

prof. dr. sc. Budimir Mijović
ODRŽAVANJE STROJEVA I UREĐAJA

Veleučilište u Karlovcu

Copyright ©
Veleučilište u Karlovcu 2019.

ISBN 978-953-7343-74-3

Izdavač: Veleučilište u Karlovcu

Za izdavača: dr. sc. Nina Popović, prof. v. š.

Recenzenti: dr. sc. Ante Pavić, prof. v. š., prof. dr. sc. Miroslav Skoko,
prof. dr. sc. Milan Jurković

Grafički urednik: Miroslav Kodrić

Naslovna stranica: Miroslav Kodrić

Objavljivanje ovog veleučilišnog udžbenika odobrilo je Povjerenstvo
za izdavačku djelatnost Veleučilišta u Karlovcu Odlukom o izdavanju
publikacije br. 7.5-13-2013-8.

Budimir Mijović

ODRŽAVANJE STROJEVA I UREĐAJA



Karlovac, 2019

Predgovor

Održavanje znači osiguravanje da poduzeće sa svojim objektima, strojevima, namještajem i postrojenjima funkcionira sigurno, a da se istovremeno osigura da se njihovo stanje ne pogoršava. Redovito održavanje može također spriječiti njihov iznenadan i neočekivan prekid rada.

Održavanje nije područje koje pripada samo instalaterima ili tehničarima, već je obveza skoro svih radnika u svakom području i obavlja se u skoro svakom radnom okruženju. Po svojoj prirodi održavanje je aktivnost koja podliježe i mnogim opasnostima. Svaki radnik koji obavlja poslove održavanja može biti izložen većem riziku od opasnosti od prosječnog radnika.

Broj i vrsta opasnosti do kojih dolazi pri održavanju ne mogu se usporediti s onima u proizvodnji te ih u pravilu i premašuju. Tako se otprilike 20% svih ozljeda sa smrtnim posljedicama događa prilikom održavanja strojeva i te su ozljede često povezane s teškim posljedicama i duljim izbjavanjima radnika s radnog mjesta. Sigurno održavanje strojeva stoga je posebno važno kako iz socijalnih, tako i iz ekonomskih razloga.

Rad na održavanju može radnika izložiti riziku, ali izostanak održavanja još i više. Poslodavci koji ne održavaju svoju opremu ili koji ignoriraju procedure sigurnosti u postrojenju riskiraju da dođe do propusta koji može imati katastrofalne posljedice.

Udžbenik *Održavanje strojeva i uređaja* pisan je ponajprije za studente Sigurnosti i zaštite Veleučilišta u Karlovcu, ali i za studente drugih fakulteta na kojima se proučava sigurnost strojeva i uređaja. Udžbenik će nadasve dobro doći inženjerima sigurnosti, magistrima pa i doktorima znanosti.

Udžbenik je podijeljen u sedam poglavlja. Naslovi poglavlja nose numeričku oznaku iz koje se razabire o kojem je poglavlju riječ. Dijagrami, slike i tablice posebno su numerirani i imaju dvije brojčane oznake: prva se odnosi na poglavlje, a druga na redni broj dijagrama, slike ili tablice u tom poglavlju.

Također se nadam da će i stručnjacima u proizvodnji, koji se bave održavanjem, ova knjiga pomoći kao sažeti pregled njihove uže struke.

Karlovac, travanj 2014.

Autor

Sadržaj

Predgovor	5
1. UVOD U ODRŽAVANJE STROJEVA I UREĐAJA.....	9
1.1. Osnovni pojmovi u održavanju	13
1.2. Zadatak službe održavanja.....	16
1.3. Dokumentacija u održavanju	19
1.4. Načini održavanja.....	23
1.5. Kompleksnost procesa održavanja	26
1.6. Suradnja između poslužitelja strojeva i vanjskih tehničara za održavanje.....	27
1.7. Problemi upravljanja održavanjem	29
1.8. Odgovornosti	30
2. SIGURNO ODRŽAVANJE	33
2.1. Uzrok nezgode pri održavanju	35
2.2. Planiranje održavanja i mjere zaštite.....	37
2.3. Preventivne mjere: upravljanje, tehnička potpora, ljudsko ponašanje i obuka	42
2.4. Faktori koji utječu na ljudske sposobnosti	44
2.5. Osnovna pravila za sigurno održavanje	44
2.6. Obveze rukovoditelja održavanja	47
2.7. Zaštitne mjere za sigurno održavanje	50
3. NADZOR I DIJAGNOSTIKA	55
3.1. Dijagnostika strojeva	56
3.2. Izbor dijagnostičke opreme	57
4. POUZDANOST I ODRŽAVANJE STROJEVA.....	67
4.1. Pouzdanost elemenata sustava	71
4.2. Značajke pouzdanosti	75
4.3. Analiza pouzdanosti sustava	78
4.4. Pouzdanost s obzirom na slučajne varijable.....	85
5. FUNKCIJA KVALITETE I ZAŠTITA NA RADU	89

6. ORGANIZACIJA I INFORMATIZACIJA ODRŽAVANJA	95
6.1. Ciljevi i odgovornosti organizacije održavanja	97
6.2. Konstrukcija organizacije održavanja	98
6.3. Osnovni tipovi organizacijskih modela	99
6.4. Važnost organizacije održavanja	100
7. TEROTEHNOLOGIJA I MENADŽMENT U ODRŽAVANJU	107
7.1. Uvod	107
7.2. Kreiranje strategije održavanja	110
7.3. Troškovi održavanja.....	113
8. EKSPERTNI SUSTAVI U ODRŽAVANJU	117
8.1. Uvod	117
8.2. Struktura ekspertnog sustava	121
8.3. Elementi ekspertnog sustava	123
Kazalo pojmova	129
Popis slika i tablica	135
Literatura	137

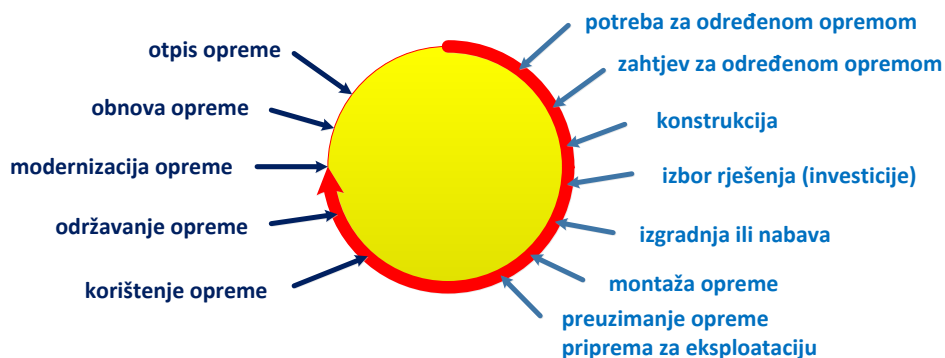
1. UVOD U ODRŽAVANJE STROJEVA I UREĐAJA

Održavanje je interdisciplinarna djelatnost koja okuplja stručnjake iz područja strojarstva, elektrotehnike, elektronike i drugih struka s ciljem optimalnog održavanja kao i unapređenja održavanja instalirane opreme.

Kada je objekt održavanja složeniji, potrebna su šira znanja, rizici su brojniji, a naročito dolazi do izražaja i znanje iz područja sigurnosti na radu. U svrhu osiguranja pogonske sigurnosti i tehnološkog procesa rada, zaštite ljudi i imovine, potrebno je strojevima i kontroli ugrađenih dijelova posvetiti najveću moguću pažnju. Danas je održavanje u poduzećima funkcija od strateškog interesa. Promjene koje su to uzrokovale su sljedeće: strojevi i oprema postaju sve kompleksniji, kvarovi i otkazi opreme bitno smanjuju proizvodnost te negativno utječu na procese, zahtijeva se sve veća raspoloživost i pouzdanost opreme i postrojenja te su propisi iz područja sigurnosti i ekologije sve stroži. Definicija održavanja prema EFNMS-u (*European Federation of National Maintenance Societies*) glasi: ***Održavanje je funkcija poduzeća kojoj su povjerene stalna kontrola nad postrojenjima i obavljanje određenih popravaka i revizija, čime se omogućava stalna funkcionalna sposobnost i očuvanje proizvodnih i pomoćnih postrojenja te ostale opreme.***

Već dugi niz godina održavanje u razvijenim zemljama Europe i svijeta predstavlja granu privrede. Danas još uvijek postoji određeni broj svjetskih tvrtki koje zanemaruju jedan od osnovnih elemenata uspjeha, a to je održavanje imovine (*asset management*). U većini takvih organizacija posao „trpi” upravo zbog toga što se tome, izuzetno bitnom, segmentu poslovanja ne posvećuje potrebna pažnja. Zvuči nevjerojatno, ali održavanje je još uvijek za neke nepotrebna i neisplativa djelatnost. Na početku 20. stoljeća, ovakve tvrdnje podsjećaju na srednjovjekovno razmišljanje, kada su tehnička znanja bila u povojima, a održavanje je bilo minimalno ili ga nije ni bilo. No, jedno je sigurno, današnje tvrtke koje ne vode računa o održavanju ne mogu opstati na izuzetno konkurentnom tr-

žištu, gdje konkurencija tjera na stalna poboljšanja i unapređenja te napredna razmišljanja i pristup s ciljem povećanja kakvoće proizvoda i usluga, pazeći pri tome, naravno, i na troškove. Proces održavanja obuhvaća sve aktivnosti kojima se stanje radnih sredstava održava na proizvodnoj razini. Sposobnost održavanja je mogućnost popravka radnog sredstva u slučaju nastanka kvara. Troškovi održavanja ovise o količini održavanja. Što je održavanje češće, troškovi su veći. Troškovi zastoja ovise o količini zastoja. Što je zastoja više, troškovi su veći. Ekonomičnost održavanja ovisi o troškovima zastoja i troškovima održavanja. Ekonomično održavanje je takvo održavanje u kojemu je zbroj troškova održavanja i troškova zastoja najniži. Premalo održavanja uzrokuje česte zastoje u proizvodnji i povećava troškove zastoja, a previše održavanja uzrokuje povećanje troškova održavanja. Najniži ukupni troškovi određuju ekonomično održavanje (slika 1.1.).



Slika 1.1. Životni vijek opreme

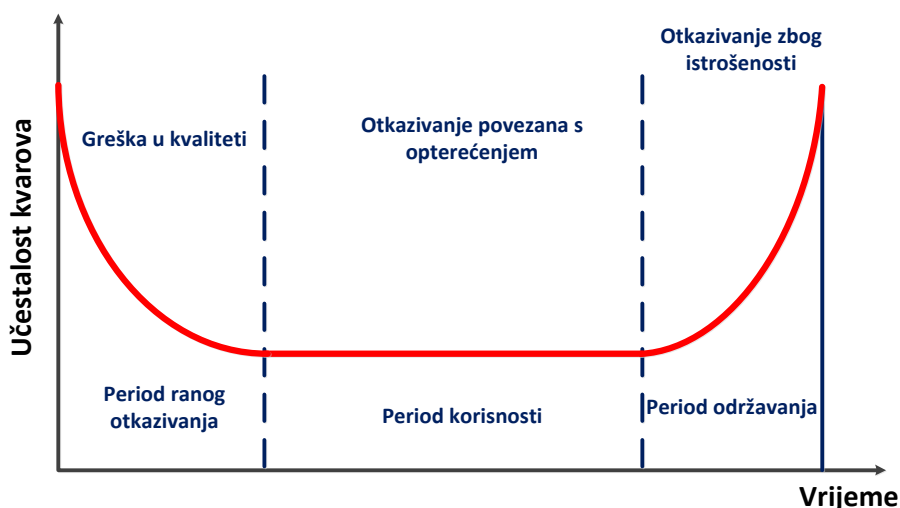
Kod održavanja se najčešće koriste sljedeći termini:

Otkaz ili kvar - prestanak sposobnosti sustava da izvršava projektirane aktivnosti, odnosno da ostvaruje projektiranu funkciju. Pojam otkaza bitno je povezan s pojmom funkcije kriterija jer se definiranjem funkcije kriterija može promijeniti i kvalifikacija otkaza.

Funkcija kriterija - funkcija koja određuje prihvatljivi izlaz (engl. *output*) nekog sustava. Najčešće je to granica koja definira najmanji prihvatljivi nivo izlaza realiziranog radom sustava, ali može biti i definirano polje prihvatljivih izlaza, i to statičko ili dinamičko. Otkaz ili kvar povezan s funkcijom kriterija je širi pojam koji u sebi sadrži pojmove *zastoja*, *greške*,

neispravnosti pa čak i spremnosti sustava. Intenzitet otkaza je odnos funkcije gustoće pojave stanja u otkazu i kumulativne gustoće pojave stanja u radu. Na slici 1.2. prikazana su tri razdoblja za koja su uobičajeni nazivi:

- prvo razdoblje ili razdoblje ranih kvarova
- drugo razdoblje ili razdoblje „konstantnog” intenziteta kvara
- treće razdoblje ili razdoblje dotrajalosti komponenata.



Slika 1.2. Učestalost kvarova u funkciji vremena

- **Prvo razdoblje ili razdoblje ranih kvarova** je vrijeme nakon stavljanja tehničkog sustava u eksploataciju, kada dolazi do kvarova na nepouzdanim komponentama. Ovi su kvarovi često uzrokovani greškama u proizvodnji, materijalu, oštećenjima u prijevozu i sl.
- **Drugo razdoblje ili razdoblje „konstantnog” intenziteta kvara** je razdoblje normalnog rada gdje su kvarovi uglavnom slučajni. On je različit za određene tipove komponenata, a važan je za prognoziranje i ocjenu pouzdanosti.
- **Treće razdoblje ili razdoblje dotrajalosti komponenata** je vremensko razdoblje u kojem intenzitet kvara brzo raste s vremenom. Na početku tog razdoblja, kvarovi nastaju zbog dotrajalosti elemenata te ih je potrebno zamijeniti.

Kvarovi se dijele na:

- 1) **neinherentne** kvarove koji nisu svojstveni kod normalnog rada (udar groma, nepravilno rukovanje, pad itd.). Potrebno ih je evidentirati, pratiti i na njih upozoravati. Ovi se kvarovi ne mogu terotehnološki analizirati.
- 2) **inherentne** kvarove koji su svojstveni sustavu i dijele se na:
 - početne kvarove
 - slučajne kvarove
 - kvarove zbog dotrajalosti.

Početni kvarovi (engl. *Early Failures*)

Nastaju u samom početku rada sustava. Uzrok može biti slaba izrada, pogrešna montaža i slaba kontrola kvalitete (slabo zavrnuti vijci na cjevovodima). Otklanjaju se u periodu uhodavanja u pokusnoj vožnji i u prvoj godini eksploatacije (engl. *burn in period*).

Slučajni kvarovi (engl. *Chance Failures*)

Oni su prisutni od samog početka, samo su u početku pomiješani s početnim kvarovima. Uzrok je nepoznat zbog nepredvidljive koncentracije mehaničkih, termičkih ili električkih naprezanja. Ne mogu se spriječiti i uvijek će se pojavljivati, ali se mogu spriječiti zastoji koji oni izazivaju.

Kvarovi zbog dotrajalosti (engl. *Wearout Failures*)

Nastaju ako se sustav ne održava po određenom preventivnom principu. Uzrok je dotrajalost komponenata (istrošenost, zamor materijala itd.). Pred konstruktora se stoga postavlja zadatak predviđanja grešaka, od problema proizvodnje komponenata i grešaka tijekom proizvodnje, preko otkazivanja tijekom eksploatacije do otežane reciklaže. Iako se greške mogu pojaviti na bilo kojoj komponenti proizvoda, gotovo trećinu ukupnih grešaka na proizvodu čine mehanički kvarovi. Pod pretpostavkom da je konstruktor svjestan svih grešaka koje se mogu pojaviti u sustavu, pravilnim će se zahvatima u konstrukciji proizvoda te greške izbjeći.

U tablici 1.1. prikazani su primarni i sekundarni zadaci održavanja.

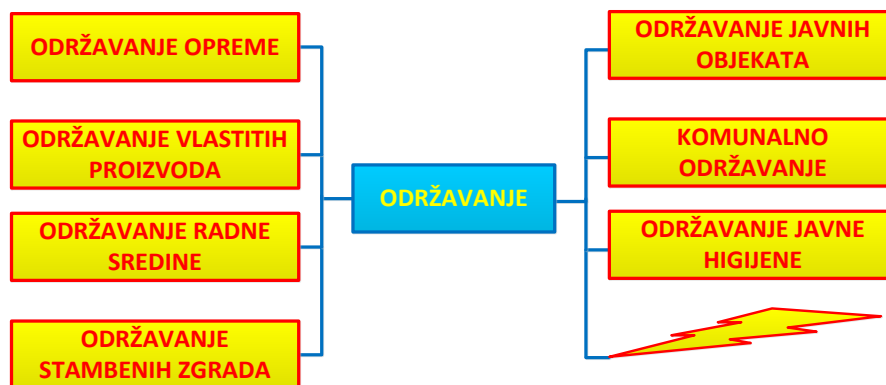
Tablica 1.1. Primarni i sekundarni zadaci održavanja

Primarni	Sekundarni
1. Održavane instalirane opreme (strojevi, uređaji)	1. Briga oko smanjenja buke i raznih nečistoća
2. Održavanje postojećih industrijskih objekata	2. Osiguranje sigurnosnih mjera propisanih zakonom
3. Pregledi, podmazivanje, čišćenje strojeva	3. Briga oko otpadnih materijala koji se još mogu uporabiti
4. Rekonstrukcija postojeće opreme i objekata	4. Briga o ekologiji
5. Izrada raznih čeličnih konstrukcija, instalacija te njihova ugradnja	5. Briga oko osiguranja normalnih radnih uvjeta (osvjetljenje, provjetravanje, vlažnost zraka)
6. Postavljanje nove opreme na njezino mjesto u pogonu	6. Proizvodnja i raspodjela energetske medija

1.1. Osnovni pojmovi u održavanju

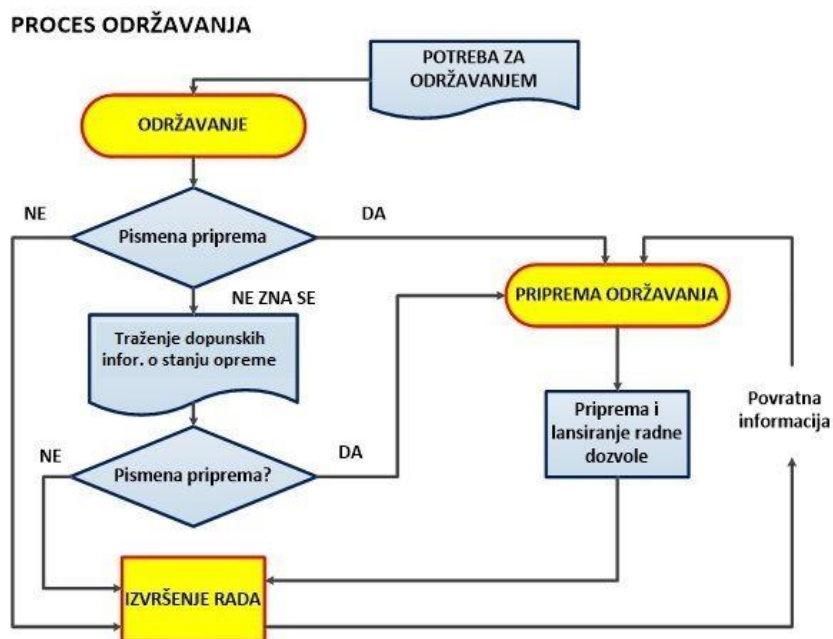
Prema hrvatskoj normi HRN EN 13306 održavanje je : „Kombinacija svih tehničkih, administrativnih i menadžerskih postupaka tijekom vijeka trajanja nekog elementa s ciljem zadržavanja ili vraćanja elementa u stanje u kojem može izvoditi zahtijevanu funkciju”. Pri tome, pojam elementa ima sljedeću definiciju (HRN EN 13306): „Element je bilo koji dio, komponenta, uređaj, podsustav, funkcijska jedinica, oprema ili sustav koji se može razmatrati pojedinačno”. Održavanje je skup aktivnosti koje se poduzimaju kako bi se određeni objekt održavanja doveo u ispravno stanje ili održao što dulje u ispravnom stanju kako bi mogao kvalitetno obavljati svoju funkciju (slika 1.3.).

Postavlja se pitanje što se dobiva održavanjem fizičke imovine s istom brigom i pažnjom kako se održavaju ljudski i financijski potencijali. Dobiva se, odnosno povećava se prvenstveno vrijeme raspoloživosti tehničkih sustava, tj. imovine, s ciljem da obavlja funkciju za koju je namijenjena, povećava se i sposobnost procesa da proizvodi proizvode i usluge s ciljem zadovoljenja potreba kupca te se pruža sigurno i kontrolirano radno (proizvodno) i uslužno okruženje s minimumom rizika.



Slika 1.3. Vrste održavanja

Na slici 1.4. prikazan je proces održavanja gdje je potrebno izvršiti određene radnje da bi se održavanje izvršilo.



Slika 1.4. Proces održavanja

Strojeve po važnosti za odvijanje procesa proizvodnje dijelimo na:

- Kritične strojeve - strojevi koji su važni za proces proizvodnje. U slučaju kvara ili ispada stroja iz rada dolazi do prekida proizvodnje.
- Bitne strojeve - strojevi potrebni za odvijanje proizvodnje koji imaju rezervu koja može trenutno ili dovoljno brzo ući u proces proizvodnje te omogućiti kontinuirani rad postrojenja.
- Strojeve opće namjene - strojevi čija neraspoloživost ne utječe na kontinuitet procesa proizvodnje.

U proizvodnim procesima pridaje se važnost kontinuiranom praćenju stabilnosti koja uvjetuje kvalitetu proizvoda uz veliki stupanj automatizacije.

Zadatak održavanja je osigurati kontinuiranu raspoloživost strojeva i opreme u proizvodnji i pružanju sigurnijih radnih uvjeta.

Strategija održavanja zastupljena je:

- preventivnim održavanjem - na temelju broja radnih sati/ciklusa
- prediktivnim održavanjem - prema mjerenim pokazateljima
- proaktivnim održavanjem - praćenjem procesnih veličina
- reaktivnim održavanjem - u slučaju kvara.

Radna sredstva ili osnovna sredstva rada u punom smislu riječi čine strojevi, postrojenja, uređaji, prijevozna sredstva, komunikacijska sredstva, instalacije itd.

Stroj predstavlja tehnički sustav koji samostalno obavlja neku operaciju ili cjelokupni posao (alatni stroj, lokomotiva, bagger, utovarivač, zrakoplov, tenk, agregat, parogenerator, reaktor itd.). Strojevi su sastavljeni od više dijelova i uređaja kojima je zajednički zadatak iskorištavanje ili transformacija energije.

Transformaciju energije obavljaju pogonski strojevi, npr. elektromotori, motori s unutarnjim izgaranjem, vodne turbine itd. Strojevi koji služe za iskorištavanje energije nazivaju se radni strojevi (npr.: tokarski strojevi, bušilice, kružne pile, pumpe, ventilatori itd.).

Postrojenja su sastavljena od više strojeva, uređaja i aparata. Prema namjeni za koju su izgrađena, dijelimo ih na: postrojenja dizala, postrojenja za proizvodnju dijelova, postrojenja za pripremu pare i tople vode,

postrojenja za proizvodnju električne energije, postrojenja za proizvodnju hrane, postrojenja za pripremu pitke vode itd.

Proizvodna linija je dio postrojenja ili samostalna proizvodna cjelina koja omogućava proizvodnju nekog proizvoda ili nekog sklopa ili dijela na proizvodnju (linija za zavarivanje, linija za proizvodnju zupčanika, fleksibilni proizvodni sustavi itd.).

Aparati su tehničke tvorevine koje služe za obradu ili pretvaranje materijala (npr. : aparati za kavu, aparati za zavarivanje, vatrogasni aparati i sl.).

Uređaj predstavlja dio stroja, linije ili postrojenja koji se održava kao tehnički sustav. Uređaji su tehničke tvorevine kojima je osnovni zadatak pretvaranje signala ili informacija. Neki uređaji automobila su: uređaj za upravljanje, uređaj za pokazivanje visine goriva u spremniku, uređaj za signalizaciju, telefon, mobitel itd. Uređaji tokarilice su: uređaj za pretvaranje gibanja (vreteno-matica), uređaj za promjenu smjera gibanja suporta i sl.

Komponente predstavljaju sklopove koji se zamjenjuju kao cjeline prilikom pojave kvara na njima.

Rezervni dio predstavlja dio dijelova i sklopova koji se određuju iskustveno po svakom stroju ili uređaju te se osiguravaju na zalih.

1.2. Zadatak službe održavanja

Zadatak službe održavanja je održavanje radnih sredstava u proizvodnom stanju. Osim toga, ova radna jedinica u okviru poduzeća izvodi poboljšanja sredstava za rad ili promjenu njihove funkcije, izrađuje nova radna sredstva i brine se o opskrbi električnom energijom i drugim energentima (vodom, parom, stlačenim zrakom, plinovima itd.). Ovisno o vrsti i veličini poduzeća, o vrsti strojeva i postrojenja koja treba održavati, stupnju automatizacije i kvalifikacijskoj strukturi radnika u održavanju, služba održavanja može biti organizirana kao:

- centralno održavanje
- pojedinačno održavanje
- kombinirano održavanje
- kooperativno održavanje.

■ **Centralno održavanje** je takav organizacijski oblik službe održavanja kod kojega je u poduzeću samo jedna radna jedinica službe održavanja. U ovoj su radnoj jedinici koncentrirani svi stručnjaci pa je vrijeme rješavanja kvarova vrlo brzo i kvalitetno. Radna sredstva za otklanjanje kvarova su dobro iskorištena i dobro je upravljanje zalihama rezervnih dijelova, ali zbog loše povezanosti s proizvodnim odjeljenjima i slabog praćenja sredstava za rad, centralno održavanje slabo reagira na iznenadne kvarove što uzrokuje nepotrebne zastoje u proizvodnji.

■ **Pojedinačno održavanje** je takav organizacijski oblik službe održavanja kod kojega svako proizvodno odjeljenje ima svoju jedinicu održavanja. Praćenje stanja sredstava za rad je dobro, kao i reagiranje na iznenadne kvarove, ali ovakve jedinice održavanja zbog nedostatka dovoljnog broja stručnjaka nisu u stanju riješiti sve kvarove, pa je potrebno angažirati vanjske stručnjake, što pak poskupljuje održavanje i ukupnu proizvodnju.

■ **Kombinirano održavanje** ujedinjuje prednosti centralnog i pojedinačnog održavanja. Proizvodna odjeljenja imaju svoje radionice održavanja s minimalnim brojem zaposlenika koji vrlo brzo reagiraju na iznenadne kvarove i koji dobro poznaju stanje strojeva, njihove sklopove i dijelove. Oni se istovremeno brinu o ukupnoj strojnoj dokumentaciji. U slučaju nastanka kvarova koje oni nisu u stanju riješiti ili kad se radi o velikom opsegu poslova održavanja, pozivaju se stručnjaci iz centralnog održavanja ili se stroj ili uređaj odnosi u radionice centralnog održavanja.

■ **Kooperativno održavanje** je takav oblik službe održavanja u kojemu se održavanje radnih sredstava povjerava specijaliziranim radnim organizacijama, i to u potpunosti ili djelomično. Ovakvom organiziranju održavanja pristupa se uvijek:

1. kada u radnoj organizaciji nema potrebnih kadrova
2. kada je tvrtka mala za organiziranje službe održavanja
3. kada je niža cijena vanjskih suradnika
4. kada je veća učinkovitost održavanja i sl.

Načela i metode održavanja

Težnja je svakog poduzeća poslovati sa što manjim zastoјima proizvodnje i sa što nižim troškovima. U tom smislu, održavanje radnih sredstava mora biti ekonomično i u isto vrijeme kvalitetno pa će poduzeće biti konkurentno na tržištu. Ekonomičnost i kvaliteta održavanja ovise o izboru metoda održavanja koje se temelje na pet načela održavanja:

- Načelo «čekati i vidjeti» podrazumijeva popravljаnje sredstava rada nakon nastanka kvara.
- Načelo «oportunističkog održavanja» podrazumijeva uvođenje periodičkih pregleda pojedinih dijelova nakon početnih kvarova.
- Načelo «preventivnog održavanja» počiva na izreci «bolje spriječiti nego liječiti», a redovitim pregledima i popravcima prema kalendaru ima za cilj sprječavanje nastanka kvara.
- Načelo «predskazivanog održavanja» je načelo kojim se predskazuje ili predviđa vrijeme nastanka kvara i reagira malo prije kritičnog trenutka.
- Načelo «održavanja prema stanju» nalaže stalno praćenje stanja stroja i reagiranje prema potrebi.

Na temelju ovih načela nastale su različite metode održavanja u različitim granama industrije i u različito organiziranim poduzećima. Te se metode mogu podijeliti prema više kriterija (tablica 1.2.), a jedan od značajnijih je održavanje prema vremenu popravka u odnosu na napredovanje kvara.

Tablica 1.2. Podjela metoda prema kriterijima održavanja

Prema izvoru financijskih sredstava	Prema tehnološkoј namjeni	Prema vremenu u odnosu na nastanak kvara
Tekuće održavanje	1. Popravak iznenadnih kvarova	Korektivno održavanje
	2. Preventivni pregledi, čišćenje i podmazivanje	Preventivno održavanje
	3. Traženje i otklanjanje slabih mjesta	
	4. Kontrolni pregledi	
Investicijsko održavanje	5. Planski popravci (mali, srednji i veliki)	

1.3. Dokumentacija u održavanju

Za dokumentiranje, čuvanje i prijenos informacija o strojevima, obavljenim popravcima i načinu popravljanja u održavanju koristi se različita dokumentacija koja prema svom sadržaju i obliku može biti:

- a) konstrukcijska dokumentacija
- b) tehnološka dokumentacija
- c) radna dokumentacija.

a) Konstrukcijska dokumentacija

Konstrukcijska dokumentacija nastaje u konstrukcijskim uredima.

Konstrukcijsku dokumentaciju čine:

- sklopni ili montažni crteži strojeva
- radionički crteži dijelova
- sheme električnih i drugih instalacija
- kinematičke sheme.

Sklopni ili montažni crtež prikazuje međuovisnost pojedinih dijelova sklopa, njihovu funkciju i način rada sklopa. Sve potrebne sklopne crteže za održavanje strojeva i opreme isporučuje proizvođač u sastavu opisa uporabe. Radionički crtež najčešće prikazuje samo jedan dio stroja sa svim potrebnim podacima za proizvodnju. Za potrebe održavanja ovi su crteži ponekad jako pojednostavljeni i nacrtani prostoručno na izometrijskoj mreži, a služe kao obavijest izvođačima radova o načinu popravljanja ili načinu montaže.

Shema električnih instalacija pojednostavljeno prikazuje načine spajanja električnih uređaja na stroju. Prema ovim shemama električari obavljaju održavanje električnih instalacija. Slično je i s hidrauličnim, pneumatskim i drugim instalacijama. Kinematičke sheme pojednostavljeno prikazuju međusobnu ovisnost pojedinih elemenata za prijenos snage.

b) Tehnološka dokumentacija

Temeljni dokumenti tehnološke dokumentacije su:

- radna karta podmazivanja
- upute o tekućem održavanju
- katalog radnih dijelova
- popis preventivnih pregleda

- tehnološki postupak preventivnog pregleda
- tehnološki postupak popravljavanja
- ispitna karta
- drugi dokumenti specifični za pojedine strojeve.

Upute o tekućem održavanju opisuju sve poslove koje je na stroju potrebno obaviti dnevno, tjedno, tromjesečno i polugodišnje. Pridržavanjem ovih uputa proizvođača stroj će trajati dulje, a proizvodnja će teći prema planu proizvodnje bez nepredviđenih zastoja. Katalog doknadnih dijelova je popis dijelova za koje se proizvođač obvezao isporučiti na zahtjev stroja. Obično je uz popis dijelova priložen sklopni ili eksplozijski crtež prema kojemu se strojni dio naručuje. U narudžbenici radnih dijelova uz kataloški broj dijela koji se naručuje obavezno treba upisati i serijski broj stroja i njegovu godinu proizvodnje. Ovi se podaci nalaze otisnuti na tablici stroja.

