

ODRŽAVANJE UREĐAJA ZA ELEKTROEROZIJU ŽICOM

Katić, Josip

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:186033>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO

ODRŽAVANJE UREĐAJA ZA ELEKTROEROZIJU ŽICOM

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Tomislav Božić, dipl. ing. stroj.

Student:

Josip Katić

Karlovac, 2020.

	VELEUČILIŠTE U KARLOVCU Trg J.J.Strossmayera 9 HR - 47000, Karlovac, Croatia Tel. +385 - (0)47 – 843-500 Fax. +385 - (0)47 – 843-503 e-mail: dekanat @ vuka.hr	Klasa: 602-11/18-01/____ Ur.broj: 2133-61-04-18-01	
	ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA	Datum:	

Ime i prezime	Josip Katić		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta			
JMBAG			
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	Preddiplomski	<input checked="" type="radio"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	Specijalistički studij strojarstva-proizvodno strojarstvo		
Godina upisa			
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice			
Naslov teme na hrvatskom:	Održavanje uređaja za elektroeroziju žicom		
Naslov teme na engleskom:	Wire EDM machine maintenance		
Opis zadatka:	<p>Završni rad sastoji se od dva dijela, teoretskog i praktičnog. Koristeći literaturne izvore opisati vrste održavanja, preventivno i korektivno . U nastavku teoretskog dijela rada opisati vrste uređaja za eroziju sa naglaskom na tip uređaja koji se obrađuje u eksperimentalnom dijelu rada, kao i vrste tehnologija erodiranja. Eksperimentalni(praktični) dio rada bazirati na tehnologiji održavanja konkretnog uređaja, poštujući sve procedure i dobru praksu tvrtke u kojoj se rad obavlja. Analizirati kvartalne, polugodišnje i godišnje planove održavanja kao i troškove navedenih aktivnosti te njihov utjecaj na kvalitetu tehnološke izvedbe. U slučaju korištenja službenih obrazaca, zapisa i procedura tvrtke u kojoj se rad obavlja, zatražiti suglasnost za javnu objavu. Sve tehnološke faze održavanja popratiti foto-dokumentacijom.</p> <p>Rad napraviti sukladno pravilniku o izradi završnih radova Vuka.</p>		
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:		

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Josip Katić

Zahvaljujem se mentoru dipl. ing. Tomislavu Božiću, na stručnim savjetima i pruženoj pomoći prilikom izrade ovog završnog rada.

Također se zahvaljujem tvrtki KM Croatia na pruženoj prilici za izradu ovoga rada, kao i svim njezinim zaposlenicima čiji su savjeti doprinijeli izradi ovog završnog rada.

Naposljetku, neizmjerno se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je pružila moralnu, ali i financijsku pomoć te time olakšala studiranje.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. ODRŽAVANJE I STRATEGIJA ODRŽAVANJA	2
2.1. Razvoj pristupa i koncepcija održavanja	4
2.2. Izbor strategije održavanja	9
2.3. Organizacija i planiranje održavanja	11
2.3.1. Eksternalizacija održavanja	12
3. TEORETSKI ASPEKTI ODRŽAVANJA	13
3.1. Raspoloživost	13
3.2. Pouzdanost	13
3.3. Kvar	16
3.4. Tehnički indikator ispravnosti TII	18
3.5. Pad radne sposobnosti	19
3.6. Utjecaj trošenja pozicija na projektiranje i održavanje	20
4. TEHNOLOGIJE U ODRŽAVANJU	21
4.1. Podloge za projektiranje tehnologije održavanja	21
4.2. Opći principi tehnologije održavanja	22
4.3. Metode održavanja	23
4.4. Specifičnosti u tehnologiji održavanja	26
5. INFORMACIJSKI SUSTAVI U ODRŽAVANJU	27
5.1. Dokumentacija u održavanju	27
5.2. Upravljanje i organizacija procesa održavanja	29

6. ELEKTROEROZIJSKA OBRADA ŽICOM	31
6.1. Princip rada	31
6.2. Dielektrična tekućina i žica.....	33
6.3. Osi i putanja žice.....	34
6.4. Karakteristike postupka i primjena	35
7. PRAKTIČNI DIO	37
7.1. Tehnička dokumentacija stroja	38
7.2. Održavanje stroja za elektroeroziju žicom.....	40
8. ZAKLJUČAK.....	50
9. LITERATURA	51

POPIS SLIKA

Slika 1: Grubi dijagram pristupu održavanja [2]	2
Slika 2: Vremenski dijagram strukture radova održavanja [2]	3
Slika 3: Razvoj pristupa i koncepcija održavanja [2]	5
Slika 4: Životni vijek opreme po fazama [2]	6
Slika 5: Plansko održavanje [2]	7
Slika 6: Pristup određivanju strategije održavanja poduzeća [2].....	10
Slika 7: Ovisnost troškova proizvodnje i održavanja opreme u odnosu na pouzdanost [2]	14
Slika 8: Vremenski dijagram stanja [2]	15
Slika 9: Krivulja pouzdanosti stroja [2]	16
Slika 10: Krivulja kade [1].....	17
Slika 11: Utjecaj graničnog istrošenja na ostale dijelove [1].....	18
Slika 12: Pad radne sposobnosti opreme [2].....	19
Slika 13: Sklop rukavac-košuljica [2].....	20
Slika 14: Krivulje istrošenja kada je životni vijek pozicije 2 tri puta dulji [2].....	20
Slika 15: Organizacijska struktura pripreme održavanja [2]	29
Slika 16: EDM obrada žicom kroz obradak [5]	31
Slika 17: Fizikalni princip odvajanja čestica elektroerozije [4].....	32
Slika 18: Kalem EDM žice [6]	33
Slika 19: Obradak s različitom gornjom i donjom konturom [5].....	34
Slika 20: Širina reza u odnosu na promjer žice [5].....	35
Slika 21: Pozicije izrađene EDM žicom [7]	36
Slika 22: AgieCharmilles CUT 30 P.....	37
Slika 23: Sadržaj tehničke dokumentacije stroja CUT 30 P [4]	38
Slika 24: Provjera gornje vodilice žice [4]	39
Slika 25: Radni list tjednog pregleda CNC erozimata	40
Slika 26: Mjesečni pregled CNC erozimata sa žicom	41
Slika 27: Godišnji pregled CNC erozimata sa žicom	41
Slika 28: Prikaz greške na upravljačkoj jedinici	42
Slika 29: Uputa održavanja gornjih kontakata	43
Slika 30: Demontaža gornjih kontaktnih dijelova	44
Slika 31: Kemijsko čišćenje.....	44
Slika 32: Mehaničko čišćenje i ispiranje vodom	45

Slika 33: Izgled potrošene pločice i rotacija	45
Slika 34: Automatsko namještanje žice	46
Slika 35: Doknadni dijelovi za CUT 30 P	47
Slika 36: Zahtjev za uslugu popravka i održavanja vanjskog servisa.....	48

POPIS KRATICA

Oznaka	Opis
CPO	Cjelovito produktivno održavanje
TPM	Total productive maintenance
OUP	Održavanje usmjereno pouzdanosti
RCM	Reliability centered maintenance
OUR	Održavanje usmjereno rizicima
RBM	Risk based maintenance
IT	Informatička tehnologija
CMMS	Computerised maintenance management software
SVIK	Srednje vrijeme između kvarova
EDM	Electrical discharge machining

SAŽETAK

Pojam održavanje obuhvaća sve aktivnosti koje se koriste da bi neki sustav bio u ispravnom stanju. Primjenom različitih strategija i modela održavanja razvijenih kroz povijest, poduzeća formiraju specifične načine održavanja svojih postrojenja. Cilj ovog rada je opisati načine održavanja, različite strategije i prikazati primjer održavanja u poduzeću KM Croatia.

U uvodnom dijelu rada definiran je pojam održavanja i značenje održavanja u industriji, kao i razvoj te podjela načina održavanja, prvenstveno na korektivno i preventivno, a zatim detaljnije. Definirane su značajke, tehnologije održavanja kao i utjecaj informacijskih sustava. Rad opisuje princip i karakteristike elektroerozijske obrade žicom kako bi se u posljednjem, praktičnom dijelu rada, prvotno opisana teorija održavanja mogla primijeniti na erozimat u AgieCharmilles CUT 30 P u tvrtki KM Croatia. Posebna pozornost pridana je tehničkoj dokumentaciji stroja i preporučenim intervalima preventivnog održavanja od strane proizvođača kako bi se prikazao utjecaj na strategiju održavanja.

Ključne riječi: održavanje, strategije održavanja, elektroerozijska obrada žicom, intervali preventivnog održavanja

SUMMARY

The term maintenance includes all activities that are used to keep a system in a working state. With use of different strategies and models of maintenance developed through history, companies form specific ways of maintaining their facilities. The aim of this paper is to describe different ways of maintenance, strategies, and to show an example of maintenance in KM Croatia.

The introductory part of the paper defines the term of maintenance and its meaning in the industry, as well as classification of maintenance, primarily on corrective and preventive, then in more detail. Features, technologies as well as influence of information systems are defined. The paper describes the principle and characteristics of wire electrical discharge machining so that the theory of maintenance could be applied in the last part of the paper on a erosion machine AgieCharmilles CUT 30 P in KM Croatia. Special attention was given to the machines technical documentation and manufacturers recommended intervals of preventive maintenance to show its impact on the strategy of maintenance.

Key words: maintenance, maintenance strategies, wire electrical discharge machining, intervals of preventive maintenance

1. UVOD

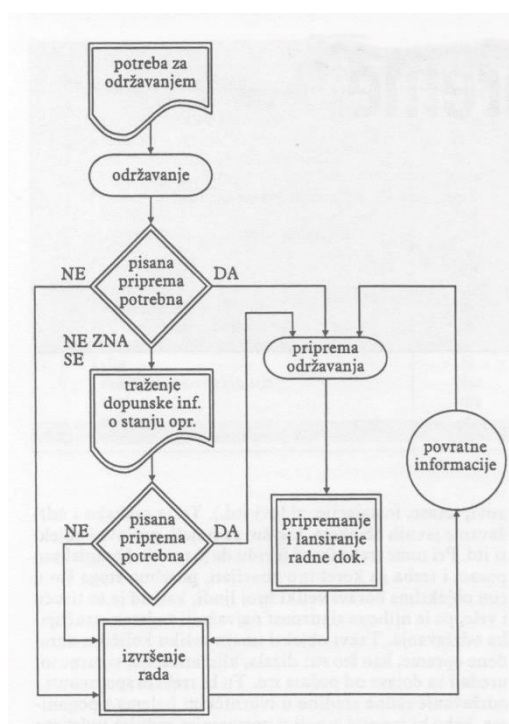
Pod pojmom održavanja podrazumijevamo niz aktivnosti koje se poduzimaju kako bi se sustav zadržao u ispravnom stanju, ili se vratio u stanje u kojem izvršava zadanu funkciju. Definicija se može i proširiti. Primjerice, održavanje je skup aktivnosti neophodnih da stroj, oprema, postrojenje ili proizvodnja funkcioniraju na zadani način, razvijajući radne značajke (performanse) u propisanim granicama, sa zahtijevanom učinkovitošću, kvalitetom, bez zastoja, uz odgovarajuću zaštitu okoliša i ljudi, te uz odgovarajuću logistiku. Nerijetko se iznova uvjeravamo kako se sustavi kvare, ne izvršavaju funkciju ili je ne izvršavaju na zadovoljavajući način.

Intuitivno znamo da će svi sustavi prije ili poslije pretrpjeti kvar. Kvar može biti neplanski, neočekivan, a može biti i očekivan zbog predvidljivog trošenja dijelova sustava. Zastoji i kvarovi strojeva u korelaciji su s prirodnim zakonitostima i uvjetovani trošenjem, naprezanjem i zamorom. Tehničke sustave potrebno je dizajnirati tako da rade na zadovoljavajući način, ali i tako da ih možemo relativno lako održavati, popravljati i dovesti u ispravno stanje kako bi nastavili kontinuirani rad.

U pravilu bi trebalo biti moguće procijeniti koliko sustav može raditi te kada se (teorijski, ali i iskustveno) može očekivati zastoj ili kvar. Upravo takvo nadgledanje životnog vijeka sustava bit je održavanja [1]. Da bi neki sustav, stroj, oprema ili postrojenje besprijekorno radili neophodno je organizirati potreban nadzor, skrb i održavanje. Ukoliko je predviđena pouzdanost stroja niska, potrebe za održavanjem će biti veće. Kod takvih strojeva i sustava primarno je održavanje koje će spriječiti kvar ili odgoditi zastoj. Takav način održavanja zove se preventivno održavanje, a kada se uklanja uzrok zastoja, odnosno kvar, održavanje nazivamo korektivno. To bi bila osnovna podjela načina održavanja, koju će ovaj rad detaljno obrazložiti jer treba imati u vidu da je održavanje strojeva i sustava vrlo kompleksan pojam.

2. ODRŽAVANJE I STRATEGIJA ODRŽAVANJA

Kako i zašto počinje djelatnost održavanja? Slika 1 prikazuje osnovni blok dijagram tijekom pristupa održavanja u odnosu na to je li potrebna priprema dokumentacije zahvata ili nije. Ukoliko priprema nije potrebna djelatnik održavanja otklanja kvar i izvještava pripremu održavanja o tome. Ako je potrebna priprema, izrađuje se dokumentacija te se nakon toga pristupi izvršenju radova i izvještava se pripremu održavanja. U situacijama gdje informacije o kvaru u proizvodnom pogonu nisu dovoljne za donošenje odluke, poziva se stručno osoblje koje donosi konačnu odluku.

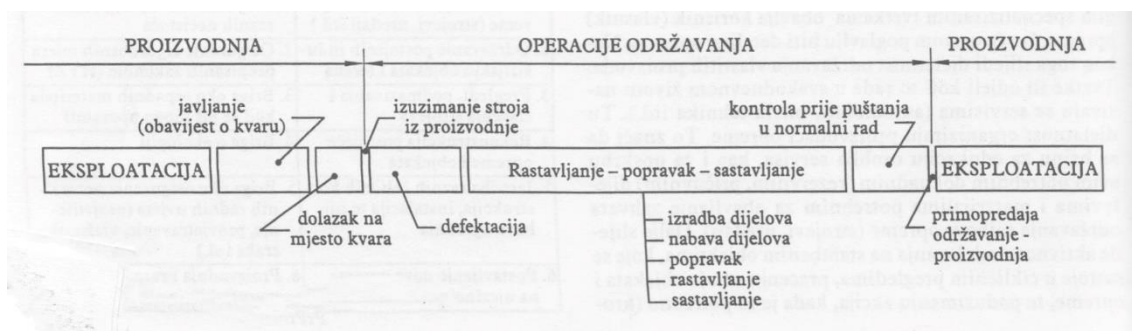


Slika 1: Grubi dijagram pristupa održavanja [2]

Sama struktura operativne intervencije održavanja može se vidjeti na slici 2.

U dijagramu su prikazane sve aktivnosti koje se pojavljuju za vrijeme eksploatacije opreme kada nastane kvar, a to su [2]:

- dojava o kvaru
- dolazak na mjesto kvara
- izuzimanje stroja iz proizvodnje
- snimanje stanja (defektacija, dijagnoza) itd.



Slika 2: Vremenski dijagram strukture radova održavanja [2]

Pomoću dijagrama na slici 2 možemo zaključiti kako je najveći dio vremena zastoja zbog konkretnog izvođenja popravka. Vremenski odnosi se mogu mijenjati ovisno o vrsti opreme i kvara te mogućnosti dijagnoze istog. Značajan razvoj opreme doprinio je kako skraćanju vremena dijagnoze i lociranja kvara, tako i samom održavanju. Primjenom moderne i automatizirane opreme povećava se potreba za znanjem iz različitih područja poput energetike, strojarstva, elektrotehnike, itd., stoga održavanje postaje interdisciplinarno.

Osnovni zadatak održavanja u suvremenom poduzeću je smanjenje zastoja opreme. Težnja je da zastoj bude po mogućnosti jednak nuli, odnosno da ne postoji. Minimalizacija učestalosti zastoja postiže se odabirom opreme koja ima visoku raspoloživost, a takva oprema obično je skuplja u nabavi. Visoku raspoloživost treba kontinuirano njegovati, to postizemo dobrim odabirom strategije održavanja. Nakon odabira strategije slijedi razrada tehnoloških procesa održavanja za planirane radove, planiranje izvođenja radova i logistička potpora, te praćenje stanja opreme, zastoja i troškova.

Strategija održavanja predstavlja individualni pristup poduzeća izazovima poslovanja i načinu upravljanja koji će usvojiti sve njene posebne zahtjeve i specifičnosti. Zbog toga nije moguće definirati jedinstvenu strategiju održavanja koja bi bila primjenjiva u različitim vrstama poslovanja i različitom okruženju [1].

Najzastupljenije konvencionalne strategije održavanja su [1]:

- korektivno održavanje koje se provodi naknadno nakon pojave kvara ili oštećenja tehničkog sustava
- preventivno održavanje koje se provodi u planiranim intervalima u cilju spriječavanja kvara, te rekonstrukcije i poboljšanja u cilju povećanja raspoloživosti i pouzdanosti.

Navedena podjela nije dostatna u uvjetima modernog poslovanja zbog većih zahtjeva i pozornosti prema održavanju. Svako poduzeće će odgovarajućom strategijom dati odgovor na sebi specifične zahtjeve poslovanja i tržišta na kojem posluju.

Različite strategije ili izabrani pristupi održavanja mogu biti različiti samo u nekim više ili manje važnim detaljima, ali i u osnovnim i za održavanje važnim značajkama. To se najviše odnosi na osnovni pristup održavanju, metodologiji i koncepciji održavanja, a zatim i na primijenjenu tehnologiju i organizaciju. Metodologija i koncepcija sustava održavanja prvobitno su određene načelima na kojima se donose ključne odluke o održavanju tj. odluke o ulogama i odgovornostima, a zatim i o sadržaju i vremenu obavljanja pojedinih postupaka i aktivnosti održavanja. Tehnološki aspekt odnosi se na način izvođenja aktivnosti održavanja, a organizacija održavanja na odnose pojedinih razina i drugih čimbenika koji utječu na odvijanje procesa održavanja. [1]

2.1. Razvoj pristupa i koncepcija održavanja

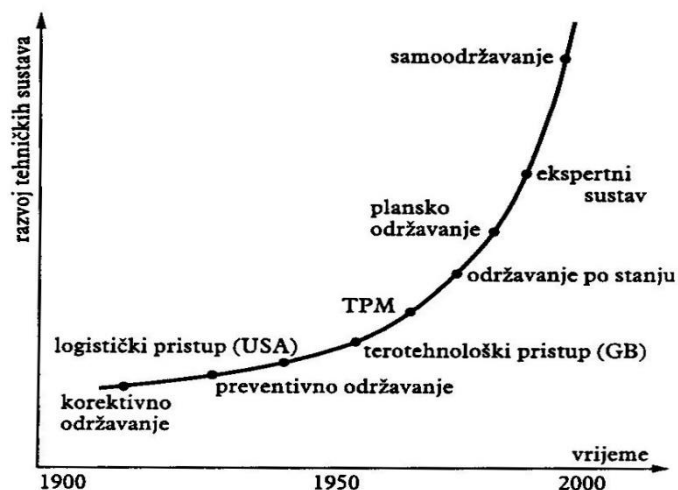
Razvojem industrije rastu i problemi vezani uz zastoje i kvarove u proizvodnji, javljaju se složeni problemi koji uvjetuju dulje zastoje i veće gubitke same proizvodnje. Održavanje sve više dobiva na važnosti jer bez odgovarajućeg održavanja proizvodnja ne može biti kontinuirana i bez zastoja. Zbog toga je došlo do ubrzanog razvoja održavanja kao ključna podrška industrijske proizvodnje.

