedene mogućnosti programskog alata:



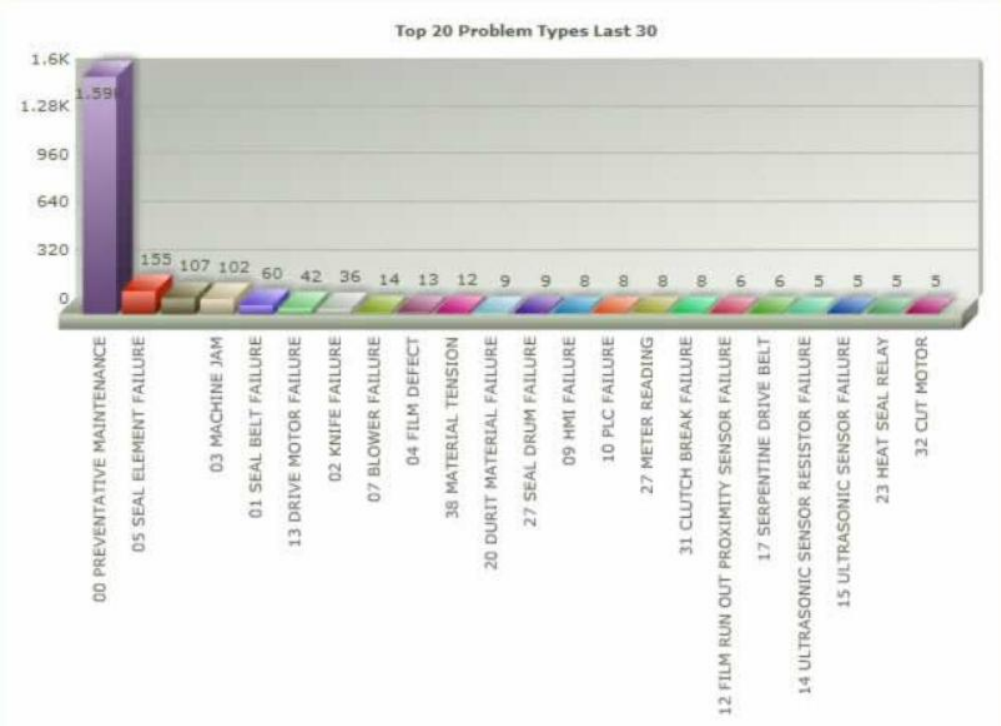
Slika 5.9. Primjer podešavanja preventivnog održavanja – temeljeno na kalendarskom vremenu, [14].



Slika 5.10. Primjer podešavanja preventivnog održavanja, [14].

Osim gore navedenih funkcionalnosti tipični programski alati vezani uz sustav E-održavanja mogu imati još i sljedeće mogućnosti:

- upravljanje opremom s ciljem automatskog generiranja narudžbi novih dijelova (praćenje i upravljanje skladištem),
- mogućnosti podešavanja automatskog generiranja izvještaja o ključnim mjerenjima zajedno sa pripadnim alatima za obradu i analizu podataka,



Slika 5.11. Primjer izvještaja – rang lista najučestalijih kvarova ili problema, [15].

- pristupanje svim podacima putem mobilne mreže, uz pomoć „pametnih“ telefona i sl.,
- organizacija rada sustava, funkcionalnost planiranja održavanja s ciljem povećanja pouzdanosti sustava,
- praćenje uvjeta, odnosno stanja opreme i sustava u svrhu prediktivnog održavanja.

6. ZAKLJUČAK

Tehnološkim razvojem, osobito na informacijsko komunikacijskom području otvorene su nove mogućnosti i na području održavanja sustava. Tradicionalni modeli održavanja u današnjoj industriji integrirani su u telematičke sustave upravljanja održavanjem. U odnosu na postojeće načine i prakse održavanja sustava E-održavanje kao tehnološki napredno pokazuje mnoge prednosti. Koristeći decentralizirani sustav računalne i informacijske podrške korisnik je u mogućnosti jednostavno nadzirati stanje i rad sustava i uređaja, jednostavno organizirati i integrirati više različitih modela održavanja na jednom sustavu.