Popis preventivnih pregleda sadrži osnovne podatke o stroju i popis svih dijelova za koje su potrebni preventivni pregledi. U popisu su navedeni podaci o učestalosti pregleda, potrebnim stručnim kadrovima za obavljanje pregleda i podaci o potrebnom vremenu za pregled. Tehnološki postupak preventivnog pregleda opisuje strojni dio, način pregleda i moguće kvarove. Tehnološki postupak popravljavanja je dokument prema kojemu se izvode radovi u održavanju. Uz redoslijed i popis radnih operacija i zahvata, u ovom su dokumentu navedeni tehnički uvjeti koji se moraju zadovoljiti prilikom obavljanja određenih radnih zahvata, potrebni alati i naprave. Opisan je način izrade ili kontrole i predviđeno je vrijeme za svaki pojedini zahvat. Ispitna karta je dokument prema kojemu se obavlja ispitivanje geometrijskih i radnih točnosti stroja. Sadrži sve podatke koji su potrebni za obavljanje ispitivanja pa ova karta daje pregled radnih mogućnosti stroja.

c) Radna dokumentacija

Radnu dokumentaciju čine:

- izvješće o kvaru
- radni nalog
- izdatnica
- radni list
- drugi dokumenti karakteristični za pojedino poduzeće.

Izvješće o kvaru služi za registriranje uočenih kvarova na strojevima,

uređajima ili postrojenjima. Ovo izvješće u kojem je opisan kvar predaje se voditelju službe održavanja koji u dogovoru s proizvodnim odjeljenjem odlučuje o daljnjim mjerama. **Radni nalog** je dokument kojim se jedan radnik ili radna grupa zadužuje za određeni posao. Osim opisa poslova koje treba obaviti, u radni se nalog upisuje i potrebno vrijeme za obavljanje posla prema tvorničkim normama. **Izdatnica** sadrži podatke o materijalu i doknadnim dijelovima koji se izdaju iz skladišta uz određeni radni nalog. **Radni list** služi za evidentiranje vremena provedenog na radu i služi kao osnova za izračunavanje plaće.

Poslovna sredstva su sva sredstva potrebna nekoj organizaciji za ostvarivanje funkcije transformacije inputa organizacije u output prema definiranom skupu procedura i u skladu s definiranom funkcijom kriterija. Poslovna sredstva se na osnovu njihova trajanja dijele na dugotrajna poslovna sredstva i kratkotrajna poslovna sredstva.

Dugotrajna poslovna sredstva možemo uvjetno nazvati i *osnovna sredstva* koja se mogu podijeliti na materijalna osnovna sredstva i nematerijalna osnovna sredstva.

Materijalna osnovna sredstva su trajna sredstva za obavljanje određene proizvodne ili uslužne djelatnosti, a najčešće su to sustavi koji uključuju zemljište, građevine, postrojenja, opremu, alat, pribor, upute za uporabu, sve predujmove za nabavu materijalnih osnovnih sredstava, investicije u tijeku, knjige, umjetnička djela, računalni programi, poslovne procedure i procedure kontrole kvalitete, te svu dugoročnu financijsku imovinu (akumulirana amortizacija, udjeli i dionice, dugoročni krediti, depoziti i pretraživanja).

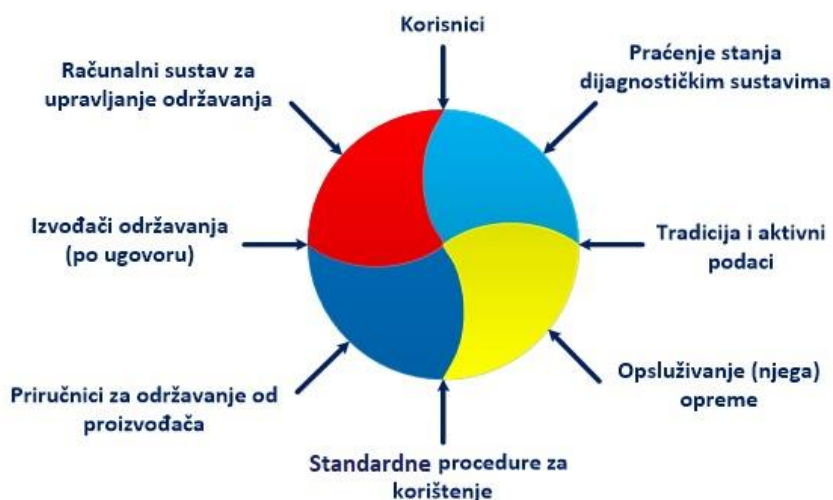
Nematerijalna osnovna sredstva čine svu trajnu nematerijalnu imovinu organizacije i obuhvaćaju: patente, licencije, zaštitne znakove, izdatke za istraživanje i razvoj, nematerijalna ulaganja u pripremi, predujmove za nematerijalna sredstva i akumuliranu amortizaciju nematerijalne imovine.

Kratkotrajna poslovna sredstva nazivamo i *obrtna sredstva*, također ih možemo podijeliti na *kratkotrajna materijalna sredstva* i *kratkotrajna nematerijalna sredstva*.

Kratkotrajna materijalna sredstva obuhvaćaju: sirovine, zalihe, sitni inventar, potrošni materijal, nedovršenu proizvodnju, novac na računima i sva kratkoročna potraživanja. **Kratkotrajna nematerijalna sredstva** obuhvaćaju sva ulaganja u aktivnosti prikupljanja i obrade poslovnih informacija, što znači troškove svih aktivnosti *Business Intelligence*. Vrijed-

nost poslovnih informacija odmah se ugrađuje u novi proizvod i uslugu. Prema zakonskim propisima koji reguliraju računovodstveno poslovanje, nematerijalna obrtna sredstva se ne evidentiraju kao obrtna sredstva već odmah terete troškove poslovanja.

Pored problema u primjeni strategija održavanja, koji su više menadžerske prirode, odnosno vezani za organizaciju poslovanja, postoje i dva osnovna problema koji su više tehničko-tehnološke prirode. Prvi je problem određivanje optimalnog intervala pregleda, odnosno inspekcija opreme. U primjeni suvremenih strategija održavanja smatra se da tzv. „prvu liniju obrane” od otkaza čine postupci za dijagnostiku stanja opreme i sustava suvremenom dijagnostičkom opremom. Međutim, što su pregledi inspekcije češći, to su troškovi održavanja veći. Svaki sustav, ili njegov dio, ima odgovarajući „životni vijek”, odnosno razdoblje za koji će sustav/dio sustava raditi sa zadovoljavajućim karakteristikama. Treba napomenuti da to vrijedi za većinu dijelova koji bi se mogli zamijeniti prije nastanka otkaza (preventivno), a posebno oni koji daju „određeni signal” da im je stanje narušeno. Drugi problem tehničko-tehnološke prirode je optimiziranje sadržaja preventivnih radnji održavanja. Tradicionalan pristup sastoji se u pridržavanju uputa i preporuka proizvođača. Kao što je poznato, proizvođači obično preporučuju više radova s većom učestalošću, što obično ne odgovara konkretnim uvjetima korištenja sustava ili opreme. Također, neke preporuke vremenom zastarijevaju, kao što su na primjer one o zamjeni ulja, jer pojavom sintetičkih ulja kod motora interval zamjene se višestruko povećao, ili one preporuke vezane za zastarjelu opremu za dijagnostiku. Radi toga je potrebno najprije sagledati sve „izvore podataka o preventivnom održavanju”, kao što je to prikazano na slici 1.5. Potrebno je izvršiti određivanje ukupnog zadatka preventivnog održavanja, odnosno prikupljanje i dokumentiranje postojećeg programa održavanja (formalnog - iz postojeće dokumentacije i neformalnog - iz iskustava korisnika i servisera (posade) opreme). Zatim je potrebno analizirati otkaze (oni koje postojeći sustav otklanja) tako da se odbace one preventivne radnje koje otklanjaju otkaze koji se nikada neće dogoditi ili koji su neisplativi. Iz podataka o dosadašnjim otkazima određuje se na koje se otkaze isplati preventivno djelovati, a nisu obuhvaćeni dosadašnjim preventivnim programom. Sljedeći je korak racionalizacija preventivnih radnji i revizija svih relevantnih otkaza.



Slika 1.5. Izvori podataka o preventivnom održavanju

1.4. Načini održavanja

Mjesečnim i godišnjim pregledom strojeva treba konstatirati stanje strojeva te isto upisati u knjigu stanja strojeva kako bi se vodila što točnija evidencija. Na taj se način postiže stalna kontrola nad strojem i pregled nad svim eventualno nastalim kvarovima. Prema nastaloj evidenciji mogu se naručiti rezervni dijelovi za one najkritičnije dijelove postrojenja, odnosno dijelove koji će se najviše kvariti. Tako u rezervi neće biti dijelova koji skoro nikada neće nikad biti potrebni, već dijelovi koji će služiti da se u danom momentu što prije otkloni kvar i osposobi uređaj za daljnji rad. Uz spomenutu knjigu stanja uređaja svaki uređaj mora imati kompletnu montažnu i ispitnu dokumentaciju kako bi se djelatnik, koji vrši redovni pregled ili otklanja kvar, mogao služiti istom. Svaki tehničar mora također biti opremljen nužnim elektromehaničarskim alatom te jednim univerzalnim instrumentom. Prilikom godišnjeg i mjesečnog ispitivanja uređaja, izmjereni podaci se obavezno upisuju u mjerne ispitne liste namijenjene posebno za mjesečni, a posebno za godišnji pregled. U njima su već označeni parametri koji moraju odgovarati ispravnom stanju, te i granice odstupanja koje se mogu tolerirati.

Mjesečno održavanje strojeva i uređaja

Kod mjesečnog održavanja napojnog uređaja najprije se izvrši vizualan pregled uređaja koji je smješten u suhoj i svijetloj prostoriji koja nije izložena prevelikim razlikama u temperaturama i vlazi. Održavanje same automatike svodi se na mjesečno čišćenje prašine koja se nakupi na kontaktima i relejima prilikom čišćenja prostorije, a kroz otvore za ulazak i izlazak kablova. Provjeravaju se i stanja spojnih mjesta i priključaka na kontaktima koji olabave radi vibracija i udaraca prilikom rada.

Vrši se također i kontrola transformatora, tj. spojnih mjesta, te zagrijanost na radnoj temperaturi koja bi mogla biti dosta povišena kod eventualnog popuštanja vijaka koji drže slog limova jezgre uslijed trajnog opterećenja koja izazivaju dodatne vibracije. Isto vrijedi i za kontrolu stanja osigurača (kontrolira se pritegnutost te provjerava odgovaraju li rastavni ulošci koji su ugrađeni onima koji su propisani). Isti postupci vrijede i kod mjesečnog vizualnog pregleda ispravljača stacionarne baterije.

Godišnje održavanje strojeva i uređaja

Kod godišnjeg održavanja napojnog uređaja jednako se izvršava vizualan pregled što, također, podrazumijeva uklanjanje nečistoća unutar uređaja i otkrivanje eventualnih nepravilnosti. Greške mogu biti: olabavljenje pričvršćenja sklopova, oslabljenje spojeva na spojnim stezaljkama vodiča i na spojevima s kontaktima sklopnika i dr.

U normalnim pogonskim uvjetima sklopnici praktički ne trebaju nikakvo održavanje. Podmazivanje, čišćenje i turpijanje kontakata vrlo je štetno. S obzirom na pogonske uvjete i učestalost djelovanja treba kontrolirati pogonsku sigurnost:

- najprije treba oduzeti sklopniku napon, što znači izvaditi osigurač ispred njega
- treba zamijeniti eventualno oštećene dijelove sklopnika
- treba kontrolirati jesu li svi priključci dobro pričvršćeni
- treba ustanoviti jesu li kontaktne i povratne opruge jezgre olabavile
- treba ispitati je li se sklopnik meko privlači i otpušta.

U slučaju da sklopnik stvara neugodan zvuk, treba ga prije svega rasklopiti i očistiti magnet od eventualnih stranih tijela i prašine koja je na njemu. Također, treba kontrolirati da neki pokretni dio sklopnika prilikom djelovanja ne zapinje. Treba kontrolirati i opruge između jezgre i kotve.

Ako sklopnik usprkos tome nije prestao brujati, treba ga poslati na popravak u tvornicu. Slabo brujanje sklopnika je dozvoljeno.

Pravilnim i pravovremenim održavanjem može se postići dugi vijek u eksploataciji ovog uređaja. Naime, bitan je faktor i stabilnost mrežnog napona, čija što bolja kvaliteta pridonosi tome da sam uređaj ima što manje rada, tj. prebacivanja na pomoćna ili rezervna napajanja. U novije vrijeme može se ustanoviti da ta kvaliteta mreže sve više rezultira vrlo dobrom opskrbom na svim razinama. To je dakako i rezultat modernizacije i razvoja cjelokupnog elektroenergetskog sustava. Može se primijetiti da elektroenergetski sustav izdržava i nekada teške uvjete, kao što je vremenska nepogoda (grmljavina), zimski periodi (veliki snjegovi, zapusi) i preopterećenja koja su uklonjena povećanjem propusnosti električne energije, te kvalitetnijim raspoređivanjem unutar cijelog sustava. U tablici 1.3. prikazane su prednosti i nedostaci metoda odlučivanja.

Tablica 1.3. Metode održavanja

Metoda	Prednosti	Nedostaci
korektivno održavanje	potpuno korištenje upotrebljivosti sustava niži nivo tehničkog obrazovanja	moгуćnost havarije i nekontroliranog ispada
preventivno održavanje	povećani stupanj pouzdanosti i raspoloživosti moгуćnost planiranja akcija moгуćnost sprečavanja ispada	nemogućnost predviđanja ispada veći troškovi zbog zamjene dijelova koji su mogli još funkcionirati
održavanje po stanju	smanjenje troškova održavanja povećana pouzdanost i raspoloživost strojeva	zahtijeva dobru organizaciju i viši nivo znanja zahtijeva posjedovanje opreme za nadzor te obučenost osoblja

Korektivno održavanje (*Corrective Maintenance* ili *On-Failure Maintenance*) je najstariji model održavanja strojeva, a izvodi se nakon kvara. Nijedna preventivna akcija prije kvara nije izvršena. Aktivnosti korektivnog održavanja svode se na vraćanje stroja iz stanja kvara u stanje rada. Danas se ovaj pristup koristi samo za pomoćnu opremu ili u kombinaciji s preventivnim održavanjem.

Preventivno održavanje (PM - *Preventive Maintenance*) uključuje zadatke održavanja koji se vrše po određenom rasporedu, prije nego što se javio kvar. Uzima se da je stanje komponente, nakon izvršenja preventivnog održavanja, isto tako dobro kao i novo.

Preventivno održavanje može biti periodično i preventivno prema stanju. Kod periodičnog preventivnog održavanja interval održavanja može biti baziran na kalendaru ili vremenu rada (vijeku). Kod održavanja prema stanju, kontinuirano se mjere određene veličine i intervenira se samo onda kada je veličina izvan određenih granica.

U tablici 1.4. prikazani su razlozi korištenja usluga vanjskih tvrtki za održavanje te prednosti i nedostaci.

Tablica 1.4. Razlozi korištenja usluga vanjskih tvrtki za održavanje te prednosti i nedostaci

Pretpostavke	Prednosti	Nedostaci
Zadatak održavanja je odvojen od drugog rada u poduzeću, tj. neovisan je i točno definiran.	Specijalizirana tvrtka za održavanje ima bolje tehničko znanje nego tvrtka koja ih angažira.	Ovisnost o kvaliteti davatelja usluga.
Postoje kompetentni davatelji usluga sa svojim odgovarajućim rješenjima održavanja te dobrim sustavom upravljanja sigurnosti i zaštite.	Dobri davatelji usluga mogu poboljšati strategiju održavanja.	Radnici angažirane tvrtke ne poznaju poduzeće kroz pogon i mogu imati različito obrazovanje iz sigurnosti i zaštite.
Postoje točni kriteriji za odabir odgovarajuće tvrtke za održavanje.	Specijalizirani davatelji usluga imaju bolja preventivna rješenja za smanjenje opasnosti koje su vezane za održavanje. Tvrtke (klijenti) se mogu koncentrirati na svoje osnovne poslovne aktivnosti.	Prvi put na licu mjesta davatelji usluga trebaju posebno i šire upoznavanje i veći nadzor procesa.

1.5. Kompleksnost procesa održavanja

Većina poduzeća ima zasebne poslužitelje strojeva i tehničare za održavanje. Osim toga, održavanje zgrada i održavanje u proizvodnoj industriji je različito od održavanja u procesnoj industriji. U zgradi i u proizvodnim industrijama, one jedinice koje se moraju održavati su izolirane ili se mogu izolirati od drugih procesa, pa tako tehničari za održavanje ne trebaju mnogo informacija o sustavu pogona i rijetko dolaze u kontakt s poslužiteljima strojeva.

Međutim, održavanje u procesnoj industriji se često provodi dok je uređaj u radu i mora se pažljivo planirati kako bi se osoblje zaštitilo od opasnosti. Takve opasnosti su npr. demontirani sigurnosni uređaji ili otvorene instalacije uređaja u radu. Zato je suradnja između poslužitelja strojeva i tehničara za održavanje bitna za sigurnost i zaštitu na radu i zdravlje, a loša komunikacija može uzrokovati ozbiljne, čak i kobne posljedice kako pokazuju sljedeći primjeri:

- jedan je tehničar za održavanje smrtno stradao dok je popravljao miješalicu u reaktoru jer je poslužitelj uključio miješalicu
- nekoliko je zaposlenika bilo ozlijeđeno kada je vanjski tehničar za održavanje otvorio kompresor pod tlakom
- tehničar za održavanje se opekao vrućim materijalom dok je rezao cijev.

Ove su nesreće nastale zbog neadekvatne komunikacije i koordinacije tako da je bilo nedovoljno informacija o:

- prisutnosti tehničara za održavanje ili drugih radnika
- općim mjerama sigurnosti ili pravilima
- sigurnosnim uređajima i tehnologiji
- zadacima i radnom području
- pripremi uređaja za održavanje i dozvoli za početak radova na održavanju
- opasnostima koje su povezane s uređajima ili prisutnim opasnim tvarima.

Većina tvrtki ima pravila o sigurnosti i zaštiti za osoblje i specijalne postupke za zadatke održavanja na temelju procjena rizika. Velike tvrtke katkada objavljuju svoja opća pravila o sigurnosti pa tvrtke za održavanje mogu pregledati postupke prije nego preuzmu posao.

1.6. Suradnja između poslužitelja strojeva i vanjskih tehničara za održavanje

Obično klijent određuje smjernice sigurnosti i zaštite. U većini tvrtki, služba za sigurnost na radu i zdravlje integrirana je u strategiju održavanja. Politika nabave tvrtke postavlja temelj za dobre uvjete sigurnosti na radu. Osnovna pitanja su:

- upravljanje vremenom

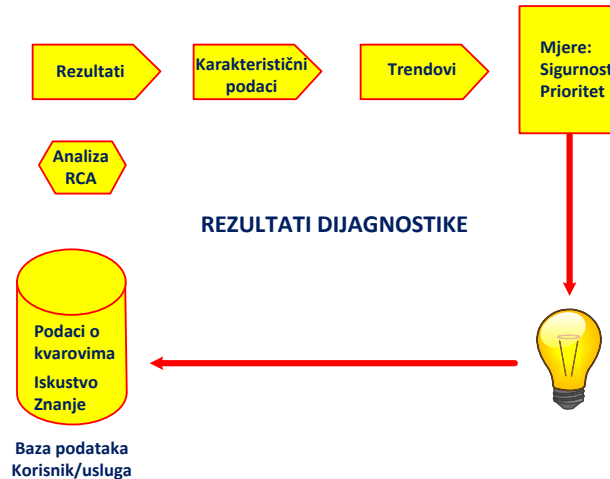
- proces i koordinacija radova na održavanju
- ergonomski radni uvjeti.

Sljedeći je korak odabir izvođača održavanja. Idealno bi bilo da klijent i tvrtka za održavanje rade zajedno kako bi uskladili smjernice sigurnosti i zdravlja i upravljali sigurnošću i zdravljem tijekom održavanja na učinkovit način, na primjer tako da:

- osnuju zajedničke radionice za sigurne radne uvjete tijekom održavanja
- imaju inspekciju sigurnih radnih procesa i sigurnosnih mjera na licu mjesta
- uvide osposobljavanje (podučavanje) gdje raspravljaju o općim i specifičnim sigurnosnim pravilima.

Osoblje klijenta mora znati kada će održavanje započeti i kada će stići radnici koji rade na održavanju. Potrebno je izvršiti procjenu rizika i razviti preventivne mjere sigurnosti. Tehničari za održavanje moraju biti informirani o rezultatima procjene rizika i preventivnim mjerama. Dužnosti i odgovornosti moraju se jasno definirati kako bi ih razumjeli svi sudionici u procesu. Dužnosti, odgovornosti, mjere sigurnosti i druge mjere trebaju se dokumentirati u dozvolama za rad i trebaju ih supotpisati predstavnici sigurnosti i zaštite da se potvrdi njihov završetak. Osoba odgovorna za proces odobrenja treba izvršiti dodatnu procjenu rizika. Ako se dogode neočekivani događaji, rad se mora obustaviti i mora se izvršiti procjena rizika s poslužiteljima strojeva. Nakon toga, poslužitelji bi trebali provjeriti je li održavanje provedeno korektno i ispitati uređaj. Također bi trebali osigurati da nitko nije u opasnom području prije nego se uređaj ponovno pokrene.

Tvrtke s dugoročnim ugovorima o održavanju trebale bi redovito nadzirati rad pomoću izvođača i poboljšavati postupke gdje god je to moguće, naročito nakon neželjenih događaja te raznih teškoća (slika 1.6.). Analiza uzroka neželjenih događaja može biti od pomoći u pronalaženju grešaka koje su se dogodile bez osobne krivnje te može pokazati organizacijske slabosti i probleme u suradnji između klijenta i izvođača tijekom radova na održavanju. Tako se mogu uvesti praktična rješenja.

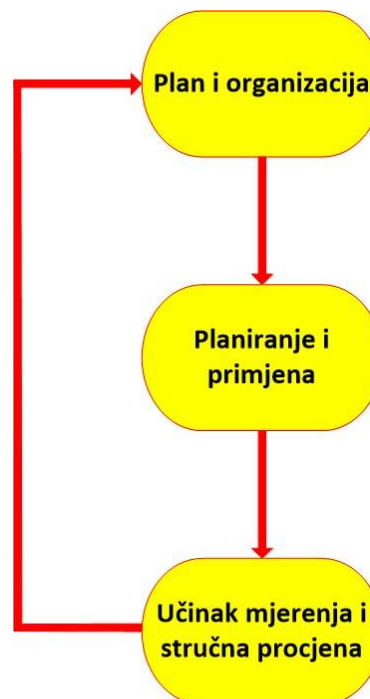


Slika 1.6. Poboljšanje procesa održavanja

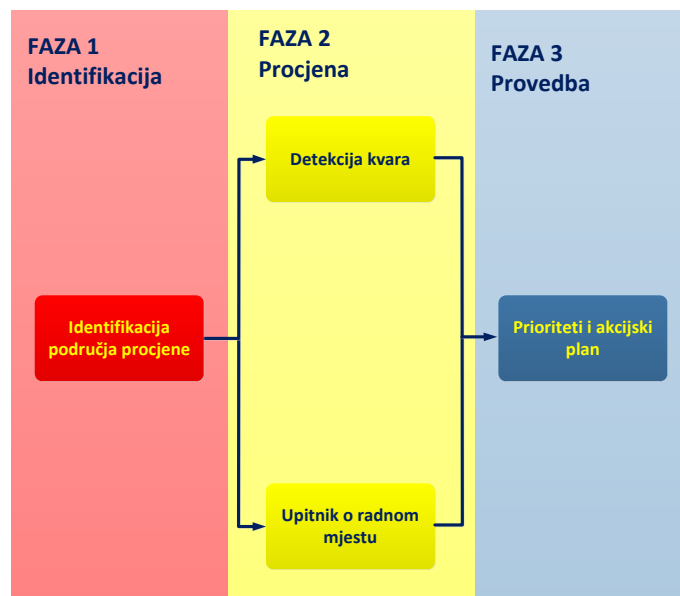
1.7. Problemi upravljanja održavanjem

Slika 1.7. prikazuje faktore upravljanja održavanjem. Ti su faktori uključeni u osiguranje visokih standarda učinka tijekom svake aktivnosti, uključujući održavanje. U okviru tih faktora uključena su pitanja koja utječu na učinak održavanja i važna su za kontrolu upravljanja.

Na slici 1.8. prikazana je provedba procjene. U fazi jedan se vrši identifikacija područja procjene, u fazi dva se vrši detekcija kvara i u fazi tri prioriteta i akcijski plan provedbe održavanja.



Slika 1.7. Elementi upravljanja zdravljem i sigurnošću



Slika 1.8. Provedba procjene

1.8. Odgovornosti

Kako bi se osigurala dobra suradnja i odgovarajuća komunikacija između osoblja/poslužitelja klijenta na jednoj strani i tehničara za održavanje na drugoj strani, potrebno je jasno definirati uloge i odgovornosti i odrediti osobe za rukovođenje, a to su:

- koordinator koji ima više zadataka održavanja u jednom području
- osoba za nadgledanje suradnje između poslužitelja i tehničara za održavanje
- kontrolor opasnih radova na održavanju
- kontakt osoba pružatelja usluge održavanja.

Koordinator mora osigurati da se rad može nastaviti sigurno u područjima gdje se ne provodi održavanje i mora se baviti problemima koji mogu nastati. Osoblje klijenta treba biti obaviješteno o svim planovima održavanja i biti upozoreno na opasna područja. Treba ih informirati o dodatnim mjerama i postupcima u slučaju neželjenih događaja, kao što su npr. planovi u slučaju opasnosti. Ako se dogodi kritična situacija, koordinator mora odmah zaustaviti sve radnje.

Osoba koja nadzire suradnju između osoblja klijenta i radnika izvođača mora osigurati sigurne radne uvjete za sve. Nadzornik je također kontakt

osoba za izvođača održavanja i trebao bi osigurati povratne informacije kada je rad završen.

Nadzornik mora stvoriti mjere za opasni rad na održavanju i kontrolirati njihovu provedbu te preuzeti krajnju odgovornost za sigurno izvršenje rada na održavanju.

Ova koordinacija i nadgledanje trebali bi biti uključeni u rasprave o tome kako primijeniti sigurnosna pravila i održavati dovoljan radni tok uzimajući u obzir pritisak vremena i troškove.

2. SIGURNO ODRŽAVANJE

U industriji održavanje često provodi dok postrojenja rade i treba se pažljivo planirati kako bi zaštili djelatnike od opasnosti. Primjeri opasnosti su demontirani sigurnosni uređaji te otvorene instalacije na postrojenju koje radi. Suradnja rukovoditelja strojem i djelatnika održavanja suština je rada na siguran način i zaštite zdravlja, a loša komunikacija može uzrokovati ozbiljne nesreće, pa čak i one sa smrtnim posljedicama, kao što prikazuju niže navedeni primjeri:

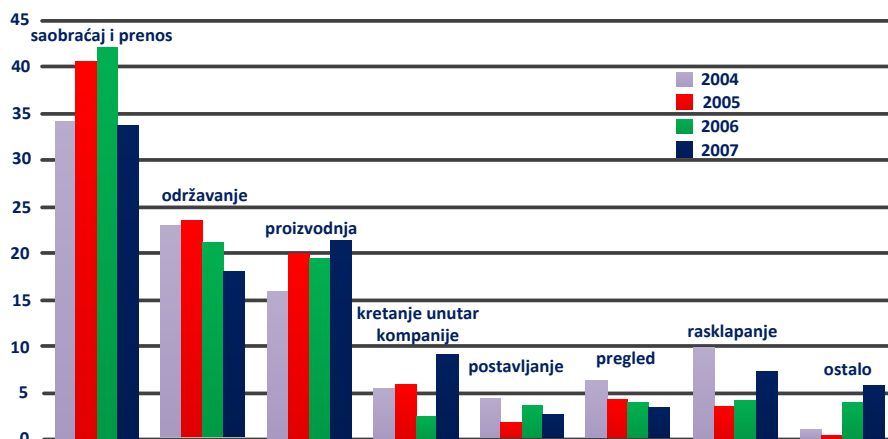
1. Djelatnik održavanja smrtno je stradao prilikom popravljjanja mješača reaktora jer je rukovoditelj strojem uključio mješač.
2. Nekoliko radnika je povrijeđeno kada je djelatnik održavanja otvorio kompresor pod tlakom.
3. Radnik održavanja opekao se vrućom tvari kada je rezao cijev.

Uzrok nesreće bila je neodgovarajuća komunikacija i suradnja jer nije bilo dovoljno informacija o:

- prisutnosti djelatnika održavanja i ostalih radnika
- općenitim mjerama i regulativi zaštite na radu
- sigurnosnim uređajima i tehnologiji
- zadacima i radnoj okolini
- pripremi postrojenja za održavanje i dozvoli da započnu radovi na održavanju
- opasnostima vezanim na postrojenje i prisutnost opasnih tvari.

Nesreće često nisu uzrokovane neznanjem djelatnika održavanja kako raditi svoj posao već nedostacima informacija opravilima zaštilena radu.

Rad na održavanju je potencijalno opasan. Tijekom inspekcijskog nadzora održavanja opreme, trebaju biti otvoreni svi sustavi za popravke i remont. Zaostala energija u sustavu često može biti uzrok nesreće tijekom održavanja. Na primjer, u Njemačkoj se održavanje povezuje s drugom najvišom stopom fatalnih nesreća na radu (slika 2.1.).



Slika 2.1. Postotak nesreća sa smrtnim posljedicama 2004.-2007. godine s obzirom na aktivnosti

Djelatnici održavanja trebaju biti informirani o rezultatima procjene rizika i preventivnim mjerama. Obveze i odgovornosti moraju se jasno odrediti i trebaju ih razumijeti svi sudionici procesa.

Pojam održavanja obuhvaća poslove kao što su servisiranja, kontrole, popravci i poboljšanja. Održavanje ima zadatak osigurati radno stanje postrojenja, proizvodnih linija, pojedinačnih proizvodnih strojeva i opreme za proizvodnju i obavljanje usluga. Strategija održavanja je izbor pristupa i metoda u ovisnosti o zahtjevima opreme, tehnološkom procesu i okruženju. Najčešće su ozljede prilikom održavanja strojeva:

- padovi s radnih mjesta i prilaza radnim mjestima
- ozljede uzrokovane oštrim i šiljastim predmetima
- nagnječenja uzrokovana strojevima i opremom te prijevoznim sredstvima.

Ozljede uzrokovane strojevima koji su u pogonu nastaju pretežno zbog nedjelotvorne zaštite, neispravnog rukovanja ili nedostatnog razumijevanja. Instaliranjem moderne i automatizirane proizvodne opreme u tvrtkama raste i potreba za nizom različitih znanja iz područja strojarstva, energetike, elektrotehnike, računalstva, elektronike itd., čime održavanje postaje interdisciplinarna djelatnost. Novi sustavi su sve kompleksniji, produktivniji i skuplji, pa njihov kvar, tj. zastoj (proizvodna linija s više strojeva, visoko produktivni strojevi itd.) izaziva velike gubitke. Zbog kvara nastaje zastoj cijele proizvodne tehnološke linije i gubici veći od troškova

preventivnog održavanja. Razvojem novih metoda upravljanja, primjenom robotike, senzoričke i automatizacije upravljanja te povećanjem zahtjeva za sigurnijim humaniziranim radom rukovatelja opremom, kao i poboljšanjem utjecaja opreme na okoliš, postavljaju se sve složeniji zadaci u području održavanja.

U tablici 2.1. prikazane su opasnosti kojima su izloženi radnici na održavanju.