Prema [2] najznačajniji su ovi pristupi održavanju:

- korektivno
- preventivno
- terotehnoško
- logističko
- održavanje po stanju
- plansko
- CPO (Cjelovito produktivno održavanje) ili TPM (engl. *Total Productive Maintenance*)
- ekspertni sustavi
- samoodržavanje

Održavanje se konstantno razvija i usavršava te zbog toga moramo napomenuti da uz gore navedene pristupe i koncepcije postoji velik broj modela održavanja koji se koriste elementima ovdje nabrojenih pristupa.

Uz TPM, odnosno CPO održavanje, neke suvremenije pristupe ćemo posebice spomenuti i opisati u ovom radu, poput RCM (engl. *Reliability Centered Maintenance*) i RBM (engl. *Risk Based Maintenance*).

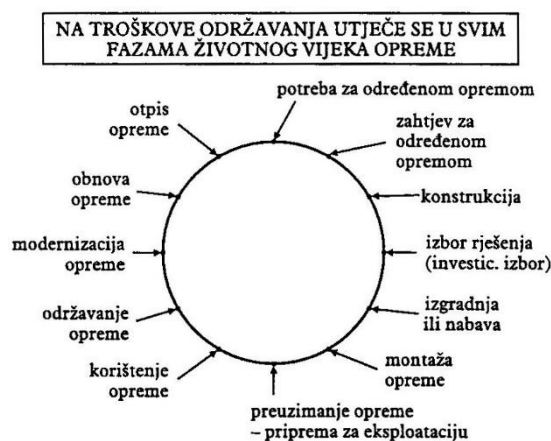


Slika 3: Razvoj pristupa i koncepcija održavanja [2]

1. *Korektivni pristup* održavanja opreme je najstariji pristup i svodi se na održavanje nakon uočavanja kvara nekog stroja odnosno komponente. Naziva se još i „čekaj i vidi“ zbog svoje prirode pristupa održavanju. Danas se ovakav pristup koristi za nevažnu odnosno pomoćnu opremu kod koje zastoj ne utječe izravno na odvijanje proizvodnog procesa.
2. *Preventivni pristup* održavanja primjenjuje se nakon Drugog svjetskog rata u Americi. Osnova pristupa je izvršenje radova održavanja prema određenom planu, prije nego je došlo do kvara. Služba održavanja obavlja cikličke radove koji trebaju biti dogovoreni s pripremom proizvodnje kako bi se stroj ili linija pravovremeno zaustavila i pripremila za preventivno održavanje. Za ovakve zahvate izrađen je univerzalni katalog svih pozicija i sklopova opreme s preporukama, što se u kojim ciklusima treba preventivno raditi. Preventivni pristup angažira velika sredstva poput materijala, rezervnih dijelova i stručnjaka održavanja te je potrebno često plansko zaustavljanje rada opreme, a to je na visokoproduktivnim strojevima i postrojenjima nepoželjno. Ovakav pristup se proširio svijetom i postao podloga svim kasnijim suvremenim pristupima.
3. *Logistički pristup* razvio je Benjamin Blanchard 70-ih godina u Americi. Ideja za ovaj pristup je vezana uz logistički pristup za uspješnost vojnih akcija. U ovom slučaju radi

se o logističkoj potpori proizvodnji odnosno instaliranoj opremi. Autor tog pristupa radi uspješnog održavanja promatra opremu od prvih ideja o projektiranju, proizvodnji, montaži i korištenju. Osnovna ideja je dobro razmotriti prve tri faze te prema njima učiniti sve kako bi oprema bila podobna za održavanje i imala visok stupanj pouzdanosti.

4. *Terotehnoški* pristup nastao je u V. Britaniji otprilike u isto vrijeme kad i logistički u Americi, a koncipirao ga je engleski konzultant Dennis Parkes. Osnova ovog pristupa je to da stručnjaci održavanja svojim znanjem izravno ili posredno sudjeluju u svim fazama životnog vijeka opreme (prikazano na slici 4), od nabave do njenog otpisa. Tako bi, odlučivanjem koju opremu nabaviti, održavanje tijekom uporabe imalo manje troškove i veću raspoloživost.



Slika 4: Životni vijek opreme po fazama [2]

5. *Održavanje po stanju* je dio preventivnog održavanja, nastalo početkom 70-ih godina kao određeni sustavni pristup zahvaljujući razvoju elektronike i potrebnih instrumenata, koji omogućuju mjerenje parametara značajnih za procjenu stanja opreme i donošenje odluka za potrebne zahvate održavanja na temelju tih informacija. Te informacije također pridonose u prognoziranju stanja opreme u budućnosti. Dok se kod preventivnog pristupa unaprijed znaju intervali izvršenja radova održavanja, ovdje se znaju intervali mjerenja, a zahvati održavanja se doziraju prema dobivenim rezultatima mjerenja. Takav pristup smanjuje zastoje i troškove samog održavanja.

6. *Plansko održavanje* je kombinacija korektivnog i preventivnog održavanja koje se često pojavljuje u praksi ovisno kako najbolje odgovara određenom poduzeću. U ovom pristupu stručnjacima održavanja ostaje da osim korektivnog održavanja izaberu neki od modula preventive (planski popravci, preventivni pregledi, plansko podmazivanje, traženje i otklanjanje slabih mjesta, održavanje po stanju i dr.), a u ovisnosti o zahtjevima opreme, zahtjevima proizvodnog procesa i slično.



Slika 5: Plansko održavanje [2]

7. *Ekspertni sustavi* održavanja javljaju se 80-ih godina zahvaljujući razvoju *hardwarea* i *softwarea* pa je na prvim procesnim postrojenjima i obradnim centrima bilo moguće na temelju kreirane baze podataka (mogući kvarovi, znanja stručnjaka o mogućim rješenjima) doći do informacija o potrebnim zahvatima održavanja.
8. *Samoodržavanje* se smatra kao sljedeći korak u razvoju održavanja, a sastoji se od niza ekspertnih sustava koji daju informaciju o kvaru na nekoj robotiziranoj tehnološkoj liniji sastavljenoj od modula. Takva informacija potaknuti će zamjenu neispravnog modula, a obaviti će ju ruka robota, dok će se neispravni modul transportirati i popraviti u specijaliziranoj radionici, dok će sama proizvodna linija nakon vrlo kratkog zastoja nastaviti rad. Sama zamjena modula ili sklopova u održavanju obično se naziva agregatnom zamjenom.

Prema [1] u zadnjih 50 godina razvoj upravljanja održavanjem rezultiralo je implementacijom novih suvremenih pristupa održavanju, a najveću pozornost privlače dva pristupa:

- *Reliability Centered Maintenance* (RCM), ili održavanje usmjereno pouzdanosti (OUP)
- *Total Productive Maintenance* (TPM), ili cjelovito produktivno održavanje (CPO)

Uz oba pristupa u praksi se sve više pozornosti posvećuje rizicima u proizvodnji, pa je tako proizašao pristup:

- *Risk Based Maintenance* (RBM), ili održavanje usmjereno rizicima (OUR)

9. *RCM* odnosno *održavanje usmjereno pouzdanosti (OUP)* je strategija koja se oslanja na odluke donijete nakon detaljne analize, procjene stanja i snimke značajki sustava koji se održava (poznavanja značajki pouzdanosti sustava). Ova strategija se temelji na proučavanju zastoja, kvarova i drugih pojava u životnom ciklusu promatrane i održavane opreme i postrojenja tako da se postupci održavanja terminski i sadržajno usklađuju sa stvarnim potrebama. Aktivnosti takve strategije održavanja oslanjaju se na poznavanje značajki pouzdanosti pomoću kojih konstantno tijekom rada opreme i postrojenja procjenjujemo buduća stanja, odnosno predviđamo mogući zastoj i pojavu idućeg kvara. Na temelju procjene donose se odluke o postupcima i aktivnostima preventivnog održavanja u određenom vremenu kako bi se izbjegli kvarovi i zastoji.
10. *TPM* odnosno *cjelovito produktivno održavanje (CPO)* strategija je koja odluke o načinu i postupcima održavanja temelji na procjeni trenutnog stanja sustava koji se održava, a ne na empirijskim karakteristikama temeljenim na poznavanju prethodnog rada i zakonima pouzdanosti. Dakle, ovu strategiju svrstavamo u moderne koncepcije preventivnog održavanja usmjerenog stanju. Ideja autora ove strategije (Seici Nakajime) je povjeravanje niza zahvata održavanja rukovateljima opremom, koji čine male grupe s definiranim *outputima* i *inputima*, pa prema tome, sigurno, najbolje motiviranima za maksimalnu raspoloživost opreme, jer im o tome ovise zarada, učinkovitost i uspjeh. To ne znači da za donošenje odluka nisu važne informacije o pouzdanosti, nego je naglašena odgovornost djelatnika, odnosno potpuna briga o opremi i postrojenju svih djelatnika koji na njima rade. Kontrola se provodi organizirano da informacije o trenutnom stanju budu dostupne svakome, posebno onima koji donose ključne odluke o potrebnim aktivnostima održavanja. CPO povezuje klasičnu strategiju preventivnog održavanja s modernim pristupom podjele odgovornosti svih sudionika poslovnog, odnosno proizvodnog procesa. U proces održavanja uključeni su svi dijelovi tvrtke. Uz određenu stimulaciju ostvarivanje kvalitete i učinkovitosti proizvodnje u aktivnosti održavanja su osim proizvodnje uključeni i djelatnici razvoja, prodaje, nabave, kao i strukture koje upravljaju poduzećem. Strategija je razvijena 70-ih godina u Japanu i primijenjena u visokoautomatiziranoj i masovnoj proizvodnji automobilske industrije „*Toyota*“, te je zatim 80-ih godina uvedena u Francuskoj u tvornici „*Renault*“ gdje je smanjila zastoje opreme za 20 do 30%.
11. *RBM* odnosno *održavanje usmjereno rizicima (OUR)* jedna je od novijih strategija održavanja i povezana je s procjenama rizika. OUR se fokusira na veličinu rizika,

odnosno veličinu štete koju kvar i zastoj mogu uzrokovati, pri čemu rizik definiramo kao produkt vjerojatnosti zastoja i posljedica događaja. U ovom pristupu posljedice zastoja i ostalih neplaniranih događaja u životnom vijeku tehničkog sustava ne promatramo tek kao troškove životnog vijeka (troškovi zastoja i troškovi otklanjanja kvara) nego njih sagledavamo i kao važne čimbenike u zaštiti ljudi, okoliša, prirodnih resursa i energetske potencijala. Ovu strategiju najlakše je opisati primjerom[1]: Pretpostavimo da na temelju povijesnih podataka o pouzdanosti određenog postrojenja zaključujemo kako je vjerojatnost zastoja zbog kvara neke komponente postrojenja vrlo visoka, pa će primjenom metodologije OUP-a biti potrebna preventivna zamjena komponente u određenim vremenskim intervalima. Takav pristup rezultira određenim troškovima. Međutim, ako su posljedice zastoja zbog kvara predmetne komponente beznačajne ili pak ne izazivaju značajnije negativne efekte u proizvodnji i za sigurnost kompletnog tehničkog sustava i okruženja, a intervenciju je moguće obaviti u kratkom roku, tada će se intervencija zanemariti. Znači, tu stavku iz plana aktivnosti preventivnog održavanja osoblje neće provesti. Plan će biti izmijenjen i predmetna komponenta zamijenit će se korektivno kada se pokvari. Tako će se osigurati ciljana raspoloživost sustava uz nižu razinu troškova održavanja.

2.2. Izbor strategije održavanja

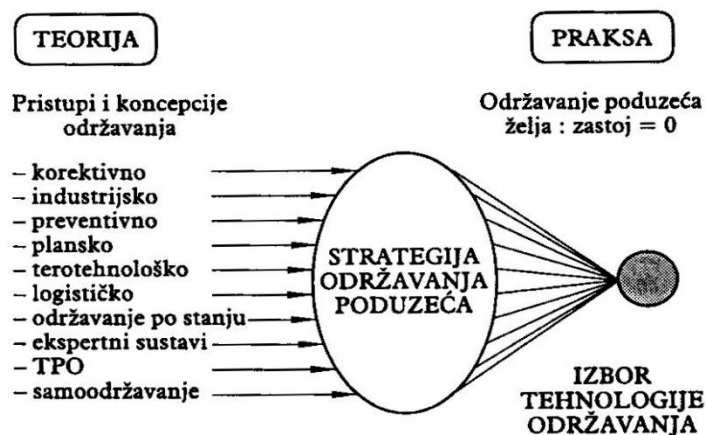
Odgovarajuća strategija održavanja odabire se i definira sukladno s karakterom tehničkog sustava, zahtjevima stanja i pouzdanosti sistema koji održavamo. Strategija održavanja određuje ciljeve, a iz tih ciljeva proizlazi izbor koncepcije i metode održavanja. Kada su poznati ciljevi, strategija definira način ostvarenja usvojene politike održavanja. Osnovni cilj i vodeća misao održavanja je izabrati onu strategiju koja će postići da zastoj bude nula, te da je postignut optimalan trošak svih potrebnih resursa.

Prema [2] izbor strategije ovisit će o sljedećim utjecajnim čimbenicima:

- financijskim sredstvima
- zakonitosti proizvodno-tehnološkoga procesa (kontinuiran, sezonski, diskontinuiran)
- plasmanu proizvoda i usluga na tržištu (različita dinamika isporuke)
- radu u više smjena (nemogućnost organiziranja radova održavanja jer postrojenje radi u tri smjene)
- lokaciji postrojenja (u većem industrijskom centru ili njegovoj blizini ili u provinciji)
- vrsti i kvaliteti kadrova (industrijski centar ili provincija)

- instaliranoj opremi (propisi i preporuke proizvođača)
- prostoru djelatnosti održavanja (smještaj i odgovarajući oblik radionica održavanja)
- opremi i organizacijskim sredstvima održavanja (strojevi i alati za obavljanje popravka i organizacijska sredstva za planiranje i praćenje radova održavanja)

Kako će izgledati strategija održavanja pojedinog poduzeća teško je reći, no zasigurno će se odabrati kombinacija suvremenih koncepcija i pristupa održavanja u omjeru koji najviše odgovara u odnosu na instaliranu opremu. Na primjer, ako je odabrano preventivno održavanje, to ne znači da će se na cjelokupnoj opremi primjenjivati sve aktivnosti iz ovog pristupa, nego ovisno od opreme do opreme izvoditi će se aktivnosti koje su dovoljne da se osigura određena pouzdanost i minimalizira ili eliminira mogućnost zastoja. Stoga će se na određenim linijama raditi preventivni pregledi, na nekim strojevima održavanje po stanju, a na automatiziranoj liniji radovi TPM-a koje obavlja rukovatelj samom opremom. Na osnovu povratnih informacija stručno osoblje održavanja, od slučaja do slučaja, mijenjati će strategiju radi učinkovitog postizanja osnovnog cilja održavanja (zastoj = 0). Slika 6 prikazuje nam općenitu shemu kombiniranja pristupa održavanja kako bi se dobila specifična strategija održavanja određenog poduzeća.



Slika 6: Pristup određivanju strategije održavanja poduzeća [2]

2.3. Organizacija i planiranje održavanja

Organizacija održavanja obuhvaća organiziranje i planiranje svih aktivnosti održavanja i ostalih funkcija podrške poduzeća, sukladno tome organizacija održavanja svakog poduzeća podrazumijeva definiranje [1]:

- broja i strukture radnih mjesta: horizontalna podjela rada i vertikalno povezivanje u grupe i sektore, vertikalna podjela rada s utvrđivanjem funkcija
- informatički sustav koji obuhvaća prijem, obradu i isporuku informacija za racionalno upravljanje, vođenje poslova i izvođenje radova održavanja uz odgovarajuće resurse (kadrovi, oprema, IT alati)
- metode, znanja i vještine potrebne za izvršavanje aktivnosti održavanja.

Izbor organizacije održavanja ovisi o više čimbenika: veličina poduzeća, tip procesa proizvodnje, lokacija, razina automatizacije procesa, kvalifikacija djelatnika proizvodnje i održavanja, razina amortizacije imovine, položaj i zahtjevi poduzeća na tržištu.

Funkcija održavanja kao dio poslovnog sustava u praksi se najčešće organizira na tri osnovna načina [1]:

1. centralizirano
2. decentralizirano
3. centralizirano s dislociranim grupama održavanja

Izbor jednog od načina organizacije održavanja ovisi o strukturi fizičke imovine koja se održava, obliku ostalih funkcija podrške unutar poduzeća te o tome kakve je vrste tehnološki proces proizvodnje. Prva dva načina imaju svoje prednosti i mane, dok bi treći trebao spojiti sve dobre značajke centraliziranog i decentraliziranog.

Centraliziranu organizaciju karakterizira [1]:

- razvijen informatički sustav i podrška
- dugoročna motiviranost prema vrhunskim rezultatima održavanja
- optimalno korištenje ljudskih resursa raspoloživih struka 360° i 24/7
- ostvarenje odgovarajućeg statusa i razine kvalitete funkcije održavanja
- mogućnost uvođenja modernih tehnologija i metodologija održavanja
- optimizacija procesa i restrukturiranje funkcije održavanja
- optimalno upravljanje ljudskim resursima, opremom i rezervnim dijelovima

Decentraliziranu organizaciju karakterizira [1]:

- nerazvijen informatički sustav, primjena CMMS otežana
- kratkoročna motivacija za uspjehom funkcije održavanja
- prostorna dislociranost
- raznolikost fizičke imovine, nema tipizacije opreme
- lakše praćenje troškova održavanja
- optimalno korištenje raspoloživih resursa

Održavanje se često definira kao sastavni dio procesa proizvodnje, polazeći od činjenice da je održavanje fizičke imovine u funkciji procesa proizvodnje i zbog toga mora imati sve organizacijske elemente. Stoga je potrebno napraviti pripremu, kako bi se u operativnoj fazi omogućilo optimalno izvođenje potrebnih aktivnosti održavanja.