Jedna od velikih prednosti E-održavanja je i fleksibilnost sustava, kao i kontinuirana dostupnost podataka od najniže razine do najviše. Na najnižim razinama sustava integriraju se pametni senzori koji predstavljaju čvorove i komponente komunikacijske mreže, žičane ili bežične što omogućuje brz i značajno veći kapacitet protoka podataka. Najviše instance sustava funkcioniraju kao web servisi kojima se jednostavno pristupa i sa različitih vrsta mobilnih uređaja.

E-održavanje kao tehnologija stoga predstavlja napredak po pitanju pouzdanosti, održavljivosti i sigurnosti rada sustava. Svoje primjene E-održavanje nalazi u gotovo svim granama industrije, prometu, transportnim sustavima, itd. te kao takvo predstavlja novu paradigmu održavanja upravljanjem telematičkih sustava.

LITERATURA

Knjige, znanstvena i stručna djela:

1. Begović, M.: *„Održavanje tehničkih sustava“*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, Hrvatska, 2003.
2. Sullivan, G. P., Pugh, R., Melendez, A. P., Hunt, W. D.: „*Types of Maintenance Programs*“, O&M Best Practices Guide, vol. 2., U.S. Department of Energy, USA, 2004.
3. Aramco S., „*Information and Communication Technology Infrastructure in E-maintenance*“, 4th International Conference of Information, Process and Knowledge Management, eKNOW, Dhahran, Saudi Arabia, 2012.
4. Cassian I., „*Vehicle Telematics: A Literature Review*“, Technical Report ECE, USA, 2007.
5. Jantunen E., „*E-Maintenance: trends, challenges and oportunities for modern industry*“, VTT, Athens, Greece, 2009.
6. Kajko-Mattsson, „*Essential Components of E-Maintenance*“, International Journal of Performability Engineering, IJPE, Vol. 7, Sweden, 2011.
7. Mikulski J., *„Modern Transport Telematics: 11th International Conference on Transport Systems Telematics*“, Poland, 2011.
8. Mazurkiewicz D., „*Computed aided maintenance and reliablity management systems*“, Maintenance and Reliability, Poland, 2014.
9. Mobley K., „*Maintenance Engineering Hadnbook 8th*“, New York, USA, 2011.
10. Siergiejczyk M., „*Communication Architecture in the Chosen Telematics Transport System*“, INTECH, University of Technology, Warsaw, Poland, 2010.
11. Wtherall D., Tanenbaum A.S., „*Computer Networks 5th*“, Seattle, Prentice Hall, USA, 2012.
12. Yonglong X., „*An Introduction to Telematics: Situation, Technologies, Market and Applications*“, Germany, 2011.

Internet izvori:

13. Web stranica aplikcije za upravljanje održavanjem sustava eMaintX3 (u radu se koristi za primjer softvera za upravljanje održavanjem sustava, a koji se primjenjuje u industrijskim postrojenjima):

http://www.emaint.com/the-hub/

14. Web stranica druge aplikacije za upravljanje održavanjem postrojenja API, koja se koristi specijalno u industriji obrade i distribucije prirodnog plina. Aplikacija također predstavlja još jedno softversko rješenje koje integrira E-održavanje.