Tablica 2.1. Opasnosti kojima su izloženi radnici na održavanju

Opasnosti kojima su izloženi radnici na održavanju	
Fizikalne opasnosti • pokliznuća, spoticanja, padovi s visine, nesreće vezane uz opremu • buka • vibracije • prekomjerna toplina ili hladnoća • zračenja • teški tereti • pokreti pod opterećenjem (nošenje teških materijala, saginjanje, klečanje, dosezanje, guranje i povlačenje, rad u skučenom prostoru) i rad u nelagodnim položajima.	Kemijske opasnosti • izloženost vlaknima (npr.: azbestnim ili staklenim vlaknima) • požari i eksplozije • kontakt s opasnim tvarima Biološke opasnosti • bakterije • plijesni i gljivice Psihosocijalne opasnosti • vremensko opterećenje i loša organizacija rad, nesocijalno radno vrijeme

Opasnosti koje mogu nastati zbog kvara na stroju su:

- nedostatna tehnička priprema
- otežani radni uvjeti i okoliš (skučen radni prostor, vrućina)
- nehotično pomicanje naredbi na strojevima
- kontrola strojeva u pogonu
- radovi u blizini kemikalija
- nedostatan osposobljavanje i nedostatak uputa za rad.

Ako su opasnosti prepoznate i otklonjene na temelju ciljanih mjera, poslove održavanja moguće je provesti sigurno, racionalno i bez smetnji.

2.1. Uzrok nezgode pri održavanju

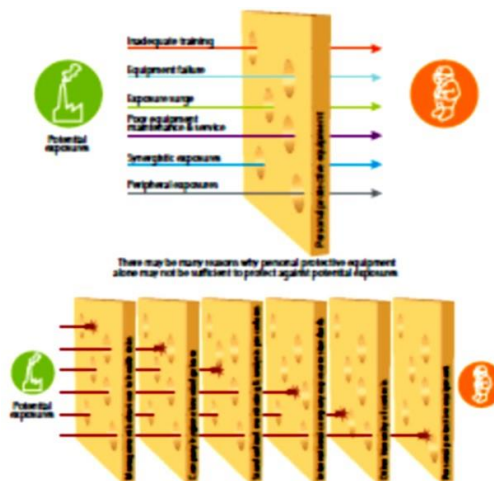
Tehničari za održavanje izloženi su svim vrstama opasnosti: visinama, oštećenim podovima, vrućim, hladnim ili oštrim površinama, pokretnim dijelovima, alatima, opremi, industrijskim vozilima, sustavima pod tlakom,

elektromehaničkim instalacijama, preprekama, uskladištenim i transportiranim teretima, štetočinama, mikroorganizmima, buci, vibracijama, izvorima paljenja i sl. U svojem statističkom izvještaju Europski opservatorij za rizike je pokazao da su tehničari za održavanje izloženi buci, vibracijama, UV zračenju, radiofrekvencijama i kemikalijama (slika 2.2.).



Slika 2.2. Organizacijski pristup održavanju

Kod održavanja je potrebno identificirati opremu koja je kritična za sigurnost: Sigurnosni Kritični Elementi (SKE). Model švicarskog sira je korisno sredstvo za tu svrhu. Kratko objašnjenje je da prije nego događaj postane nezgoda, mora proći kroz različite barijere od kojih sve imaju sigurnosne kritične elemente. Ako ovi elementi dobro funkcioniraju, nezgoda se može spriječiti u početku ili čak potpuno izbjegnuta (slika 2.3.).



Slika 2.3. Model švicarskog sira u analizi i upravljanju rizicima

2.2. Planiranje održavanja i mjere zaštite

Kod održavanja je važno sudjelovanje svih zaposlenih radi razmjene znanja, iskustava i informacija iz prakse, radi učinkovite i kontinuirane komunikacija između radnika u održavanju i radnika u proizvodnji, kao i između različitih izvođača. Neke preporuke vremenom i zastarijevaju, kao na primjer preporuka o zamjeni ulja ili preporuka vezana uz zastarjelu opremu za dijagnostiku. Kod održavanja se uzimaju dva zahtjeva tehničko-tehnološke prirode:

Prvi zahtjev obuhvaća određivanje optimalnog intervala pregleda opreme s ciljem da se otkaz otkrije neposredno prije vremena nastanka, jer se tako iskorištava tzv. rezerva pouzdanosti sustava ili dijelova sustava.

Drugi zahtjev obuhvaća optimiziranje sadržaja preventivnih radnji održavanja. Tradicionalan pristup sastoji se u poštivanju uputa i preporuka proizvođača. Poznato je da proizvođači preporučuju više radova s većom učestalosti što obično odgovara konkretnim uvjetima sustava ili opreme.

Analizom mnogobrojnih ozljeda kod poslova održavanja ukazuje se na nužnost sigurnijih okvirnih uvjeta same organizacije te na sigurnost od opasnih gibanja strojeva. Strategija, vrsta i opseg planiranja od presudnog su značaja kada je riječ o poslovima održavanja. Neplanirani poslovi održavanja u pravilu se provode često u ograničenim vremenskim uvjetima pri čemu treba računati s opasnostima koje su ovdje navedene.

Poslovi održavanja koji se planiraju i provode prije nastupanja samog zastoja su važni radi zaštite radnika. Planirani poslovi održavanja predstavljaju stoga primarnu mjeru zaštite kako bi se povećala sigurnost na radu. Detalji glede vrste i opsega posla vrijede kao sekundarne mjere zaštite jer podliježu određenim ograničenjima. Ne može se baš svako održavanje prethodno definirati, kao što se ni svaka mjera zaštite ne može unaprijed isplanirati, a ni svako planiranje se uvijek ne isplati. S ekonomskog stajališta, planiranje i upravljanje je opravdano kada je utrošak rada manji od pritom postignutog rezultata koji se, među ostalim, očituje u manjim troškovima održavanja i kraćim zastojima u proizvodnji. Poslovi održavanja i aspekti zaštite zdravlja i sigurnosti na radu trebali bi biti dio sveobuhvatnog sustava zaštite zdravlja i sigurnosti na radu svake tvrtke, a sustav upravljanja sigurnošću kontinuirano treba razvijati i

unaprjeđivati. Održavanje mora biti uključeno sveobuhvatni sustav zaštite zdravlja i sigurnosti na radu.

Redoslijed mjera zaštite za sprječavanje opasnih gibanja strojeva

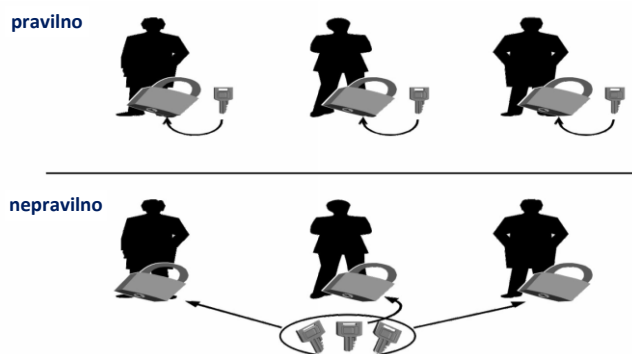
Većina ozljeda tijekom obavljanja poslova održavanja nastaje zbog opasnih gibanja strojeva, stoga postoji redoslijed mjera zaštite koje treba poštivati.

Uvjet 1.

Poslovi održavanja, u pravilu, mogu započeti tek kada stroj ne predstavlja nikakvu opasnost za okolinu. To je u slučaju kada je:

- stroj zaustavljen
- stroj nedopušteno ili iznenadno isključen ili zabunom pušten u pogon
- spriječeno pokretanje stroja kao posljedica akumulirane energije.

Nedopušteno ili iznenadno isključivanje stroja ili puštanje stroja u pogon zabunom može se spriječiti jedino isključivanjem stroja ili zatvaranjem glavne sklopke. Za svaku osobu koja obavlja poslove održavanja mora postojati odvojena brava s vlastitim ključem. Rezervni ključevi moraju se dobro čuvati, npr. kod nadležnog majstora ili vođitelja proizvodnog pogona. Potrebno je utvrditi da ne postoje ključevi koji odgovaraju većem broju brava te da se ne upotrebljavaju tipski ključevi za određene skupine ili timove radnika. Ako broj mogućih okretaja zaključavanja nije dovoljan (u pravilu tri), preporučuju se privjesci s više lokota (slika 2.4.). Prema slici 2.4. vidljivo je da sve osobe odgovorne za održavanje moraju imati svoj ključ te da za svaku bravu treba biti samo jedan ključ (osim rezervnog ključa).

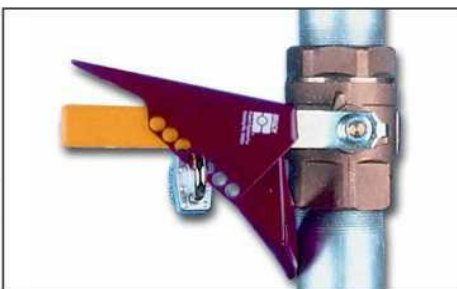


Slika 2.4. Lokoti za zaključavanje

Na slici 2.5. prikazano je zatvaranje (blokiranje) ventila za vodu i plin i zaključavanje (blokiranje) utikača za struju.



Zatvaranje (blokiranje) ventila za vodu



Zatvaranje (blokiranje) plinske slavine



Savrtljivo čelično uže na ventilu



Zaključavanje (blokiranje) utikača za struju

Slika 2.5. Zatvaranje (blokiranje) ventila za vodu i plin i zaključavanje (blokiranje) utikača za struju

Uvjet 2.

Ako se poslovi održavanja moraju provesti na strojevima koji su u pogonu, obvezne su posebne mjere zaštite, a to su:

- zaštita razdvajanja/odvajanja (radna odijela, pokrivala, ograde, zaštita od pada)
 - zaštita vezana uz mjesto obavljanja posla (dvostruka daljinska naredba koja omogućava sigurno uključivanje i isključivanje sklopke, a mora biti postavljena na sigurnoj udaljenosti; uređaj se resetira automatski nakon uporabe)
 - zaštita sa senzorima na blizinu (svjetlosne zavjese, svjetlosne prepreke, sigurnosni tepisi, sigurnosni kotovi te protupovratni ventili).
- Prekidači za slučaj nužde nisu prikladni kada je riječ o mjerama zaštite

kada sklopka mora biti postavljena na sigurnoj udaljenosti. Prekidači ne djeluju automatski te tako ne omogućuju direktnu zaštitu. Njima se mora rukovati svjesno i namjerno kako bi se spriječila opasna gibanja stroja. Oni su, dakle, djelotvorni kada je konkretno ugrožena neka osoba ili ako su je zahvatili dijelovi stroja (slika 2.6.).



Zaštita pomoću sigurnosnih otirača Zaštita pomoću svjetlosne prepreke
Slika 2.6. Zaštita razdvajanja/odvajanja na strojevima

Uvjet 3.

Poslovi održavanja mogu se provoditi bez zaštite samo uz pomoć posebnih dodatnih uređaja, a to su uređaji:

- kojima se nužno ne doseže mjesto opasnosti (uređaji koje služe kao pomoć pri pozicioniranju kao što su kliješta, pincete i magneti)
- koji otežavaju nehotično približavanje okolnim mjestima opasnosti (odvajanja, zakloni)
- koji omogućavaju brzo zaustavljanje stroja (trofazna sklopka) ili smanjenje brzine.

Mjere zaštite brzog zaustavljanja stroja dopuštene su samo kada se mogu primijeniti one mjere zaštite kojima se nužno ne doseže mjesto

opasnosti i koje otežavaju nehotično približavanje okolnim mjestima opasnosti. Uvjet nipošto nije ispunjen ako postoji mogućnost postavljanja zaštita za odvajanje ili postavljanje svjetlosnih prepreka na matičnu ploču stroja ili ako obje mjere zaštite nisu na raspolaganju. Na slici 2.7. prikazana je daljinska sigurnosna sklopka.



Slika 2.7. Funkcija 3-fazne daljinske sigurnosne sklopke

Uvjet 4.

Poslovi održavanja uz primjenu spomenutih mjera zaštite nisu mogući u iznimnim slučajevima. Za te iznimne slučajeve vrijedi sljedeće:

- smiju se angažirati samo specijalno osposobljeni stručnjaci koji su u stanju otkloniti nastale opasnosti
- poslodavac mora utvrditi sve nužne sigurnosne mjere te se pobrinuti da ih se radnici pridržavaju
- radnici se moraju podučiti posebnim opasnostima
- zbog nastajanja nepravilnosti ili smetnji potrebno je dati posebne upute o ponašanju
- u području opasnosti smiju se zadržavati samo one osobe čija je prisutnost nužna za obavljanje poslova održavanja
- mora biti prisutna još jedna kvalificirana i osposobljena osoba koja nadzire tijek izvođenja radova i poduzima odgovarajuće mjere zbog nastupanja akutne opasnosti.

Utvrđeno je da je udio profesionalnih bolesti kod zaposlenika koji rade na industrijskom održavanju od 8 do 10 puta veći negoli kod ostale populacije.

Kod radnika na održavanju zgrada i kod inženjera koji rade na održavanju u marinama nađeni su povećani udjeli bolesti i/ili smrtnosti vezani za izlaganje azbestu. Od svih ozljeda, samo na smrtne ozljede otpada oko 10 - 15 %. Oko 38 % kemijskih nezgoda uzrokovale su opasne tvari koje su bile ispuštene tijekom održavanja.

Najčešće se nesreće događaju kod održavanja zato što se:

- obavlja u svim djelatnostima i svim mjestima rada
- obavlja u neposrednoj blizini opasne opreme ili u opasnom prostoru (na ulazu u skućeni prostor)
- obavlja pod vremenskim pritiskom (često se prepušta podizvođaču što čini upravljanje teškim)
- povezuje s velikim brojem različitih opasnosti (biološke, kemijske, fizičke i psihosocijalne).

Osnovna načela sigurnog održavanja su:

- uključivanje upravljanja zaštitom na radu u upravljanje procesom održavanja
- strukturirani pristup koji se temelji na procjeni rizika
- jasno utvrđene zadaće i odgovornosti
- rad na siguran način i jasne upute koje treba slijediti
- odgovarajuće osposobljavanje i oprema
- uključivanje radnika u procjenu rizika i u proces upravljanja održavanjem.

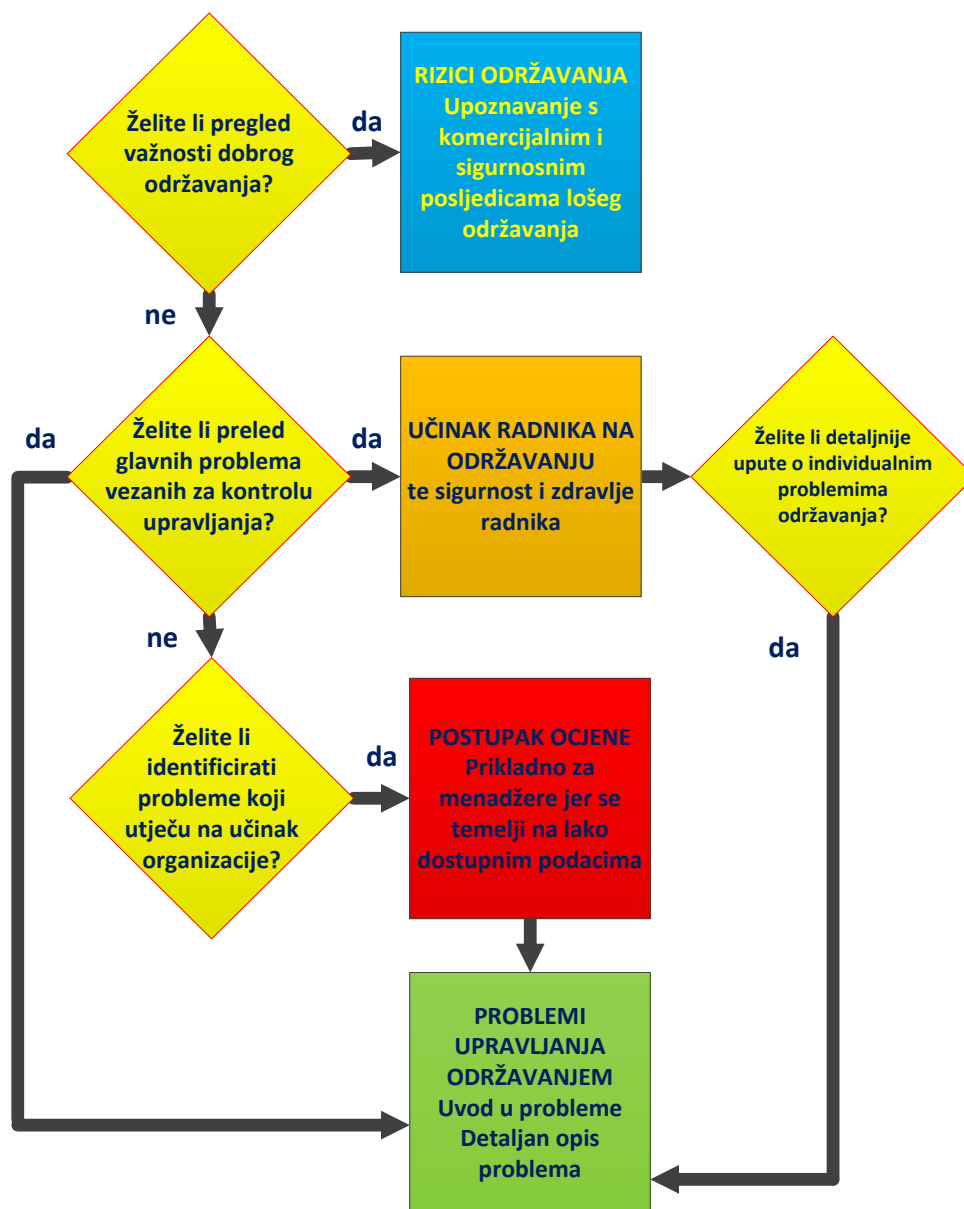
2.3. Preventivne mjere: upravljanje, tehnička potpora, ljudsko ponašanje i obuka

Prije nego rad počne, izvođači radova bi se trebali upoznati s općim pravilima sigurnosti i specifičnim mjerama sigurnosti. Nove situacije i neplanirani rad mora se raspraviti s koordinatorima, nadglednicima i kontrolorima te se mora izvršiti dodatna procjena rizika. Katkada je najbolje predložiti potencijalne scenarije prije nego rad započne (slika 2.8.).

Upravljači radnim mjestima, nadzornici i osoblje unaprijed bi se trebali složiti o postupcima za potencijalne hitne situacije tako da se mogu brzo

mobilizirati i tehničari za održavanje koji se trebaju informirati o postupcima i tako uvježbati. Verbalne upute tijekom hitnih slučajeva trebale bi biti jasne i koncizne. Prve su upute ključne i trebaju sadržavati informacije: tko?, gdje?, što?, zašto? i kada?.

Videotehnike nadzora u okviru radnog mjesta mogu pomoći lokalizirati poremećaje te otkriti uzrok kvara, tj. neispravnosti.

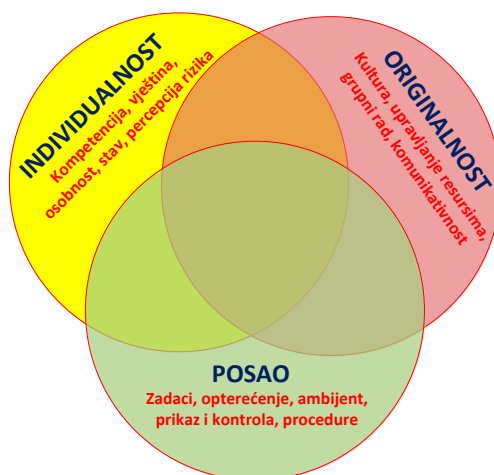


Slika 2.8. Potencijalni scenariji prije nego rad započne

2.4. Faktori koji utječu na ljudske sposobnosti

Smanjivanje grešaka i utjecaj na ponašanje navodi da tri faktora utječu na učinak svake radne aktivnosti uključujući i održavanje. Ovi problemi ljudskog faktora, prikazani na slici 2.9., su:

- **Individualni faktori:** atributi i sposobnosti osobe, koji uključuju osobne stavove, navike, osobnosti, vještine i kompetencije.
- **Faktori posla:** odnose se na zahtjeve zadatka koji se slažu sposobnostima osobe koja obavlja zadatak. To uključuje radno mjesto i faktore okoline.
- **Organizacijski faktori:** organizacija ima velik utjecaj na sposobnosti pojedinaca, ali često ima veliku važnost za zdravlje i sigurnost radnika kao i poslovanje organizacije.



Slika 2.9. Faktori koji utječu na ponašanje na radnom mjestu

2.5. Osnovna pravila za sigurno održavanje

Pet najčešćih osnovnih pravila za sigurno održavanje su:

- a) Planirati
- b) Radno područje učiniti sigurnim
- c) Koristiti odgovarajuću opremu
- d) Rad izvoditi prema planu
- e) Završna provjera.

a) Planirati

Održavanje treba početi pravilnim planiranjem. Poslodavci moraju izraditi procjenu rizika aktivnosti održavanja koje planiraju vršiti te u taj proces uključiti i same radnike. Među elementima koje bi trebali uzeti u obzir su opseg poslova, odnosno treba odrediti što je potrebno napraviti i kako će to utjecati na druge radnike i aktivnosti na mjestu rada. Potrebno je:

- Provesti adekvatnu procjenu rizika koja mora sadržavati: identifikaciju potencijalnih opasnosti (npr. opasne tvari, skućeni prostori, pokretni dijelovi stroja, kemikalije, prašina) i mjere koje je potrebno poduzeti kako bi se rizici eliminirali ili smanjili na najmanju moguću mjeru.
- Identificirati što je sve potrebno za provedbu aktivnosti: tko će biti uključen, koje su njihove pojedinačne uloge i koje odgovornosti imaju, koji će se alat i osobna zaštitna sredstva koristiti.
- Odrediti vrijeme i resurse koji su potrebni za provedbu aktivnosti.
- Razgovarati s radnicima na održavanju i radnicima u proizvodnji te ostalim sudionicima.

Obuka radnika koji rade na održavanju uključenih u radni zadatak (kao i onih koji rade uz njih) osobito je važan aspekt u fazi planiranja. Kompetencija radnika koji vrši održavanje, uključujući pregled i ispitivanje, od velike je važnosti za sigurnost. Većina radnika uključena je u pojedini dio održavanja. Nesreće se mogu dogoditi kada radnici pokušaju izvršiti radni zadatak za koji nemaju dostatne kompetencije ili iskustvo. Poslodavci moraju osigurati da radnici posjeduju vještine potrebne za izvršavanje zadataka, da su informirani o procedurama za rad na siguran način te da znaju što trebaju učiniti kada se dogodi situacija koja nadilazi opseg njihove obuke. Poslodavci također moraju misliti i na „zapovjedni lanac” između radnika uključenih u poslove održavanja, na sve procedure koje će se koristiti za vrijeme trajanja tih aktivnosti, uključujući procedure za prijavljivanje/izvještavanje u slučaju nastanka problema. Ovo je osobito važno ako poslove održavanja obavljaju podizvođači. Savjetovanje s radnicima i njihovo informiranje ključno je u fazi planiranja. Ne samo da radnici na održavanju moraju biti informirani o ishodu početne procjene rizika, nego trebaju biti uključeni i u njenu izradu. Zbog poznavanja radnog mjesta, najčešće upravo oni mogu najbolje identificirati opasnosti kao i

najučinkovitije načine postupanja u slučaju opasnosti. Uključivanje radnika u proces planiranja povećava ne samo sigurnost pri održavanju, već i njegova kvaliteta.

b) Radno područje učiniti sigurnim

Procedure razvijene u fazi planiranja je potrebno primijeniti. Potrebno je osigurati radno područje (spriječiti neovlašteni ulazak korištenjem prepreka i znakova). Radno područje treba biti čisto i sigurno, s isključenim i zaključanim napajanjem, učvršćenim pokretnim dijelovima strojeva, postavljenom privremenom ventilacijom i označenim sigurnim putovima za pristup radnika radnom području. Na strojeve je potrebno postaviti karte upozorenja s vremenom i datumom zaključavanja, kao i imenom osobe ovlaštene za uklanjanje sustava zaključavanja. Na ovaj način, sigurnost radnika koji rade na održavanju neće biti ugrožena od slučajnog pokretanja stroja. Gdje god je to moguće, potrebno je postaviti zaštitu koja bi omogućila manje zahvate održavanja stroja bez uklanjanja zaštitnih naprava. Ako je zaštitne naprave nužno ukloniti ili deaktivirati, potrebno je slijediti proceduru za sustav zaključavanja. Rukovodioci i radnici na održavanju moraju biti obučeni o tome kako i pod kojim uvjetima zaštitne naprave mogu biti uklonjene.

c) Koristiti odgovarajuću opremu

Radnici na poslovima održavanja moraju imati odgovarajući alat i opremu koji mogu biti drugačiji od alata i opreme koja se inače koriste. Imajući u vidu da bi se rad mogao obavljati u prostoru koji nije namijenjen za rad ljudi te da bi mogli biti izloženi raznim opasnostima, radnici moraju koristiti odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu. Na primjer, radnici koji čiste ili zamjenjuju filtre na ispuhu ventilacije mogu biti izloženi koncentracijama prašine koja je mnogo viša od one na pojedinom radnom mjestu. Pristup tim filtrima, koji su često smješteni na prostoru krova, također treba učiniti sigurnim. Alat i zaštitna oprema potrebni za posao moraju biti dostupni (zajedno s uputama za njihovo korištenje ako je potrebno) i moraju se koristiti.

d) Rad izvoditi prema planu

Poslovi održavanja se često izvode pod tlakom, na primjer, kada je kvar uzrokovao zastoj u proizvodnji. Potrebno je slijediti plan rada čak i kad je vremensko opterećenje prisutno: prečaci mogu biti vrlo skupi ako dovedu

do nesreća, ozljeda ili materijalne štete. Kada se dogodi nepredviđena situacija, nužno je obavijestiti nadzornika i/ili konzultirati se s drugim stručnjakom. Vrlo je važno zapamtiti da izvođenje radova koji prelaze kompetenciju radnika, može rezultirati vrlo ozbiljnim nesrećama.

e) Završna provjera

Proces održavanja mora se završiti provjerama kako bi se potvrdilo da je posao završen, da je održavana oprema ili objekt siguran za korištenje i da je otpadni materijal koji je nastao tijekom održavanja zbrinut. Nakon što je sve provjereno da je sigurno, posao održavanja se može zaključiti te o tome obavijestiti nadzornika i druge radnike. Završni je korak izrada izvještaja u kojem se opisuje i posao koji je izvršen što uključuje komentare o eventualnim poteškoćama u radu, kao i preporuke za poboljšanje. U idealnom slučaju, izvještaj o održavanju trebalo bi razmotriti na sastanku radnika koji su izvršili održavanje i drugih radnika, kako bi mogli komentirati aktivnosti i dati prijedloge za poboljšanje.

2.6. Obveze rukovoditelja održavanja

Prilikom održavanja strojeva (prijevoz, montaža, demontaža, čišćenje, podmazivanje, popravak, otklanjanje zastoja ili kvara i dr.) nastaje povećani broj nezgoda na radu, havarija požara i većih gubitaka. Strojevi su sve više složeni i raznoliki, a nova radna oprema zahtijeva sve veći broj različitih stručnjaka za održavanje kako bi se povećala sigurnost i pouzdanost strojeva. Proizvođač strojeva i uređaja obavezan je ista izraditi u skladu s propisima zaštite na radu tako da se sve opasnosti i štetnosti koje postoje pri njihovom korištenju otklone ili smanje na najmanju moguću mjeru. U tu svrhu izrađuje procjenu opasnosti. Brojne su opće i posebne obveze poslodavca u svezi s radnom opremom, a cilj je da ona za vrijeme rada i za vrijeme održavanja ne smije ugrožavati sigurnost radnika i zdravlje radnika, imovinu i prirodni okoliš (slika 2.10.). Poslodavac osigurava i održava ispravnu, za rad prilagođenu i sigurnu radnu opremu prema uputama proizvođača radne opreme. Radna oprema se mora održavati u skladu s uputama proizvođača. Proizvođač je dužan procijeniti opasnosti da bi utvrdio sve one opasnosti koje se odnose na njegov stroj, a potom mora konstruirati i izraditi stroj uzimajući u obzir svoju procjenu. Cilj poduzetih mjera mora biti uklanjanje bilo kakva rizika od nesreće tijekom predvidljiva životnog vijeka strojeva, uključujući faze montaže, sastavljanja, uporabe, održavanja i rastavljanja, čak i ako rizik od nesreće

nastaje iz predvidljivih nenormalnih situacija. Strojevi moraju biti opskrbljeni bitnom posebnom opremom i priborom kako bi se omogućilo ugađanje, održavanje i uporaba bez rizika.

Slika 2.10. Obveze poslodavca i radnika kod održavanja

Dokumentacija proizvođača radne opreme sadrži: upute za prijevoz, montažu i montažni nacrt, opis i funkcioniranje, upute za rukovanje, upute za održavanje; listu kvarova; podmazivanja; električne sheme, sheme pneumatike i/ili hidraulike, korištenje opasnih tvari; sheme hlađenja; izjave u skladnosti; ispitne listove, oznake, procjenu opasnosti; informacije o osposobljenosti osoblja; mjere zaštite na radu itd. Važni savjeti proizvođača opreme u uputama, naročito informacije o sigurnosti, označene su pripadajućim simbolima. Treba postupiti po tim uputama kako bi se izbjegle nesreće osoblja ili kvar stroja.

Primarni zadaci kod održavanja su:

- postavljanje nove radne opreme na njezino mjesto
- održavanje instalirane radne opreme (strojevi, uređaji itd.)
- održavanje postojećih industrijskih objekata i terena
- pregledi, podmazivanja i čišćenja strojeva
- rekonstrukcija postojeće radne opreme i objekata
- izrada čeličnih konstrukcija, raznih instalacija, te njihovo ugrađivanje održavanje i ispitivanje
- vođenje propisane evidencije.

Sekundarni zadaci kod održavanja su:

- briga oko smanjenja buke i vibracija te drugih štetnosti koje nastaju radom radne opreme
- osiguranje sigurnosnih mjera propisanih zakonom
- briga oko osiguranja normalnih radnih uvjeta (osvjetljenje, prozračivanje, relativna vlažnost zraka, temperatura, prašina, mikroklima, opasne radne tvari i sl.).

Radovi na održavanju radne opreme moraju se obavljati samo u stanju njenog mirovanja. Ako to nije moguće, tada se moraju poduzeti odgovara-

juće mjere da se takvi radovi obavljaju bez opasnosti od ozljeda ili oštećenja zdravlja radnika ili da se obavljaju izvan opasnih područja. O održavanju radne opreme mora se voditi evidencija. Rukovatelj mora u skladu s uputama koje je dobio od poslodavca odnosno proizvođača radne opreme učiniti sljedeće:

- pravilno upotrebljavati radnu opremu
- radnu opremu održavati sukladno uputama
- zahtijevati od poslodavca popravak oštećene ili zamjenu istrošene radne opreme ako to predstavlja opasnost za njegovu sigurnost i zdravlje, kao i za sigurnost i zdravlje drugih radnika koji mogu doći u opasno područje radne opreme
- zahtijevati od poslodavca dodjelu odgovarajućih osobnih zaštitnih sredstava ako se, usprkos pravilnoj uporabi radne opreme za vrijeme rada, može pojaviti opasnost za nastanak ozljeda ili oštećenja.

Rukovatelji strojeva provode poslove:

- rutinskog održavanja
- čišćenja
- podešavanja/predpodešavanja/namještanja
- preventivnog održavanja i podmazivanja
- korektivnog održavanja
- osposobljavanja
- osiguravanje alata/strojeva
- osiguravanja rada na siguran način.

Upute za održavanje sadrže:

- crteže, dijagrame, opise i objašnjenja potrebna za uporabu, održavanje i popravak stroja i provjeru ispravnosti rada istog
 - opis postupaka prilagođavanja i održavanja koje mora obavljati korisnik i mjera preventivnog održavanja koje treba poštovati, upute kako sigurno izvoditi prilagođavanje i održavanje, uključujući sigurnosne mjere koje je potrebno poduzeti tijekom obavljanja tih zadataka.