Sami poslovi održavanja povjeravaju se i vanjskim servisima, ako je održavanje izdvojeno iz matičnog poduzeća i povjereno drugom poduzeću kroz ugovorni odnos, radi se o eksternalizaciji održavanja, odnosno „outsourcingu“, takvo održavanje može biti potpuno ili djelomično.

2.3.1. Eksternalizacija održavanja

Eksternalizacija se javlja prije više od 20 godina, a mišljenja o njoj su oprečna. Ona je rezultat reorganizacije, kako poduzeća tako i često same funkcije održavanja. Rješenja mogu biti različita, kao izdvajanje aktivnosti održavanja u vanjsko poduzeće ili po pojedinim strukama (vrsti održavanja). Matično poduzeće odabire rješenje ovisno o vrsti i tehnologiji proizvodnje i o mogućim rizicima. Vrlo je važno da matično poduzeće zadrži temeljna znanja i samostalnost u odlučivanju kako bi kontrolirali kvalitetu i opseg posla. Potpuno oslanjanje na eksternalizaciju moguće je samo u posebnim, strogo kontroliranim uvjetima, dok loš proces eksternalizacije najčešće ima posljedicu prevelike ovisnosti proizvodnje i operativnih radnika na vanjski servis. Ugovoreni vanjski servis održavanja svoje poslovanje temelji na uskom području struke pa je zbog toga osigurana visoka kvaliteta usluga i visokoobrazovano osoblje, a to vidimo kao veliku prednost. No, eksternalizacija ponekad donosi problem u komunikaciji djelatnika matičnog poduzeća i vanjskih servisa koji rezultiraju zastojima u održavanju odnosno samoj proizvodnji. To se događa zbog manjka međusobne komunikacije i izostavljanja određenih informacija s jedne i druge strane, što naposljetku povećava troškove administracije i ugovaranja, a u ekstremnim slučajevima rezultira i većim kvarovima i nesrećama.

3. TEORETSKI ASPEKTI ODRŽAVANJA

U ovom poglavlju rada obradit će se nekoliko značajnih teoretskih podloga koje su važni čimbenici za definiranje strategije održavanja, kao i za projektiranje tehnoloških procesa održavanja. Tu svakako spadaju krivulja kade tehničkog sustava, krivulja pada radne sposobnosti, tehnički indikator ispravnosti i vremenski dijagram stanja sustava. No, prije toga definirati ćemo osnovne pojmove važne za bolje razumijevanje teoretskih pokazatelja stanja tehničkog sustava i opreme.

Najbitnije značajke koje se mogu upotrijebiti u održavanju opreme za donošenje odluka su pouzdanost, raspoloživost, efektivnost i sposobnost za održavanje. U praksi se najčešće koriste raspoloživost i pouzdanost.

3.1. Raspoloživost

Raspoloživost (A) je odnos stvarnog rada neke opreme i teoretskog vremena rada, tj. njena sposobnost da ispravno funkcionira u određenom vremenu. Računski se dobiva odnosom između vremena ispravnog rada stroja i vremenskim trajanjem zastoja, a izražava se u postotcima. U idealnom slučaju gdje zastoja nema raspoloživost će iznositi 100%. Prema tome ako se vodi evidencija o zastojima na pojedinoj opremi, neće biti problem odrediti raspoloživost.

$$A = \frac{t_i}{t_i + t_z} \times 100\%$$

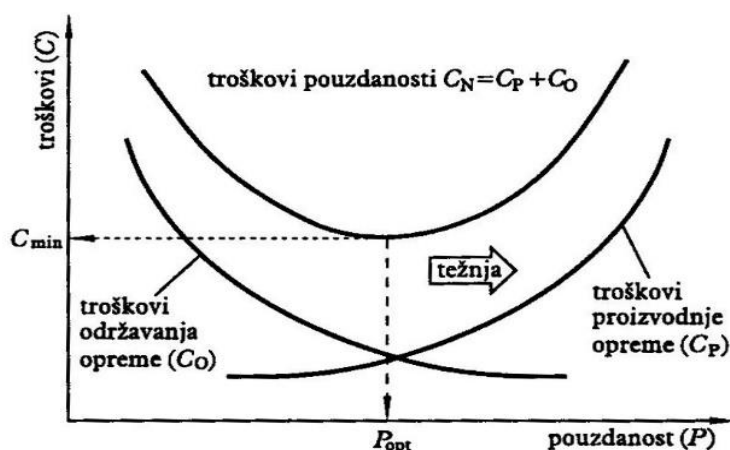
gdje je: t_i - vrijeme rada stroja, t_z - vrijeme zastoja

3.2. Pouzdanost

Pouzdanost (R) je vjerojatnost da će određeni tehnički sustav u propisanim uvjetima rada i u određenu vremenu obaviti zadatka bez kvara [2]. Na tržištu se mogu naći pozicije i oprema s određenom razinom pouzdanosti, a što je pouzdanost veća, to je cijena proizvoda skuplja. Proizvođaču je u interesu osigurati obećanu pouzdanost jer je tako konkurentniji na tržištu, bez obzira na to što će mu troškovi proizvodnje biti veći. Na slici 7 prikazana je ovisnost troškova proizvodnje opreme i troškova njezina održavanja u odnosu na pouzdanost.

Razlikujemo tri vrste pouzdanosti:

- projektirana pouzdanost
- ostvarena pouzdanost nove opreme (kod proizvođača)
- eksploatacijska pouzdanost (kod korisnika opreme)



Slika 7: Ovisnost troškova proizvodnje i održavanja opreme u odnosu na pouzdanost [2]

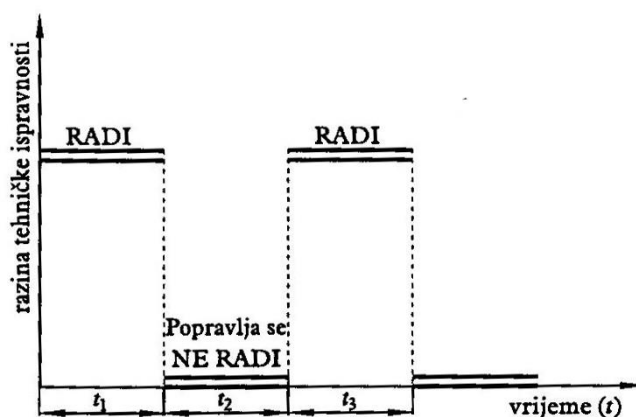
Projektirana pouzdanost je teoretska. Izračunati je može projektant opreme ukoliko poznaje pouzdanost svakog elementa i sklopa od kojih gradi stroj, te ako se izgradnja opreme obavi, poštujući do detalja izrađenu projektnu dokumentaciju te sve popratne tehnološke upute, u tom slučaju i stvarna pouzdanost trebala bi biti jednaka projektiranoj. Realno je za očekivati da to neće uvijek biti tako, jer su moguća odstupanja u podacima, mjerenjima i izračunu, što dovodi do razlike projektirane i stvarne pouzdanosti.

Eksploatacijska pouzdanost, kako samo ime govori, se određuje za vrijeme eksploatacije opreme, te se uspoređuje sa deklariranom pouzdanošću od strane proizvođača. Mjeri se u korist vođenja politike održavanja poduzeća, a također služi za usporedbu sa srodnom opremom drugih proizvođača kako bi dobili okvirni podatak za eventualne buduće nabave opreme. Osim toga, analizom podataka o zastojima i razlozima zastoja opreme dolazi se do ključnih podataka bitnih za donošenje odluke o [2]:

- planiranim budućim zahvatima održavanja
- zamjeni ili rekonstrukciji pojedinih sklopova (slaba mjesta)
- asortimanu i količinama doknadnih dijelova
- obliku zahtjeva za ponudu pri nabavi nove opreme
- rangiranju pojedinih dijelova i sklopova u odnosu na učestalost kvarova i srednjeg vremena između dvaju kvarova (SVIK)

U pristupu određivanja eksploatacijske pouzdanosti potrebno je definirati tri elementa:

- 1) kriterij za određivanje vremenskog dijagrama stanja, prema slici 8. Tu se pojavljuje problem jer se ne može svaki element ili sklop gledati jednostavno kao da „radi“ ili „ne radi“, zato se definira određena granica djelovanja snimane opreme. Dakle, djelovanje opreme ispod te granice biti će kategorizirano kao neispravna oprema („ne radi“).



Slika 8: Vremenski dijagram stanja [2]

- 2) definiranje uvjeta i načina eksploatacije opreme koji trebaju ostati nepromijenjeni tijekom mjerenja (u industrijskom postrojenju jesu, no kod transportne opreme se to često mijenja)
- 3) definirati interval vremena (t) u kojem oprema treba funkcionirati (pouzdanost pada tijekom vremena eksploatacije)

Za svaki zastoј koji se prati bitno je imati ključne podatke (datum nastanka kvara, trajanje kvara, vrsta kvara, lokacija kvara, itd.) da bi odredili srednje vrijeme između dvaju kvarova (SVIK), a nakon toga i intenzitet kvarova λ . Na temelju toga jednom od razdioba (Weibullova ili eksponencijalna) možemo odrediti eksploatacijsku pouzdanost.

Tako se za dvoparametarsku Weibullovu pouzdanost računa [2]:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

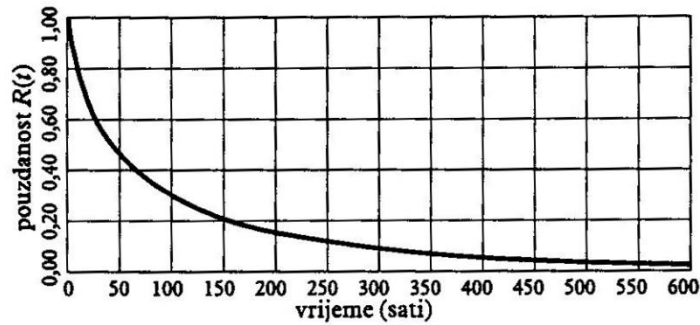
gdje su:

t- vrijeme rada, λ - intenzitet kvarova, η - parametar razmjere, β - parametar oblika

Dok je kod eksponencijalne razdiobe pouzdanost određena relacijom [2]:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Grafički prikaz tako dobivene pouzdanosti u ovisnosti o vremenu prikazan je na slici 9.



Slika 9: Krivulja pouzdanosti stroja [2]

3.3. Kvar

Kvar je promjena stanja opreme ili njezinih sastavnih dijelova koje smeta ili onemogućava funkciju opreme ili je opasno za okoliš. Kvarovi se mogu podijeliti na:

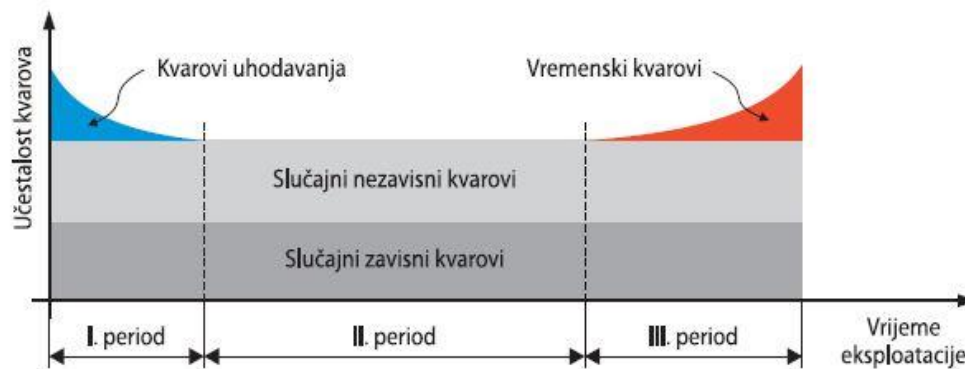
- kritičan kvar – potpuno onemogućava funkciju ili je opasan za okoliš
- nekritičan kvar – smanjuje učinak ili kvalitetu rada u dopuštenim granicama

Oštećenje je promjena stanja opreme ili njezinih sastavnih dijelova koja još ne smeta funkciji, ali se može razviti u kvar ili na drugi način smeta okolišu. [2]

Uzroci kvarova mogu biti posljedice loše konstrukcije, loše rukovanje tehničkim sustavom, lomovi, korozija, trošenje, zamor materijala, povećanje zračnosti, itd., a kao popratne pojave mogu se pojavljivati neuobičajeni šumovi, vibracije i nepravilan rad.

Za prikazivanje učestalosti kvarova tijekom radnog vijeka sustava koristi se dijagramski prikaz koji se naziva dijagram kade, prikazan na slici 10. Površina ispod krivulje kade, po strukturi i vrsti kvarova, dijeli se na tri karakteristična razdoblja, a to su [2]:

- I. razdoblje – razdoblje uhadavanja (razdoblje početnih kvarova, razdoblje „dječjih bolesti“)
- II. razdoblje – razdoblje normalne eksploatacije
- III. razdoblje – razdoblje vremenskih kvarova (razdoblje intenzivnog starenja)



Slika 10: Krivulja kade [1]

Kao što vidimo na slici 10, u prvom se razdoblju pojavljuju dvije vrste kvarova, jedno su kvarovi uhodavanja, a drugo su slučajni kvarovi (slučajni zavisni i slučajni nezavisni). Drugo razdoblje, odnosno razdoblje normalne eksploatacije ima približno jednaku učestalost kvarova kroz cijeli period, a sastoji se od slučajnih kvarova. U trećem razdoblju se uz slučajne kvarove pojavljuju i vremenski kvarovi. Možemo zaključiti da su slučajni kvarovi prisutni za cijelo vrijeme trajanja eksploatacije i imaju isti intenzitet u sva tri razdoblja.

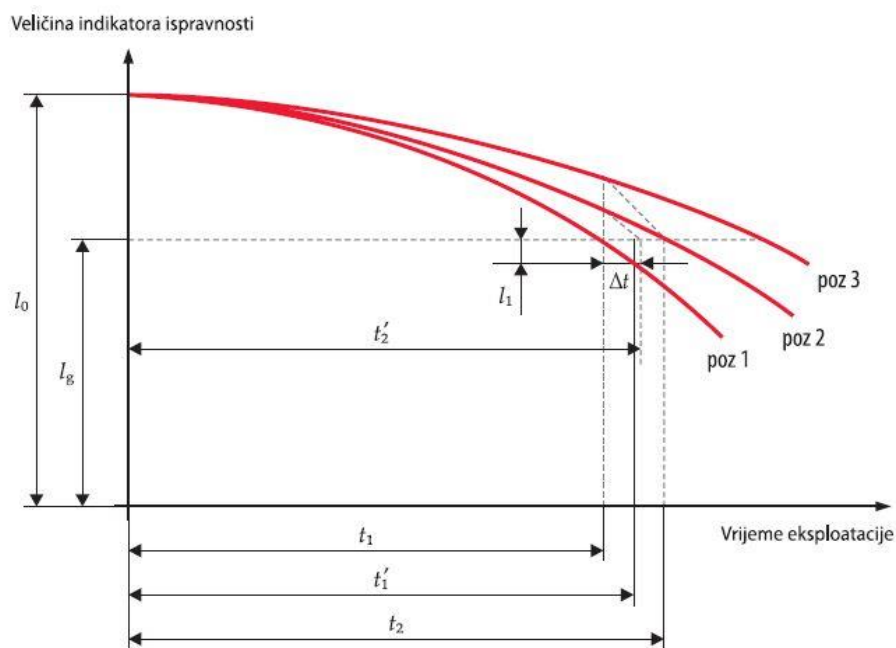
Početni kvarovi mogu biti uzorkovani lošom konstrukcijom, lošim materijalom ili lošom montažom, itd. Možemo reći da je krivica za takve kvarove na projektantima i proizvođaču opreme. Praksa je pokazala da se početni kvarovi događaju otprilike u početnih 200 sati rada, ovisno o složenosti sustava.

Slučajni kvarovi dijele se na dvije osnovne grupe. Prvi su nezavisni slučajni kvarovi koji nastaju zbog previda u završnim kontrolama dijelova ili opreme, pojavljuju se slučajno, često, u obliku havarije i pripisuju se unutarnjim faktorima (korozija, naprezanje, pukotine i slično). Sprečavanje nezavisnih slučajnih kvarova moguće je kontinuiranim preventivnim pregledima i mjerenjima odgovarajućih veličina. Druga grupa slučajnih kvarova su slučajni zavisni kvarovi, a nastaju zbog lošeg rukovanja i održavanja ili preopterećenja opreme. Slučajni kvarovi nastupaju od početka korištenja opreme pa do samog kraja odnosno otpisa.

Vremenski kvarovi pojavljuju se u zadnjem razdoblju eksploatacije opreme, a nastaju kao posljedica starenja dijelova i opreme. Intenzitet kvarova se povećava i sustav ulazi u period istrošenosti. Najčešći razlozi povećanja broja kvarova je zamor materijala, korozija, povećana zračnost između dijelova, loše održavanje, itd.

3.4. Tehnički indikator ispravnosti TII

Tijekom eksploatacije tehničko stanje opreme se mijenja, a kao tehnički indikator ispravnosti koriste se značajke koje se utvrđuju odgovarajućim tehničkim standardima. Ispravnost opreme, odnosno postrojenja ne može se gledati kao zbroj ispravnosti svih njegovih dijelova, jer je nekada neispravnost jednog bitnog dijela dovoljna da cijelo postrojenje stane ili postane neispravno. Promjena ispravnosti nekog dijela događa se kada neka njegova značajka (oblik, sastav, položaj, itd.) odstupa od nominalnog stanja. Ovim teorijskim razmatranjem želi se opisati osnovni problem u eksploataciji tehničkih sustava, a to je utjecaj trošenja pojedinih dijelova u tehničkom sustavu na skraćenje njegovog životnog vijeka ukoliko se na vrijeme ne uoči granično istrošenje i zamjeni navedeni dio. Ako se istrošeni dio ili pozicija ne zamjeni na vrijeme, vrijeme trajanja ostalih dijelova i samog tehničkog sustava bitno će se skratiti. To pobliže opisuje dijagramski prikaz tijeka tehničkog indikatora ispravnosti na slici 11.