http://www.apiemaintenance.com/emaintenance-2/

15. Web stranica aplikacije za upravljanje održavanjem postrojenja – Urgent Technology, koja također integrira E-održavanje kao model upravljanja održavanjem:

http://www.urgtech.com/emaintenance/

POPIS KRATICA

CBM	(Condition Based Maintenance) održavanje usmjereno na uvjetne situacije
CMMS	(Computer Managed Maintenance System) sustav održavanja uz pomoć računala
D	(Durability) trajnost sustava
IoT	(Internet of Things) Internet Stvari
GPS	(Global Positioning System) globalni sustav pozicioniranja
ICT	(Information and Communications Technology) informacijsko komunikacijske tehnologije
MTBF	(Mean Time Before Failure) očekivano vrijeme prije kvara
MTTR	(Mean Time To Repair) očekivano vrijeme popravka
OEE	(Overall Equipment Effectiveness) ukupna efektivnost opreme
PDA	(Personal Digital Assistant) osobni digitalni pomoćnik
PM	(Planned Maintenance) plansko održavanje
RCM	(Reliability Centered Maintenance) održavanje usmjereno na pouzdanost
RT	(Real Time) stvarno vrijeme, stvarnovremeno
TBF	(Time Before Failure) vrijeme između dva uzastopna kvara
TPM	(Total Product Maintenance) potpuno produktivno održavanje
TTF	(Time To Failure) vrijeme do prestanka rada ili kvara
W	(Workload) opterećenje

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Životni ciklus i vijek trajanja sustava 6

Slika 2.2. Vremensko ponašanje nepopravljivog sustava 8

Slika 2.3. Krivulja preživjelih 9

Slika 2.4. Koritasta krivulja brzine kvarenja 11

Slika 2.5. Vremensko ponašanje popravljivog sustava – ciklus „spremnost“ – „nespremnost“ 12

Slika 2.6. Razvoj zadataka održavanja usmjerenog na pouzdanost. 15

Slika 3.1. Kompromis između planiranog i neplaniranog održavanja. 20

Slika 3.2. Procjena povećanja pouzdanosti radi preventivnog održavanja. 21

Slika 3.3. Sastav OP/OC popravak. 23

Slika 4.1. Evolucija i razvoj tehnologije. 29

Slika 4.2. Procedura procesiranja podataka bitnih za donošenje odluka vezanih uz održavanje sustava. 29

Slika 4.3. Struktura E-održavanja. 33

Slika 4.4. Arhitektura sustava E-održavanja. 34

Slika 5.1. Mreža E-održavanja. 36

Slika 5.2. Slojevi sustava E-održavanja. 37

Slika 5.3. Prioritetna lista u programskom alatu eMaintX3. 38

Slika 5.4. Primjer liste radnih zahtjeva. 38

Slika 5.5. Primjer detaljnog radnog zahtjeva u programskom alatu eMaintX3. 39

Slika 5.6. Primjer radnog zahtjeva u programskom alatu eMaintX3. 39

Slika 5.7. Primjer unosa o dijelu opreme u programskom alatu eMaintX3. 40

Slika 5.8. Primjer generiranog izvještaja u programskom alatu eMaintX3. 40

Slika 5.9. Primjer podešavanja preventivnog održavanja – temeljeno na kalendarskom vremenu. 41

Slika 5.10. Primjer podešavanja preventivnog održavanja. 41

Slika 5.11. Primjer izvještaja – rang lista najučestalijih kvarova ili problema..... 42

METAPODACI

Naslov rada: E-održavanje kao nova paradigma upravljanja održavanjem telematičkih sustava

Student: Antonia Bago

Mentor: Ivan Jovović, dipl. ing.

Naslov na drugom jeziku (engleski):

E-maintenance as a new paradigm of telematic system maintenance

Povjerenstvo za obranu:

- izv. prof. dr. sc. Dragan Peraković (predsjednik)
- Ivan Jovović, dipl. ing (mentor)
- Ivan Forenbacher, dipl. ing. (član)
- dr. sc. Marko Periša (zamjena)

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za informacijsko-komunikacijski promet

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: Promet

Datum obrane završnog rada: 14. 9. 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na

objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan
iz

necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj

visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada

pod naslovom **E-održavanje kao nova paradigma upravljanja održavanjem telematičkih sustava**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom

repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 9.9.2016

(potpis)