2.7. Zaštitne mjere za sigurno održavanje

Prije početka prijenosa, odnosno prijevoza radne opreme, moraju se provesti sljedeće mjere zaštite radnika:

- Svi pokretni dijelovi koji bi se u prijevozu mogli pomaknuti i ugroziti sigurnost i zdravlje radnika, moraju se osigurati od pomicanja,

odnosno moraju se učvrstiti.

- Električna i druga oprema mora se zaštititi od oštećenja, zapinjanja, vibracija, utjecaja vlage, jačih izvora topline i niskih temperatura.
- Uzimajući u obzir masu i dimenzije radne opreme, moraju se provjeriti i po potrebi poduzeti mjere za otklanjanje ograničenja prilikom prijevoza radne opreme.
- U slučaju opasnosti od pomicanja ili prevrtanja, radna oprema se mora pričvrstiti za prijevozno sredstvo.

Ako se popravak, montaža i demontaža radne opreme obavlja u radnom prostoru u kojem se istodobno koristi druga radna oprema, tada se na toj drugoj radnoj opremi i na drugim radnim mjestima u radnom prostoru moraju poduzeti odgovarajuće mjere za sigurnost i zaštitu zdravlja drugih radnika (slika 2.11.).

Slobodna je površina po radniku minimalno 2 m^2 i zračni prostor 10 m^3 . Visina je prostorije najmanje 2,8 m. Glavni su hodnici za ljude širine minimalno 1,5 m, a sporedni 1 m. Transportni putovi ne smije imati širinu manju od 1,8 m. Radna oprema se u radnom prostoru mora smjestiti tako da njeno kretanje, odnosno gibanje njenih dijelova ne stvara opasna područja. Oko opreme minimalni slobodni razmak je 0,75 m. Ako radnu opremu nije tako moguće smjestiti, opasnosti za radnike se moraju otkloniti odgovarajućim zaštitnim sredstvima (pregrade, ograde, poklopci i dr.), slika 2.12.

Prije rada sa strojem, operativno i servisno osoblje i osoblje koje održava stroj mora se temeljito upoznati s instalacijom i njenim komponentama. Osoblje mora biti in-

formirano i poučeno o izvorima opasnosti i o sigurnosnim mjerama. Ako je potrebno, sigurnosne upute treba povremeno ponavljati, a osposobljavanje za rad na siguran način provjeriti.

Pri radovima na montaži i demontaži, popravcima radne opreme, kod kojih se moraju dizati, spuštati ili prenositi glomazni dijelovi radne opreme ili kod kojih je masa tih dijelova veća od dopuštene za ručno dizanje tereta prema posebnim propisima, radnicima se moraju osigurati ručni ili mehanizirani uređaji za dizanje tereta (koloturnici, vitla, dizalice i dr.), slika 2.13.



Slika 2.11. Radni prostor za održavanje



Slika 2.12. Siguran pristup

Strojevi moraju biti opremljeni pokaznim uređajima (brojčanicima, signalnim uređajima itd.) u skladu sa zahtjevima za sigurno djelovanje koji moraju biti čitljivi poslužitelju i radniku na održavanju s njegova upravljačkoga položaja (slika 2.14.).

Zaštitni uređaji za prekid dovoda bilo koje vrste energije moraju se aktivirati:

- prije početka čišćenja radne opreme
- prije početka rada na održavanju i popravku radne opreme
- radi dugotrajnog prekida rada nakon završetka dnevnog rada.

Strojevi moraju biti opremljeni sredstvima za odvajanje od svih izvora energije. Takva sredstva moraju biti jasno označena. Moraju imati mogućnost zaključavanja budući da ponovno spajanje može ugroziti ljudski život. Radi zaštite radnika od udara električne struje, element za isključenje dovoda električne struje mora imati mogućnost zatvaranja u isključenom položaju (lokot ili sl.).

Prije početka radova na popravku radne opreme priključene na druge vrste energije (para, voda ili drugi hidraulične energenti, zrak ili plinovi), mora se zatvoriti dovod energije, isprazniti cjevovod i po

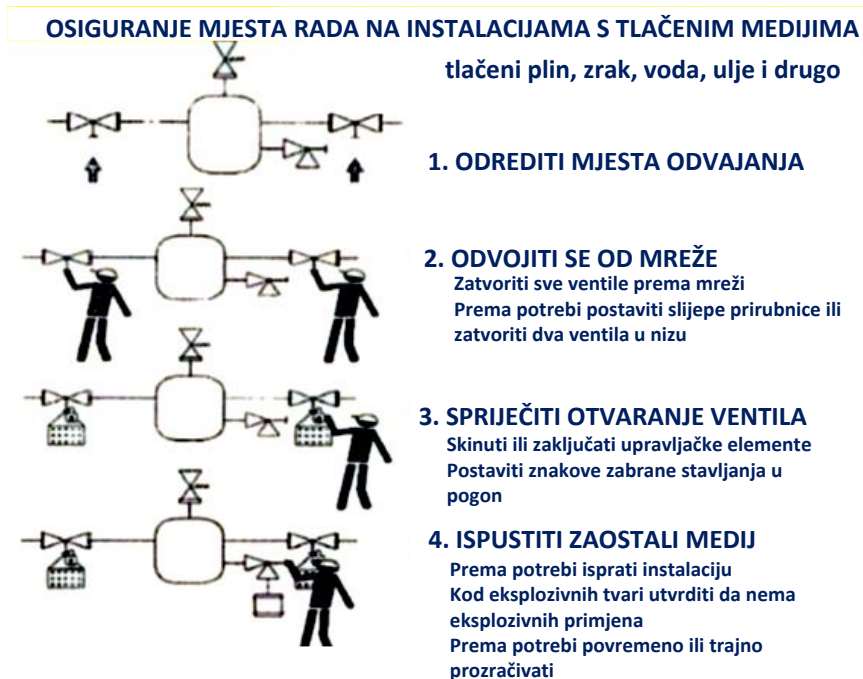


Slika 2.13. Radovi na montaži i demontaži strojeva



Slika 2.14. Pokazni uređaji

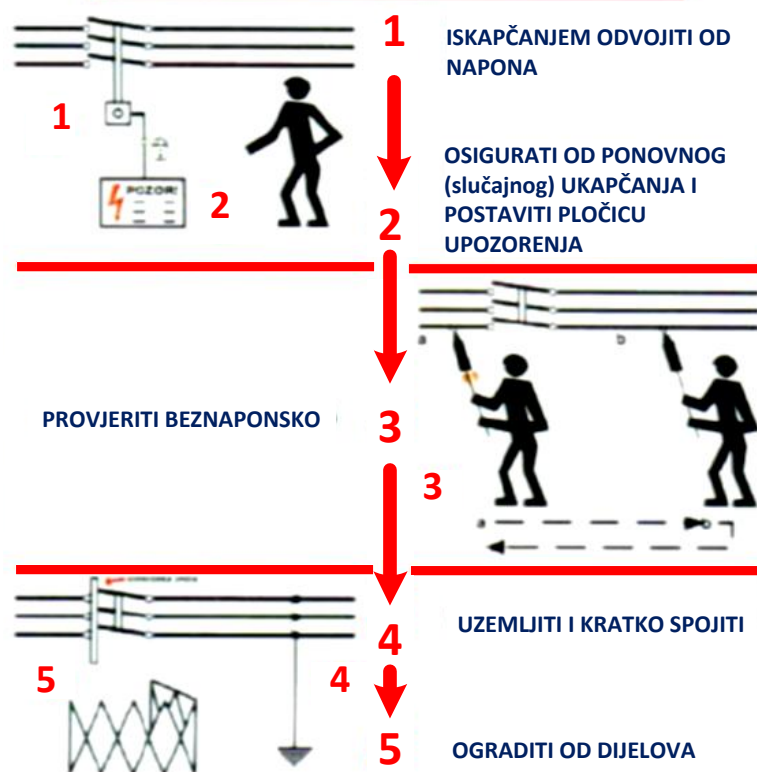
potrebi na mjestu zatvaranja dovoda energije postaviti pisano upozorenje »Ne otvarati - popravak« (slika 2.15.). Svi cjevovodi, cijevi i spojevi s navojem i ventili, moraju se ispitati na curenje i vidljiva vanjska oštećenja. Oštećenja se moraju odmah popraviti!



Slika 2.15. Zatvaranje dovoda energije

Element za isključenje dovoda električne struje mora biti stalno zatvoren u kućište radne opreme ili u drugi prostor koji se može otvoriti samo pomoću ključića ili alata, a na mjesto isključenja ili pokraj njega mora se postaviti pisano upozorenje »Ne uključivati-popravak«. Upozorenje smije ukloniti i element za prekid dovoda električne struje ponovno postaviti u uključeni položaj samo radnik koji je popravljao radnu opremu, nakon što utvrdi da u opasnom području nema radnika i da su zaštite ili zaštitni uređaji ponovno postavljeni u svoj zaštitni položaj (slika 2.16.).

PET PRAVILA SIGURNOSTI



Slika 2.16. Iskopčavanje od napona

Radovi na popravcima dijela radne opreme u blizini napona i pod naponom električne struje smiju se obavljati samo prema posebnim propisima. Prije radova na popravku stroja potrebno je iskapčanjem odvojiti postrojenje od napona.

3. NADZOR I DIJAGNOSTIKA

Termin dijagnostika, odnosno dijagnoza, javio se najprije u medicinskim znanostima, gdje ima široko značenje. Potječe od grčke riječi *diagnosis*, koja znači prepoznavanje (zaključivanje) i ocjenjivanje. Dijagnostika u održavanju treba utvrditi stanje sustava ili dijela sustava bez njegovog demontiranja, a poželjno je i bez zaustavljanja. Okosnica dijagnostike je mjerenje stanja sustava, odnosno mjerenje odabranog parametra. Usporedbom dijagnostičkih parametara (mjerni rezultati), s unaprijed definiranim graničnim vrijednostima, donosi se odluka o stanju sustava te kao i mogućoj potrebi popravka ili zamjena nekih komponenti. Ako nije, pokušava se predvidjeti koliko će dugo sustav raditi ispravno.

Provjera stanja može biti kontinuirana ili periodička. Kontinuirana provjera se radi stalno i obavlja je neki uređaj. Periodička provjera se obavlja u pravilnim vremenskim razmacima, a može ju obavljati uređaj ili čovjek.

Dijagnostička ispitivanja provode se prvenstveno u cilju otkrivanja i nadzora kvara kao inicijalnog uzročnika paljenja te otkrivanja moguće prisutnosti eksplozivne atmosfere. U industriji jedan od najvažniji zahtjeva je svakako održavanje procesa neprekinutim u što duljem vremenskom razdoblju. To znači: rad bez zastoja, odnosno sa što manje zastoja i to po mogućnosti planskih zastoja, jer svaki zastoj, a naročito oni neplanski, uzrokuju velike ekonomske gubitke te izazivaju i dodatna oštećenja opreme te ugrožavaju sigurnost ljudi. Sukladno definiciji iz norme HRN EN 13306 kvar je prestanak sposobnosti nekog elementa da izvrši zahtjevanu funkciju. Kvarovi kod opreme, bila ona električna ili neelektrična (mehanička, pneumatska, hidraulička i dr.) mogu biti vrlo kritični jer uvijek dovode do oštećenja, smanjenja produktivnosti i sigurnosti. Informacije dobivene dijagnostičkim metodama omogućavaju prvenstveno u postrojenjima kroz postupak održavanja potrebne podatke za povećanje razine sigurnosti.

Postupak dijagnostike se može usporediti s izgledom drveta. Početno mjesto dijagnoze je deblo drveta. Nakon prvog mjerenja i usporedbe podataka s tehničkim informacijama, dijagnoza kvara sustava kreće se

jednom od mogućih "grana" stabla.

Mjerenjem i uspoređivanjem podataka s tehničkim informacijama, dijagnoza kvara se sužava na jednu od „grančica” te se zadnjim mjerenjem dolazi do „lista”, tj. do konačnog rješenja koje pokazuje gdje je kvar u sustavu.

3.1. Dijagnostika strojeva

Održavanje industrijskih postrojenja i tehničkih sustava danas je neza-mislivo bez uporabe suvremenih dijagnostičkih postupaka i dijagnostičke opreme. Tehnički sustavi danas zahtijevaju sofisticiranu opremu za njego-vo održavanje. Stanje dijagnostičkih parametara može se pratiti kontinui-rano (uz mjerenje određene fizičke veličine s određenom točnošću) ili diskretno (uz kontrolu postoji li ili ne postoji određeni signal ili se radi jed-nostavno prebrojavanje).

Uz kombinaciju s ostalim preventivnim metodama u održavanju teh-ničkih sustava, održavanje prema stanju na temelju stanja parametara nema alternativu. Održavanje po stanju koristi niz tehnologija s ciljem postizanja i održavanja optimalnog pogonskog stanja strojeva i pojedinač-nih komponenti takoda se mjerenjem i određivanjem tendencija fizikalnih parametara u usporedbi s poznatim graničnim vrijednostima ili specifikacijama već unaprijed otkriju, analiziraju i otklone potencijalni problemi strojeva prije nego nastane kvar. Dijagnostika strojeva se provodi radi otkrivanja kvarova u najranijoj mogućoj fazi kako bi se planirao popravak i nadzor strojeva da ne dođe do neželjenih posljedica za proces. Ovisno o odstupanju i ponašanju odstupanja u zadnjih nekoliko rezultata analize, donose se zaključci o daljnjem radu, dijagnosticiranju i nadziranju pogona, planiranju remonta i nabavi rezervnih dijelova te u krajnjem slu-čaju o zaustavljanju pogona i brznoj interakciji ovisno o zahtjevima pogona. Dijagnostika ispitivanja provodi se na svim vrstama strojeva. Vršiti se:

- kontrola ispitivanja u radu ili mirovanju s ciljem ustanovljavanja mogućih kvarova
- ispitivanje prije, za vrijeme i nakon remonta (prijedlozi za zahtjeve u remontu, ocjena remonta te procjena spremnosti za pogon).

Dijagnostičke metode dijele se u dvije grupe:

- subjektivne metode vezane uz osjetila vida i sluha

- objektivne metode korištenjem mjernih uređaja za mjerenje željenih parametara.

U tablici 3.1. prikazani su postupci dijagnostike s metodama i instrumentima.

Tablica 3.1. Postupci dijagnostike s metodama i instrumentima

Red. broj	Postupci dijagnostike	Metode i instrumenti
1.	Postupci dijagnostike	Ogledalo, fibroskop, endoskop, stroboskop
2.	Mjerenje vibracija	Vibrometri, analizatori vibracija
3.	Ispitivanje kotrljajućih ležaja	SMP metoda s uređajem "Lenovo"
4.	Ispitivanje maziva	Kemijska analiza ulja (spektografska analiza ulja, magnetski detektori, ferrografska analiza čestica)
5.	Mjerenje temperature	Pirometri, termometarski pištolji, infracrvene kamere (termografi, termovizije), termometri
6.	Mjerenje šuma i buke	Stetoskop, fonometar, SPM metoda s uređajem "Lenovo"
7.	Ispitivanje korozije i erozije	Rendgen zrake (gama-zrake, radioaktivni izotopi), ultrazvuk, vrtložne struje
8.	Mjerenje gubitka pare	Ultrazvuk, fonometar
9.	Ispitivanje toplinske instalacije	Termografija
10.	Ispitivanje površinskih oštećenja	Ultrazvuk, penetranti, magnetska metoda, fluorescentni materijali
11.	Ispitivanje gubitka topline	Termografija
12.	Mjerenje električnih i elektroničkih funkcija	Osciloskop, volmetar, ampermetar

3.2. Izbor dijagnostičke opreme

Da bi dijagnostički sustav uspješno obavljao zadaću treba zadovoljiti sljedeće uvjete:

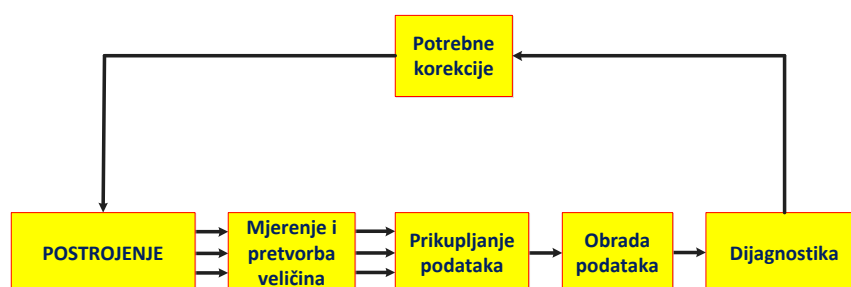
- **pouzdanost** - signal koji se analizira mora sadržavati informaciju iz koje se pouzdano može dijagnosticirati kvar
- **jednostavnost** - ne smije ometati normalni rad pogona ni zahtijevati namještanje dodatnih senzora ili mjerača na nedostupna mjesta

- **cijena** - ako je moguće, za dijagnostiku treba koristiti veličine koje se već koriste za upravljanje pogonom
- **moгуćnost automatizacije procesa** bez potrebe za operaterom.

Prilikom izbora dijagnostičke opreme treba uvažiti sljedeće parametre:

- Mjerni uređaj mora biti robustan i u mogućnosti da podnese uporabu, te biti otporan na atmosferu u industriji. Prema tome, instrumenti projektirani za laboratorijsku uporabu nisu pogodni za te svrhe; portabl instrumenti morali bi biti opremljeni baterijom.
- Oznake moraju biti pouzdane i instrumentom se mora lako rukovati; pouzdanost instrumenta mora biti veća, a potreba za održavanjem manja od komponente koju je potrebno kontrolirati.
- Oznake moraju biti dovoljno precizne i moraju omogućavati definiranje trenda, a osim toga polje mjera mora pokazivati sva moguća stanja kvarova.
- Instrument mora biti siguran, a ako je potrebno, mora biti primjenjiv i u opasnim područjima.
- Elektronske komponente instrumenta moraju biti lako zamjenjive i zaštićene od utjecaja okoline.

Dijagnostički proces može biti potpuno automatiziran, no neki njegov dio može djelomično ili u potpunosti obavljati čovjek. Svaki je dio procesa za sebe često vrlo složen zadatak i za uspješnu je dijagnostiku vrlo važno da se kvalitetno riješi svaki od njih (slika 3.1.).



Slika 3.1. Faze dijagnostičkog procesa

Za dijagnostičke je svrhe neophodno odabrati odgovarajuće mehaničke

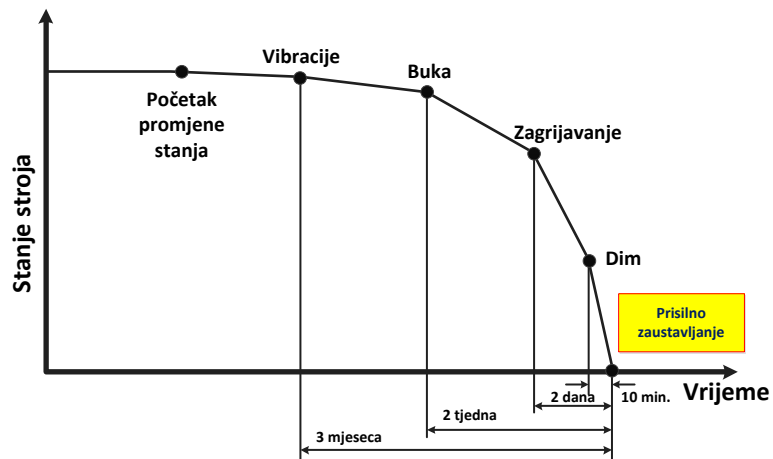
ili električne veličine na osnovu kojih se može dobiti najpouzdanija informacija o objektu kojega obrađujemo. U tu se svrhu u stroj, odnosno pogon, ugrađuju različiti senzori koji uzimaju uzorak neke veličine te ga prema potrebi pretvaraju u drugu veličinu, npr. pretvaranje brzine u napon.

Pouzdanost možemo poboljšati ako sustav ima mogućnost toleriranja grešaka koje mogu uzrokovati otkaz sustava. Na primjer, ako dođe do odstupanja vrijednosti napajanja, kontrolor može biti projektiran da automatski isključi napajanje i tako spriječi oštećenja strujnih krugova stroja. Sigurnost može biti poboljšana kroz ugradnju dijagnostike koja osigurava siguran rad sustava. Ako dođe do greške, mora postojati način da utvrdi postojanje neispravnosti i onemogući da greška uzrokuje neželjeno ponašanje sustava upravljanja. Strojevi, elektronika na strojevima i senzori su često preveliki i skupi da bi se duplirali.

Vizualne metode

Redoviti vizualni pregled strojeva je nužni dio bilo kojeg programa održavanja. U mnogim je slučajevima jednostavnijim pregledom moguće otkriti probleme koji mogu ostati nezapaženi uporabom svih ostalih metoda motrenja stanja. Svi strojevi u pogonu trebali bi se redovito vizualno pregledavati. Dodatne informacije inspekcije povećavaju vrijednost informacija dobivenih primjenom ostalih metoda motrenja stanja. Cilj motrenja strojeva je identificiranje promjene u načinu rada stroja koje će ukazati na neki potencijalni kvar. Identificiraju se fizikalne karakteristike stroja koje zajednički mogu dati ocjenjivi pokazatelj trenutne operativne sposobnosti stroja. Fizikalne veličine od interesa (poput vibracija, buke i topline) se neprestano mjere, analiziraju i pohranjuju kako bi se mogli prepoznati trendovi u njihovu ponašanju. Na slici 3.2. je prikazano motrenje stanja stroja trajnim praćenjem fizikalnih veličina kod ležaja.

Vizualne metode dijagnostike koriste se za detekciju oštećenja na pojedinim mjestima na stroju. Ako je kontrast između oštećenja i ostatka stroja vrlo dobro uočljiv, detekcija mjesta oštećenja vizijskim sustavom je ostvariva. Problem osvjetljenja površine stroja ima bitan utjecaj na kakvoću dobivene slike. Vizualne metode mogu biti direktne i indirektne (pregled mjesta nedostupnih oku). Snimanje stanja površine vrši se pomoću endoskopa i stroboskopa.



Slika 3.2. Motrenje stanja stroja

Endoskopska kontrola se vrši kamerom malog promjera od 6 mm ili čak 4 mm i dovodi se na različite načine na mjesto ispitivanja (slika 3.3.).



Slika 3.3. Endoskopska kontrola

Kamera snima ispitivano mjesto i istovremeno je povezana s računalom tako da se na ekranu može pratiti samo snimanje i mogu se odabrati parametri snimanja te dobiti informacija o postojanju greške, njejoj veličini, podrijetlu i utjecaju na daljnju eksploataciju. Slika se može obrađivati na računalu, uvećavati i dobiti velika preciznost u mjerenju.

Stroboskop je uređaj za mjerenje frekvencije i promatranje jednostavnih gibanja koja se periodično ponavljaju stvaranjem optičke iluzije usporenoga ili zaustavljenoga gibanja (slika 3.4.).



Slika 3.4. Stroboskopska kontrola

Princip rada stroboskopa vrlo je sličan načinu na koji radi filmska kamera u kojoj zatvarač dijeli pokret u niz statičnih slika bez vidljiva gibanja. Zbog tromosti ljudskog oka niz prikazanih slika daje privid kontinuirana gibanja prilikom projekcije slike. Prema osnovnom principu stroboskopije, objekt u pokretu osvijetljen izvorom svjetlosti frekvencije jednake frekvenciji gibanja predmeta prividno se zaustavlja, pa je moguće i odrediti brzinu gibanja predmeta mijenjanjem frekvencije bljeskova izvora svjetlosti sve do prividnoga zaustavljanja predmeta. Ta mogućnost mjerenja bez izravnog dodira smjerenim predmetom predstavlja osnovnu prednost stroboskopije nad konvencionalnim metodama mjerenja kod kojih je potreban mehanički dodir s predmetom. Stroboskop je univerzalan pomoćni alat kod ispitivanja stanja na strojevima srotirajućim dijelovima i za vizualizaciju događaja u procesima. Slike izrađene pomoću stroboskopa omogućavaju uvid u greške na stroju koje ljudskim okom nisu vidljive. Često se stroboskop koristi za utvrđivanje broja okretaja kod strojeva i postrojenja.

Mjerenje vibracija

Proučavanje vibracija ima veliko značenje u strojarstvu, brodogradnji, zrakoplovstvu i drugim granama tehnike. Za neki se sustav kaže da je vibracijski ako se sastoji od mase koja vibrira i elastičnog elementa, a u realnim sustavima su prisutni još i elementi kao što su prigušenje i poremećajna sila. U strojevima, vibracije uzrokuju poremećaje u radu i lomove te nepotrebno troše mehaničku energiju. Mjerenje vibracija na strojevima se izvodi prema stupnju i opsegu opterećenja tijekom rada. Najčešće se mjerenje izvodi pomoću *Vibrotesta* (slika 3.5.).



Slika 3.5. Uređaj za mjerenje vibracija

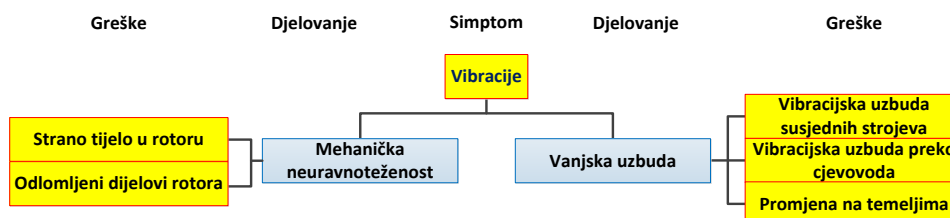
Sustav je sastavljen od senzora vibracija, pojačala mjernog signala, analizatora vibracija i uređaja za vizualizaciju i spremanje mjernih rezultata. Kod održavanja vrši se analiza vibracija u cilju smanjenja ili otklanjanja postojećeg rada stroja da radi bez vibracija.

Dijagnostika rotacijskih strojeva omogućuje:

- kvantifikaciju mjernih veličina
- određivanje trenda promjene mjernih veličina
- procjenu preostalog vijeka trajanja
- preporuke za daljnji rad, popravak ili revitalizaciju
- utvrđivanje raspoloživosti i pouzdanosti pogona
- smanjenje troškova održavanja (povećanjem vremenskog razmaka kapitalnog remonta)
- smanjenje premije osiguranja i izbjegavanje havarija
- točnu kvantifikaciju kakvoće izvedbe kapitalnog remonta.

Kod rotirajućih strojeva česti izvori vibracija su neravnoteža, asimetričnost, savijanje vratila, ekscentričnost i ležajevi. Slika 3.6. prikazuje vibracije kao pokazatelje stanja stroja.

Mjerenjem vibracija i nadzorom stroja povećava se sigurnost pogona, smanjuju troškovi održavanja, produljuje vijek trajanja postrojenja i povećava raspoloživost pogona.

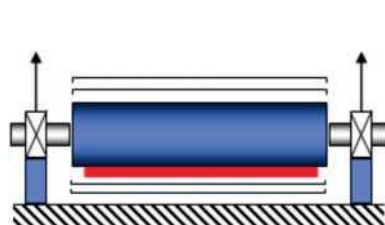


Slika 3.6. Vibracije kao pokazatelji stanja stroja

Vibracije stroja se mjere:

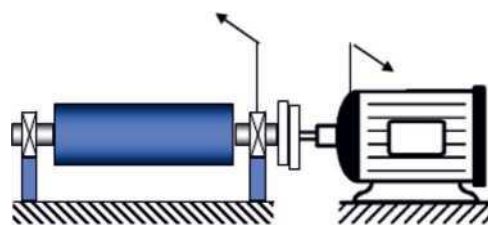
- zbog provjere frekvencija i amplitude naprezanja kako se ne bi prešla dinamička izdržljivost materijala
- zbog izbjegavanja rezonancije određenih dijelova strojeva
- zbog potrebe prigušenja i izolacije izvora vibracija
- zbog uvođenja sustava održavanja po stanju
- zbog konstrukcije i verifikacije računalnih modela struktura.

Ekcentricitet stroja se definira kao asimetrični zračni raspon između statora i rotora (slika 3.7.). Neki proizvođači specificiraju maksimalno dozvoljeni ekcentricitet od 5 % ili 10% od zračnog raspona. U pravilu ekcentricitet treba učiniti što manjim da se smanje vibracije i buka. U realnosti koegzistiraju statički i dinamički ekcentriciteti. U slučaju statičkog ekcentriciteta zračnog raspona, položaj zračnog raspona je na istom mjestu, dok se u slučaju dinamičkog ekcentriciteta os rotora ne podudara s osi rotacije. Ako se ne otkriju rano, ekcentriciteti postaju dovoljno veliki da izazovu velike radijalne sile koje mogu izazvati struganje rotora o stator što dovodi do ispadanja stroja iz pogona.



Statička neravnoteža

- jednak fazni pomak na svaki ležaja
- uglavnom radijalne vibracije



Parelelna asimetričnost

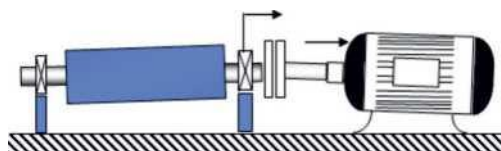
- radijalne vibracije s faznim pomakom od 180°

Slika 3.7. Uzroci vibracija



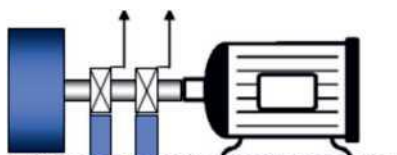
Dinamička neravnoteža

- fazni pomak od 180°
- uglavnom radijalne vibracije



Kutna asimetričnost

- aksijalne vibracije s faznim pomakom od 0°



Neravnoteža konzolnog opterećenja

- istovremene radijalne i aksijalne vibracije
- statička i dinamička neravnoteža



Savijanje osovine

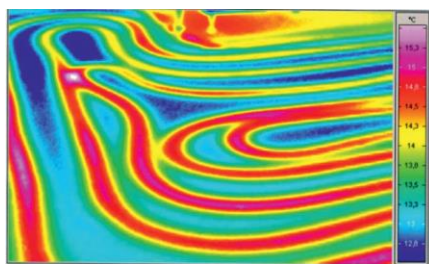
- aksijalne i radijalne vibracije
- 180° fazni pomak kod aksijalnih vibracija
- 0° fazni pomak kod radijalnih vibracija

Infracrvena termografija

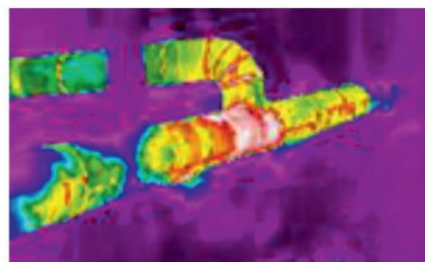
Infracrvena termografija je beskontaktna metoda određivanja temperature i njezine raspodjele na površinama objekata. Temelji se na registriranju infracrvenog (IC) zračenja koje emitira svako realno tijelo. U termografskom se uređaju (kameri), IC zračenje pretvara prvo u električni, a nakon toga u video signal - termograf, koji predstavlja temperaturnu sliku promatranog objekta. Kao beskontaktna temperaturna mjerna metoda, IC termografija omogućuje korisniku otkrivanje razno-likih

potencijalnih grešaka i to bez potrebe prekida procesa proizvodnje i troškova koji su povezani tim prekidom. Omogućava inspekciju turbina, motora, pumpi, kompresora, toplinskih postrojenja i plinovoda. Sprječava gubitke toplinske energije zbog npr. nepoznatog propusta podzemne vrelovodne instalacije ili pak zbog loše izvedene toplinske izolacije u građevinarstvu, odnosno njenog propusta.