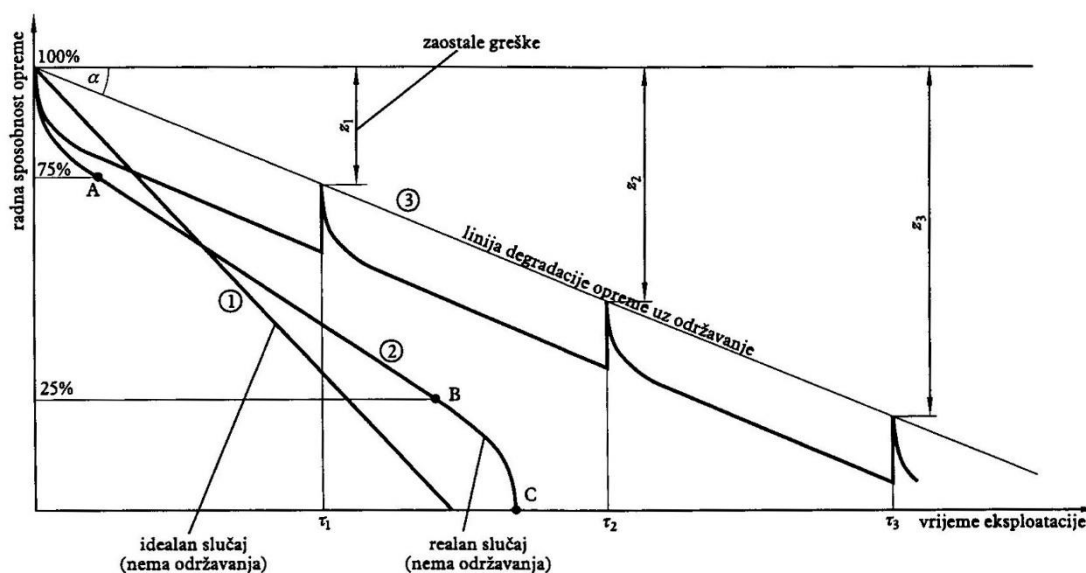
Slika 11: Utjecaj graničnog istrošenja na ostale dijelove [1]

Da bi lakše shvatili dijagram prikazan na slici 11, ukratko ćemo ga opisati. Veličina indikatora I_0 za nov tehnički sustav definirana je od strane proizvođača, kao i I_g koja označava donju graničnu vrijednost tolerancije. Na dijagramu su prikazane tri pozicije čiji indikator ispravnosti na početku iznosi I_0 , te pada s tijekom vremena eksploatacije. Svaka od pozicija u određenom vremenu dolazi na graničnu razinu ispravnosti I_g , pa će tako pozicija 1 doći u to stanje u vremenu t_1 . Ukoliko se ne znaju granice ispravnosti pozicija zahvati održavanja će kasniti, pa

će tako npr. pozicija 1 ostati raditi duže za vrijeme Δt , ispod granice ispravnosti te joj zbog toga ispravnost pada za još I_1 . U tom slučaju sve ostale pozicije u sklopu od tog trenutka ubrzavaju pad svoje ispravnosti, odnosno dodatno im se skraćuje vijek, to je na dijagramu prikazano isprekidanom linijom. Preporuka je da se na vrijeme zamijene dijelovi koji su dosegli dopuštenu granice ispravnosti kako ne bi skratili vijek trajanja ostalih dijelova u sklopu.

3.5. Pad radne sposobnosti

Kako u određenoj zakonitosti s vremenom pada ispravnost dijelova i cjeline, isto tako opremi pada i radna sposobnost za koju je projektirana. Pad radne sposobnosti možemo prikazati dijagramski (slika 12) gdje je apscisa vrijeme eksploatacije, a ordinata radna sposobnost koja ovisi o tehničkom sustavu (npr. sati rada, prijeđeni kilometri i slično).



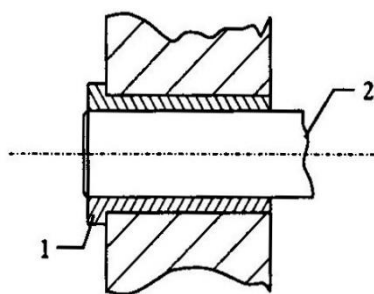
Slika 12: Pad radne sposobnosti opreme [2]

Na dijagramu slike 12 prikazane su krivulje pada radne sposobnosti za tri slučaja. Linija 1 pokazuje pad radne sposobnosti nepopravljive opreme u idealnom slučaju. Krivulja 2 prikazuje realan pad radne sposobnosti nepopravljive opreme, gdje su A i B točke infleksije, odnosno od početka eksploatacije do točke A pad radne sposobnosti je brz, da bi do točke B (normalna eksploatacija) padalo linearno u ovisnosti o vremenu. Na kraju, nakon točke B slijedi nagli pad radne sposobnosti uzrokovan povećanjem vremenskih kvarova. Krivulja 3 pokazuje pad radne sposobnosti popravljive opreme, gdje se u određenim vremenskim intervalima izvode zahvati održavanja koji krivulju podignu na određenu razinu nakon koje se nastavlja pad radne sposobnosti. Nakon svakog zahvata održavanja ostaju zaostale pogreške („vrhovi“ krivulje),

koje su s vremenom eksploatacije sve veće jer nije ekonomično mijenjati sve dijelove u sklopovima. Linija koja spaja vrhove krivulje 3 i zatvara kut α , naziva se linija degradacije opreme koja se uz veća ulaganja u održavanje tehničkog sustava može produljiti, odnosno smanjiti kut α .

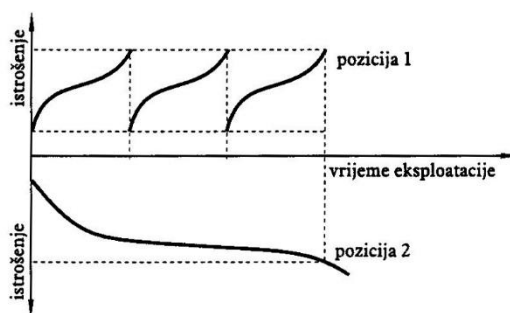
3.6. Utjecaj trošenja pozicija na projektiranje i održavanje

Stručnjaci održavanja najčešće se susreću s problemom određivanja ispravnih intervala radova održavanja na osnovu određenih pokazatelja. Na raspolaganju im stoji niz dijagnostičkih metoda pomoću kojih se stalnim praćenjem rezultata mjerenja može bolje prognozirati ponašanje opreme i relativno sigurno odrediti vremena intervencija. Na slici 13 je prikazan sklop od dvije pozicije (puškica-košuljica kao pozicija 1 i rukavac kao pozicija 2) na kojemu se takav problem najbolje uočava.



Slika 13: Sklop rukavac-košuljica [2]

Sklopovi dviju pozicija kao što su na slici 13, često se izvode tako da jeftinija pozicija bude napravljena od mekšeg materijala, kako bi se njezin vijek namjerno skratio, tako da se zaštiti skuplja i kompleksnija pozicija u sklopu. Krivulje istrošenja za takav slučaj prikazane su na slici 14, gdje se košuljica (pozicija 1) istroši tri puta brže od rukavca (pozicija 2). Drastičan



Slika 14: Krivulje istrošenja kada je životni vijek pozicije 2 tri puta dulji [2]

primjer takvog pristupa susrećemo u automobilskoj industriji, kod kočionog sklopa gdje se kočione pločice brže troše od samog disk rotora.

4. TEHNOLOGIJE U ODRŽAVANJU

Nakon definirane strategije održavanja određene opreme, potrebno je definirati tehnološke procese održavanja s kojima se želi postići cilj zacrtan strategijom održavanja. Tehnologijom se definira kako će se svaki pojedinačni postupak održavanja realizirati, kojim zahvatima, s kojim alatom, kojim slijedom, na koji način, te kako će se provjeravati kvaliteta aktivnosti održavanja. Tehnologija održavanja nekog tehničkog sustava ovisi o konstrukciji i drugim značajkama, ali i o radnim uvjetima, gospodarskim čimbenicima, uvjetima poslovanja i slično.

Razrada samog pristupa odgovarajućim tehnološkim procesima održavanja obično se odvija u četiri faze [2]:

1. obrada podloga za projektiranje tehnologija održavanja
2. razrada općih principa tehnologije održavanja odgovarajuće opreme
3. pristupi i metode tehnologije održavanja
4. razrada specifičnosti u tehnologiji održavanja

4.1. Podloge za projektiranje tehnologije održavanja

Za definiranje pristupa projektiranju tehnologije održavanja potrebne su određene podloge (informacije o stanju opreme, preporuke proizvođača), a one se razlikuju ako se [2]:

- projektira tehnologija održavanja za novonabavljenu opremu (ne postoje informacije o kvarovima i uopće o ponašanju za vrijeme eksploatacije)
- projektira tehnologija održavanja za opremu koja se već rabi (u tom slučaju postoje podaci o eksploataciji dotične opreme)

U prvom slučaju korisnik je ovisan o preporukama i uputama proizvođača i informacija kolega iz drugih poduzeća iste opreme. Naravno da je povoljnije i poželjnije projektirati tehnologiju održavanja u drugom slučaju kada imamo podatke o eksploataciji opreme. Prvi korak u projektiranju tehnologije održavanja je planiranje aktivnosti održavanja ovisno o izabranoj strategiji i vrsti opreme. Za dobro projektiranje potrebno je znati i posjedovati dokumentaciju proizvođača opreme, poznavanje uvjeta uporabe, poznavanje svih informacija o funkcioniranju opreme, proizvodnih mogućnosti opreme i poznavanje planskog vijeka uporabe. Tek kada posjedujemo navedene podloge možemo pristupiti razradi tehnologije održavanja, no prije toga

treba poznavati i opće principe tehnologije održavanja koji su opća i posebna znanja održavanja te opreme.

4.2. Opći principi tehnologije održavanja

Zakovitosti razrade tehnološkog procesa proizvodnje i održavanja se vrlo malo razlikuju, te se i kod jednog i kod drugog trebaju definirati radna mjesta, opisati operacije, odrediti broj radnika i trajanje operacija itd. Sva su pravila ista, samo treba imati na umu da se tehnološki procesi održavanja razrađuju za mali broj ponavljanja, te će ih izvoditi visokoobrazovan radnik održavanja.

Za izradu tehnologije održavanja, uz podloge za projektiranje, potrebno je poznavati [2]:

- sustav uočavanja kvara (npr. način uočavanja slabih mjesta)
- metode dijagnosticiranja kvara (vizualna, taktilna, akustična, ultrazvuk, itd.)
- postojeće metode otklanjanja kvara i slabih (kritičnih) mjesta na opremi
- najjednostavniji način rastavljanja opreme
- razinu rastavljanja opreme u odnosu na dijagnosticirani kvar, tj. planiranje aktivnosti (čišćenje, podmazivanje, izmjena pozicija i sklopova, itd.)
- način sastavljanja opreme ako ima nekih posebnosti
- način ispitivanja funkcionalnosti popravljene opreme

Kada su usvojene sve podloge i znanja, radnici održavanja mogu prići definiranju tehnologije održavanja popravka određene opreme. Sam popravak kvara na opremi možemo podijeliti na faze [2]:

1. spoznaje o nastanku kvara (informacije: usmene, telefonom, elektronskim putem, nalogom)
2. pronalaženje mjesta kvara (tačno dijagnosticiranje)
3. tehnološka priprema popravka (određivanje cilja popravka, određivanje potrebnih operacija, definiranje broja djelatnika i struke, određivanje potrebne vanjske usluge, izbor materijala, izbor opreme i alata za izvođenje aktivnosti, određivanje mjera sigurnosti, određivanje potrebnog vremena, te na kraju definiranje redoslijeda izvođenja pojedinih aktivnosti)
4. operativna priprema popravka (planiranje i zauzimanje raspoloživih djelatnika, osiguranje vanjskih usluga u pravo vrijeme, osiguranje odgovarajućeg materijala, opreme i alata, osiguranje mjera sigurnosti, definiranje rokova popravka)

5. izvođenje popravka (popravak i zamjena pozicija i sklopova, podešavanje, pritezanje, zaštita i čišćenje nakon popravka)
6. provjera kvalitete popravka (poznavanje različitih kriterija i standarda za provjeravanje kvalitete obavljenih radova)
7. izvještavanje o popravku (informacije prilikom prikupljanja podataka o vrstama kvarova i trajanju zastoja)

Možemo zaključiti da se cjelokupni posao na planskim i većim održavanjima sastoji od skupa pripremnih radova koji su osnova za izvođenje popravka i samog operativnog zahvata. Po završetku posla održavanja slijedi predaja opreme na uporabu i izvještaj o obavljenom popravku uz popravljene dijelove, novo ugrađene dijelove, uloženi rad, vanjske usluge, trajanje popravka i troškove.

4.3. Metode održavanja

Nekoliko je metoda održavanja podijeljenih po kriterijima u tri osnovne grupe [1]:

1. prema izvoru financiranja aktivnosti održavanja (a i b):
 - a) *tekuće održavanje* - popravci iznenadnih kvarova u sklopu korektivnog održavanja (jednostavni, kratkotrajni popravci, često nije potrebno micanje tehničkog sustava u kvaru niti zaustavljanje procesa, u pravilu nisu skupi i financiraju se iz planiranih troškova u osnovnoj djelatnosti poduzeća)
 - b) *investicijsko održavanje* - prema vremenu nastanka, svrstava se u preventivno održavanje s planiranim resursima za srednjoročno ili dugoročno razdoblje. Unaprijed se moraju planirati i materijalna sredstva potrebna za aktivnosti održavanja. Investicijsko održavanje uključuje veće zahvate ili bitne izmjene u proizvodnom procesu, uvođenje novih tehničko-tehnoloških cjelina, dugotrajno planiranje i multidisciplinarnu pripremu, kompleksnu financijsku pripremu, usklađivanje sa zakonskom regulativom, obuku kadrova, preustroj održavanja, reorganizaciju nabave sirovine, doknadnih dijelova, duži period ugradnje u redovnom planiranom velikom popravku. Pri ovim aktivnostima održavanja potrebno je pojašnjenje o sigurnosnoj, tehničkoj i komercijalnoj opravdanosti.

2. prema vremenu planiranja, obujmu rada, odnosno nastanka aktivnosti održavanja (c, d, e, f, g i h):

- c) *iznenadni kvarovi* – održavanje se obavlja u sklopu preventivnog tekućeg održavanja prema načelu kvar/popravak, a cilj mu je vraćanje tehničkog sustava u proizvodno stanje
- d) *preventivni pregledi, čišćenje, podmazivanje* – obavljaju se prema unaprijed zacrtanom planu ili na temelju dijagnosticiranih čimbenika. Kod održavanja po stanju postoji subjektivna (starija metoda, vezana je uz opažanja i ljudska osjetila) i objektivna (novija metoda kojoj je osnova mjerenje pojedinih parametara poput temperature, tlaka, vibracija, razine buke, neravnomjernog rada i drugih). Tako se mogu skupiti podaci koji pomažu otkloniti kvar pa ga se nekada može otkloniti i prije nego zapravo nastane.
- e) *podešavanje* – u ovu podskupinu spada i čišćenje, dolijevanje i provjera ulja, otklanjanje manjih kvarova, hlađenje, pražnjenje spremnika, itd. Takvi radovi obavljaju se prema godišnjem planu održavanja ili uputama proizvođača i upisuju se u plan i evidenciju ciklusa održavanja.
- f) *traženje i otklanjanje slabih ili kritičnih mjesta* – slaba ili kritična mjesta obično se otklanjaju zamjenom elemenata ili sklopova koji se često kvare i to je posljedica rezultata praćenja kvarova i njihovih uzroka kroz određeni vremenski interval. Metoda se često primjenjuje kod novih tehničkih sustava gdje uzrok može biti loša konstrukcija, izbor materijala ili uvjeti proizvodnje. Otklanjanjem kritičnih mjesta sprečava se ponavljanje istovrsnih kvarova.
- g) *kontrolni pregledi* – služe za utvrđivanje tehničke ispravnosti tehničkog sustava, a izvršavaju ih specijalizirana poduzeća prema zakonskim propisima. Kontrolnim pregledima podliježu transportna sredstva, vatrogasni aparati, dizala, plinske instalacije, itd.
- h) *planski popravci* – dijele se na *manje, srednje i velike*.
 - *manji popravci* podrazumijevaju zamjenu istrošenih dijelova čija je značajka kraći vijek trajanja. Ukoliko je potrebno, prilikom intervencije se obavljaju i dodatni radovi poput odmašćivanja opreme, uklanjanja korozije, aplikacija novih zaštitnih premaza, itd. Radovi se izvode u sklopu preventivnog održavanja i upisuju se u plan i evidenciju ciklusa održavanja.

- *srednji popravci* se obavljaju uz djelomičnu demontažu tehničkog sustava. Ciljano se mijenjaju elementi koji imaju duži radni vijek te se ispituju i kalibriraju predviđeni dijelovi. Obično ih izvode radnici odjela održavanja, a obuhvaćaju i poslove manjeg popravka, čišćenja, podmazivanja i sve druge poslove predviđene godišnjim planom održavanja, te se također upisuju u evidenciju ciklusa održavanja.
- *veliki ili generalni popravak* uključuje rastavljanje stroja na sastavne dijelove, čišćenje i pranje svih dijelova, utvrđivanje stanja (stupnja oštećenja) svih dijelova, popravak i zamjenu dijelova, sastavljanje i ispitivanje sklopova i stroja, opremanje stroja potrebnim tablicama i predaja stroja proizvodnji. Nakon velikog popravka stroj se može smatrati novim ili u nekim slučajevima i boljim od novog. Termin izvođenja generalnog popravka određuje se uz sve tehničke zahtjeve i uvažavajući okolnosti raspoloživosti. Zbog rokova, visoke cijene radova i dijelova generalni popravci moraju imati opravdan razlog.

3. prema vremenu kada se pristupilo izvođenju radova (korektivno i preventivno):

- a) *korektivno održavanje* – hitnog je karaktera i otklanja samo kvar koji je doveo do zastoja proizvodnje, dakle obavlja se prema principu kvar/popravak. Zahvat se ne obavlja sve dok element, pozicija ili tehnički sustav ne otkáže. Osnovni poslovi korektivnog održavanja su najčešće zamjena neispravnog dijela ispravnim, obnavljanje tehničkih značajki sustava i podešavanje. Oštećenja ili drugi kvarovi koji prate osnovni kvar otkloniti će se u povoljno vrijeme.
- b) *preventivno održavanje* – sprečava kvar pravovremenom zamjenom elemenata. Razlikujemo *osnovno* (zamjena prema stanju) i *po vremenu* (određeno, adaptivno, po pogodnom trenutku). *Preventivno osnovno* održavanje provodi operater bez posebnih tehnoloških zahtjeva i alata. Tu spadaju čišćenja, podmazivanja, nadopuna medijem, podešavanje, kalibriranje, praćenje stanja sustava i slično. Postupci operatera praćeni „check“ listama odlaze u dnevnik rada stroja. Ukoliko se pojavi odstupanje koje nema redovna obilježja, operater obavještava nadležnog, ovisno o organizacijskoj strukturi. Operater neposredno obavlja i dnevni pregled opreme iz kojeg proizlaze eventualne potrebe za

manjim zahvatima pojedinih specijalista održavanja, kako se manje nepravilnosti ne bi razvile u veći problem.