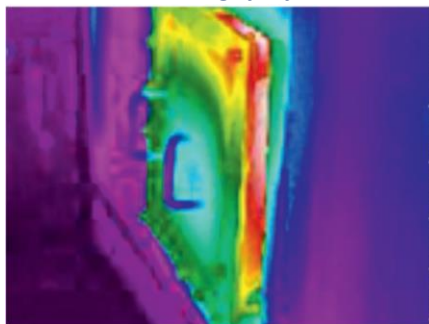
Vrste termografije



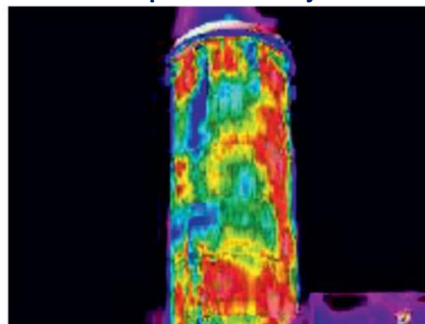
Podno grijanje



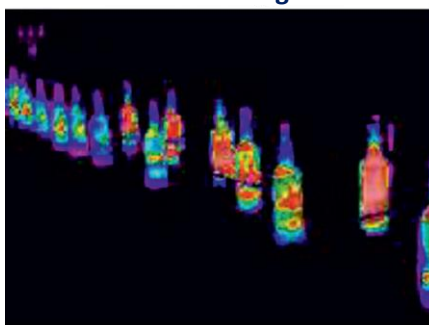
Propust instalacije



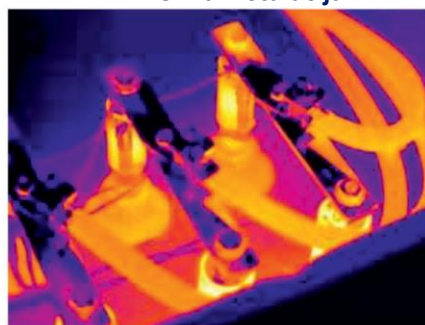
Vrsta rashladnog kanala



Dimovna instalacija



Kontrola proizvoda



Energetsko postrojenje

Slika 3.8. Primjeri primjene IC termografije

Postoje softveri ugrađeni u kameru koji omogućavaju veliku paletu vrsta i analize termograma. Preko izbornika na kameri i računalu moguć je izbor infracrvenog ili videozapisa, odabir mjernog područja temperature i raspona temperature, kao i podešavanje oštine i palete boja termograma. Pomoću računala se obrađuje slika termograma. Optika koja se koristi u IC uređajima po obliku je jednaka onoj kod fotografskih uređaja, no različita po materijalima od kojih je izrađena (germanij, cink sulfid, cink selenid za dugovalna IC zračenja, safir i kvarcili magnezij za srednjovalna IC zračenja). Osjetilo na termografskoj kameri mjeri količinu energije koja pada na njegovu površinu i koja odgovara intenzitetu zračenja definiranog IC spektra. Ova metoda pruža mogućnost da istražimo nevidljivo područje te dobijemo dvodimenzionalni temperaturni odraz nekog objekta (slika 3.8.).

Primjenom IC termografije, održavanje postaje brže, jednostavnije i kvalitetnije, a s druge strane, ekonomičnije.

4. POUZDANOST I ODRŽAVANJE STROJEVA

Svaki stroj koji čovjek izradi, izrađen je s ciljem izvršavanja određenog zadatka, pa se uspješnost može odrediti usporedbom rada samog sustava prema postavljenom zadatku. Sigurnost i pouzdanost rada stroja su vrlo kompleksni pojmovi koji zahtijevaju ozbiljan i egzaktn pristup njihovog proučavanja, kao i rješavanju problema koji proizlaze iz njih. Kao što je poznato, najprihvatljivija definicija pouzdanosti glasi:

„Pouzdanost nekog stroja je vjerojatnost da će određeni podsustav ili cjelokupni sustav uspješno obaviti postavljeni zadatak unutar određenog razdoblja uz unaprijed određene radne uvjete.” Iz definicije se vidi da je ona sastavljena od četiri temeljna pojma, a to su: vjerojatnost, uspješno obavljen postavljeni zadatak, razdoblje i unaprijed određeni radni uvjeti. Namjera tehnike pouzdanosti je unaprijed odrediti “vijek trajanja” ili razdoblje rada uz definirane uvjete rada, a pomoću preliminarne računice svih pojedinih jedinica ili komponenti stroja koji se mogu mjeriti. Na taj je način moguće unaprijed proučavati vjerojatno srednje vrijeme nastanka kvara ili srednju vrijednost, što očito ima statistički karakter, pa se tako može obaviti korekcija ili poboljšanje pojedinih sklopova još u fazi izrade prototipa, kao i kasnije pri samom održavanju stroja u eksploataciji.

Sustavno promišljanje pri odabiru i planiranju budućeg rada odabranih, razmjerno složenijih, strojno-tehnoloških sustava ili jednostavnijih sustava (radnih grupa) standardnih strojeva, obuhvaća:

1. *Širi* (organizacijski, logistički, tehnološki) odabir strukture sastavnica (elemenata) strojno-tehnološkog sustava (odabir i određenje vrste mehanizacije po planiranim tehnološkim, logističkim i/ili organizacijskim aktivnostima i njima pripadnim radnim grupama strojeva i ostale tehnološke opreme)
2. *Uži* (tehničko-tehnološki) odabir strukture sastavnica (elemenata) strojno-tehnološkog sustava (određenje tipova i broja pojedinih vrsta odabrane tehnološke proizvodnje po utvrđenim tehnološkim, logističkim i/ili organizacijskim

aktivnostima, odnosno pripadnim radnim grupama strojeva).

3. *Završni* (tehnološko-ekonomski) odabir ili određenje strojno-tehnološkog sustava (utvrđivanje ukupne tehnološko-ekonomske učinkovitosti odabrane strukture građevinske mehanizacije po pojedinim inačicama strojno-tehnološkog sustava, odnosno utvrđivanja produktivnosti, ekonomičnosti i rentabilnosti inačica te temeljem toga završni odabir ili određenje optimalnog ustroja mehanizacije s kojom se ide u realizaciju procesa).

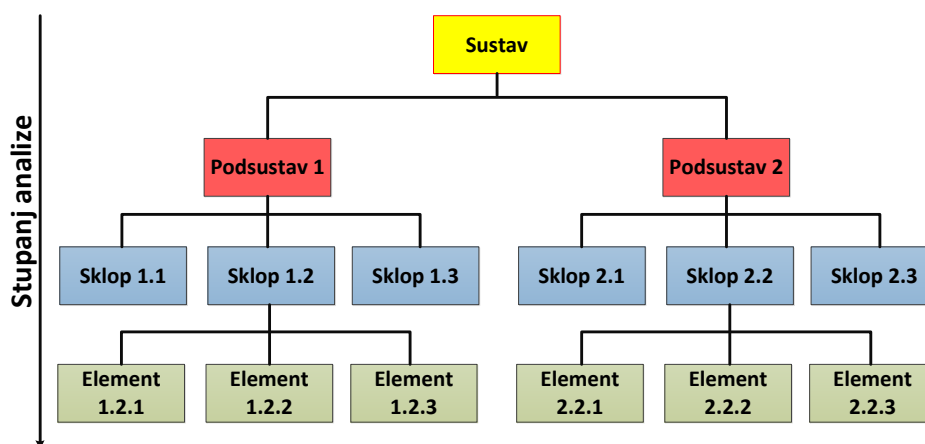
Navedeni postupak odabira, odnosno određenja završne strukture sastavnica (elemenata) strojno-tehnoloških sustava je iterativan dok se ne utvrdi optimalno rješenje ustroja odabrane mehanizacije temeljem mogućih inačica (ako je pretpostavljeno više inačica po pojedinim tehnološkim aktivnostima) u području očekivanih vrijednosti njihove učinkovitosti. Također ne postoje oštre granice između navedenih razina odabira pa, primjerice, širi odabir može sadržavati također neki oblik dokazivanja ekonomičnosti razmatrane strojno-tehnološke inačice kroz (pred) studiju (njezine) izvodljivosti.

Uži odabir može biti završni odabir kada je ugovoren posao s cijenama koje sadržavaju predviđene troškove grananja po svim čimbenicima trošenja.

Dotrajalost stroja jedna je ododrednica radnog učinka pojedinog stroja u pogledu njihove pouzdanosti kao strojno-tehnološkog sustava za sebe.

Pod opisom sustava podrazumijevamo svu dostupnu postojeću dokumentaciju. Potrebno je prikupiti sve nacрте, sheme, specifikacije, funkcionalne dijagrame, opise sustava, popise komponenti, podatke o sučeljima prema drugim sustavima i korisniku, funkcionalne opise itd. Potrebno je prikupiti podatkeo starijim ili sličnim postojećim sustavima kako iz vlastite tvrtke tako i sve dostupne podatke o sličnim sustavima konkurencije. Ovi podaci uključuju intervju s konstrukcijskim i proizvodnim osobljem, kao i zaposlenih na održavanju, potom povratnu informaciju iz distribucije i primjene kao i podatke dobavljača. Jednom kad je odrađena priprema i na raspolaganju su svi potrebni podaci, može se početi s analizom sustava. Prvi je korak analiza strukture. Ona podrazumijeva podjelu sustava na komponente kojima će biti pridružene njihove funkcije. Analizu strukture moguće je provesti na nekoliko načina. Jedan od načina je prikaz strukture sustava pomoću dijagrama hijerarhijskog stabla. Primjer je dan na slici 4.1.

Sustav je hijerarhijskim stablom podijeljen na podsustave, podsustav . na sklopove, a oni pak na komponente. Rastavljanje treba početi na što je moguće višoj razini, te potom ići na niže. Do koje će dubine analiza sustava ići ovisi o ciljevima analize. Hijerarhijsko stablo koristi se kod geometrijskog pristupa analizi.



Slika 4.1. Hijerarhijsko stablo

Pouzdanost, ovisno o namjeni strojeva i uvjetima njihova rada, ima više značenja i svojstava kao primjerice rad bez kvarova, trajnost, prilagodljivost, pogodnost održavanja itd. Pouzdanost pojedinog stroja kao tehničke cjeline ili tehničkog sustava za sebe ovisi o pouzdanosti funkcioniranja njegovih sklopova, podsustava i dijelova, kao i o određenosti njihova međudjelovanja te odnosa i veza među njima. Pouzdanost je ključna sastavnica učinkovitosti tehničkih sustava (u ovom slučaju strojno-tehnoloških sustava prigradenju ili sustava građevinskih strojeva) kao osnovnog pokazatelja tehničke izdašnosti i tehničnosti, a time i ekonomičnosti tih sustava.

Prema tome, stroj može biti samo u dva stanja: *u kvaru ili u radu*.

Kvar znači potpuni otkaz stroja, odnosno njegova je radna sposobnost jednaka nuli čime je u potpunosti onemogućeno njegovo djelovanje. Posljedica je kvara ili otkaza dijelova ili sklopova stroja. Pri tome treba istaknuti da je svaki stroj kao tehnički sustav popravljiv (do izvjesne mjere ekonomičnosti takvog poravnjanja) za razliku od nepopravljivih sustava koji se još smatraju neodržanim sustavima.

Čimbenici ili utjecaji koji dovode do pojave kvarova strojeva kao

tehničkih sustava za sebe i njihovih dijelova (kao elemenata tih tehničkih sustava) mogu biti:

- sustavni (primjerice greške izrade, montaže i probnog rada strojeva odnosno tzv. «dječje bolesti stroja»)
- slučajni (pretežno iznenadni, uzrokovani promjenjivošću ili neprimjerenošću uvjeta rada stroja ili neprimjerenim postupanje sa strojem)
- postupni, vremenski neprekidni i dugotrajni (primjerice trošenje dijelova stroja, nereguliranost dijelova stroja itd.).

Za razliku od neispravnog stanja ili slučaja neispravnog stroja uzima se da je stroj u ispravnom stanju, odnosno ispravan („u radu“) kada:

- stroj ne radi iz pretežno organizacijskih ili logističkih razloga
- stroj radi sa smanjenim učinkom zbog djelomične tehničke neispravnosti koja bitno ne utječe na mogućnost njegovog djelovanja (primjerice neke vibracije, propuštanje vodova transmisije, nedostataka radnog alata itd.) uz napomenu da se ovaj slučaj može smatrati nekim oblikom tzv. djelomičnog otkaza stroja.

Učestalost kvarova ili neispravnog stanja stroja glavni je i općenito najrašireniji pokazatelj pouzdanosti rada strojeva. Pri tome se učestalost kvarova pojednostavljeno utvrđuje kao očekivani broj kvarova stroja u određenom razdoblju. To je statistička veličina do koje se dolazi na temelju istih pretpostavki prethodno navedenih kod uvodnog promišljanja pouzdanosti tehničkih ili tehnoloških sustava općenito, a uključuje sljedeće:

- Stroj može biti ili ispravan ili u kvaru.
- Stroj se, kao tehnički sustav, sastoji od dijelova koji također mogu biti ispravni ili u kvaru pri čemu kod strojeva potpuni kvar (otkaz) nekog bitnog dijela ili sklopa uglavnom znači kvar stroja kao cjeline.
- Stroj je tehnički sustav koji se održava odnosno popravljiva, što vrijedi i za njegove dijelove odnosno sklopove.
- Vrijeme djelovanja stroja do kvara bilo kojeg njegovog dijela, a time i njega kao cjeline, također je kontinuirana slučajna varijabla, što znači da do kvara može doći u bilo kojem trenutku.

Metode za određivanje pouzdanosti su:

- „a priori“ (prediktivna) metoda - pouzdanost sustava predviđa se unaprijed, tj. u fazi razvoja i projektiranja sustava i to na temelju poznavanja komponenti sustava i njihovih pouzdanosti
- „a posteriori“ metoda - pouzdanost sustava određuje se na temelju podataka dobivenih iz eksploatacije sustava. Ova metoda vrši verifikaciju „a priori“ metode te omogućava daljnju optimizaciju sustava.

Postupci za određivanje pouzdanosti su:

- analitički – postupak se temelji na poznavanju strukture procesa poznavanja kvarova pojedinih elemenata strojeva
- eksperimentalni - postupak se temelji na podacima dobivenim u laboratorijskim uvjetima ili u uvjetima eksploatacije
- simulacijski - postupak se temelji na računalnim simulacijama rada odnosno ispada sustava.

4.1. Pouzdanost elemenata sustava

Pouzdanost elemenata sustava (pri čemu element sustava može biti podsustav za sebe) bila bi *vjerojatnost* da će element obavljati zadaću, odnosno *učinkovito djelovati* u području dozvoljenih odstupanja pretpostavljene zadaće, koji je njemu namijenjen u planiranom vremenskom razdoblju i u pretpostavljenim (očekivanim) uvjetima okruženja sustava. Pojedinačni strojevi kao tehnički sustavi za sebe, ali i kao elementi strojno-tehnološkog sustava grupe strojeva, pretežno imaju (teorijski gledano) većim dijelom *rednu* strukturu sklopova i ostalih dijelova pa kvar jednog od njih onemogućava rad čitavog stroja.

U stroju su obuhvaćeni gotovi i ugradivi strojni dijelovi koji se u pravilu ne sastoje od većeg broja sastavnih dijelova (na primjer: vijci, matice, zatići, klinovi, osovine, vratila itd.). U širem smislu, obuhvaćeni su također i takvi ugradivi strojni dijelovi koji su sastavljeni od više sastavnih dijelova (na primjer: valjni i klizni ležaji, spojke, cijevna armatura itd.), slika 4.2.



Slika 4.2. Osnovni dijelovi stroja

Pouzdanost nekog dijela ili sklopa (kao elementa) pojedinog (popravljivog) stroja, a time i pouzdanost cjelokupnog stroja (kao tehničkog sustava za sebe i kao elementa njegova strojno-tehnološkog nad sustava) bila bi vjerojatnost (ili očekivanje) da će taj stroj u nekom trenutku (do nekog trenutka) vremena t djelovati (raditi), odnosno biti ispravan. Pouzdanost stoga ima sve veću ulogu, pogotovo u sektoru tehničkih proizvoda kao što su vozila, ručni alati ili potrošačka elektronika, gdje se zbog velikog broja funkcija, kao i složenosti njihovog izvršavanja, vrlo brzo utvrđuje stupanj pouzdanosti. Pouzdanost je teško mjerljiva veličina i potreban je dugi niz godina i veliki broj proizvoda koji izvršavaju svoje funkcije bez kvarova da bi kupci proizvode pojedinog proizvođača počeli smatrati pouzdanima. Ugled je vrlo teško steći, ali zato vrlo lako izgubiti. Dovoljna je jedna loša serija, blago povećanje reklamacija kupaca i povjerenje korisnika je izgubljeno. Stoga se pouzdanost proizvoda ne može prepustiti slučaju ili nadi kako će svi zaposleni na razvoju proizvoda imati dovoljno entuzijazma da usavršavaju proizvod čaki kad se naizgled čini gotov. Potreban je sustavan pristup povećanju kvalitete proizvoda uporabom inženjerskih metoda koje će omogućiti velikim razvojnim timovima usklađen i organiziran rad na kontinuiranom procesu unapređenja pouzdanosti proizvoda.

Prije nego što se definira problematična pouzdanost, potrebno je definirati samu pouzdanost. Pouzdanost proizvoda je karakteristika koja se odnosi na sposobnost proizvoda da vrši svoju funkciju ili funkcije u različitim uvjetima rada. Problematično pouzdanim proizvodom smatra se stoga

onaj proizvod koji neće moći vršiti svoje funkcije u onim uvjetima koji su očekivani tijekom eksploatacije proizvoda.

Kod održavanja strojeva niska pouzdanost uzrokuje kavrove i zastoje. Korisnik stroja, uređaja ili aparata želi pouzdan proizvod koji će mu poslužiti, tj. proizvod koji se neće tijekom uporabe kvariti. Proizvođač želi proizvesti stroj, uređaj ili aparat da obavlja svoju funkciju ostvarujući ciljeve tvrtke. Ti ciljevi obuhvaćaju: pružanje kupcu najkvalitetniji mogući proizvod, postizanje ugleda na području kojim se bave, omogućavanje korisnicima da svoje poslove odrade što je moguće efikasnije, a uz minimalne ili nikakve posljedice po zdravlje ljudi, ekološku uščuvanost okoliša, napredak čovječanstva ili pak potpomaganje smanjenja siromaštva u svijetu te unapređivanje svjetskog gospodarstva po principima održivog razvoja.

Neovisno o ciljevima koje svaka pojedina tvrtka navodi u svojim promotivnim materijalima, u suštini je konačni cilj svake poslovne organizacije maksimizirani profit. Gledano iz ove perspektive, dolazi se do jednostavnog zaključka zašto je niska pouzdanost proizvoda problem. Što je niža pouzdanost proizvoda, to su veći troškovi popravaka, zamjena i povlačenja proizvoda iz prodaje. Veći troškovi pak znače manji profit. Kako troškovi uzrokovani kvarovima, greškama u proizvodnji ili pogrešnom konstrukcijom proizvoda čine najznačajniju stavku u ukupnim troškovima neke proizvodne tvrtke, traženje načina da se poveća pouzdanost proizvoda rezultirat će smanjenjem troškova. Povećanje povjerenja kupaca u kakvoću ima pak lančani efekt i uzrokuje povećanje prodaje uslijed povećanja broja kupaca. Troškovi uzrokovani greškama na proizvodu počinju u proizvodnji s greškama u izradi dijelova i njihovom sklapanju te se nastavljaju preko krivog načina pakiranja i prijevoza, do otkazivanja tijekom eksploatacije i problema s recikliranjem. Iako uzroci ove greške mogu biti na samom mjestu gdje su se i dogodili, najveći je njihov broj uzrokovan tijekom procesa konstruiranja. Dodatna je otežavajuća okolnost da se većina pogrešaka neće otkriti prije konačnog ispitivanja ili početka eksploatacije. Greške će stoga zbog kasnog otkrivanja uzrokovati izrazito velike troškove (tablica 4.1.). U praksi se pak pokazalo da je provođenjem određenih mjera uz minimalna ili nikakva dodatna ulaganja moguće postići veću kvalitetu proizvoda i time smanjiti troškove. Općenito će povećanje kvalitete ostvareno povećanjem pouzdanosti proizvoda ipak tražiti dodatna ulaganja. S većim ulaganjem sredstava postiže se veća kvaliteta. Ovakav pristup ima svoju granicu, tj. kod određenog će se stupnja

postignute kvalitete postaviti pitanje opravdanosti daljnjeg ulaganja. Ta granica nije fiksna u smislu apsolutne količine sredstava, ali može se zaključiti da se ulaganje u daljnje povećanje kvalitete neće isplatiti u onom trenutku kad potrebna sredstva za povećanje pouzdanosti premašuju troškove i gubitke uzrokovane nezadovoljstvom korisnika. Kad sep ostigne taj optimum ostvaruje se maksimalni profit. Bitno je napomenuti da se načini otkazivanja definiraju kao nemogućnost zauzimanja nekog od operativnih statusa svake pojedine komponente. Kao i kod funkcija koje pojedina komponenta može vršiti, tako je moguće izraditi i tablicu mogućih načina otkazivanja (tablica 4.1.).

Tablica 4.1. Tablica mogućih načina otkazivanja

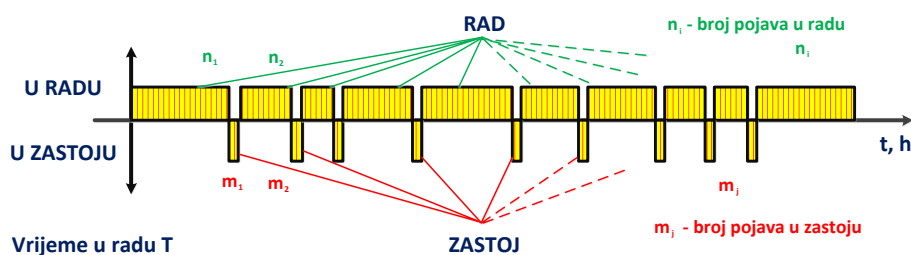
1	Otkazivanje konstrukcija (pucanje)	17	Nedovoljan protok
2	Fizičko spajanje ili zagrijavanje	18	Pogrešan završetak
3	Vibracije	19	Ne staje
4	Ne ostaje u položaju	20	Ne započinje
5	Ne otvara se	21	Ne izmjenjuje se
6	Ne zatvara se	22	Prerana operacija
7	Otkazuje otvoreno	23	Zakašnjela operacija
8	Otkazuje zatvoreno	24	Pogrešan ulaz (povećan)
9	Unutarnje curenje	25	Pogrešan ulaz (smanjen)
10	Vanjsko curenje	26	Pogrešan izlaz (povećan)
11	Pogrešne tolerancije (previsoke)	27	Pogrešan izlaz (smanjen)
12	Pogrešne tolerancije (preniske)	28	Gubitak ulaza
13	Neželjena operacija	29	Gubitak izlaza
14	Isprekidana operacija	30	Nema napajanja (električnog)
15	Nagla operacija	31	Ostaje pod napajanjem (električnim)
16	Pogrešan početak	32	Gubitak napajanja
33	Drugi načini otkazivanja zahtjeva za rad ili radnih uvjeta ovisno o karakteristikama sustava		

Pouzdanost se analizira uzimajući u obzir prethodno vrijeme korištenja sustava, tj. specifično vrijeme trajanja aktivnosti uz korištenje na propisan način pod specifičnim nivoom opterećenja i u svrhu za koju je namijenjeno. Pouzdan uređaj se rijetko kviri, ali ne mora biti kvalitetan uređaj (npr. televizor), jer kvaliteta osim pouzdanosti obuhvaća sigurnost, ekonomičnost i funkcionalnost.

Posebno važni faktori pri procjeni pouzdanosti, funkcionalnosti i ekonomičnosti su radni uvjeti sustava. **Radni uvjeti** podrazumijevaju vanjske i unutrašnje uvjete rada, ali i specificirane zahtjeve sustava (radni uvjeti za koje je sustav projektiran i izrađen), te posebno radne uvjete sustava (kapacitet i dr.). **Vanjski** radni uvjeti podrazumijevaju okolišne uvjete u kojima sustav radi (temperatura, vlaga, vibracije, prašina, slanost itd). Radni uvjeti sustava od posebnog su značenja kod analize ekonomičnosti i pouzdanosti. Očito je da se ne može uspoređivati ekonomičnost dvaju sustava ako je jedan od njih projektiran za teške okolišne uvjete (rad u vlažnoj, prašnoj i korozivnoj sredini), a drugi, s istom funkcijom, za rad u kontroliranim i kondicioniranim uvjetima. Slično tome, ne može se uspoređivati pouzdanost dvaju sustava od kojih je jedan projektiran za teške uvjete rada (za teške okolišne uvjete i naglo promjenljiva opterećenja) i pouzdanost sustava koji nije projektiran za teške uvjete rad, a u njima radi.

4.2. Značajke pouzdanosti

Na slici 4.3. prikazan je dijagram sustava u radu i zastoju



Slika 4.3. Dijagram pojava u radu i zastoju

Vrijeme u radu T_{ur}

Ukupno vrijeme $T_{ur} = \sum_{i=1}^n t_{uri}, h$

Srednje vrijeme $T_{ur_sred} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{uri}}{n}, h$

Srednje kvadratno odstupanje (varijanca) $\sigma_{ur}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{uri} - T_{ur_sred})^2}{n}, h$

Vrijeme u zastoju T_{uz}

Ukupno vrijeme $T_{uz} = \sum_{j=1}^m t_{uzj}, h$

Srednje vrijeme $T_{uz_sred} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{uzj}}{m}, h$

Srednje kvadratno odstupanje (varijanca) $\sigma_{uz}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (t_{uzj} - T_{uz_sred})^2}{m}, h$

Pouzdanost $R(t)$

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n}$$

n - ukupan broj pojava u radu ili ukupan broj elemenata u trenutku $t=0$
 $N(t)$ - ukupan broj stanja ili elemenata u zastoju do trenutka t ;
 $n(t)$ - ukupan broj stanja u radu ili ukupan broj ispravnih elemenata do trenutka t .

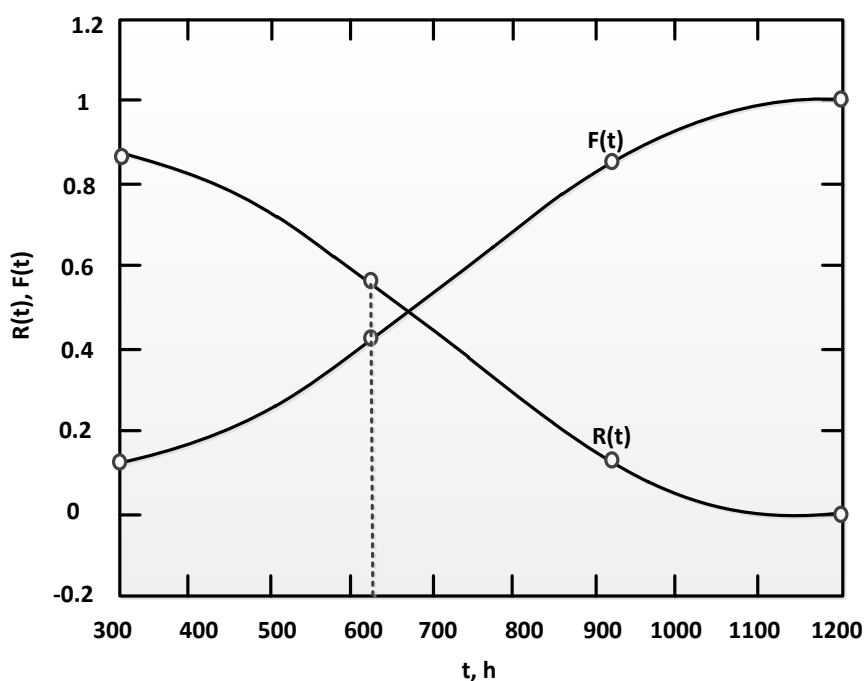
Nepouzdanost $F(t)$

Nepouzdanost je vjerojatnost pojave kvara u nekom određenom vremenskom razdoblju

$$F(t) = \frac{N(t)}{n} = 1 - R(t)$$

Zbroj vjerojatnosti pojava u radu $R(t)$ i zastoju $F(t)$ uvijek je jednak jedinici

$$F(t) + R(t) = 1$$



Slika 4.4. Tipične krivulje pouzdanosti $R(t)$ i nepouzdanosti $F(t)$

Učestalost $f(t)$

Funkcija gustoće kvarova je učestalost kvarova jedne komponente za bilo koje vrijeme

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n \cdot \Delta t}, h^{-1}$$

gdje je $\Delta(t)$ je širina intervala

$$\Delta(t) = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log(n)}, h^{-1}$$

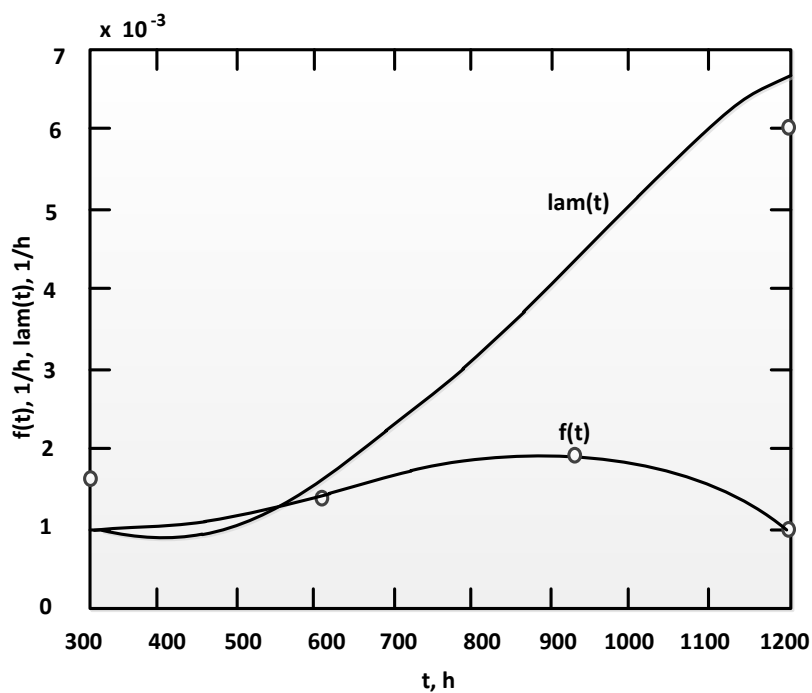
$t_{\min}$ - vrijeme pojave prvog zastoja (često je $t_{\min} = 0$ zbog početka mjerenja)

$t_{\max}$ - vrijeme posljednje pojave zastoja.

Intenzitet $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{\frac{n(t - \Delta t) + n(t)}{2} \cdot \Delta t}, h^{-1}$$

Na slici 4.5. prikazana je krivulja u čestalosti i intenziteta kvarova.

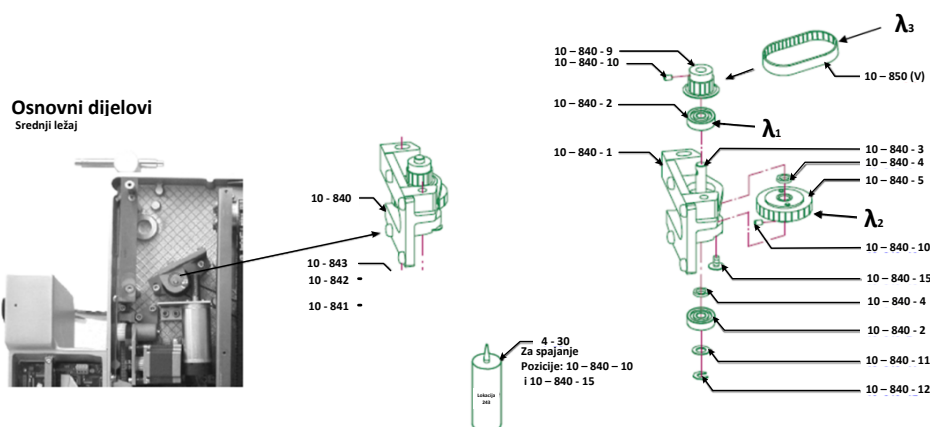


Slika 4.5. Tipične krivulje učestalosti $f(t)$ i intenziteta $\lambda(t)$

4.3. Analiza pouzdanosti sustava

Složeni tehnički sustavi

Složeni sustavi objedinjavaju veći ili manji broj sastavnih elemenata (podsustava, sklopova, podsklopova, dijelova) te se o njihovoj pouzdanosti može govoriti samo ako se analiziraju i analitički obuhvate svi elementi zasebno (slika 4.6.). Elementi, kao dio opreme ili sustava, mogu biti u operaciji pod različitim uvjetima (katkada ekstremnim). Sposobnost sustava da pravilno funkcionira ovisi o sposobnosti pojedinih komponenti da opstanu u radu, ili drugim riječima, o njihovoj pouzdanosti. Za analizu i izračun pouzdanosti sustava koriste se različiti matematički modeli koji daju vezu između pouzdanosti sustava i pouzdanosti njihovih elemenata.