Preventivno održavanje u određenim rokovima utvrđuje se na temelju veličine pouzdanosti konkretnog tehničkog sustava prema preporuci proizvođača i instruktivnim knjigama (npr. prema broju radnih sati). Dotrajali dijelovi izmjenjuju se novima bez obzira na njihovo stanje kako bi se izbjegli iznenadni zastoji i kvarovi.

Preventivno održavanje u adaptivnim ili podesivim rokovima zavisi o utvrđenom općem stanju održavanog tehničkog sustava. Temeljem zaključaka o stanju sustava donosi se odluka o postupcima održavanja i rokovima idućih pregleda. Prikladno je za sustave na koje utječu varijabilni vanjski utjecaji.

Oportunističko preventivno održavanje provodi se u prikladnim, neplaniranim trenutcima, poput zastojima uzrokovanih vanjskim utjecajem. Npr. izvodi se ukoliko je došlo do zastoja zbog prekida napajanja iz mreže opskrbljivača, a popravak same mreže će trajati dovoljno dugo da se provede preventivni zahvat.

4.4. Specifičnosti u tehnologiji održavanja

Razlozi postojanja specifičnosti u tehnologiji održavanja su brojni, a neki od njih su: različite informacijske podloge opreme, mali broj istih strojeva, različite godine ugradnje i proizvođači, itd. Kao primjer možemo navesti situaciju gdje dolazi do kvara strojnog dijela na stroju starom 15 godina. Navedeni strojni dio izrađen je davno, te je tada imao definirane dimenzije, materijal, površinsku i toplinsku obradu. Do problema dolazi ukoliko zamjenski dio više nije dostupan ili tehnička dokumentacija nije postojeća u arhivi, pa se mora izrađivati novi strojni dio na osnovu mjerenoga stanja na licu mjesta i izradbe prostoručne skice. Najgora je varijanta kada se pozicija, odnosno strojni dio razbije na više sitnih dijelova. Na temelju skice konstruktor izrađuje tehnički crtež gdje definira geometrijski oblik, mjere, tolerance, vrste obrade, materijal, vrstu toplinske obrade i zaštitu. Kada ne postoji izvorna tehnička dokumentacija najveći problem je izbor materijala i tolerance. Nakon toga potrebno je izraditi skraćeni tehnološki proces izradbe i otvoriti radnu dokumentaciju za izradbu strojnog dijela (radni nalog i sl.). Zatim kreće lansiranje u proizvodnju (strojna i ručna obrada), te kontrola za vrijeme izradbe dijela i prije ugradnje (često se strojni dio pokušava ugraditi nekoliko puta da bi se ustanovilo odgovara li dio, a to je skup i dug posao). Specifičnosti postoje i kod dijagnostike u održavanju, reparaturne tehnike, podmazivanja opreme i antikorozivne zaštite.

5. INFORMACIJSKI SUSTAVI U ODRŽAVANJU

Razvoj informacijskih sustava održavanja (engl. CMMS – *Computerised Maintenance Management System*) potaknut je potrebom da se što preciznije planiraju i dokumentiraju procesi i aktivnosti održavanja tehničkih sustava te pohrane podaci koji su proizašli iz njihova provođenja. U samome početku sustavi su se koristili za pripremu i provođenje planova podmazivanja, tako da je sustav korisnika podsjećao na dolazeću aktivnost. Daljnji razvoj informacijskih sustava održavanja uvodi datoteke koje sadrže podatke o svakom pojedinom tehničkom sustavu - podaci o aktivnosti održavanja koje su provedene ili koje treba provesti i mnoštvo informacija povezanih uz te aktivnosti. [1] Svi suvremeni informacijski sustavi za upravljanje održavanjem izrađeni su modularno, to omogućava postupno uvođenje i svaki se od modula može samostalno upotrijebiti dok se ne postavi cijeli sustav.

Moduli u informacijskom sustavu upravljanja održavanjem su [2]:

- upravljanje radnim nalogima (planiranje, lansiranje i praćenje)
- upravljanje doknadnim dijelovima i materijalima održavanja
- kontinuirano praćenje stanja opreme
- upravljanje troškovima održavanja
- praćenje kvarova na svakome stroju
- planiranje i praćenje radova kooperacije itd.

Treba napomenuti da postoji nekoliko razina mogućih rješenja informacijskog sustava održavanja, od ručne obrade (pisanje, prikupljanje, obrada) do kompleksnog informacijskog sustava za upravljanje održavanjem pokrivenog računalom. Svaki je dan sve veći broj podataka vezanih uz aktivnosti koje je korisno imati spremljeno u računalnom sustavu, stoga su informacijski sustavi održavanja sve kompleksniji.

5.1. Dokumentacija u održavanju

Dokumentacija je glavni nositelj informacija te se njoj mora posvetiti pažnja njenom izgledu. Tijekom izrade dokumentacije planskog održavanja treba voditi računa o potrebnim informacijama planiranja, izvršenja, praćenja zahvata održavanja i stanja opreme.

Radna dokumentacija održavanja treba dati odgovore na pitanja [2]:

1. Što treba raditi? – opisati planirani zahvat održavanja
2. Od čega? – od kakvog materijala treba nešto izraditi
3. Kako rad treba obaviti da bi se postigla potrebna kvaliteta predviđenog zahvata?

4. Čime? – kojim pomoćnim sredstvima mora izvršitelj biti opskrbljen da bi kvalitetno i brzo mogao izvesti zahvate održavanja
5. Za koje vrijeme radnik mora izvršiti zahvat održavanja?
6. S kim radnik mora surađivati ili koordinirati da bi dobro izveo planirani zahvat održavanja?
7. Kada treba započeti i završiti s planiranim zahvatima održavanja?
8. Tko će obaviti planirane zahvate održavanja (određuje se prema struci i kvalifikaciji)?

Pri kreiranju dokumenata teži se tome da se isti podaci na svim dokumentima nalaze na istim mjestima, radi boljeg snalaženja i lakšeg čitanja.

Dokumentaciju održavanja možemo podijeliti na:

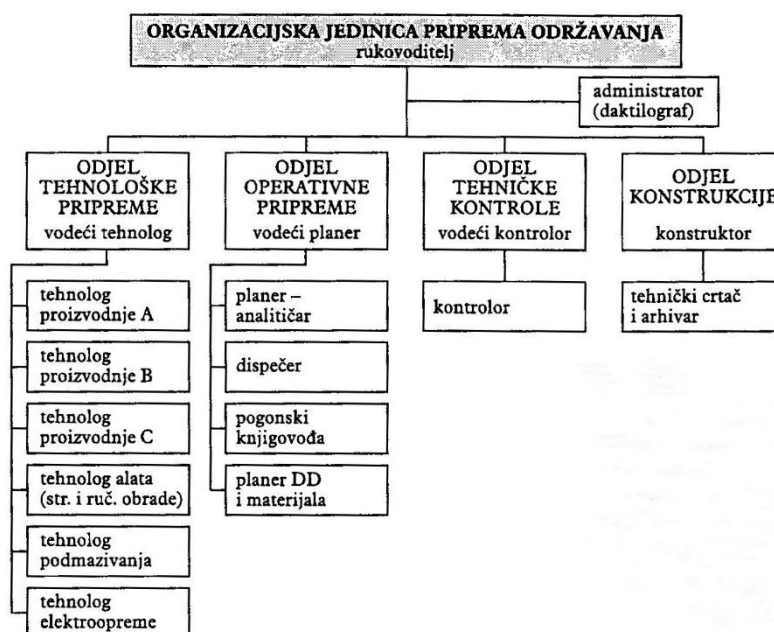
- a) *dokumentaciju proizvođača* – sadrži informacije i preporuke proizvođača korisne za razvijanje prikladnog informacijskog sustava održavanja. Sastoji se od: uputa za rukovanje i održavanje, preporuka za podmazivanje, električnih shema, hidrauličnih shema, pregleda potrebnih doknadnih dijelova, itd. Ukoliko su osigurane sve potrebne informacije, tehnologije održavanja neće biti teško definirati.
- b) *tehnoška dokumentacija* – sadrži sve informacije o opremi prema kojima se rade zahvati svakog suvremenog pristupa održavanju, obuhvaća karte: opreme, podmazivanja, doknadnih dijelova, preventivnih zahvata, doknadnih dijelova, zbirni list opreme i dosje opreme. Navedena dokumentacija mora biti lako dostupna i arhivirana, a pohranjena je u arhivu održavanja ili računalu cijelo vrijeme vijeka trajanja opreme na koju se odnosi.
- c) *radna dokumentacija* – koristi se za planiranje i praćenje zahvata i troškova održavanja, te za lansiranje planiranih ili potrebnih poslova. U radnu dokumentaciju obično pripadaju: nalog za preventivni zahvat, nalog za podmazivanje, lista podmazivanja na stroju, pregled zastoja opreme, izvještaj o kvaru, popis radova za popravak, operativni plan, radni nalog, radni list, troškovi planskog održavanja i terminer planskog održavanja. Upotrebom radne dokumentacije u praksi se ostvaruje zamišljena tehnologija održavanja i prikupljaju se relevantni podaci o stanju opreme koji se rabe za definiranje boljeg načina održavanja (utrošeni dijelovi, pouzdanost, učestalost preventivnih pregleda).

5.2. Upravljanje i organizacija procesa održavanja

Koristeći se dokumentacijom održavanja rukovodstvo održavanja, kao i tehnolozi i planeri u održavanju obavljaju analize za svu instaliranu opremu i na temelju toga odlučuju o novim zahvatima, a za takav skup poslova potrebno je postaviti i odgovarajuću organizaciju.

Nositelj poslova organizacije službe održavanja naziva se *priprema održavanja*, u kojoj se obavljaju poslovi [2]:

- tehnološke pripreme održavanja
- operativne pripreme održavanja
- tehničke kontrole
- konstrukcije
- upravljanje doknadnim dijelovima i materijalima održavanja, itd., tj. svi poslovi logističke potpore navedeni u procesu



Slika 15: Organizacijska struktura pripreme održavanja [2]

Na slici 15 prikazano je kako bi teoretska organizacija strukture pripreme održavanja trebala izgledati u nekom poduzeću. Naravno, u praksi to ne mora biti tako, ovisno o politici poslovanja specifičnog poduzeća struktura će se prilagoditi, odnosno moguće je da će jedna osoba preuzeti više funkcija.

Poslovi i zadaci koji pripadaju radnicima pripreme održavanja su: izrada godišnjih proizvodno-financijskih planova za cijelu djelatnost održavanja po organizacijskim jedinicama, praćenje troškova u odnosu na ispunjenje planova i utvrđenim kriterijima, planiranje doknadnih dijelova i materijala održavanja, vođenje tehnološke i radne dokumentacije, izrada proračuna za planske popravke, alate, investicije i vanjske usluge, arhiviranje tehnološke dokumentacije za svu opremu, izrada operativnih planova održavanja, nadzor i kvaliteta radova vanjskih izvođača, utvrđivanje pregleda opreme gdje se dijelovi brže troše, određivanje ciklusa preventivnih pregleda, izrada dokumentacije podmazivanja kao osnove planskoga pristupa podmazivanju, evidentiranje svih pregleda i kontrola, planiranje i praćenje izvršenja periodičnih pregleda niskonaponskih i visokonaponskih postrojenja i instalacija, itd.

Opći pristup definiranja procesa održavanja je da skupu opremu treba održavati preventivno ili po stanju, jeftiniju opremu planski održavati i podmazivati i obavljati jeftinije zahvate održavanja po stanju, a pomoćnu opremu koja nije ključna za odvijanje proizvodnog procesa održavati korektivno ili kontrolirati stanje opreme povremeno i popravcima pristupiti u trenutku zastoja. Svako poduzeće odabire način održavanja kakvo mu najviše odgovara i može sadržavati elemente različitih pristupa i metoda, što ćemo vidjeti i u poglavlju pod brojem 7 ovog rada, koje sadrži praktični dio i primjenu održavanja u strojarstvu, odnosno proizvodnji.

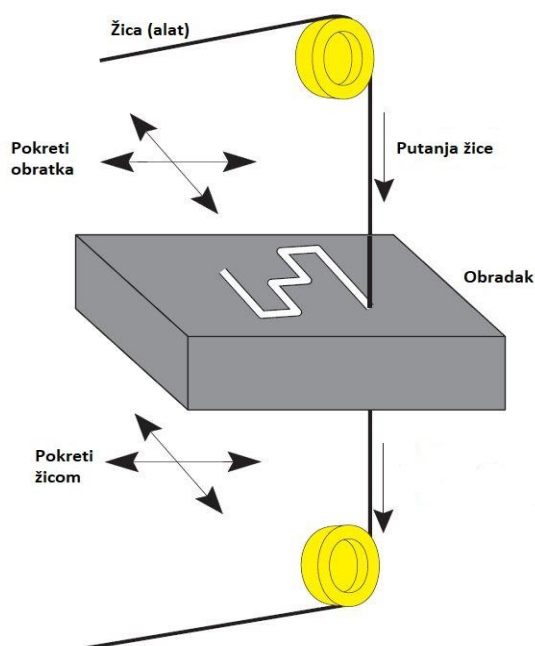
Na osnovu svega što je do sada napisano, da se zaključiti kako politiku održavanja opreme treba voditi na jednom mjestu, bez obzira tko sve koristi i održava opremu. Da bi se to u praksi realiziralo, potrebno je organizirati i formirati tokove povratnih informacija o stanju opreme, grupirati po tipovima i vrstama, a zatim obraditi i interpretirati. To je ključna podloga za donošenje argumentiranih odluka o vrstama i ciklusima planskih zahvata održavanja, gospodarenjem doknadnih dijelovima i upravljanjem troškovima svakoga stroja.

6. ELEKTROEROZIJSKA OBRADA ŽICOM

Elektroerozija nastaje periodičnim nestacionarnim električnim pražnjenjima u tekućini koja ne provodi električnu struju (dielektrik). Pražnjenja su oblika kratkih električnih iskri, a ostvaruju se pri naponu izvora struje (generatora) koji ima impulsni karakter. Zato se ovaj postupak naziva i elektroimpulsna obrada i najviše se koristi u praksi pod nazivom elektroerozija, odnosno EDM (*Electrical Discharge Machining*). [3] Proces su izumili ruski znanstvenici Lazarenko 1943. godine, dok je pojava prvih strojeva došla kasnih 60-ih. U početku su strojevi imali vrlo spore brzine rezanja ($21\text{mm}^2/\text{min}$), no danas su te brzine i do 20 puta veće. Elektroerozijska obrada žicom jedna je od najvećih inovacija u strojnoj obradi metala, kako uštedom, tako i produktivnošću, preciznosti i kvalitetom obrade. Prije nego se elektroerozija žicom počela primjenjivati, neke pozicije je bilo vrlo skupo ili nemoguće izraditi. Sada, primjenom numerički upravljalog EDM stroja možemo ekonomično i precizno izraditi dijelove vrlo složenih geometrijskih oblika. Iako se EDM još uvijek svrstava u nekonvencionalne postupke obrade, smatra se da je četvrti najzastupljeniji postupak u strojnoj obradi odmah nakon tokarenja, glodanja i brušenja.

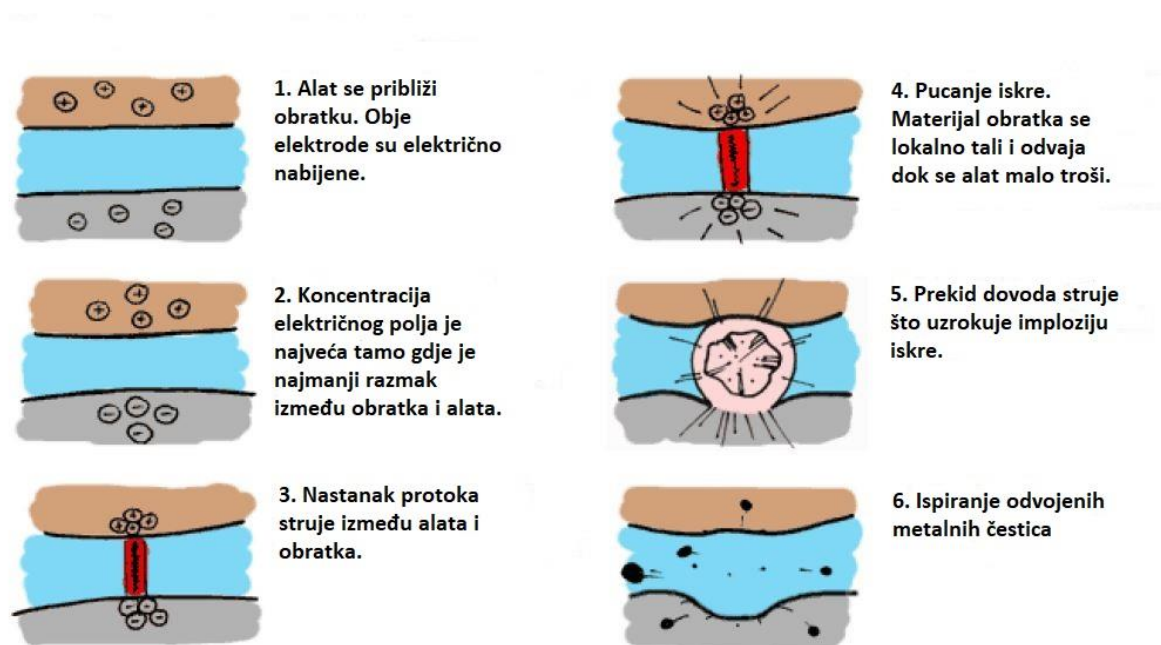
6.1. Princip rada

Postupak elektroerozije žicom koristi kontinuirano pokretanu (namatanu) žicu kao alat, koja prolazi kroz obradak. Materijal obratka, koji mora biti elektrovodljiv, uklanja se nizom odvojeno izbijenih električnih iskri između alata i obratka uronjenih u dielektrik.