Slika 4.6. Složeni sustav

U praksi nailazimo na sljedeće veze: serijsku, poluserijsku, paralelnu, poluparalelnu i sustave sa sklopom.

Sustavi sa serijskom vezom

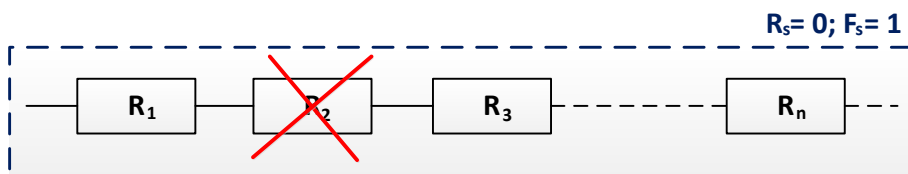
Elementi sustava sa serijskom vezom su povezani u serijski spoj, a kvar bilo kojeg elementa u spoju ima za posljedicu zastoj (kvar) cijelog sustava. Može se istražiti pouzdanost složene naprave koja se sastoji od više komponenta poznate pouzdanosti, što je prikazano na slici 4.7., jednaka je:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_i^n R_i$$

gdje je R_s pouzdanost sustava, a R_i pouzdanost i -te komponente sustava ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Ako se pretpostavi da su pouzdanosti pojedinih elemenata međusobno jednake $R_i = R$, tada je:

$$R_s = (1 - F)^n = R^n$$

gdje je n broj jednakih elemenata u sustavu, F_i – nepouzdanost pojedinog elementa.

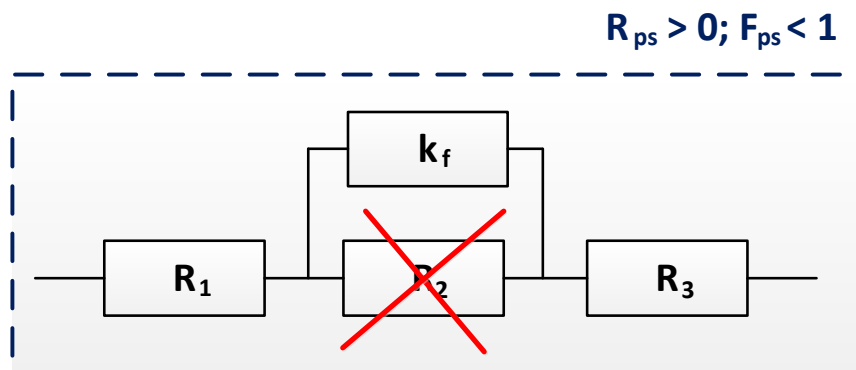


Slika 4.7. Sustav sa serijskom vezom

Kod sustava sa serijskom vezom kvar jedne komponente prouzroči kvar cijelog sustava. Pouzdanost sustava se može povećati ako se povećava pouzdanost pojedine komponente.

Sustavi s poluserijskom vezom

Kod sustava s “poluserijskom” vezom kada kvar jednog ili više element sustava nema za posljedicu zastoja cijelog sustava već sustav i dalje radi, ali s pogrešnim značajkama (slika 4.8.). Serijskoj vezi je dodan fiktivni element k_f .



Slika 4.8. Sustav s poluserijskom vezom

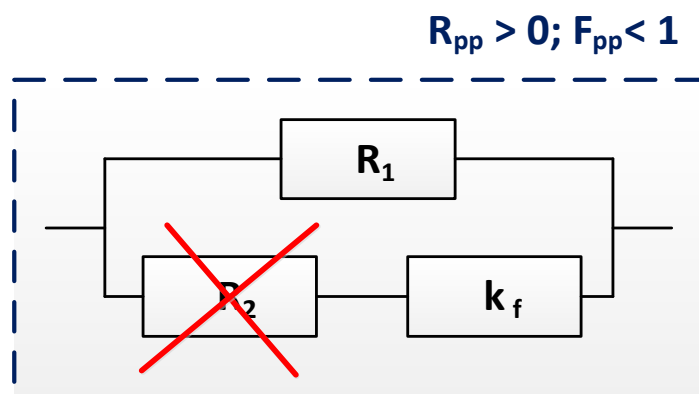
Pouzdanost sustava s poluserijskom vezom, prema slici 4.8. jednaka je:

$$R_{ps} = R_1 \cdot [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - k_f)] \cdot R_3$$

gdje je k_f faktor umanjenja pouzdanosti nekog elementa sustava kada on radi kako bi trebao.

Sustavi s paralelnom vezom

Pouzdanost sustava s paralelno vezanim komponentama uvijek je veća od pouzdanosti najpouzdanije komponente, dok je kod sustava sa serijski vezanim elementima, i ako se radi o komponentama relativno visoke pouzdanosti, pouzdanost niska. Kod sustava s paralelnom vezom elementi su povezani u paralelni spoj, a kvar bilo kojeg elementa u spoju nema za posljedicu zastoj (kvar) cijelog sustava (slika 4.9.). Do kvara sustava dolazi samo onda kada otkazu svi elementi sustava.



Slika 4.9. Sustav s paralelnom vezom

Pouzdanost sustava s paralelnom vezom jednaka je:

$$R_{pp} = 1 - F^n = 1 - (1 - R)^n$$

Ako je pouzdanost svih elemenata međusobno jednaka ($R_i = R$), tada je

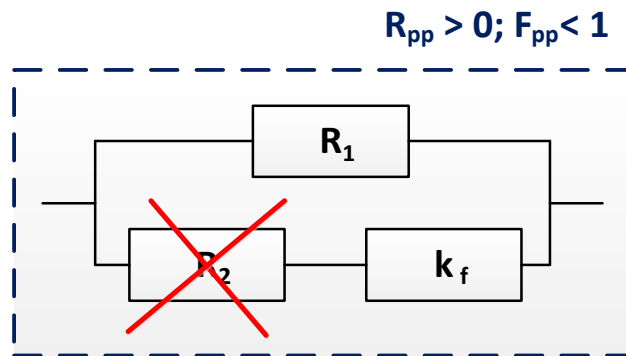
$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

gdje je n broj elemenata u spoju, R_i pouzdanost pojedinog elementa i F_i nepouzdanost pojedinog elementa.

Sustavi s poluparalelnom vezom

Kod sustava s poluparalelnom vezom elementi su povezani u polupara-

Ielnu vezu kada kvar jednog ili više elemenata sustava nema za posljedicu zastoј cijelog sustava već sustav i dalje radi, ali s pogrešnim značajkama (slika 4.10.).



Slika 4.10. Sustav s poluparalelnom vezom

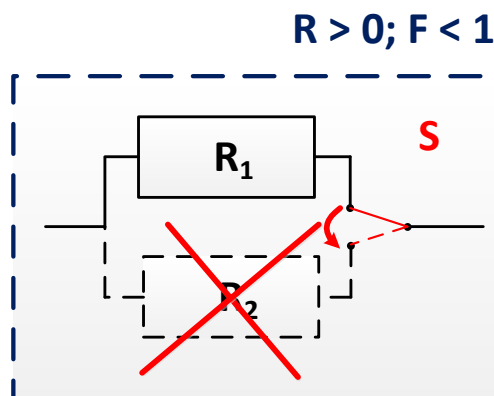
Funkcija pouzdanosti za ovaj sustav može se dobiti preko jednadžbe

$$R_{pp} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2 \cdot k_f)$$

gdje je k_f faktor umanjenja pouzdanosti nekog elementa sustava kada on ne radi kako bi trebao.

Sustavi sa sklopom

Kod sustava sa sklopom elementi su povezani u paralelnu vezu kod kojeg kvar jednog elementa izaziva automatsko uključivanje sklopke S te sustav radi dalje bez zastoja (slika 4.11.).



Slika 4.11. Sustav sa sklopom

U idealnom stanju sustava sklopka se uključuje kada treba te je funkcija pouzdanosti

$$R_{ss} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2 \cdot k_f)$$

Kod realnog stanja sustava uzimaju se tri slučaja:

- element 1 radi ispravno, sklopka se aktivira prijevremeno i element 2 otkazuje
- element 1 otkazuje i sklopka otkazuje
- element 1 otkazuje, sklopka se propisno aktivira, ali element 2 otkazuje.

Pouzdanost sustava sa sklopom funkcija pouzdanosti je:

$$R_{ps} = 1 - (R_1 \cdot Q'_s \cdot Q_2 + Q_1 \cdot Q_s + Q_1 \cdot R_s \cdot Q_2)$$

gdje je:

R_1 - pouzdanost elementa 1;

$Q_1 = 1 - R_1$ - nepouzdanost sklopke u serijskoj vezi s elementom 1

$Q_2 = 1 - R_2$ - nepouzdanost sklopke u serijskoj vezi s elementom 2

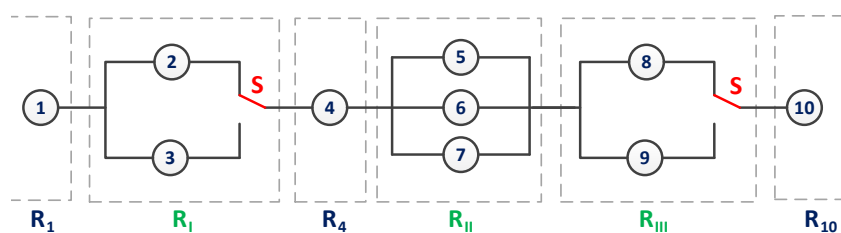
Q_s - vjerojatnost (nepouzdanost) uključivanja sklopke

Q'_s - vjerojatnost (nepouzdanost) prijevremenog uključivanja sklopke

$R_s = 1 - Q_s$ - pouzdanost sklopke u trenutku uključivanja.

Složeni sustavi

Serijski i paralelno vezane komponente predstavljaju strukturu složenog sustava (slika 4.12.).



Slika 4.12. Složeni sustav

Funkcija pouzdanosti može se lako odrediti uz pomoć ranije danih izraza, a prikazana je formulom:

$$R_s = R_1 \cdot R_I \cdot R_4 \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{10}$$

gdje je:

$$R_I = 1 - (R_2 \cdot Q'_s \cdot Q_3 + Q_2 \cdot Q_s + Q_2 \cdot R_s \cdot Q_3)$$

$$R_{II} = 1 - (1 - R_5) \cdot (1 - R_6) \cdot (1 - R_7) = 1 - Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7$$

$$R_{III} = 1 - (R_8 \cdot Q'_s \cdot Q_9 + Q_8 \cdot Q_s + Q_8 \cdot R_s \cdot Q_9)$$

Primjer 1.

Odrediti pouzdanost sustava prikazanog na slici ako su zadane sljedeće veličine:

$$R_1 = 0.79 \quad R_5 = 0.60 \quad R_9 = 0.10$$

$$R_2 = 0.68 \quad R_6 = 0.65 \quad R_{10} = 0.95$$

$$R_3 = 0.88 \quad R_7 = 0.80 \quad R_s = 0.87$$

$$Q_4 = 0.42 \quad Q_8 = 0.34$$

Vjerojatnosti da se sklopka uključi prije vremena: $Q' = 0.00015$.

Napomena: računati na 5 decimala.

Rješenje:

$$\begin{aligned} R_I &= 1 - (R_2 \cdot Q'_s \cdot Q_3 + Q_2 \cdot Q_s + Q_2 \cdot R_s \cdot Q_3) = \\ &= 1 - (0.68 \cdot 0.00015 \cdot 0.12 \cdot 0.32 \cdot 0.13 + 0.32 \cdot 0.87 \cdot 0.12) = 0.92498 \end{aligned}$$

$$Q_2 = 1 - R_2 = 1 - 0.68 = 0.32$$

$$Q_3 = 1 - R_3 = 1 - 0.88 = 0.12$$

$$R_{II} = 1 - (1 - R_5) \cdot (1 - R_6) \cdot (1 - R_7) = 1 - Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 = 1 - [0.4 \cdot 0.35 \cdot 0.2] = 0.972$$

$$\begin{aligned} R_{III} &= 1 - (R_8 \cdot Q'_s \cdot Q_9 + Q_8 \cdot Q_s + Q_8 \cdot R_s \cdot Q_9) = \\ &= 1 - (0.66 \cdot 0.00015 \cdot 0.1 + 0.34 \cdot 0.13 + 0.34 \cdot 0.87 \cdot 0.1) = 0.92621 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_s &= R_1 \cdot R_I \cdot R_4 \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{10} = \\ &= 0.79 \cdot 0.92498 \cdot 0.58 \cdot 0.972 \cdot 0.92621 \cdot 0.95 = 0.36248 \end{aligned}$$

Kako se može izračunati prava vjerojatnost?

Primjer 1: Kako se određuje vjerojatnost nekog događaja?

U pokusu bacanja novčića znamo da je prava vjerojatnost da će pasti glava 0,5. Ako izvršimo pokus bacanja novčića:

a) 10 puta i dobijemo 3 puta glavu, 7 puta pismo,

Zaključak je da će procijenjena vjerojatnost biti glava na osnovi pokusa 0,3.

b) 100 puta i dobijemo 42 puta glavu, 58 puta pismo,

Zaključak je da će procijenjena vjerojatnost biti glava na osnovi pokusa 0,42 što je bliže pravoj vjerojatnosti.

Što više bacanja izvršimo, procijenjena vjerojatnost se približava pravoj vjerojatnosti. Procjena vjerojatnosti na osnovu malog broja pokusa je nesigurna.

Prava vjerojatnost P ili statistička vjerojatnost je granična vrijednost relativnih frekvencija neke pojave kada broj zastupljenosti te pojave teži beskonačnosti:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} \quad (1)$$

n - sveukupni broj pokusa

m - broj povoljnih ishoda pojave.

4.4. Pouzdanost s obzirom na slučajne varijable

Ako se gledaju komponente, pouzdanost se može definirati kao pokazatelj koji označava vjerojatnost koliko će komponenta od ukupnog njihovog broja ostati ispravnim (uporabljivim) za jedno određeno vrijeme rada. Vrijeme do kvara je kontinuirana slučajna varijabla koja prima vrijednosti od 0 do ∞ koristeći se funkcijama gustoće vjerojatnosti i kumulativne vjerojatnosti koji opisuju distribuciju vjerojatnosti slučajne varijable, a može se izvesti i izraz za pouzdanosti u funkciju vremena $R(t)$. Ako se kvar dogodi u vremenu od 0 do t , za funkciju kumulativne distribucije slijedi:

$$F(A) = \int_0^t \gamma \cdot f(s) \cdot ds \quad (2)$$

Za funkciju nepouzdanosti $Q(t)$, odnosno vjerojatnosti pojave kvara, vrijedit će isti izraz kao u jednadžbi (2). Pouzdanost u funkciji vremena $R(t)$ je vjerojatnost da do kvara neće doći, pa stoga za ove dvije funkcije vrijedi:

$$Q(t) + R(t) = 1 \quad (3)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t \gamma \cdot f(s) \cdot ds \quad (4)$$

$$R(t) = \int_{-\infty}^0 f(s) \cdot ds - \int_0^t f(s) \cdot ds \quad (5)$$

Iz jednadžbi 3, 4 i 5 dobit će se izraz za pouzdanost u funkciji vremena:

$$R(t) = \int_t^{-\infty} \gamma \cdot f(s) \cdot ds \quad (6)$$

Funkcija gustoće kvarova $f(t)$ jest funkcija koja prikazuje učestalost kvarova jedne komponente za bilo koje vrijeme.

$$f(t) = \frac{d(R(t))}{dt} \quad (7)$$

Indeks kvarova je u svako vrijeme t jednak gustoći kvarova $f(t)$ podijeljen pouzdanošću $R(t)$ uz uvjet da su uzete za isto vrijeme t . Iz izraza (7) slijedi:

$$\frac{d(R(t))}{dt} = -\lambda \cdot R(t) = -\lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (8)$$

tj. za funkciju gustoće vjerojatnosti ili distribuciju vremena do kvara slijedi eksponencijalna funkcija:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (9)$$

Iz izraza (9) dobiva se funkcija pouzdanosti:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (10)$$

Ovo je jednadžba pouzdanosti za uređaj s konstantnim indeksom kvarova ili indeksom slučajnih kvarova (*chancefailures rate*)-vrijedi samo za razdoblje od početnih kvarova do razdoblja dotrajalosti.

Primjer:

Uređaj ima korisni vijek trajanja od 1000 sati i $Z = 0,0001$ na sat. Kolika je njegova pouzdanost za bilo kojih 10 sati unutar 1000 sati?

Vjerojatnost da uređaj neće iznevjeriti za cijelo vrijeme korisnog vijeka trajanja od 1000 sati je:

Vjerojatnost da neće iznevjeriti bilo koje razdoblje od 10 sati unutar korisnog vijeka trajanja je:

$$R = e^{-0,0001 \cdot 10} = e^{-0,001} = 0,9990 = 99,9\%$$

Tako uređaj ima 90 % izgleda da će „doživjeti” 1000 sati, računajući od trenutka kada je pušten u rad. No ako „doživi” 990-i sat, onda su njegovi izgledi da prebrodi posljednjih 10 sati (od 990 do 1000) ponovo 99,9 %, odnosno $R = 0,999$.

Npr. ako sustav ima 100 istih komponenti, nakon vremena MTBF ,svoga njih 37 će biti ispravnih, a ostalih 63 će zakazati prije isteka vremena MTBF.

Ako jedan sustav treba imati pouzdanost od 0,99 za 1 sat rada, onda MTBF mora biti 100 sati. Takav bi sustav za 10 sati rada imao pouzdanost od 0,905.

Kod održavanja tehničkog stanja sustava usvaja se razina pouzdanosti, a izražava se pokazateljima pouzdanosti. Može se izabrati intenzitet kvara (Z) kao pokazatelj pouzdanosti jer je pogodan za usporedbe analize i ima informacije o tehničkom stanju sustava koji se promatra.

Intenzitet kvara izračunava se prema izrazu

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR}{dT}$$

Rješavanjem jednadžbe (1) po $R(t)$ i $f(t)$ dobiva se

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}$$

Ove dvije jednadžbe daju vezu između intenziteta kvara i funkcije pouzdanosti, odnosno gustoće funkcije razdiobe.

Imajući u vidu izraze (1), (2) i (3) funkcija intenziteta kvara dana izrazom (1) može imati oblik

$$\lambda(t) = \frac{N_2(\Delta t)}{[N \cdot (t - \Delta t)] \cdot \Delta t}$$

Izraz za funkciju intenziteta kvara (4) može se primijeniti u slučaju bilo koje funkcije gustoće kvara, a odnosi se na prekidne promjene i može se izraziti kao

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR}{dT}$$

Intenzitet kvara može se izračunati i preko srednjeg vremena između kvarova T_{uk} :

$$\lambda(t) = \frac{1}{\bar{T}_{uk}}$$

Srednje vrijeme „u kvaru” određuje se prema

$$\bar{T}_{uk} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{uk}(i)}{m}$$

gdje je m broj pojava „u kvaru”.

Važnost funkcije intenziteta kvara je u tome što ona pokazuje promjenu intenziteta kvara tijekom vijeka trajanja tehničkog sustava. Na primjer, dva tehnička sustava mogu imati istu pouzdanost u određenom trenutku vremena, ali se intenziteti kvarova do tog trenutka vremena mogu razlikovati.

5. FUNKCIJA KVALITETE I ZAŠTITA NA RADU

Kvaliteta, kakvoća (engl. *quality*) je vrlo frekventno upotrebljavan izraz i to za opis svojstva bilo čega, ali bez preciznijeg određenja sadržaja i opsega pojma. U tehničkoj i ekonomskoj praksi pojam kvalitete je, za razliku od kolokvijalnog i često nejasnog opsega i sadržaja pojma, bitno ograničen na razinu kao izraz mjere komponenata kvalitete. Kvaliteta tehničkog sustava je razina ostvarenja radne aktivnosti sustava. Kvaliteta sustava se definira kao skup svih radnih svojstava sustava koji određuju parametre upotrebljivosti uzimajući u obzir radne uvjete i potrebno vrijeme rada. Komponente kvalitete tehničkih sustava su:

- odgovornost
- pouzdanost
- ekonomičnost
- sigurnost.

Navedene značajke predstavljaju *klasične značajke* opreme, a karakteristika im je da su u stalnoj interakciji pri čemu određuju i osnovna pravila ponašanja opreme. Svaka od ovih značajki ima i svoju definiciju:

- **Funkcionalnost** opreme predstavlja zapravo ostvarivanje zahtijevane kvalitete opreme u samoj konstrukciji, pri čemu su projektanti ti koji određuju stupanj funkcionalnosti. Često se govori o projektiranoj i ostvarenoj funkcionalnosti, pri čemu je naravno ona ostvarena uvijek nešto manja.
- **Tehnološkičnost** opreme predstavlja ostvarivanje kvalitete opreme tijekom njezine proizvodnje, a tehnološkičnost je ona oprema koja zahtijeva kraće vrijeme izrade, jeftiniju opremu, manje materijala, jeftiniji materijal, jednostavnije operacije itd.
- **Eksploataбилnost** opreme predstavlja ostvarivanje kvalitete opreme tijekom njene uporabe (eksploatacije).

Osiguranje kvalitete usluga i proizvoda može se promatrati samo u sklopu općih uvjeta poslovanja. Poznata svjetska poduzeća svoju uspješnost baziraju na pojmu kvalitete ponašanja, rada, proizvoda i usluga.

To im je poslužilo kao baza kada su osvajali tržišta. Zahvaljujući tim poduzećima i privredama njihovih zemalja došlo je do naglog proširenja, a to znači do usvajanja, u području normizacije.

Određivanje kvalitete opreme, osim na osnovu navedenih klasičnih kriterija, može se vršiti i na osnovi suvremenih kriterija koje danas predstavljaju odlučujući faktor pri izboru odgovarajućih tehničkih sustava. Suvremene značajke su:

- pouzdanost
- raspoloživost
- pogodnost za održavanje
- efektivnost
- funkcionalna podobnost i druge.

Hrvatska norma HRN EN 13306 nudi definicije pojedinih suvremenih značajki tehničkih sustava.

Pouzdanost predstavlja sposobnost elementa da zahtijevanu funkciju izvodi u zadanim uvjetima unutar zadanog vremenskog intervala.

Raspoloživost predstavlja sposobnost elementa da bude u stanju obavljati traženu funkciju pod danim uvjetima u danom vremenu ili tijekom danog vremenskog intervala, pod pretpostavkom da su osigurani potrebni vanjski izvori (slika 5.1).

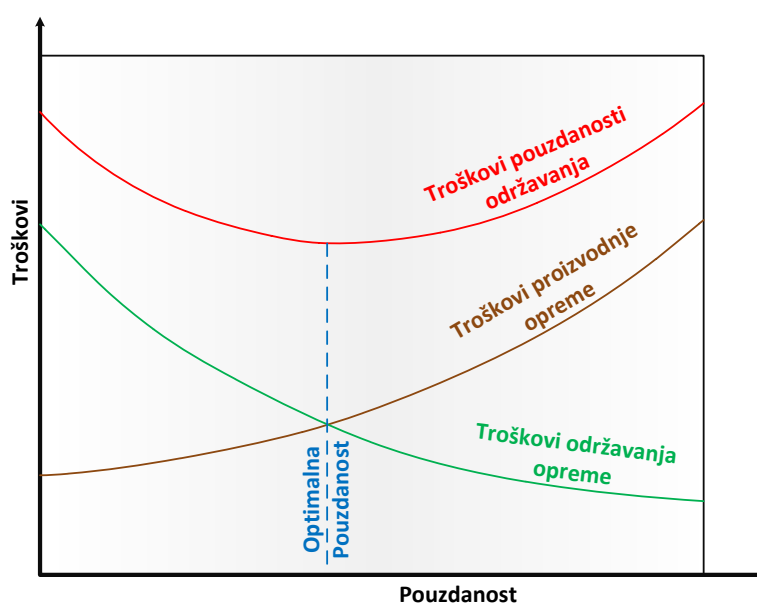
Pogodnost za održavanje predstavlja sposobnost nekog elementa da se pod danim uvjetima uporabe održi ili vrati u stanje u kojem može zahtijevanu funkciju, te označava obavljanje održavanja pod danim uvjetima korištenjem navedenih postupaka i sredstava.

Ekonomičnost održavanja ovisi o troškovima zastoja i troškovima održavanja. Ekonomično održavanje je takvo održavanje u kojemu je zbroj troškova održavanja i troškova zastoja najniži. Iz dijagrama na slici 5.1. vidi se da premalo održavanja uzrokuje česte zastoje u proizvodnji i povećava troškove zastoja, a da previše održavanja uzrokuje povećanje troškova održavanja. Najniži ukupni troškovi određuju (determiniraju) ekonomično održavanje.

Efektivnost opreme je izvedena veličina iz drugih značajki koja označava vjerojatnost uspješnog stupanja u rad opreme te obavljanje tog rada u određenom vremenu i uvjetima. Efektivnost se izračunava putem formule:

$$E = AxRxFP$$

Pri tome je (*A*) raspoloživost, (*R*) pouzdanost, a (*FP*) funkcionalna podobnost opreme.



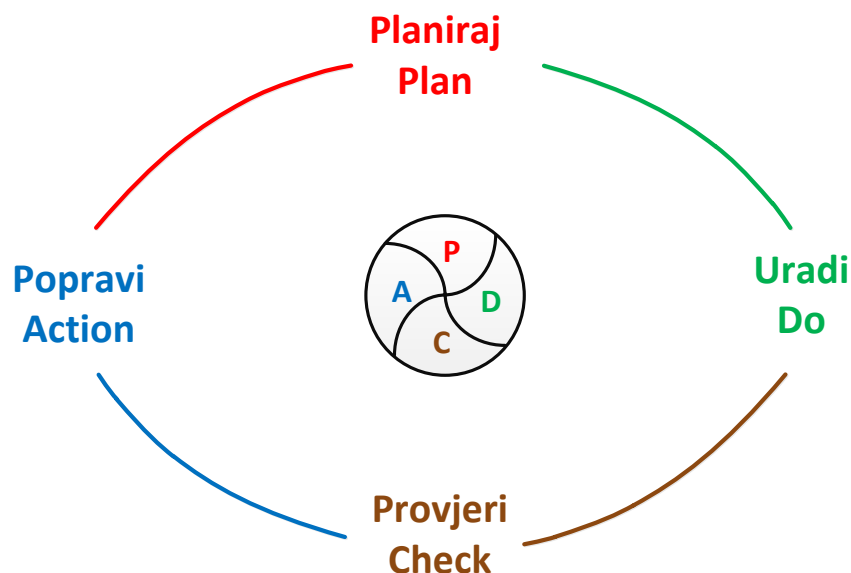
Slika 5.1. Veza između troškova i raspoloživosti opreme

Ovaj pokazatelj uzima u obzir ukupno vrijeme zastoja uzrokovano kvarom dijela opreme ili postrojenja te ga gleda u kontekstu ukupnih zastoja. Ukupno vrijeme u zastoju predstavljaju zastoji radi održavanja, nabave, prijevoza, pa čak i oni uzrokovani vanjskim dobavljačem. Prednost mu je da identificira je li kvar ili neplanirani zastoj stvarni problem postrojenja. Nedostatak mu je taj da ne određuje ispravnu klasifikaciju zastoja i ne traži precizne podatke.

Općenito, uvažavajući različitost u normizaciji, kao i različitost u području normi sustava kvalitete, potrebno je usmjeravanje na isticanje bitnih zahtjeva u zaštitih zdravlja, sigurnosti, zaštiti okoline i zaštiti potrošača. Na slici 5.2. prikazana je metodologija poznata kao (**PDCA**) - „Planirati - Uraditi - Provjeriti - Popraviti” i ista se može primijeniti na sve procese. PDCA znači:

- **Planirati:** uspostaviti ciljeve i procese neophodne za postizanje rezultata u skladu s zahtjevima kupca i politikom organizacije.
- **Uraditi:** primijeniti procese.
- **Provjeriti:** nadgledati procese i proizvod prema politikama, ciljevima i zahtjevima za proizvod i izvještavanje o rezultatima.
- **Popraviti:** poduzimati akcije za stalno poboljšanje parametara procesa.

PDCA se promatra kao kompleksna struktura sastavljena iz više elemenata ili podataka koji se prepliću u svim fazama u kojima je aktivnost *planiranja* dominantna jer uzrokuje i usmjerava sve ostale aktivnosti.



Slika 5.2. PDCA petlja

Organizacija mora upravljati ovim procesima u skladu s zahtjevima međunarodnog standarda. Postoje slučajevi da organizacija odluči da neko drugi obavi bilo koji proces koji utječe na usklađenost proizvoda sa zahtjevima te u takvim situacijama organizacija mora osigurati kontrolu nad takvim procesima. Znači da će kontrola takvih procesa biti identificirana unutar sustava upravljanja kvalitetom. Gore navedeni procesi, potrebni za sistem upravljanja kvalitetom, trebaju uključiti procese za aktivnosti upravljanja, snabdijevanje resursima, realizaciju proizvoda i mjerenje.

Kako bi djelatnost održavanja mogla u punoj mjeri doprinijeti povećanju profita tvrtke, produktivnosti, nesmetanom tijeku proizvodnje, pouzdanosti, raspoloživosti te sveukupnoj kvaliteti, ona je prepoznata i prihvaćena kao integralna komponenta proizvodne strategije, neizostavan i bitan dio sveukupnog plana stvaranja vrijednosti putem izrade proizvoda za krajnjeg korisnika, zahtijevane kvalitete, u dogovorenom roku i prihvatljive cijene.

Autor knjige Armand V. Feigenbaum „Total Quality Control” navodi deset pravila o principima sustava kvalitete kako slijedi:

1. Kvaliteta je sustavan proces u radnoj organizaciji

Kvaliteta nije tehnička djelatnost, posebno odjeljenje u radnoj organizaciji ili znanstveni program. To je sustavno povezan proces usmjeren prema kupcu koji mora biti potpuno i strogo proveden u cijeloj organizaciji te povezan s dobavljačima.

2. Kvaliteta je ono što kupac kaže da je kakvoća

Kvaliteta je ono što inženjer ili trgovac kažu da je kvaliteta. Želite li nešto saznati o kvaliteti svojih proizvoda, pitajte kupca. Nitko ne može statističkim istraživanjem ublažiti kupčevu frustraciju ako na primjer automobil pušta vodu.

3. Kvaliteta i trošak se zbrajaju a ne odbijaju

To su partneri a ne suparnici, a njihova povezanost je najbolji put do dobro izrađenog proizvoda ili brze i jeftine usluge. Kvaliteta je osnovna poslovna strategija i izuzetna prilika.

4. Kvaliteta zahtijeva individualni i timski rad

Kvaliteta je posao u kojem sudjeluju svi, ali bez jasne unutarnje organizacije koja podjednako podupire individualan i timski rad. Čest problem više pokušaja poboljšanja kvalitete krije se u činjenici da su gotovi programi nepovezane jedinice unutar procesa proizvodnje.

5. Kvaliteta je način upravljanja i rukovođenja

Dobro rukovođenje znači stalno pretvaranje ideja rukovodioca u djelatnost svih radnika u tvrtki. Iako se često misli suprotno, kvaliteta nije privilegija nekog zemljopisnog ili kulturnog identiteta. Takvo je razmišljanje temeljeno na umjetno stvorenim mitovima.