Slika 16: EDM obrada žicom kroz obradak [5]

Elektrode (obradak i alat) spojene su na DC generator, između njih je mala zračnost i potopljene su u radni fluid (dielektrik) koji može biti mineralno ulje, petrolej ili najčešće deionizirana voda. Smanjenjem razmaka između elektroda na kritičnu vrijednost (od 5 do 500 μ m) električni napon probija električni otpor dielektrika i dolazi do protoka struje između dvije elektrode. Temperatura svake iskre koja tako nastaje je između 8,000 i 12,000 °C, a rezultat je odvajanje materijala s obje elektrode. Tako nastaje električna erozija materijala na površini anode (obratka) i formira se krater, kojemu veličina ovisi o količini energije koju je generator struje poslao. Alat (katoda) se troši svega oko 0,5% u odnosu na trošenje (eroziju) anode (obratka). Nakon prestanka strujnog signala, nova dielektrična tekućina dolazi u prostor između elektroda i odnosi odvojene čestice s elektroda, a izolacijska svojstva dielektrika se obnavljaju, tu pojavu nazivamo ispiranje.



Slika 17: Fizikalni princip odvajanja čestica elektroerozije [4]

Temperatura i električna svojstva dielektrika tijekom ispiranja mogu se razlikovati od nominalnih vrijednosti, te se mogu i mijenjati s vremenom. Najvažniji parametar koji utječe na preciznost reza i kvalitetu obrade je razmak između alata i obratka. Problemi kod rada dolaze zbog kratkog spoja iskre sa krhotinom (odvojenom česticom) i kod nemogućnosti reakcije sustava kontrole impulsa na direktni kontakt elektroda gdje dolazi do nekontroliranog odvajanja materijala. Također, ispiranje može biti neadekvatno što dovodi do nedovoljnog obnavljanja izolacijskih svojstava dielektrika, a rezultira nedovoljnom preciznošću obrade.

6.2. Dielektrična tekućina i žica

Kako je u prošlom poglavlju navedeno, ispravnost (čistoća) dielektrične tekućine bitna je za željenu preciznost stroja elektroerozije žicom. Zato se čvrste čestice nastale pri elektroeroziji izdvajaju iz dielektrične tekućine taloženjem u glavnom rezervoaru i filtracijom. Dielektrik je između elektroda izložen toplinskim i električnim naprezanjima, zbog toga mora imati posebna svojstva. Treba biti kemijski i termički postojan, ne smije djelovati korozivno na elektrode, a viskozitet mu mora biti što manji. Najčešće je to deionizirana voda koja se filtrira i hladi da bi tijekom procesa imala povoljnu temperaturu za rad.

Funkcije dielektrične tekućine su:

1. svojstvo izolatora dok se ne postigne dovoljan probojni napon između elektroda
2. hlađenje
3. ispiranje i odnošenje odvojenih čestica

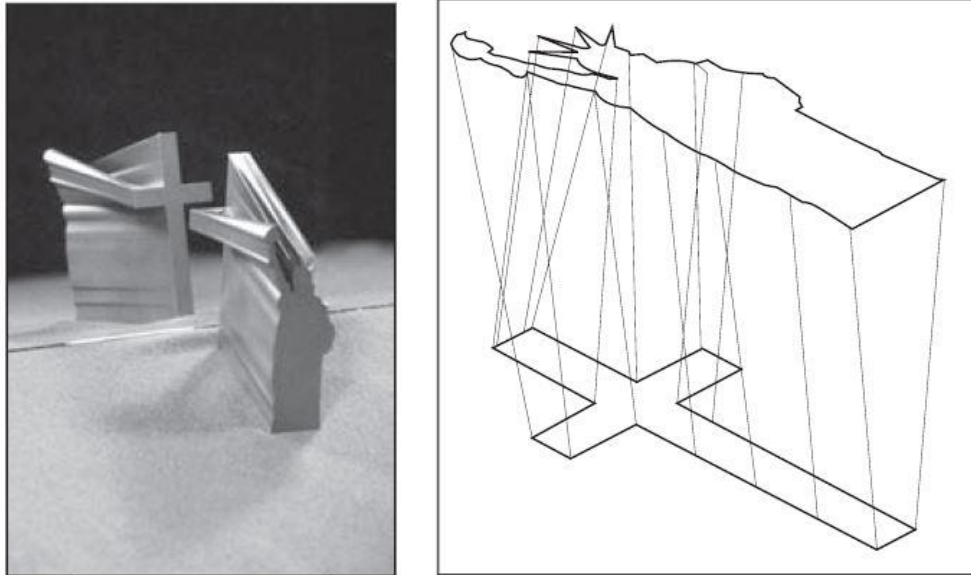
Žica koja se konstantno provodi sa kalema kroz obradak, može biti: bakrena, mjedena (mesing), aluminij-mjed legura, molibden žica. Najčešće se koristi mesing žica, dok su ostale u uporabi uglavnom za rezanje određenog rijetkog materijala. Debljina žice uobičajeno je 0.3mm za grubu obradu, te 0.2mm za finiju obradu i završne prolaze, no danas postoje i žice debljine samo 20 μ m. Napetost žice obično je 60% njene vlačne čvrstoće, ovisno o obradi, a sama vlačna čvrstoća je bitna karakteristika jer se za različite debljine materijala i tehnologije rezanja napetost žice povećava odnosno smanjuje. Žica se koristi samo jednom jer je relativno jeftina s obzirom na funkciju koju obavlja i proces u kojem se koristi. Brzine namatanja žice koje se koriste su od 0.0025 m/s do 0.15 m/s, s konstantnim razmakom od obratka. Kalemi žice su vrlo dugi, na primjer; duljina 8kg žice promjera 0.25mm iznosi preko 19 kilometara. Vrlo bitno svojstvo žice je njena električna vodljivost, gdje niska vodljivost može dovesti do pada napona i energije između napajanja i točke rezanja.



Slika 18: Kalemi EDM žice [6]

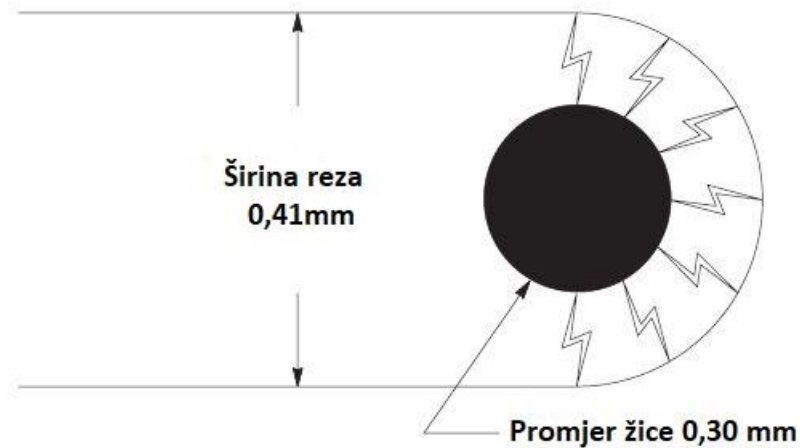
6.3. Osi i putanja žice

Žica je vođena dijamantnim vodilicama koje su numerički upravljane i pomične u XY ravnini. Na modernim strojevima gornja vodilica pomična je i po z-u-v osima, što pruža mogućnost rezanja pod različitim kutom, odnosno rezanje različite gornje i donje konture obratka i pomicanje po x-y-u-v-i-j-k-l osima te izradu vrlo zahtjevnih geometrija.



Slika 19: Obradak s različitim gornjom i donjom konturom [5]

Da bi bolje shvatili izradu takvih geometrijskih oblika, možemo zamisliti osobu kako drži nit kojoj neovisno miče donji i gornji kraj. Moguće je izraditi bilo koji zamišljeni oblik u okvirima dopuštenog hoda U i V osi EDM stroja na raspolaganju. Vodilice (gornja i donja) obično su precizne do 0,004 mm, dok širina reza za žicu promjera 0,1 mm može biti 0,12 mm. Prosječna širina reza, koja je ujedno najekonomičnija sa optimalnim vremenom rezanja iznosi 0,335 mm za mesing žicu promjera 0,25 mm. Tanje žice imaju užu širinu reza i obrnuto. Širina reza je veća od promjera žice zbog iskrenja između alata i obratka koje uzrokuje eroziju, ta razlika je neizbježna, ali i predvidljiva te se lako kompenzira. Shematski prikaz širine reza i promjera žice prikazan je na slici 20.



Slika 20: Širina reza u odnosu na promjer žice [5]

6.4. Karakteristike postupka i primjena

Prednosti EDM obrade žicom su:

- obrada vrlo tvrdih materijala sa uskim tolerancijama
- mogućnost izrade pozicija s vrlo složenom geometrijom
- izrada pozicija vrlo malih dimenzija
- brza i ekonomična izrada prototipa i malih serija
- izrada osjetljivih materijala bez deformiranja jer nema direktnog kontakta između alata i obratka
- kvalitetna površinska obrada
- ujednačena kvaliteta obrade od prvog do zadnjeg obratka
- rezanje pod određenim kutovima
- manja zaostala naprezanja u materijalu nakon obrade naspram ostalih načina obrade

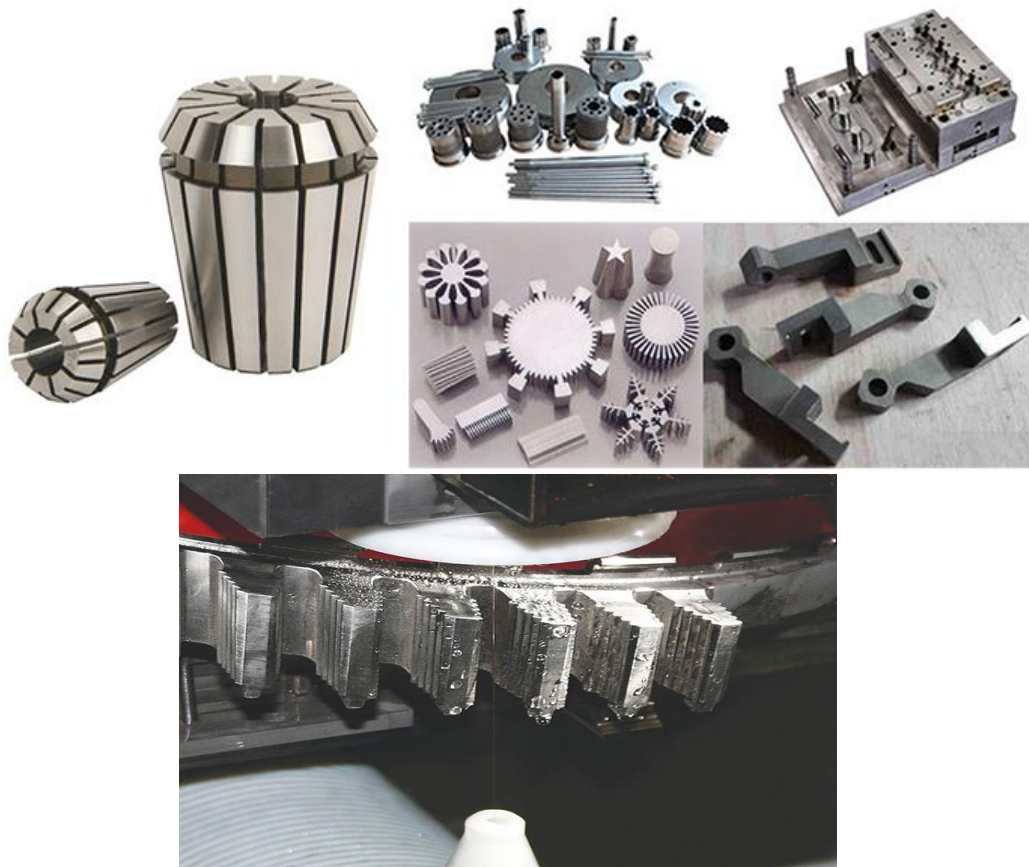
Nedostaci EDM obrade žicom su:

- primjenjivo samo za elektrovodljive materijale
- opasnost od požara kod primjene dielektrika na bazi nafte
- mala brzina rezanja
- visoka potrošnja energije

EDM obrada žicom sve je češća jer nudi ekonomičniju obradu nekih pozicija uz veliku preciznost i male tolerancije izrade bez naknadne obrade nakon postupka. Neke pozicije zahtjevnijeg geometrijskog oblika vrlo je teško obraditi na konvencionalan način, a EDM žica

ih obradi bez poteškoća. Tvrdoća materijala ne utječe na obradu, a sam proces obrade prenosi jako malo topline u obradak zbog svojstva ispiranja dielektrikom. Moguće je obrađivati i pozicije vrlo malih dimenzija sa velikom preciznošću, a nudi i brzu izradu prototipa i malih serija. Treba napomenuti da obrada EDM žicom eliminira faktor trošenja alata jer se žica konstantno namotava i koristi samo jednom, zbog toga je obrada prvog i zadnjeg komada jednake kvalitete. Najveći nedostaci su nemogućnost obrade materijala koji nisu električni vodljivi, relativno mala brzina rezanja i visoka potrošnja energije.

Primjena elektroerozije žicom najčešća je u izradi alata za štancanje, savijanje, kalupa za ekstrudiranje, izradaka kompliciranih geometrijskih oblika, manjih serija, prototipa, unutarnjih nazubljenja, čahura za stezanje alata, itd.



Slika 21: Pozicije izradene EDM žicom [7]

7. PRAKTIČNI DIO

Eksperimentalni dio ovog rada odrađen je u prostorijama tvrtke „KM Croatia“ na stroju za elektroeroziju žicom proizvođača AgieCharmilles, model Cut 30 P. Promatrani uređaj koristi mjedenu (mesing) žicu promjera od 0,15 do 0,30 mm, dielektrik je deionizirana voda, a radno područje mu je 600x400x350 mm (X,Y,Z). Translacija glava po U i V osima iznosi 50mm, što omogućava kut rezanja od maksimalno 25°. Tijekom svog boravka prisustvovao sam tjednom i dnevnom pregledu i čišćenju stroja, dobio sam uvid u tehničku dokumentaciju, plan preventivnih pregleda i zahvata na stroju, radni nalog i uvid u troškove vanjskog servisa, kao i neke od važnih naputaka na osnovu iskustva operatera stroja ključnih za održavanje.



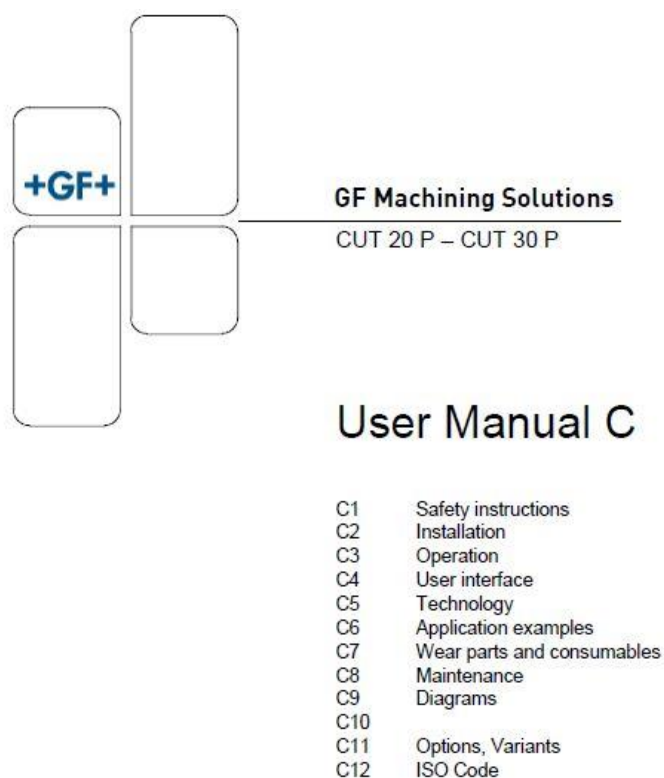
Slika 22: AgieCharmilles CUT 30 P

Kao i kod većine poduzeća, strategija koju „KM Croatia“ koristi pri održavanju je kombinacija nekoliko njih, prilagođena specifičnim zahtjevima i optimalnim ekonomskim rješenjima. Temeljni fokus je na preventivno održavanje, uz koje se glavne odgovornosti i zadaće stavljaju na operatera stroja kao što je opisano u CPO strategiji održavanja. Ukoliko dođe do većeg ili nepredvidljivog kvara, a sam operater ga ne može dijagnosticirati i otkloniti, tvrtka se oslanja

na vanjski servis održavanja koji je ovlašten za taj stroj. U takvoj situaciji bitna je komunikacija tvrtke i vanjskog servisa radi skraćivanja vremena zastoja, ukoliko je to moguće.

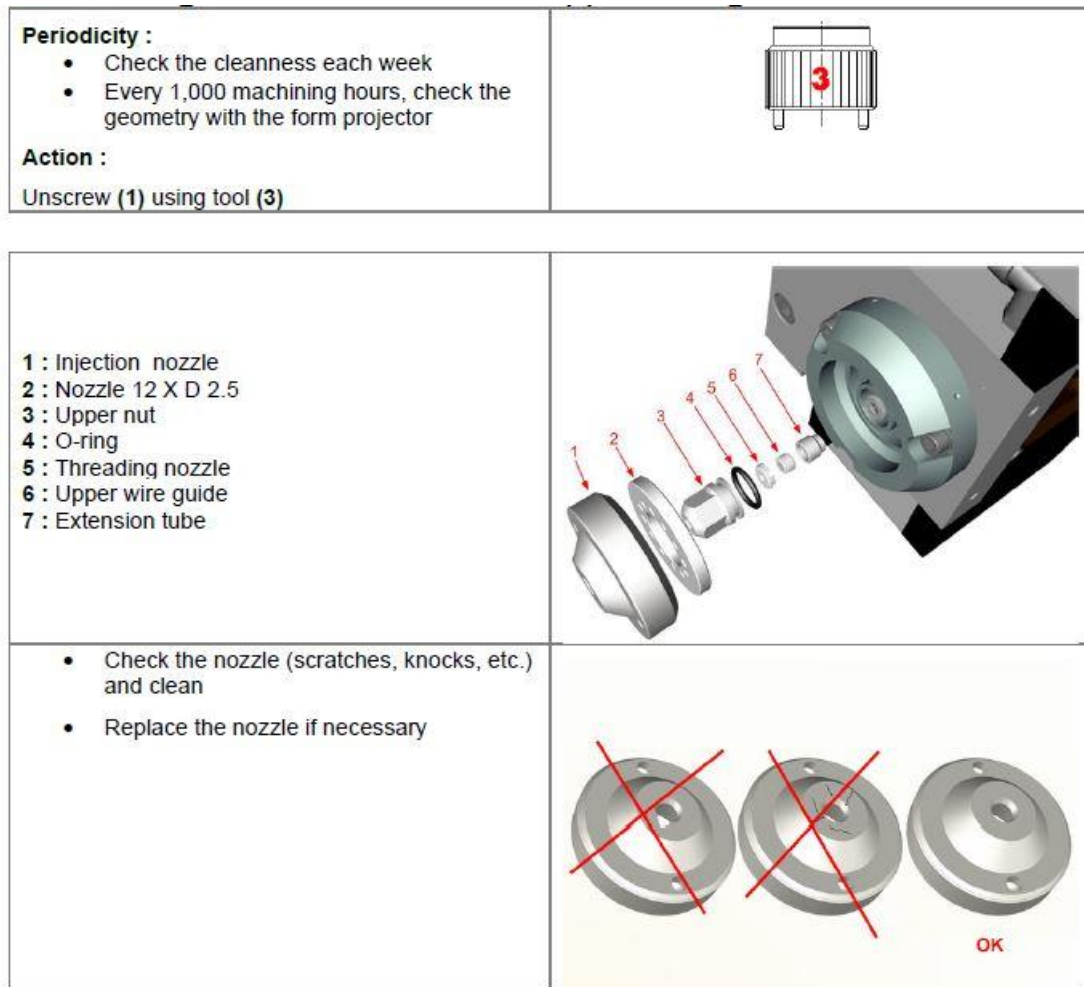
7.1. Tehnička dokumentacija stroja

Tehnička dokumentacija opreme vrlo je bitna za rukovanje i održavanje. Proizvođač opreme u njoj prilaže naputke i pravila rukovanja, objašnjenja elemenata opreme, električne i ostale sheme stroja, intervale održavanja i podmazivanja, način transporta i instalacije, upozorenja, popis doknadnih dijelova, i slično.



Slika 23: Sadržaj tehničke dokumentacije stroja CUT 30 P [4]

U dijelu tehničke dokumentacije održavanja opreme navode se dijelovi stroja, slike sa opisom dijelova, popis grešaka i odgovarajućih rješenja za te greške koje upravljačka jedinica može javiti operateru, intervale održavanja pojedinih elemenata stroja i način održavanja. Po tim naputcima se formira radna lista preventivnog održavanja opreme na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj bazi. Na slici 24 možemo vidjeti jednu od uputa održavanja i interval propisan od strane proizvođača u tehničkoj dokumentaciji.



Slika 24: Provjera gornje vodilice žice [4]

Sve upute su vrlo detaljno i slikovito prikazane, kako bi se operaterima olakšalo rukovanje, eliminirale greške u demontaži i montaži elemenata, te prikazale moguće neispravnosti (vidljivo na slici 24).

7.2. Održavanje stroja za elektroeroziju žicom

Kod preventivnog održavanja erozizata pomoću tehničke dokumentacije izrade se tjedni, mjesečni i godišnji zadaci preventivnih pregleda i održavanja kojih se održavatelj, odnosno operater treba pridržavati. Primjer radnog lista tjednog pregleda i održavanja tvrtke „KM Croatia“ prikazan je na slici 25.

KM-CRO		Preventivno održavanje CNC erozimat sa žicom od 01.01.2020. do 31.12.2020.														
Tjedni pregled																
101	Prekontrolirati tlak zraka Prekontrolirati stanje zračnog filtera-zamijeniti ga po potrebi Isprati rezervoar filtera	1 2 3 4 5	Siječanj	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20%; text-align: center;">6</td><td style="width: 80%;">06.02.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td>13.02.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td>20.02.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td>27.02.2020. <i>AK</i></td></tr> </table>	6	06.02.2020. <i>AK</i>	7	13.02.2020. <i>AK</i>	8	20.02.2020. <i>AK</i>	9	27.02.2020. <i>AK</i>				
6	06.02.2020. <i>AK</i>															
7	13.02.2020. <i>AK</i>															
8	20.02.2020. <i>AK</i>															
9	27.02.2020. <i>AK</i>															
102	Čišćenje filca za čišćenje žice			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20%; text-align: center;">10</td><td style="width: 80%;">06.03.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11</td><td>13.03.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12</td><td>20.03.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">13</td><td>27.03.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">14</td><td></td></tr> </table>	10	06.03.2020. <i>AK</i>	11	13.03.2020. <i>AK</i>	12	20.03.2020. <i>AK</i>	13	27.03.2020. <i>AK</i>	14			
10	06.03.2020. <i>AK</i>															
11	13.03.2020. <i>AK</i>															
12	20.03.2020. <i>AK</i>															
13	27.03.2020. <i>AK</i>															
14																
103	Čišćenje nekoliko stožaca i vodilica															
104	Čišćenje nekoliko električnih kontakata															
105	Čišćenje valjaka za povlačenje žice															
106	Prekontrolirati trenutno podizanje Po potrebi promijeniti položaj	14 15 16	Travanj	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20%; text-align: center;">18</td><td style="width: 80%;">03.04.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">19</td><td>07.04.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">21</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">22</td><td></td></tr> </table>	18	03.04.2020. <i>AK</i>	19	07.04.2020. <i>AK</i>	20		21		22			
18	03.04.2020. <i>AK</i>															
19	07.04.2020. <i>AK</i>															
20																
21																
22																
107	Prekontrolirati kvalitetu uvodnog vodenog mlaza Po potrebi očistiti i kalibrirati ovaj element															
108	Po potrebi ponovo podesiti statički nož i dva rotirajuća noža	27 28 29 30 31	Svibanj	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20%; text-align: center;">31</td><td style="width: 80%;">31.05.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">32</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">33</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">34</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">35</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">36</td><td></td></tr> </table>	31	31.05.2020. <i>AK</i>	32		33		34		35		36	
31	31.05.2020. <i>AK</i>															
32																
33																
34																
35																
36																
109	Prekontrolirati razinu vode u jedinici filtera, stanje deionizacijskih smola i razinu taloga															
110		40 41 42 43 44	Lipanj	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20%; text-align: center;">44</td><td style="width: 80%;">44.06.2020. <i>AK</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">45</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">46</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">47</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">48</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">49</td><td></td></tr> </table>	44	44.06.2020. <i>AK</i>	45		46		47		48		49	
44	44.06.2020. <i>AK</i>															
45																
46																
47																
48																
49																

Slika 25: Radni list tjednog pregleda CNC erozizata

Također, radni listovi mjesečnog i godišnjeg pregleda prikazani su na slikama 26 i 27. Sve radnje u lijevom stupcu dokumenata naputci su proizvođača, a propisani su intervalima u tehničkoj dokumentaciji stroja.

Preventivno održavanje
CNC erozimata sa žicom

Mjesečni pregled								
201	Čišćenje vodilica		Siječanj	Datum: 31.01.2020. Potpis: <i>Marko</i>	Veljača	Datum: 27.02.2020. Potpis: <i>Marko</i>	Ožujak	Datum: 27.03.2020. Potpis: <i>Marko</i>
202	Podmazivanje oscilacijske ručice		Travanj	Datum: 07.04.2020. Potpis: <i>Marko</i>	Svibanj	Datum: Potpis: 	Lipanj	Datum: Potpis:
203	Prekontrolirati stanje noževa			Datum: Potpis: 		Datum: Potpis: 		Datum: Potpis:
204	Čišćenje pogonskih kotača dovodnog cilindra		Sipanj	Datum: Potpis: 	Kolovoz	Datum: Potpis: 	Rujan	Datum: Potpis:
205	Prekontrolirati stanje površine kočionog kola			Datum: Potpis: 		Datum: Potpis: 		Datum: Potpis:
206	Generalno čišćenje stroja		Listopad	Datum: Potpis: 	Studeni	Datum: Potpis: 	Prosinac	Datum: Potpis:
207	Prekontrolirati stupanj čistoće zračnih filtera generatora			Datum: Potpis: 		Datum: Potpis: 		Datum: Potpis:
208	Umetnuti svježe mazivo kroz ubrizgače vijčanih elemenata (4-8cm ³). Preporuča se mazivo "BLASOLUBE 301", proizvođača BLASER SWISSLUBE AG (www.blaser.com) Svaki od 5 vijčanih elemenata stroja ima vanjski ubrizgač koji je lako dostupan i iznačen je slovom (X-Y-U-V-Z)							
209								

Slika 26: Mjesečni pregled CNC erozimata sa žicom

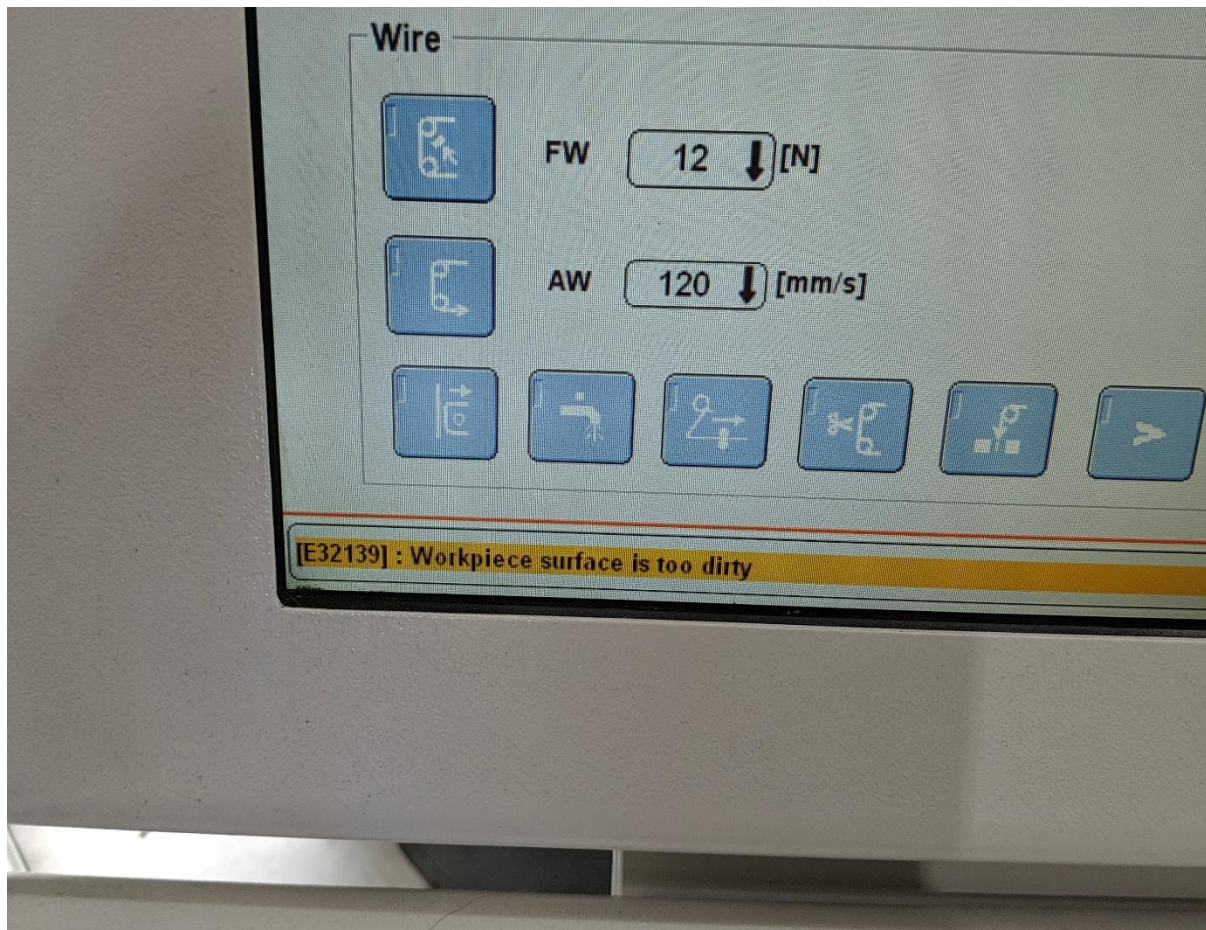
Vidljivo je da nakon svakog pregleda i održavanja operater mora prikazati datum pregleda i vlastoručno potpisati da je izvršio propisano održavanje.

Preventivno održavanje	
CNC erozimata sa žicom	
<p>Godišnji pregled</p>	
301	<p>Čišćenje i podmazivanje valjkastih vodilica X-Y-U-V-Z. Preporuča se provođenje čišćenja sresivom za odmaščivanje ili industrijskim alkoholom. Prije nanošenja novog premaza na vodilice, kroz kline ubrizgače staviti svježe mazivo. Preporuča se mazivo "ISOFLEX NBU 15" proizvođača KLÜBER (www.klueber.com)</p>

Slika 27: Godišnji pregled CNC erozimata sa žicom

Radni list godišnjeg pregleda je neispunjen jer nije dostignut interval za isti.

AgieCharmilles CUT 30 P je numerički upravljani stroj, te ukoliko dođe do greške pri radu, na zaslonu upravljačke jedinice prikazuje šifru i opis greške. U ovom slučaju, prikazanom na slici 28, problem je bio kod nedovoljno čiste površine obratka („*Workpiece surface is too dirty*“). Zbog velike osjetljivosti elektroerozijske obrade žicom, sloj nečistoća na obratku spriječio je iskrenje, odnosno eroziju materijala.



Slika 28: Prikaz greške na upravljačkoj jedinici

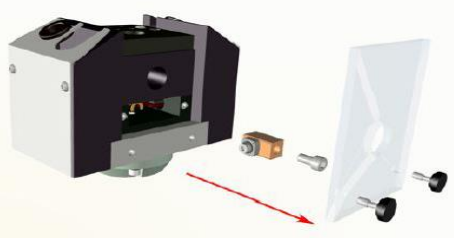
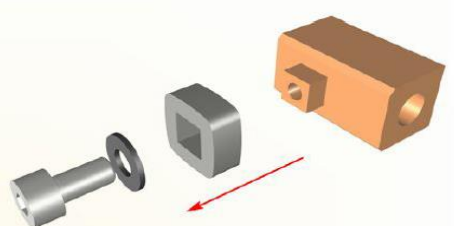


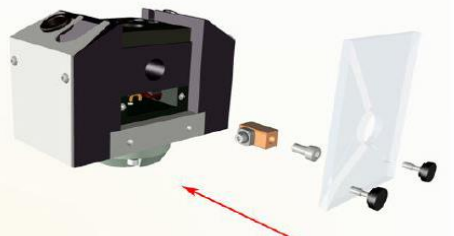
U priručniku opreme postoji popis šifri i grešaka koje upravljačka jedinica može dojaviti i prikazati na zaslonu, te povezana rješenja. U slučaju sa slike 28 potrebno je očistiti površinu obratka i stroj može nastaviti sa radom.

Ovaj rad slikovito će prikazati i opisati tjedni pregled erozimata CUT 30 P, gdje se neki elementi izvode na dnevnoj bazi. Razlog češćeg izvođenja nekih pregleda je potaknut iskustvom samog operatera koji vrlo dobro poznaje stroj te zna da neke elemente treba češće čistiti i kontrolirati da bi rezultati obrade bili zadovoljavajući.

Strojevi za elektroeroziju žicom sastoje se od sitnih i osjetljivih dijelova koji okružuju obradak i uronjeni su u dielektričnu tekućinu, iz tog razloga navedeno područje zahtjeva tjednu a ponekad i dnevnu pažnju operatera.

Najčešće održavanje zahtijevaju kontakti u glavama. Radi se o sitnim dijelovima koji su skloni oksidaciji (zbog dielektrične tekućine) i trošenju. Te im je propisano da se čiste i kontroliraju svakih 40 radnih sati, odnosno kada se kontaktna pločica od volframa potroši do propisane veličine. Shema i uputa prikazane su na slici 29 preuzete iz strojnog priručnika.

3.7 Checking and replacing the upper machining contact

<p>Periodicity : every 40 machining hours or as soon as the wear of the tungsten contact is the same as the wire diameter</p> <p>Action :</p> <ul style="list-style-type: none"> Dismantle as shown in the illustration 	
<ul style="list-style-type: none"> Separate the upper contact from the contact support 	
<p>There are 8 grooves per contact</p> <ul style="list-style-type: none"> Turn the contact 90° to use 4 faces, then turn it back 180° for the 2nd groove of each face. <p>Note : The side and front faces of the contact are to be sandpapered to remove all traces of oxidization and thus help conductivity at each use and each time the contact is replaced</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Clean then sandpaper the side and front faces of the contact removing all traces of oxidization 	
<ul style="list-style-type: none"> Reassemble the unit 	

Slika 29: Uputa održavanja gornjih kontakata

Na slici 29 vidimo uputu i redoslijed demontaže navedenog elementa, interval održavanja (svakih 40 radnih sati), opis potrošenog stanja volfram kontakta (kada se ureže utor za žicu veličine njenog promjera), način održavanja i postupak montaže. Kako to izgleda u praksi možemo vidjeti na slikama 30, 31 i 32.



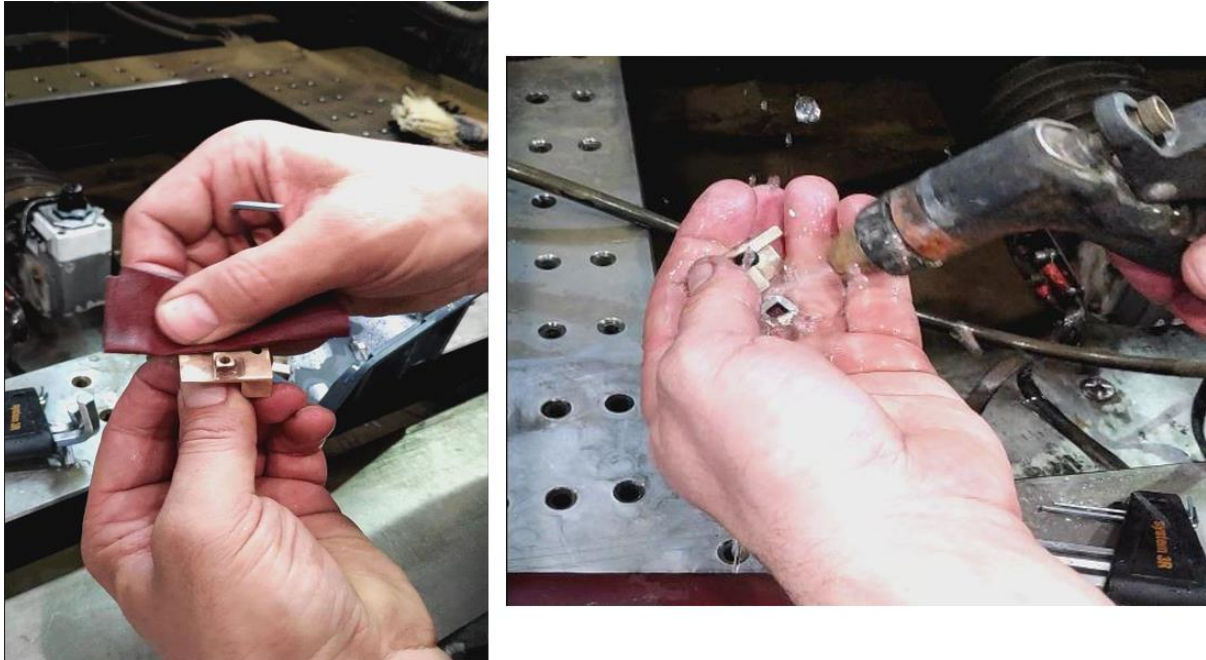
Slika 30: Demontaža gornjih kontaktnih dijelova

Slika 30 prikazuje demontažu dijelova nakon kojih slijedi kemijsko čišćenje kiselinom svih izloženih komponenti, prikazano na slici 31. Pri tome se ne moraju koristiti zaštitne rukavice jer kiselina nije štetna za kožu.