6. Kvaliteta i inovacija su međusobno ovisne

Ključ za uspješno lansiranje nekog proizvoda krije se u kvaliteti proizvoda od samog početka njegovog nastajanja. Od presudne je važnosti zadobivanje pozitivnog stava kupca prema novom proizvodu.

7. Kvaliteta je etička vrijednost

Težnja savršenstvu (samopouzdanje da je u redu ono što radite) je najjača ljudska motivacija i osnovni poticaj u programu poboljšanja kvalitete. Program poboljšanja kvalitete zasnovan isključivo na elaboratima ili skicama nije dovoljan.

8. Kvaliteta zahtijeva kontinuirano usavršavanje

Kvaliteta je pokretna meta koja se stalno uspinje. Kontinuirano usavršavanje je ulazna crta koja integralno povezuje sve programe kvalitete u tvrtki. Ostvariva je samo ako obuhvaća sve zaposlenike u radnoj organizaciji i sve njihove dobavljače. U slikovitoj usporedbi, programi poboljšanja kvalitete čine svojevrsni trening za sve zaposlenike.

9. Kvaliteta je najisplativija s najmanje upotrijebljenog kapitala, a to je najbrži put prema produktivnosti

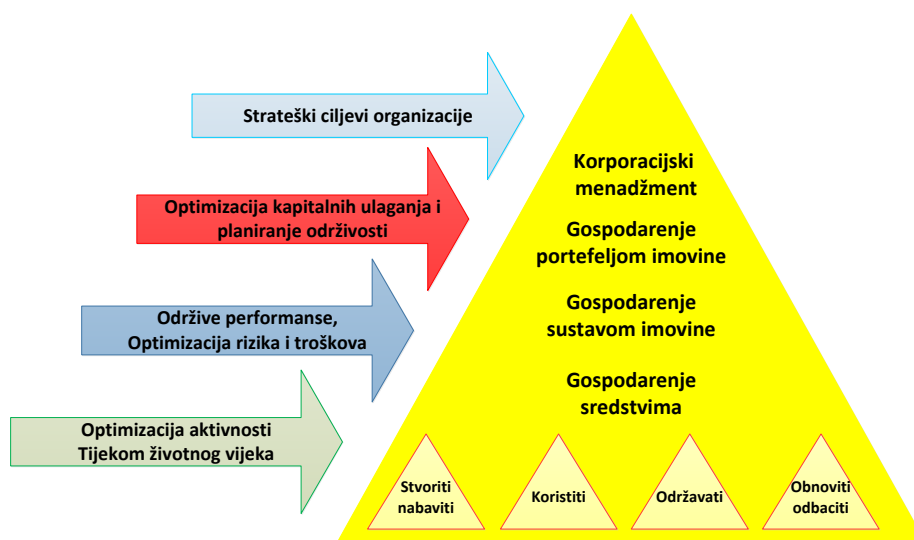
Najveće svjetske kompanije uspjele su zasjeniti konkurente kada su se koncentrirale na eliminaciju loših pogona. Oni su primijenili na poznatom konceptu Fredericka Taylora, koji je u cijelosti opisan s riječju VIŠE, a potom s riječi DOBRO, a zatim nastavili s primjenom novih informacija i pravilnim biranjem tehnologije.

10. Kvaliteta je dostižna samo kao kompletan sustav povezan s kupcem i dobavljačem

Ustrojena i beskompromisna primjena sustava metodologije rada u poboljšanju kvalitete glavna je karakteristika kojom se odlikuje uspješno rukovodstvo. Tehnička opremljenost nije osnovni element kvalitete u radnoj organizaciji.

6. ORGANIZACIJA I INFORMATIZACIJA ODRŽAVANJA

Organiziranje je proces uređivanja resursa (ljudi, materijala, tehnologije itd.) kako bi se postigle strategije i ciljevi organizacije. Način na koji se različiti dijelovi organizacije formalno uređuju naziva se organizacijska struktura. To je sustav koji uključuje međusobno djelovanje ulaznih i izlaznih podataka. Karakterizira se dodjelom zadataka, radnim tijekom, odnosima i komunikacijskim kanalima koji zajedno povezuju rad različitih pojedinaca i grupa. Svaka struktura mora dodijeliti zadatke kroz podjelu rada i olakšati koordinaciju rezultata učinka. Međutim, ipak ne postoji jedna najbolja struktura koja ispunjava potrebe svih okolnosti. Organizacijske strukture bi se trebale promatrati kao dinamičke cjeline koje se kontinuirano razvijaju kako bi odgovorile na promjene tehnologije, procesa i okoline (slika 6.1.).



Slika 6.1. Strateški ciljevi organizacije

Definiranje procesa održavanja sastoji se od definiranja njegove organizacijske strukture i nadležnosti i definiranja programa održavanja za svaku vrstu tehničkih sustava. Kod organizacijske strukture održavanja treba voditi računa o sadržaju i trajanju održavanja, o mjestu izvođenja radova, potrebnoj kvalifikacijskoj strukturi radne snage, o sredstvima (oprema, dokumentacija, prostor, rezervni dijelovi) te o troškovima održavanja.

Razlike između tradicionalne organizacijske kulture u održavanju i nove, koja mora nastati prikazane su u tablici 6.1. Da bi se ostvarile ove promjene potrebno je od 5 do 8 godina. Osnovno je napuštanje orijentacije s neposrednih i kratkoročnih ciljeva i orijentacije ka dugoročnim ciljevima, a neophodna je i odgovarajuća promjena kadra. To podrazumijeva i bolju motivaciju kadra. Jasno je da se pokazatelji uspješnosti poboljšavaju s primjenom novih pristupa. U isto se vrijeme mijenja i sustav nagrađivanja, motivacijski mehanizmi i karakteristike ponašanja zaposlenih. Tako se, na primjer, u reaktivnom okruženju smatra da se nikada ne zna što je sljedeći posao, a ljudi postaju „heroji“ ako znaju brzo otkloniti kvar.

Tablica 6.1. Razlike između tradicionalne i suvremene organizacije održavanja

Staro	Novo
Orijentacija na popravke	Orijentacija na pouzdanost
Popraviti	Unaprijediti
„Gašenje požara“	Predvidjeti, planirati, programirati akciju
Majstor	Član poslovnog tima
Rješavati otkaze	Eliminirati otkaze
Smanjiti troškove održavanja	Povećati vrijeme u radu
„Akcija program mjeseca“	Kontinuirano unapređivanje
Vjervanje da su otkazi neizbježni	Vjervanje da su otkazi samo izuzeci
Prioritet se daje otkazima	Prioritet se daje eliminiranju uzroka otkaza
Mnogo otkaza	Svega nekoliko otkaza
Nizak udio planskih otkaza	Visok udio planskih otkaza
Mnogo reklamacija	Malo reklamacija
Niska pouzdanost	Visoka pouzdanost
Visoki troškovi održavanja	Niski troškovi održavanja
Kratkoročni planovi	Dugoročni planovi
Neprofitni karakter	Privlači investicije

6.1. Ciljevi i odgovornosti organizacije održavanja

Cilj svake dobro organizirane i upravljanje funkcije održavanja poslovnih sustava je zadržavanje niske razine troškova koja čini zbroj troškova radnika na održavanju, troškova materijala i rezervnih dijelova te troškova koji nastaju kao proizvodni gubici, zbog zaustavljanja proizvodnog procesa ili smanjenog obujma istog, uslijed nastalih kvarova ili redovitog remonta (slika 6.2.). Ostvarivanje ovog cilja ovisi prvenstveno o pravilnom inicijalnom izboru sredstva za rad, a cjelokupnu je problematiku moguće sumirati u izreci „kupi jeftino - kupi dvaput”.



Slika 6.2. Organizacija održavanja kao funkcija procesa upravljanja

Elementi ili faktori koji utječu na organizaciju održavanja i njezin položaj u pogonu/cijeloj organizaciji su:

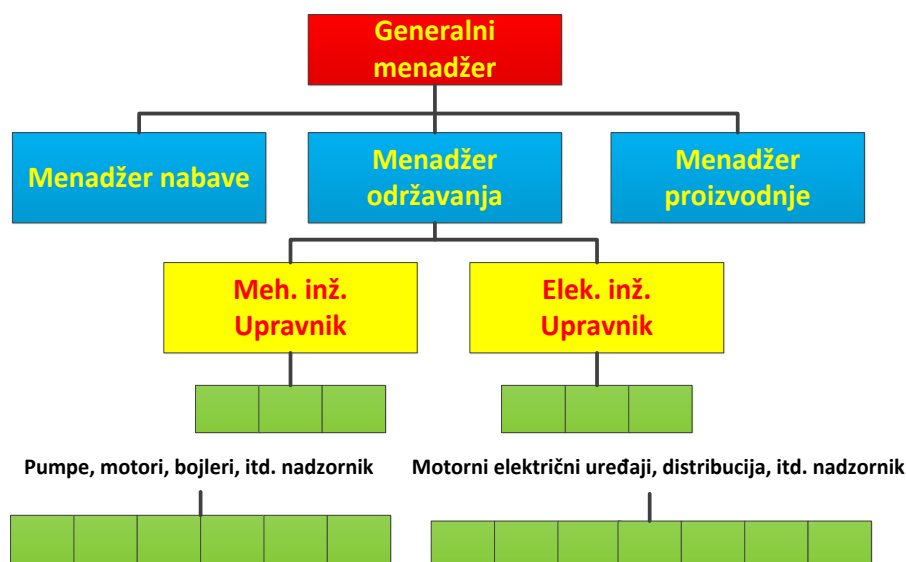
- vrsta poslovanja (npr. je li to visoka tehnologija, laboratorij, proizvodnja ili usluge)

- ciljevi koji uključuju maksimiranje profita, povećanje tržišnog udjela i druge društvene ciljeve
- veličina i struktura organizacije
- kultura organizacije
- područje odgovornosti dodijeljeno održavanju.

Radne organizacije nastoje postići jedan ili nekoliko sljedećih ciljeva: maksimiranje profita, specifičnu razinu kvalitete usluga ili proizvoda, minimiziranje troškova, sigurnu i čistu okolinu ili razvoj ljudskih resursa.

6.2. Konstrukcija organizacije održavanja

Organizacija održavanja je podložna čestim promjenama zbog nesigurnosti i želje za izvrsnošću održavanja (slika 6.3.). Promjene organizacije održavanja stvara nove pravce odgovornosti i smjerove novih dostignuća na području organizacije u odnosu na dostignuća prijašnje strukture. Zato se stručnjaci moraju prilagoditi novim ulogama. Za osnivanje organizacije održavanja, potreban je postupak koji zadovoljava faktore koji utječu na učinkovitost organizacije. Kompetencije i kontinuirano poboljšavanje trebali bi biti odlučujući aspekti koji utječu na izvedbu organizacije.



Slika 6.3. Organizacijska struktura održavanja

6.3. Osnovni tipovi organizacijskih modela

Da bi se dosljedno ostvarile sposobnosti koje se gore navode, trebaju se razmotriti tri vrste organizacijskih struktura:

■ **Centralizirano održavanje** - sve struke i povezane funkcije održavanja podnose izvještaje rukovoditelju centralnog održavanja. Prednosti ove strukture suda omogućuju ekonomiju razmjera (obujma), dubinski razvoj vještina, te to da odjeli (npr. služba održavanja) postignu svoje funkcionalne ciljeve (ne ukupne organizacijske ciljeve). Ova je struktura najpovoljnija za mala i srednja poduzeća. Slabosti ove strukture su: vrijeme reakcije na promjene okoline je sporo, može uzrokovati kašnjenja u donošenju odluka, što znači duže vrijeme reakcije, uzrokuje slabu horizontalnu koordinaciju između odjela i uključuje ograničenje organizacijskih ciljeva.

■ **Decentralizirano održavanje** - sve struke i osoblje za održavanje podnose izvještaje operativnom sektoru ili područnom održavanju. Prednosti ove strukture su da omogućuje da organizacija postigne prilagodljivost i koordinaciju u proizvodnim jedinicama i učinkovitost u centraliziranoj jedinici za popravke i olakšava učinkovitu koordinaciju kako unutar samog odjela za održavanje tako i u drugim odjelima. Slabosti ove strukture su da sadrži potencijal prekomjerne administracije i može uzrokovati sukobe između odjela.

■ **Matrična struktura** je oblik hibridne strukture. Struke se dodjeljuju proizvodnim jedinicama ili područnom održavanju i funkciji centralnog održavanja koja obuhvaća cijeli pogon ili organizaciju. Prednost je ove strukture da omogućuje da organizacije postignu koordinaciju koja je potrebna da se ispune dvostruki zahtjevi okoline i fleksibilnog udjela ljudskih resursa. Slabost je ove strukture da uzrokuje da tehničari za održavanje imaju dvije razine nadređenosti što može biti frustrirajuće i zbunjujuće te može zahtijevati mnogo vremena i česte sastanke kao i sastanke za rješavanje problema i sukoba. Da bi se ispravile ove slabosti, potrebna je uprava koja potiče dobre međuljudske odnose i ekstenzivno podučavanje.

6.4. Važnost organizacije održavanja

Dobar organizacijski pristup održavanju temelji se na modelu upravljanja održavanjem kod kojega se izvori nesigurnih događaja mogu pratiti unutar „normalnog” održavanja kroz organizaciju i politiku održavanja. Ovaj se pristup može primijeniti u različitim tehnologijama za vođenje istraživanja nesreća i nadziranja mjera prevencije.

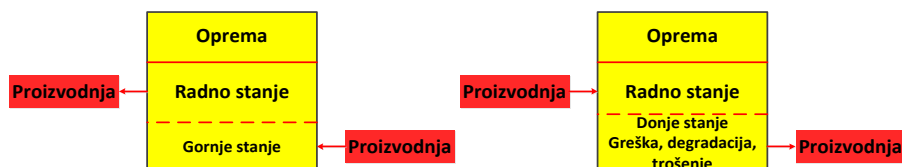
Niz nesreća može zato početi na razini politike održavanja. Ova skrivena stanja neispravnosti stroja se kasnije prenose duž organizacijskih putova do stvarnih uvjeta održavanja. Ovim se organizacijskim pristupom smatra se da su radovi na održavanju kritični za zdravlje i sigurnost radnika na održavanju zbog ekološkog, tehničkog, organizacijskog i vremenski povezanog konteksta. Štoviše, ovaj pristup u obzir uzima različite dimenzije vezane za kontekst, pa se tako može uzeti u obzir da održavanje također može biti kritično za druge radnike, naročito za korisnike opreme ili poslužitelje u proizvodnji.

Slika 6.4. prikazuje:

- da održavanje i funkcije proizvodnje imaju isti objekt, npr. opremu ili instalacije
- da neposredni ciljevi mogu biti različiti (funkcija za proizvodnju, isključenje zbog održavanja), ali i doprinositi zajedničkom cilju
- da su ove dvije funkcije međusobno ovisne: s jedne strane, optimalno održavanje opreme doprinosi optimalnoj proizvodnji, a s druge strane, rad opreme modificira karakteristike opreme i one zato određuju radove na održavanju.

Ovi odnosi između funkcija održavanja i proizvodnje objašnjavaju:

- zašto se neki događaji mogu povezati s nedostacima održavanja, kao što su nedovoljno, neodgovarajuće ili prekasno održavanje. Oprema ili instalacija mogu postati opasni za radnike na održavanju ili u proizvodnji ako se održavanje ne provodi dovoljno često
- zašto se druge nesreće mogu povezati s radom opreme, npr. uređaji za daljinsko upravljanje mogu doprinijeti tome da se osoblje na održavanju nađe u opasnim situacijama (kada uređaji nisu u optimalnom stanju)
- zašto nesreće mogu proizlaziti iz zajedničkog djelovanja radnika u proizvodnji i osoblja za održavanje (npr. popravci tijekom rada uređaja).



Slika 6.4. Funkcionalni odnosi između održavanja i proizvodnje

Iz toga se razloga moraju postaviti neka pitanja koja se odnose na sigurniju organizaciju održavanja, kao što su:

- Podržava li poduzeće dovoljno modifikacije organizacije održavanja?
- Kako se zadaci na održavanju stvarno dodjeljuju različitim poslužiteljima (radnici u proizvodnji, interno ili vanjsko osoblje na održavanju)?
- Je li dodjela zadatka održavanja poznata svakom radniku?
- Susreću li se i poznaju li se različiti radnici međusobno?
- Koja su sredstva koordinacije njihovih različitih radnji?
- Kako su organizirane njihove dotične djelatnosti?
- Je li stvarni vremenski raspored (raspored rada) za različite operacije dobro poznat različitim radnicima?
- Može li ovaj operativni raspored rada dovesti do situacija međusobnog djelovanja?
- Tko su sugovornici internog održavanja u tvrtki?
- Tko prati djelatnosti koje obavljaju vanjski radnici održavanja?
- Tko se može kontaktirati ako se dogodi nepredviđen događaj kod radova na održavanju?

Cilj analize je bolje razumijevanje organizacije održavanja u tvrtki tako da se promatraju stvarne situacije kako bi se shvatile koje su posljedice za zdravlje i sigurnost poslužitelja i kako bi se postiglo da su takve djelatnosti sigurne.

Ove su nezgode omogućile da se provede detaljno proučavanje u pogledu održavanja zrakoplova i utjecaja ljudskih aktivnosti na dinamiku nesreća. Ovo je istraživanje obuhvatilo 12 najčešćih uzroka, tzv. „rizičnih dvanaest“ (tablica 6.2.) grešaka koje čine tehničari na održavanju.

Tablica 6.2., Dvanaest rizičnih i njihove mreže sigurnosti

Dvanaest rizičnih	Sigurnosne mreže
1. Nedostatak komunikacije (verbalne ili pisane komunikacije ili njihova kombinacija)	a) koristiti dnevnike, radne listove i dr. za komunikaciju i odstranjivanje sumnji b) raspravljati o radu koji se treba obaviti ili koji je završen c) nikada ništa ne pretpostavljati
2. Samozadovoljstvo Nesiguran uzrok koji zbog neprekidnog ponavljanja kod mnogih inspekcija održavanja može uzrokovati ili doprinijeti pogrešnoj prosudbi.	a) vježbati pronaženje grešaka b) nikada ne potpisati nešto što niste učinili
3. Nedostatak znanja To je čest uzrok pogrešne prosudbe. Kada se poveže sa stavom „mogu učiniti „koji ima većina radnika na održavanju, postaje još vjerojatniji.	a) vježba b) koristiti najnovije priručnike održavanja c) pitati nekoga tko zna
4. Rastresenost (dekoncentracija) Ovaj uzrok se smatra odgovornim za oko 15 % svih grešaka kod održavanja. Netko napusti zadatak (fizički i/ili mentalno) iz bilo kojeg razloga i vrati se misleći da je i dalje u tijeku sa zadatkom nego što zapravo jest.	a) uvijek završiti posao ili rastaviti spoj b) označiti nezavršeni posao c) Osigurati što je moguće ili zatvoriti. d) nakon povratka na posao, vratiti operacije unatrag e) koristiti detaljni kontrolni list
5. Nedostatak timskog rada Ovaj je uzrok često povezan s nedostatkom komunikacije, ali može biti odgovoran za veće greške. Dobar timski rad je bitan kod održavanja koje uključuje veći broj radnika.	a) raspraviti što i kako se posao mora obaviti i tko ga treba obaviti b) treba biti siguran da su svi sve razumjeli i složili se sa zadatkom
6. Umor To je vrlo često uzrok jer, dok ne postane ekstrem, ljudi obično nisu svjesni da su umorni. Oni su čak manje svjesni kakve bi mogle biti posljedice umora.	a) budite svjesni simptoma i tražite ih u sebi i drugima b) izbjegavajte složene zadatke na dnu svojeg biološkog sata c) spavajte i redovito fizički vježbajte d) zamolite druge da provjere vaš rad
7. Nedostatak dijelova Nije važno kome radnici na održavanju podnose izvještaj. Ima razdoblja kada postoji nedostatak dijelova i kada se mora donijeti odluka- prizemljiti zrakoplov ili ne.	a) kontrolirati sumnjiva područja na početku pregleda b) naručiti i spremati potrebne dijelove prije nego se zahtijevaju c) poznavati sve raspoložive izvore dijelova i srediti udruživanje ili posuđivanje d) održavati standard i u slučaju sumnje prizemljiti zrakoplov

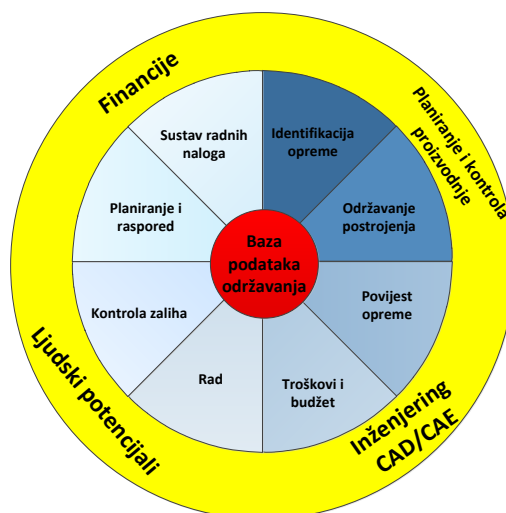
Dvanaest rizičnih	Sigurnosne mreže
8. Opterećenje Samo mali broj poduzeća ima veće konstantno opterećenje za izvršenje zadatka. Iznimna je sposobnost prepoznati kada to opterećenje postaje prekomjerno ili nerealistično.	a) biti siguran da sami ne izazivamo opterećenje b) priopćiti svoje probleme c) zatražiti posebnu pomoć d) treba znati reći ne
9. Nedostatak kvalificiranog stava Nedostatak kvalificiranog stava često dovodi do neuočavanja greški. To može izazvati posljedice u radnom procesu.	a) ako nije kritično, evidentirati u dnevniku rada i potpisati samo što se može servisirati. b) odbiti povredu normi
10. Stres Stres utječe na radni učinak. Pod stresom radnik teže razumije problem u radnom procesu.	a) biti svjestan koliko stres može utjecati na vaš rad b) prekinuti i racionalno razmatrati problem c) odrediti racionalni tijek radnje i slijediti ga d) uzeti slobodno vrijeme ili kratku stanku e) raspraviti s nekime f) zamoliti kolegu da nadzire vaš rad g) baviti se tjelovježbom
11. Nedostatak angažiranosti To se često događa vrlo iskusnim tehničarima na održavanju koji ne razmišljaju o mogućim posljedicama rada koji obavljaju. Određeni propust se ne može obuhvatiti uputama o rukovanju, već ga treba racionalno riješiti	a) razmisliti što se može dogoditi u slučaju nesreće b) kontrolirati je li vaš rad u suprotnosti postojećoj modifikaciji ili popravku c) pitati druge mogu li uočiti problem s obavljenim radom
12. Norme Ovaj zadnji uzrok je značajan. Većina ljudi želi biti dio gomile. Norme se razvijaju unutar takvih grupa koje diktiraju ljudsko ponašanje.	a) uvijek raditi prema uputama ili ih izmijeniti b) imati na umu da „norme” to ne uređuju

Osnovni zadaci projektiranja automatizacije informacijskih sustava je ocjenjivanje sadašnjeg nivoa informatizacije poslovnih funkcija u poduzeću, kako bi se na osnovi analize tijeka informacija, materijala i opreme predložile varijante prelaska s klasičnog tipa informacijskog sustava na automatizirani informacijski sustav, u cilju integriranja svih relevantnih podataka u poduzeću i omogućavanja upravljanja radnim procesima, predviđanjima rezultata i podizanjem cjelokupne organizacije

rada i tehnologije obrade informacija na viši nivo. Ovakav pristup daje i mogućnosti izbora opreme korisniku kao i značajke za korisnika svake varijante po kriterijima:

- budućeg razvoja
- cijene informatizacije
- tehnologije i komfora u radu
- povezivanja i selektiranja informacija
- brzine pristupa informacijama
- cijene rada i održavanja
 - potreba i zauzetosti kapaciteta računalne opreme po fazama uvođenja.

Količina informacija o održavanju je izuzetno velika, stoga je računalni informacijski sustav neophodan i nezamjenjiv. Tipični je CMMS (*Computer Maintenance Management System*) najčešće podijeljen na module (slika 6.5.). Svaki modul predstavlja određenu funkciju poduzeća. Svi podaci o aktivnostima prethodno provedenima na opremi, planiranju resursa, rasporedu i planiranju poslova preventivnog i korektivnog održavanja, te jamstvu i sukladnosti, moraju biti dokumentirani i kontrolirani. Cijeli program se temelji na zaokruženom ciklusu koji počinje sa zahtjevom, a završava s analizom nabave i kontrole zaliha. Obuhvaćen je cjelokupni plan održavanja, od identificiranja potreba do analize finaliziranih poslova.



Slika 6.5. Moduli informatičkog sustava

Implementacijom ovog programskog rješenja olakšan je pristup cjelokupnoj dokumentaciji o opremi, doknadnim dijelovima te ostalim materijalnim i ljudskim potencijalima. Ujedno, omogućeno je bolje iskorištenje resursa u proizvodnji i održavanju te lakše planiranje aktivnosti radnika u održavanju. Informacije pohranjene u bazi podataka informacijskog sustava namijenjene su za pomoć osoblju održavanja kako bi svoj posao obavljali što brže i efikasnije. CMMS je, uz svu svoju efikasnost i neophodnost, danas izuzetno skup. Cijena će ovisiti o tome što se njime želi postići te na kojoj hardverskoj platformi će se pokretati. Troškovi implementacije znatno će narasti uzme li se u obzir prilagodba tvrtke, povezivanja s drugim sustavima, tečajevi, konzultantske usluge, te dodatna oprema, npr. printeri. Ti se troškovi moraju opravdati kroz buduće poboljšanje produktivnosti i efikasnosti održavanja. Što bi CMMS trebao učiniti da unaprijedi održavanje? Kvarovi i njihovo trajanje uvelike ovise o programu održavanja koji treba biti ispravno razvijen, raspoređen i izvršen. Minimiziranje vremena stajanja opreme radi inspekcije, popravaka i remonta zahtijeva raspored i koordinaciju rada i doknadnih dijelova. Učinkovit menadžment podataka ima utjecaj na veličine izlaza. Prvi pokazatelj performansi preventivnog održavanja ukazuje na utjecaj koji program preventivnog održavanja ima na cjelokupno postrojenje. Fokus mu je na onome što se samim programom želi eliminirati, a najčešće su to kvarovi i lomovi opreme.

Zastoji radi loma

Ukupni zastoji

Upravljanje procesom vrši se radi postizanja (optimalnog) cilja procesa, a na osnovu prijema, prijenosa, obrade i korištenja informacija. Osnovni zadatak upravljanja je zaštita sustava i održavanje njegovog kontinuiteta od vanjskih i unutarnjih negativnih utjecaja. Zadatak upravljanja sustavom preventivnog održavanja sastoji se u postizanju optimalnog nivoa tehničkog stanja i eksploatacijske pouzdanosti koji osiguravaju maksimalnu efikasnost (pouzdanost) funkcioniranja tehničkih sustava. Ostvaruje se po zatvorenoj shemi informacijskog međusobnog djelovanja upravljanja objektom i upravljanja sustavom. Informacijski sistem direktno utječe na povećanje efikasnosti procesa tehničke eksploatacije putem iskorištenja statističkih podataka oradu tehničkog sustava u proteklom razdoblju. Ovo upućuje na potrebu stvaranja jedinstvenog informacijskog sustava koji bi odgovarao usvojenom skupu pokazatelja efikasnosti

procesa tehničke eksploatacije, ali bi obavezno zadovoljio opće zahtjeve vezane za informaciju o pouzdanosti rada toga sustava. Informacijski sustav u održavanju mora biti uveden putem sustavnog pristupa, to znači sa zadržavanjem hijerarhijskog oblika strukture procesa tehničke eksploatacije i kompleksnog karaktera analize njegove efikasnosti, slika 6.6.



Slika 6.5. Temeljne funkcije računalne potpore održavanju

Kako je osnovni cilj informacijskog sustava održavanja izvršenje svih radova održavanja, za to su potrebne informacije o postojećem radu, kao na primjer:

- potrebe izvršilaca i njihova obuka i usavršavanje
- terminiranje svih potreba i aktivnosti
- određivanje mjesta rada (pogon, radionica i slično)
- vrste poslova
- potrebne specijalne ispitne stanice, laboratoriji, radionice
- potrebni alat, pribor, instrumenti, prijenosna i prijevozna sredstva
- drugi pomoćni aparati
- potrebni materijali i rezervni dijelovi
- sistem koordinacije poslova i slično.

Informacijski sustav održavanja, osim toga, komunicira s dijelovima informacijskog sustava proizvodnje (nabava, prodaja, kadrovski poslovi, proizvodnja, financijski odjeli i slično).

7. TEROTEHNOLOGIJA I MENADŽMENT U ODRŽAVANJU

7.1. Uvod

Terotehnologija je znanstvena disciplina (grč. terein - brinuti se, tehne - vještina i logos - znanost) koja istražuje metode i zakonitosti menadžmenta trajnih materijalnih sredstava ili tehničkih poslovnih sredstava tijekom njihovog vijeka trajanja. Definicija terotehnologije u Britanskim Normam (BS) glasi: „Terotehnologija je kombinacija menadžmenta, financiranja, inženjeringa, izgradnje i drugih disciplina primijenjenih na fizička poslovna sredstva poduzeća s aspekta ekonomičnosti troškova tijekom njihova korisnog vijeka trajanja.” Najčešće spomenutu definiciju prate i dvije napomene kako bi se bolje ilustrirao namjeravani opseg terotehnologije a to su:

1. Terotehnologija se bavi specifikacijom i dizajniranjem za pouzdanost i održivost fizičkih poslovnih sustava poduzeća, kao što su tvornice, strojevi, oprema, zgrade i postrojenja. Ona uzima u obzir i cjelokupni proces instalacije, komisije, uporabe održavanja, modificiranja i zamjene sustava. Odluke su uvjetovane povratnim informacijama o dizajnu, radnim značajkama (ili performansama) i troškovima tijekom cijelog životnog vijeka projekta.
2. Terotehnologija se podjednako odnosi i na sredstva i na rezultate proizvodnje jer proizvod jednog poduzeća često postaje sredstvo drugog poduzeća.

Aktivnosti terotehnologije obuhvaćaju sve organizirane poslove koji započinju izradom studije izvodljivosti, projektiranja, potrebe financiranja, proizvodnje, nabave, montaže, puštanja u probni rad, nadzor u garancijskom periodu, te ekološko raspremanje i odlaganje.

Aktivnosti izrade studije izvodljivosti, organizacije i provedbe financiranja, projektiranja, proizvodnje, nabave, montaže i puštanja u probni rad zajednički obuhvaća *komisija sustava*. Nadalje, aktivnosti

nadzora u garantnom razdoblju, pogon i održavanje obuhvaća *eksploatacija sustava*. Poslove prestanka radne aktivnosti, ekološke raspreme i odlaganja zajednički nazivamo *dekomisija* sustava.

Korištenjem menadžerskih metoda i tehnika u razdoblju komisije, eksploatacije i dekomisije sustava upravlja se troškovima životnog vijeka sustava.

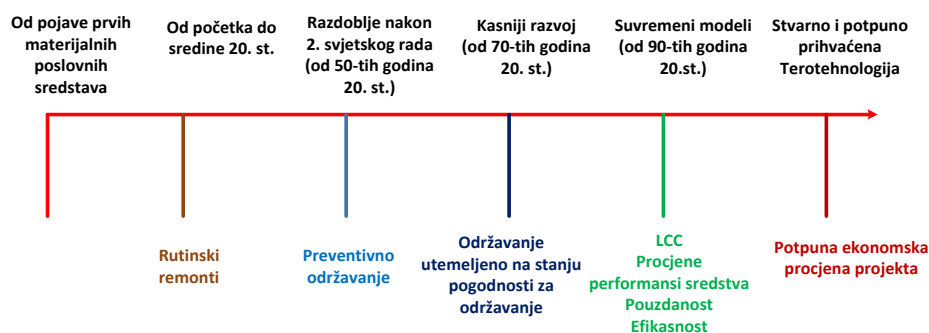
Terotehnološki sustav obuhvaća upravljanje:

1. dizajnom (dizajniranje sredstava sa željenim operativnim karakteristikama i karakteristikama održavanja)
2. nabavom (izbor najpovoljnijeg proizvođača i/ili dobavljača)
3. financijama (kontrola i nadzor troškova i odlučivanje na temelju povratnih informacija)
4. ljudskim potencijalima (izbor kadrova, te razvoj i provođenje programa usavršavanja operativnog osoblja i radnika na održavanju)
5. operacijama (uvođenje operacijskih tehnika kojima se smanjuju zastoji i unaprijeđuje skrb poslovnog sustava).