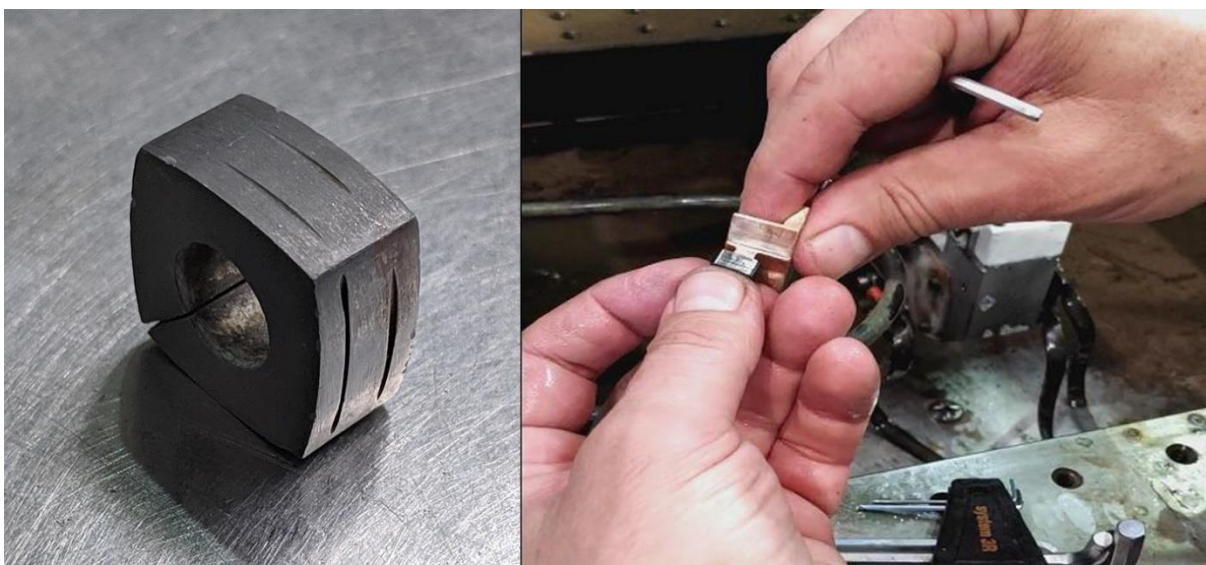
Slika 31: Kemijsko čišćenje

Nakon kemijskog čišćenja pristupa se mehaničkom čišćenju i ispiranju elemenata vodom, kao što je prikazano na slici 32. Za mehaničko čišćenje koristi se brusni papir, a ispiranje se vrši vodom iz stroja.



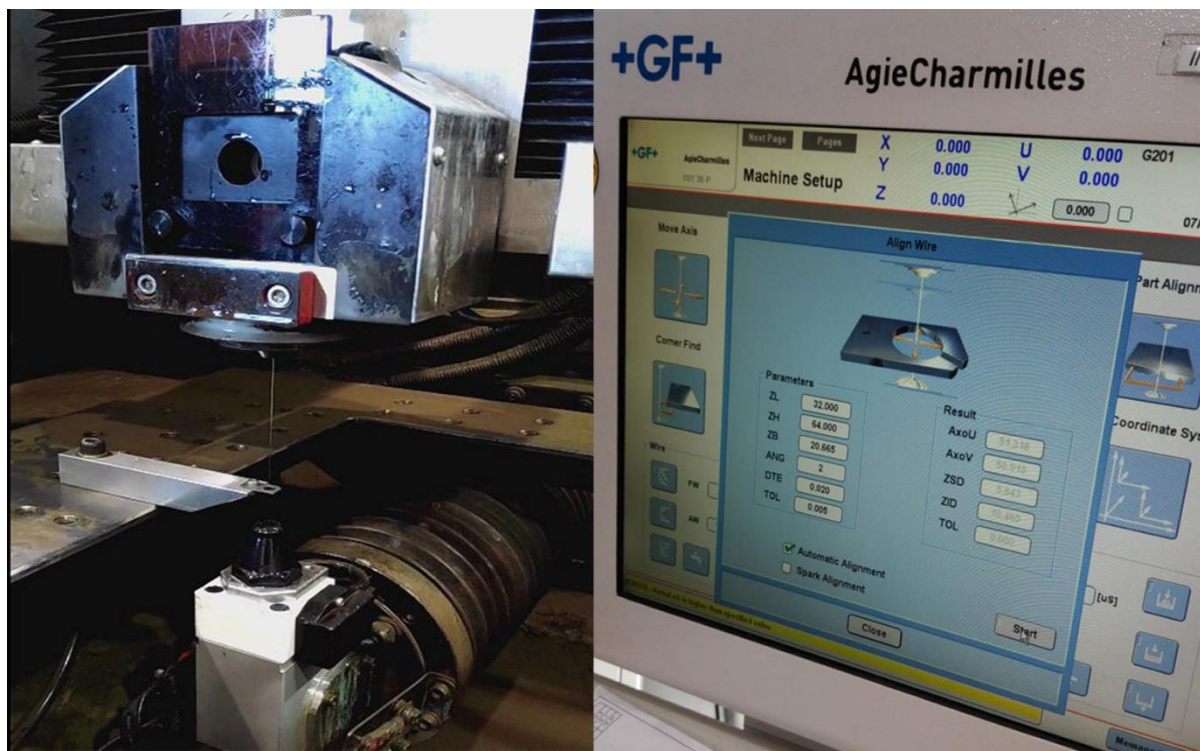
Slika 32: Mehaničko čišćenje i ispiranje vodom

Nakon čišćenja i ispiranja pregledava se kontaktna pločica od volframa, te po potrebi rotira zbog svojstva trošenja (po uputama iz tehničke dokumentacije stroja). Svako lice na pločici može imati 2 žlijeba, stoga se ista pločica može koristiti 8 puta ako se pravilno rotira, nakon čega se mijenja cijela pločica.



Slika 33: Izgled potrošene pločice i rotacija

Slijedi montaža elemenata u postupku suprotnom od demontaže, nakon čega se mora provesti namještanje žice u nulu funkcijom „Align wire“. Postupak se provodi s pomoćnim alatom koji se postavlja na mjesto radnog komada, te se odabire automatsko namještanje žice na upravljačkoj jedinici. Namještanje žice je potrebno raditi nakon svakog čišćenja. Izgled pomoćne naprave i programa namještanja prikazan je na slici 34.



Slika 34: Automatsko namještanje žice

Uz prije opisano čišćenje i održavanje, operater na osnovu iskustva i propisanih intervala vizualno provjerava stanje filtera zraka i vode, razinu vode, tlakove, stanje deionizacijskih smola i ostalo, sukladno vremenu proteklom od zadnjeg pregleda. Uz sve navedeno, operater koji je u ovom slučaju održavatelj stroja, vodi brigu o narudžbi i rukovanju doknadnim dijelovima koji su poznati kao potrošni ili im je velika mogućnost zamjene. Svi doknadni dijelovi CUT 30 P stroja su vrlo malih dimenzija i čuvaju se na radnom mjestu, dostupni odmah. Izvanredni kvarovi većih elemenata zahtijevaju posebnu narudžbu doknadnog dijela potrebnog za popravak. Doknadni dijelovi dostupni za stroj CUT 30 P koji su najpotrebniji za preventivno održavanje, prema iskustvu operatera, prikazani su na slici 35.

Treba napomenuti da operater na osnovu iskustva može procijeniti zakazivanje ili nepravilan rad pojedinih dijelova stroja kako vizualno tako i pomoću sluha. Kao primjer možemo navesti ventilator za hlađenje generatora. Ukoliko uoči promjene u zvuku rada ventilatora zamijeniti

će ga pravovremeno te spriječiti nastanak kvara, odnosno zastoja. Takvih primjera je velik broj, te pokazuju kako je iskustvo i angažman operatera u proces održavanja vrlo bitan, neovisno o tome da li je sva odgovornost održavanja na samom operateru stroja.



Slika 35: Doknadni dijelovi za CUT 30 P

Ukoliko dođe do nepredviđenog zastoja, odnosno kvara, a sam operater ga ne zna ili ne može otkloniti, služba održavanja tvrtke „KM Croatia“ poziva vanjski servis ugovoren za taj stroj. Iz tvrtke se šalje opis kvara i problema u radu stroja u pismenom obliku. Vanjski servis izlazi na teren, na osnovu opisa kvara radi defektažu, daje rješenje, procijenjeno vrijeme za popravak, popis potrebnih doknadnih dijelova, te na kraju izdaje račun nakon što je popravak izvršen. Na slici 36 prikazan je izgled zahtjeva za uslugu popravka i održavanja vanjskog servisa za problem gdje je brzina rezanja u „Main cut“ režimu rada prespora i dolazi do čestog pucanja žice. Dodatno je navedeno da je primijećeno kako gornji kontakt ne radi, odnosno ne privlači

se ka žici te se sumnja na loše nalijeganje žice kontaktu. Uvijek je dobro što detaljnije opisati problem, jer što je opis detaljniji, to će vanjski servis prije dati rješenje.

Održavanje: Zlatko Vizec
 telefon: +385 1 6288 526
 telefax: +385 1 6288 488
 mob.: 098 417731

Zahtjev za uslugu popravka i održavanja																																																											
Datum: 14.07.2019.	Redni broj: 41/19/B																																																										
Stroj / Uređaj: CNC erozimat sa žicom AgieCharmilles CUT 30P	Inventarski broj: 00030																																																										
<p>Opis kvara, defektaža, procjena vremena za popravak (h), cijena:</p> <p>Firma Tehnoprogres isporučila je dijelove koje je serviser Ivan Nejković zatražio nakon prvog servisa.</p> <p>Popravak stroja izvršen: 14.07.2019. do 16.07.2019.</p> <hr/> <p>Popravak stroja: zamjena kablova, zamjena gornjeg kontakta bloka, brzina rezanja je dobra. Razlog pucanja žice je nedovoljno hlađenje donjeg kontakta, prilikom pregleda donje glave utvrđeno je da je potrebna zamjena nosača tj. usmjerivača vode u donjoj glavi. Preporuča se zamjena YP6 ventila i finog filtera.</p> <p>Prema Računu broj: 100/TP/2 od 17.07.2019.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Naziv artikla / usluge</th> <th>JM</th> <th>Količina</th> <th>Rabat%</th> <th>VPcijena</th> <th>Iznos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Usluga servisa stroja Servis EDM Servis EDM</td> <td>kom</td> <td>7,00</td> <td></td> <td>375,00</td> <td>2.625,00</td> </tr> <tr> <td>2. Sati puta servisera</td> <td>sat</td> <td>16,50</td> <td></td> <td>228,00</td> <td>3.762,00</td> </tr> <tr> <td>3. Prijedeženi kilometri</td> <td>km</td> <td>1.330,00</td> <td></td> <td>3,33</td> <td>4.428,90</td> </tr> <tr> <td>4. Putni troškovi Cestarina</td> <td>kom</td> <td>2,00</td> <td></td> <td>222,00</td> <td>444,00</td> </tr> <tr> <td> Putni troškovi Hotel</td> <td>kom</td> <td>1,00</td> <td></td> <td>827,35</td> <td>827,35</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Ukupno (kn)</td> <td style="text-align: right;">12.087,25</td> </tr> </tbody> </table>		Naziv artikla / usluge	JM	Količina	Rabat%	VPcijena	Iznos	1. Usluga servisa stroja Servis EDM Servis EDM	kom	7,00		375,00	2.625,00	2. Sati puta servisera	sat	16,50		228,00	3.762,00	3. Prijedeženi kilometri	km	1.330,00		3,33	4.428,90	4. Putni troškovi Cestarina	kom	2,00		222,00	444,00	Putni troškovi Hotel	kom	1,00		827,35	827,35	Ukupno (kn)					12.087,25																
Naziv artikla / usluge	JM	Količina	Rabat%	VPcijena	Iznos																																																						
1. Usluga servisa stroja Servis EDM Servis EDM	kom	7,00		375,00	2.625,00																																																						
2. Sati puta servisera	sat	16,50		228,00	3.762,00																																																						
3. Prijedeženi kilometri	km	1.330,00		3,33	4.428,90																																																						
4. Putni troškovi Cestarina	kom	2,00		222,00	444,00																																																						
Putni troškovi Hotel	kom	1,00		827,35	827,35																																																						
Ukupno (kn)					12.087,25																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Utrošak radnih sati</th> <th colspan="2">Dne: 14.07.2019.</th> <th colspan="2">Dne: 15.07.2019.</th> <th colspan="2">Dne: 16.07.2019.</th> <th colspan="2">Dne:</th> <th colspan="2">Dne:</th> <th rowspan="2">Napomena</th> </tr> <tr> <th>Rad</th> <th>Put</th> <th>Rad</th> <th>Put</th> <th>Rad</th> <th>Put</th> <th>Rad</th> <th>Put</th> <th>Rad</th> <th>Put</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Monter</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ivan Nejković</td> <td>0,00</td> <td>8,00</td> <td>5,00</td> <td>0,50</td> <td>2,00</td> <td>8,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Utrošak radnih sati	Dne: 14.07.2019.		Dne: 15.07.2019.		Dne: 16.07.2019.		Dne:		Dne:		Napomena	Rad	Put	Rad	Put	Rad	Put	Rad	Put	Rad	Put	Monter												Ivan Nejković	0,00	8,00	5,00	0,50	2,00	8,00																	
Utrošak radnih sati	Dne: 14.07.2019.		Dne: 15.07.2019.		Dne: 16.07.2019.		Dne:		Dne:		Napomena																																																
	Rad	Put	Rad	Put	Rad	Put	Rad	Put	Rad	Put																																																	
Monter																																																											
Ivan Nejković	0,00	8,00	5,00	0,50	2,00	8,00																																																					

Održavanje
Zlatko Vizec

Tehnički voditelj
Daniel Tucman

Slika 36: Zahtjev za uslugu popravka i održavanja vanjskog servisa

Komunikacija između službe održavanja, operatera koji vrši održavanje i vanjskog servisa je vrlo bitna. Ukoliko je operater dijagnosticirao uzrok problema te naslućuje što je uzrokovalo problem, sa vanjskim servisom može stupiti u kontakt telefonskim putem, i tako doći do potvrde o rješenju, odnosno stručnog mišljenja vanjskog servisa. U nekim situacijama dolazak vanjskog servisa se može i izbjeći te smanjiti troškove i vrijeme zastoja, ovisno o iskustvu i sposobnostima samog operatera. Isto tako postoje situacije gdje operater tijekom dugogodišnjeg iskustva i eksploatacije stroja otkrije probleme koji nisu poznati čak ni vanjskim servisima, te može dati povratnu informaciju o lošoj konstrukciji stroja ili pojedinih elementa. To nam dokazuje da i vanjski servisi imaju koristi od dobrog odnosa i komunikacije sa operaterima i službama održavanja.

8. ZAKLJUČAK

Razvojem industrije održavanje sve više dobiva na važnosti jer bez održavanja proizvodnja ne može biti kontinuirana i bez zastoja. Zbog toga se poduzeća sve češće okreću preventivnom načinu održavanja, kako bi smanjili financijske troškove i kvarove koji mogu nastati korektivnim održavanjem. Uzrok tome je zahtjev tržišta za kratkim rokovima isporučenja, što uvjetuje poduzećima da imaju veliku raspoloživost i pouzdanost strojeva. Pri tome informacijski sustavi u održavanju pridonose razvoju održavanja u poduzećima, jer donose brojne prednosti i povećavaju organizaciju i upravljanje troškovima održavanja.

Odabir strategije održavanja ovisi o samom poduzeću, koje će sebi odabrati i kombinirati različite modele i strategije održavanja tako da odgovaraju specifičnosti njihova poslovanja i postrojenja. Dobra organizacija održavanja poduzeću će povećati proizvodnost, zaradu, konkurentnost i status tvrtke na tržištu.

Održavanje stroja za elektroeroziju žicom bitno je raditi u propisanim intervalima, prema preporuci proizvođača stroja, da bi se zadržala preciznost stroja koji je zbog malih dijelova i tolerancija osjetljiv na oksidaciju nastalu utjecajem dielektrika. I najmanji pomak žice uzrokovan trošenjem ili nepravilnim radom jednog od elemenata stroja, dovodi do nezadovoljavajućih rezultata obrade, odnosno škarta. Poželjno je da operater stroja bude uključen u održavanje, ovisno o organizaciji održavanja, jer uvelike pridonosi popravku stroja. Ako sam operater nije održavatelj stroja, njegova komunikacija sa službom održavanja ili vanjskim servisom vrlo je bitna.

Ulaganjem u odjel održavanja pridonosi smanjenju troškova popravaka strojeva i zastoja, te povećava raspoloživost i pouzdanost postrojenja, što rezultira visokom učinkovitosti poduzeća.

9. LITERATURA

- [1] Hrvatsko društvo održavatelja: *Održavanje i gospodarenje imovinom*, Zagreb, 2016
- [2] *Inženjerski priručnik IP 4 - Proizvodno strojarstvo – prvi svezak – materijali*, Zagreb, Školska knjiga, 1999
- [3] Ante Pavić: *Obrada odvajanjem čestica*, Veleučilište u Karlovcu, 2007
- [4] GF Machining Solutions: *User Manual (CUT 20 P – CUT 30 P)*, Švicarska, 2015
- [5] Carl, Steve, Phil Sommer: *Complete EDM handbook*, www.reliableedm.com
- [6] *Slika kalema EDM žice*, (MREŽNO, pristup 23.7.2020.), <https://korean-electronics.com/2014/08/27/edm-wire-paps/>
- [7] *Slika pozicija izrađenih EDM žicom*, (MREŽNO, pristup 23.7.2020.), <http://www.kenson.id/2016/09/wire-cut-edm.html?m=1>