Analiza održavanja tehničkih sustava podrazumijeva niz postupaka potrebnih za sprječavanje pojava stanja u zastoju, odnosno vraćanje sustava iz stanja zastoja u operativno stanje. Međutim, životni ciklus tehničkog sustava počinje od trenutka kada se pristupi njegovom projektiranju. Od projekta pa sve do otpisa sustava poduzimaju se mjere da bi se postigla odgovarajuća spremnost sustava. Zbog visokih troškova održavanja počelo se koristiti koncept terotehnologije s ciljem optimizacije troškova održavanja u životnom ciklusu. Terotehnologija primjenjuje multidisciplinarni pristup kojim se osiguravaju optimalni troškovi životnog ciklusa poslovnih sustava i obuhvaća upravljanje sustavom od njegovog stvaranja do odlaganja ili preraspoređivanja. Slika 7.1. prikazuje razvoj filozofije i metoda održavanja sve do uvođenja terotehnološkog koncepta.

Cilj svake dobro organizirane i upravljane funkcije održavanja poslovnih sustava je zadržavanje niske razine troškova radnika na održavanju. Tu su uključeni troškovi materijala i rezervnih dijelova te troškovi koji nastaju kao proizvodni gubici. Gubici nastaju zbog zaustavljanja proizvodnog procesa ili smanjenog obujma istog uslijed nastalih kvarova ili redovitih remonta. Smanjivanje gubitaka ovisi o pravilnom inicijalnom izboru sredstava za rad, a cjelokupnu problematiku je moguće sumirati u izreci „kupi

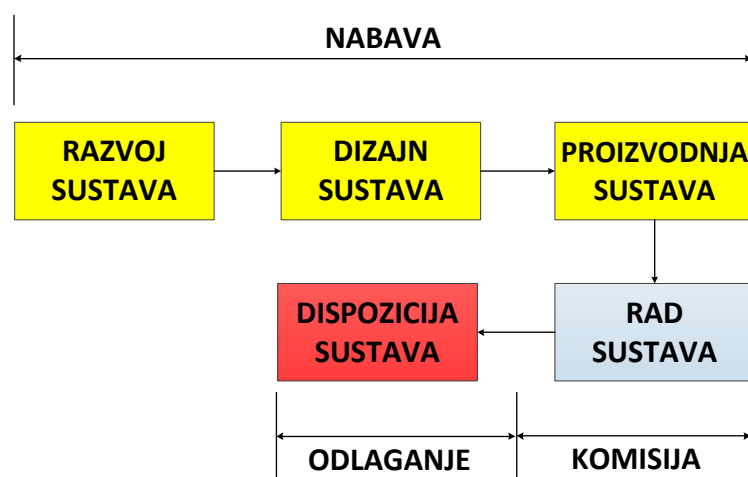
jeftino - kupi dvaput". Kod navedenog terotehnološkog koncepta, pažnju nije dovoljno usmjeriti isključivo na funkciju održavanja kako bi se ostvario navedeni cilj, već je nužno pri tome uključiti i ostale upravljačke funkcije u poduzeću koje utječu na karakteristike i troškove poslovnog sustava. U pravilu, terotehnološki sustav prikazuje kombinaciju upravljačkih sustava i komunikacijskih kanala koji osiguravaju podršku funkciji održavanja.



Slika 7.1. Preobrazba održavanja u terotehnologiju

Životni ciklus, odnosno vijek sustava, može se analizirati kroz tri temeljne faze, kao što je prikazano na slici 7.2., a to su:

- faza nabave (razvoj, dizajniranje i proizvodnja sustava)
- faza komisije (rad sustava)
- faza odlaganja (dekomisija sustava).



Slika 7.2. Životni ciklus poslovnog sustava prema terotehnološkom pristupu

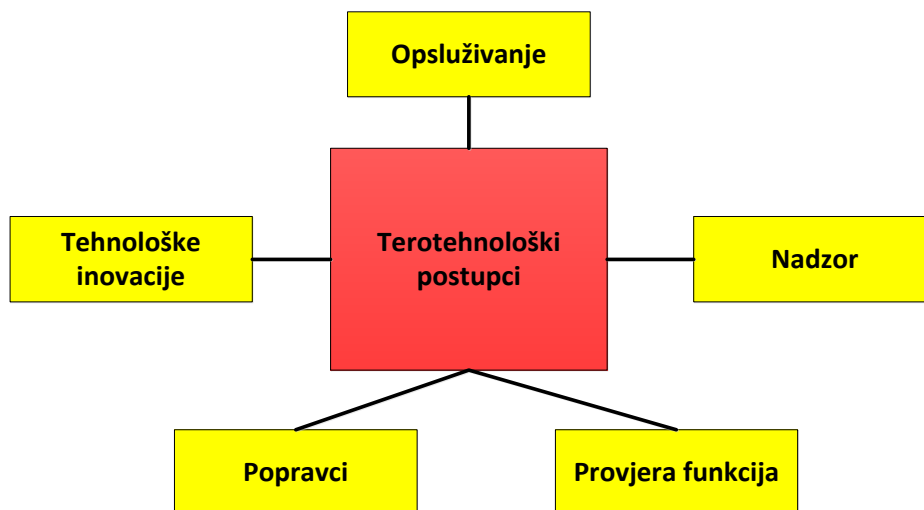
Pojam upravljanja ili menadžmenta u kontekstu terotehnologije obuhvaća provedbu, organizaciju, nadzor i vođenje svih aktivnosti koje su potrebne prije puštanja sustava u redoviti rad, njegove eksploatacije i konačnog odlaganja po isteku korisnog vijeka trajanja. Ispravno upravljanje poslovnim sustavima zahtijeva da u svakom trenutku organizacijska struktura bude svjesna opsega svih troškova, prošlih, sadašnjih i budućih. Nadalje, treba poznavati povrat sredstava od prodaje svojih proizvoda, nusproizvoda i eventualno od dispozicije poslovnog sustava na kraju korisnog životnog vijeka trajanja. Takve procjene počinju onoga trenutka kada se daniposlovni projekt krene osmišljavati.

Pritisci kojima je često izložena proizvodnja, radi poštivanja rokova isporuke, često uzrokuju odgađanje neophodnih zahvata održavanja na proizvodnoj opremi što za posljedicu ima ubrzano trošenje opreme i gubitak traženih tolerancija. To može imati dugoročno negativan utjecaj na kvalitetu završnog proizvoda, troškove i efikasnost. Naravno da, što je i logično, proizvodna funkcija ima prioritet pred ostalim područjima, pa tako i pred održavanjem. Troškovi proizvodnje nastali zanemarivanjem lošeg stanja proizvodne opreme, neizostavno vode do povećanog vremena koje će oprema provesti u otkazu s obzirom na povećan obim korektivnih aktivnosti i hitnih zahvata. S obzirom na dulje razdoblje opreme u otkazu, proizvodnja stagnira te je upitan i profit tvrtke, a neminovan je i gubitak povjerenja kupaca.

7.2. Kreiranje strategije održavanja

Sve složenija sredstva za rad traže primjenu sve suvremenije mjerne i regulacijske tehnike, kao i primjenu novijih materijala i novijih konstrukcijskih rješenja. To je dovelo do diferenciranja tehnoloških postupaka racionaliziranih na temelju ekonomskih kriterija i definiranih kao grupe aktivnosti (slika 7.3.), a to su:

1. opsluživanje pogonskom energijom, sredstvima za hlađenje i podmazivanje i odvajanje proizvoda procesa rada
2. nadzor zagrijanosti strojeva i opreme, tlaka, zauljenosti i slično
3. provjera funkcija rada i usporedba s predviđenim
4. popravci (korektivni zahvati)
5. tehnološke inovacije.



Slika 7.3. Terotehnološki postupci

Izbor odgovarajućeg pristupa, strategije, politike ili filozofije održavanja, zavisit će o sljedećim faktorima:

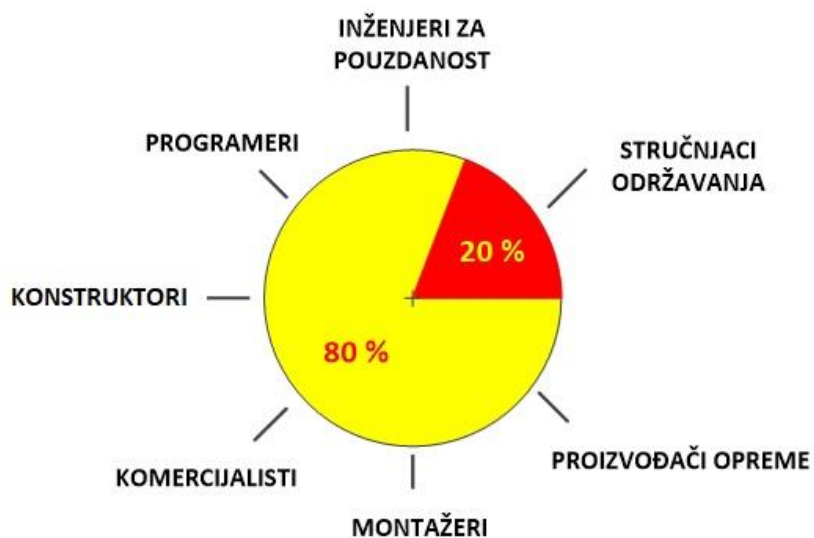
- vrsti procesa koji se odvijaju u poduzeću
- posljedicama otkaza tehničkih sustava (sigurnost, troškovi)
- ekonomskom aspektu eksploatacije i održavanja
- postojećim propisima (sigurnost, ekologija, zakonska regulativa, ugovori, procedure).

Tipična poslovna strategija ima sljedeće elemente:

1. opis trenutnih proizvoda i servisa, te ključnih kupaca i njihovog stupnja zadovoljstva
2. analiza financijskih rezultata
3. pregled konkretnog okruženja i uvjeta tržišta
4. prednosti, mane i ključne dimenzije poslovne konkurentnosti
5. opis poslovne vizije u određenom vremenskom razdoblju (npr. 5 godina)
6. izjava o misiji, principima i osnovnim ciljevima koji se žele postići, te o poslovnom planu kojima bi se ciljevi ostvarili.

Jednom kad tvrtka definira i ustroji svoju poslovnu strategiju, isti se pristup može primijeniti i na održavanje, gdje bi prvi korak predstavljao povratak osnovama održavanja. Jednostavno rečeno, održavanje se brine

da imovina bude sposobna izvršavati predviđene aktivnosti prema zadanim standardima. Održavanje predstavlja samo dio životnog ciklusa imovine, tj. procesa upravljanja imovinom (slika 7.4.).



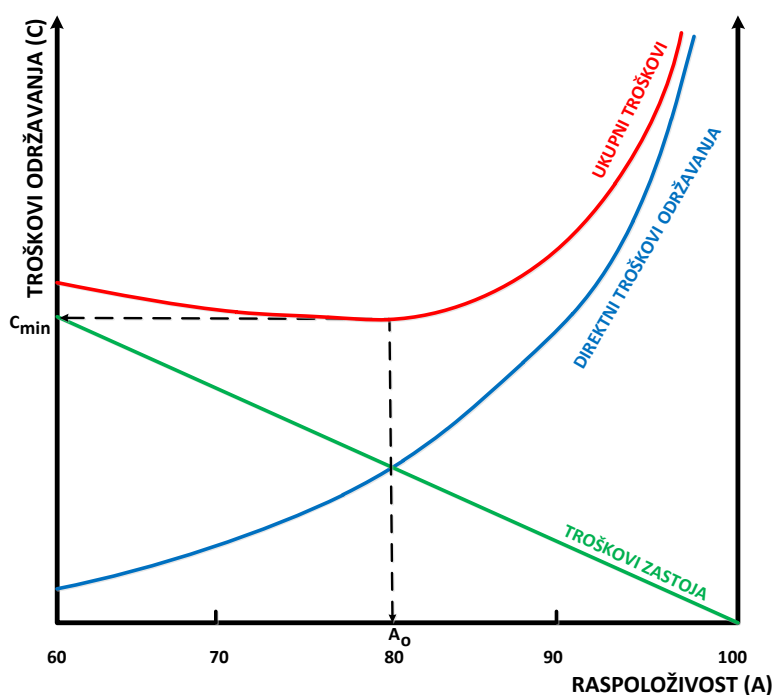
Slika 7.4. Utjecajni faktori na troškove održavanja

Kod upravljanja imovinom potrebno je da se uklapa u poslovni plan. Poslije toga se određuje svrha, funkcije i standardi performansi imovine. Nadalje se vrši usporedba troškova i dobitka i utvrđuje se opravdanost investicija tvrtke. Nakon odobrenja kompletiraju se dizajn i specifikacije opreme, koja se zatim konstruira ili nabavlja, te instalira. Kada se odobri uporaba nakon testiranja, oprema se pušta u rad i održava, a može se po potrebi modificirati (modernizirati). Poslije isteka razdoblja ekonomske korisnosti, oprema se otpisuje. Kod održavanja, inženjeringa, materijala i računovodstva, trebaju sudjelovati svi relevantni odjeli.

7.3. Troškovi održavanja

Aktivnosti održavanja obuhvaćaju održavanje radne sposobnosti opreme, povećanje njene brzine, pouzdanosti i preciznosti. Ako se to pokušava pomoću reaktivnog održavanja, dakle, nakon pojave kvara, tj. otkaza opreme, tada će vrijeme u otkazu te troškovi popravka biti vrlo visoki.

Kada se počne s primjenom preventivnog održavanja, što podrazumijeva samo podmazivanje te zamjenu istrošenih komponenti, neočekivani kvarovi su izbjegnuti, a time i uzroci zastoja proizvodnje. To je izuzetno bitno kada se zahtijeva maksimalna raspoloživost tehničkih sustava (TS) uz prihvatljive, optimalne troškove održavanja, kako je prikazano dijagramom na slici 7.5. Isto tako, moguće je, na isti način, prikazati ovisnost troškova i o drugim značajkama opreme, poput pouzdanosti.



Slika 7.5. Odnos troškova održavanja i raspoloživosti TS-a

Na ordinati su troškovi održavanja, a na apscisi „raspoloživost”. Troškovi se mjere novčanim jedinicama. Mjerna jedinica za „raspoloživost” nije pobliže definirana. Ona bi se mogla predložiti, recimo, brojem zahvata na mjesec ili brojem mjesečno utrošenih radnih sati za održavanje. Troškovi zahvata, tj. direktni troškovi održavanja, počinju od ničice i povećanjem „raspoloživosti” rastu po krivulji. Ako nema zahvata, nema ni direktnih troškova. Što je učestalost veća, to su i direktni troškovi veći.

Troškovi zastoja, tj. indirektni troškovi održavanja, počinju iz neke konačne vrijednosti kod nulte „raspoloživosti” i s njegovim porastom padaju po pravcu. Kod nulte „raspoloživosti” održavanje se ne provodi i sustav će kad-tad stati i neće više proraditi. Kako intenzitet održavanja raste, troškovi zastoja, tj. indirektni troškovi održavanja, opadaju. Minimum te krivulje nalazi se u točki nad sjecištem krivulje direktnih i pravca indirektnih troškova, na intenzitetu održavanja A sustava čemu „raspoloživost” treba težiti.

Troškovi tehničkih sustava, analizirani sa stajališta eksploatacije, nužno se svode na troškove efektivnosti sustava. Pod troškovima efektivnosti sustava podrazumijevaju se troškovi ostvarivanja raspoloživosti i troškovi postizanja tražene pouzdanosti. Razliku između ukupnih troškova efektivnosti sustava i troškova nabave sustava može se vidjeti na slici 7.6.



Slika 7.6. Troškovi životnog vijeka

Vidljivi dio troškova životnog vijeka sustava su:

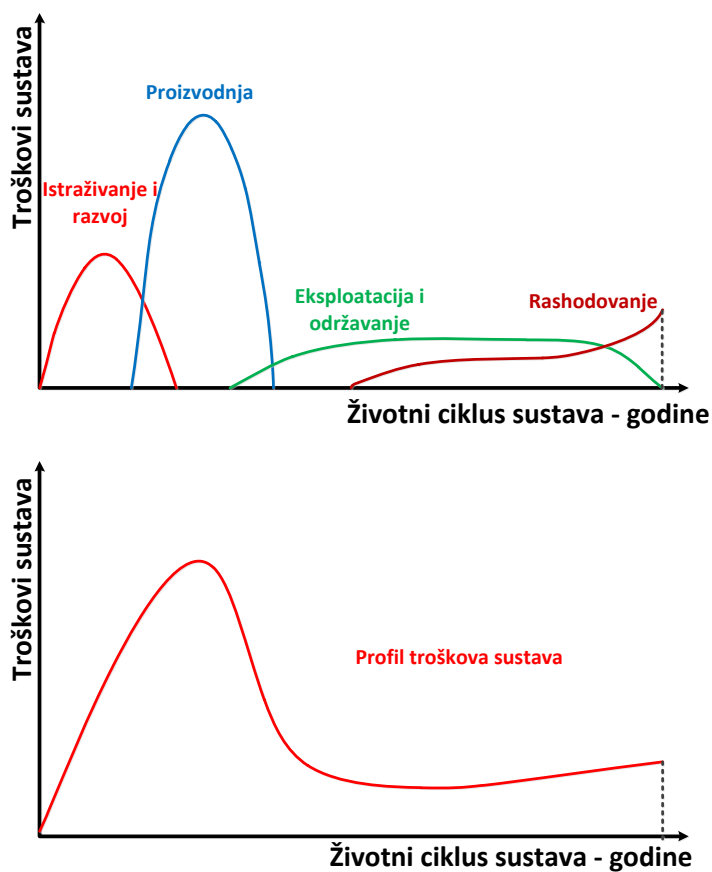
- troškovi nabave, bez obzira na to kupuje li se ili razvija tehnički sustav (istraživanje, projekt, ispitivanje i proizvodnja).

Nevidljivi dio troškova životnog vijeka sustava su:

- troškovi distribucije i rukovanja (prijevoz, rukovanje, manipulacija)

- pogonski troškovi (kapaciteti, energija, oprema i dr.)
- troškovi edukacije (edukacija serviseri i operatera)
- troškovi održavanja i remonta (preventivno i korektivno servisiranje)
- troškovi tehničke dokumentacije (upute, priručnici, katalozi, prospekti i dr.)
- troškovi zaliha (rezervni dijelovi, potrošni i repromaterijal, ambalaža)
 - troškovi rashodovanja (troškovi vezani za dekomisiju i odlaganje tehničkog sustava).

Na slici 7.7. prikazane su krivulje troškova životnog ciklusa po aktivnostima i kumulativna krivulja troškova.



Slika 7.7. Krivulje troškova

- a)krivulje troškova životnog ciklusa po aktivnostima
b)kumulativna krivulja troškova.

Ugovorom između kupca i proizvođača (dobavljača) sustava određuju se troškovi životnog ciklusa tehničkog sustava, tako da se zahtjeva:

- da se realiziraju minimalni troškovi u fazama razvoja i proizvodnje
- da se realiziraju minimalni troškovi podrške vezane za servisiranje
- da se realiziraju minimalni troškovi tijekom cjelokupnog životnog ciklusa.

Prvi zahtjev traži relativno niske razine pouzdanosti i pogodnosti za servisiranje što se opet odražava na visoke troškove održavanja i tehničke podrške zbog velikog broja rezervnih dijelova i potrebnih intervencija koje su posljedica povećanog broja kvarova. Drugi zahtjev daje niske troškove servisiranja. Ipak, ovaj prilaz postaje skup zbog povećanih troškova za vrijeme razvoja i proizvodnje da bi se dobili visoki nivoi pouzdanosti i pogodnosti za servisiranje. Treći zahtjev daje minimalne troškove tijekom životnog ciklusa i tu se može naći optimalni nivo. Očito je da pri povećanju efektivnosti eksploatacijski troškovi opadaju, ali zato troškovi razvoja i proizvodnje rastu.

Koncept terotehnologije do sada se najviše koristio za proučavanje i primjenu u relativno ograničenom krugu tehničkih djelatnosti (strojarstvo, brodogradnja, građevinarstvo, proizvodne industrije i sl.). U novije se vrijeme ovaj koncept koristi i kod uslužnih poslovnih sustava kao što su: stambene zgrade, bolnice, škole, hoteli i slični sustavi s velikim udjelom dugotrajne materijalne imovine. Zbog toga je potrebno terotehnološki koncept približiti i menadžerima svih poslovnih funkcija koje čine sastavne elemente sustava terotehnologije.

8. EKSPERTNI SUSTAVI U ODRŽAVANJU

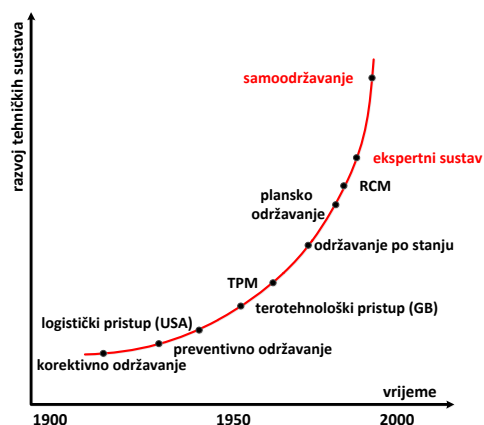
8.1. Uvod

Zbog čestih zahtjeva za većom i bržom proizvodnjom, pred službu održavanja se kao uvjet postavlja besprijekoran rad opreme i uređaja. Današnja oprema i uređaji sve su kompleksniji te je broj procesnih parametara koje održavatelj mora pratiti sve veći. Problem nastaje kada je na temelju velikog broja procesnih varijabli potrebno donijeti odluku o tome je li potrebno poduzeti neki zahvat održavanja ili ne. Takve odluke u pravilu može donijeti tek mali broj iskusnih održavatelja kojih u poduzeću uvijek nedostaje. Kod složenih sustava pojavljuje se problem pravilne interpretacije velikog broja podataka te donošenja i spravnih odluka o poduzimanju potrebnih akcija održavanja. Zato se danas sve više koriste ekspertni sustavi u održavanju.

Ekspertni sustavi za održavanje nastaju razvojem tehnologije umjetne inteligencije, a predstavljaju novu etapu u tehnološkom razvoju praćenja stanjastroja (slika 8.1.). To su inteligentni računalni programi koji koriste znanje i postupke zaključivanja u procesu rješavanja problema, i to takvih problema za čije je rješavanje potreban visok stupanj stručnosti i iskustava iz područja kojem se ekspertni sustav obraća. Naziv ekspertni upravo potječe otuda što se ovi sustavi ponašaju kao vrhunski stručnjaci (engl. *expert*) iz svoga područja. Njihovu osnovu čini poseban softver koji modelira one elemente čovjekovog rješavanja problema za koje se smatra da čine čovjekovu inteligenciju: zaključivanje, prosudba, odlučivanje na temelju nepouzdatih i nepotpunih informacija i tumačenje svojeg ponašanja. Najvažnija karakteristika ekspertnog sustava je kakvoća rješenja problema. S jedne strane, nije važno koliko sustav brzo rješava problem, jer korisnik neće biti zadovoljan ako sustav daje pogrešna rješenja. S druge strane, brzina dobivanja rješenja vrlo je važna. Čak ni najpreciznije odluke dobivene od ekspertnog sustava, neće biti korisne ako se kasni u njihovoj primjeni. Na primjer, u kritičnim objektima poput nuklearnih elektrana. Ekspertni sustav upotrebljava heuristiku prilikom rasuđivanja, čime se

pretraživanje područja rješenja smanjuje, a rad sustava ubrzava. Jedinstvena značajka ekspertnog sustava je mogućnost objašnjavanja. Ona omogućava kontrolu rasuđivanja i objašnjenje odluka od strane ekspertnog sustava. Ekspertni sustav koristi simboličko rasuđivanje prilikom rješavanja problema. Simboli se koriste za predstavljanje različitih tipova znanja kao što su činjenice, koncepti i pravila. Baza znanja ekspertnog sustava je datoteka u koju se unose teorijska i praktična znanja eksperta.

U odnosu na čovjeka, ekspertni sustav je u velikoj prednosti u smislu obrade velike količine podataka. Manjkavosti ekspertnog sustava su slaba mogućnost samoučenja te zaključivanja na temelju iskustva razvojem novih metoda umjetne inteligencije kao što su neuronske mreže i generički algoritmi. One su uspješno prevladane i integracijom postojećih metodologija umjetne inteligencije u tzv. hibridne inteligentne sustave.



Slika 8.1. Razvoj pristupa ekspertnog sustava u zadnjih 100 godina

Glavni razlozi uvođenja ekspertnog sustava unutar sustava održavanja su:

- nedostatak ljudi koji imaju potrebnu razinu znanja iz održavanja
- problem prenošenja znanja iskusnih stručnjaka održavanja na manje iskusne
- problem pravilne interpretacije velikog broja podataka te donošenja ispravnih odluka o poduzimanju potrebnih akcija održavanja unutar složenih sustava održavanja.

Glavni nosioci razvoja ekspertnog sustava su:

- razvojni timovi ekspertnog sustava s pet članova: domenski ekspert, inženjer znanja, programer, menadžer projekta i krajnji korisnik
- razvojni timovi koji dobro surađuju o čemu ovisi uspješnost razvoja ekspertnog sustava.

Prikupljeno je znanje na taj način postalo institucionalna memorija koja ublažava (iako nikada ne može potpuno ukloniti) nedostatke proistekle iz čestih fluktuacija radnika. Važna karakteristika ekspertnog sustava je i mogućnost obuke za nove kadrove. Oni imaju već određena znanja i sposobnosti i potrebno im je prenijeti znanje i iskustvo prikupljeno i sačuvano u bazi znanja u vidu institucionalne memorije. Neophodno je da program ima mogućnost tečnog, prijateljskog dijaloga s čovjekom, kao i ugrađene metode učenja. Ekspertni sustav može biti podešen kako za osposobljavanje radnika, tako i za uvođenje novih radnika u posao. Opće skupine ekspertnog sustava prikazane su u tablici 8.1.

Tablica 8.1. Opće skupine ekspertnog sustava

Kategorija	Problem koji se razmatra
Provedba	Izvođenje zaključaka na temelju opisa slučaja dobivenih pri snimanju stanja
Predviđanje	Izvođenje zaključaka o vjerojatnim posljedicama određenog slučaja
Dijagnoza	Zaključivanje o neispravnosti slučaja na temelju utvrđenog stanja
Projekt	Formiranje konfiguracije objekata uz uvažavanje ograničenja
Planiranje	Izrada plana za postizanje ciljeva
Nadzor	Usporedba snimljenog stanja s planovima i označavanje odstupanja
Ispravljanje grešaka	Davanje uputa za uklanjanje neispravnosti
Popravlak	Realizacija plana za postupanje po uputama za popravlak
Instrukcije	Dijagnostika i uklanjanje grešaka
Kontrola	Interpretacija, predviđanje, popravlak i nadzor sustava

U tablici 8.2. prikazana je usporedba čovjeka stručnjaka, ekspertnog sustava i konvencionalnog programa.

Tablica 8.2. Ekspertni sustavi bazirani na pravilima

Čovjek stručnjak	Ekspertni stručnjak	Konvencionalni program
Za rješavanje problema koristi iskustvena pravila ili heurističko znanje.	Za rješavanje problema iz uskog područja koristi znanje u formi pravila i simboličkog rasuđivanja.	Za rješavanje općenito numeričkih problema koristi podatke i algoritme te seriju definiranih operacija.
Znanje u ljudskom mozgu je u kompiliranom (povezanom) obliku.	Znanje je strogo odvojeno od mehanizma zaključivanja (programske strukture).	Znanje nije odvojeno od programske strukture programa.
Može detaljno objasniti slijed zaključivanja.	Prati slijed aktiviranja pravila i objašnjava kako je dostignut određeni zaključak te zašto se zahtijevaju određeni podaci.	Ne može objasniti kako je dostignut određeni rezultat i zašto je tražen pojedini podatak.
Koristi približno zaključivanje i može zaključivati na temelju nepotpunih i neizrazitih informacija.	Omogućava približno zaključivanje ili na temelju nepotpunih, neizvjesnih i neizrazitih podataka.	Rješava probleme za koje postoje potpuni i točni (egzaktni) podaci.
Može pogriješiti kad su informacije nepotpune ili neizrazite.	Može pogriješiti kada su informacije nepotpune ili neizrazite.	Kada su podaci nepotpuni ili neizraziti ne daje ispravno rješenje.
Kakvoća rješavanja se povećava učenjem i praksom. Postupak je polagan, neučinkovit i skup.	Kakvoća rješavanja se povećava dodavanjem novih pravila ili prilagodbom starih. Novoprikupljena znanja jednostavno zamjenjuju postojeća.	Kakvoća rješenja se povećava promjenom programskog koda što utječe na postojeće znanje u programu i način njegove obrade. Promjene dijelova programa je teško izvoditi.

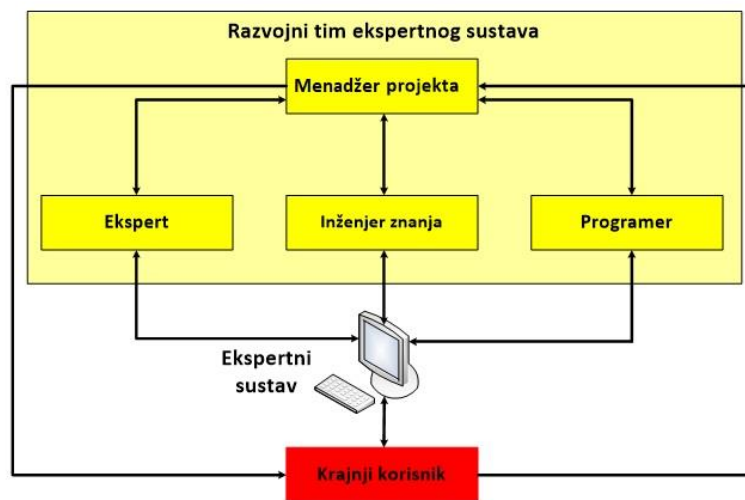
Karakteristike ekspertnog sustava su:

- koriste velike količine podataka u formi znanja kako bi proizveli specifičan rezultat kao što su: savjet, odluka, dijagnoza i dr.
- u ekspertnom sustavu se za razliku od konvencionalnih računalnih aplikacija pohranjuju osim kvantitativnih podataka i kvalitativni (simbolički) podaci
- pri rješavanju problema najčešće koriste heuristiku umjesto algoritma.

- funkcioniraju čak i s nedostatnim podacima (ne javljaju grešku)
- imaju sposobnost zaključivanja
- imaju sposobnost objašnjavanja predloženog rješenja, tj. rezultata
- za razliku od čovjeka, nemaju „slabih dana“ tijekom razmatranja i rješavanja problema.

8.2. Struktura ekspertnog sustava

Ekspertni sustav ima za cilj osiguravanje odgovora na probleme koji zahtijevaju prosudbu, prepoznavanje, usporedbu oblika i zaključivanje, ukratko, oni daju odgovor na pitanja koja zahtijevaju inteligenciju. Ekspertni sustavi se mogu efikasno koristiti u područjima gdje se mišljenje o problemu svodi na logičku prosudbu, a ne na izračunavanje, i gdje svaki korak u rješavanju problema ima veći broj alternativnih mogućnosti. Na slici 8.2. prikazana je struktura razvojnog tima ekspertnog sustava.



Slika 8.2. Struktura razvojnog tima ekspertnog sustava

Glavne karakteristike ekspertnog sustava su:

- jednostavna nadopuna novih znanja
- fleksibilna strategija rješavanja problema
- visoki stupanj rješavanja problema
- mogućnost informiranja što je izvršeno i zašto je izvršeno.

Kod razvoja ekspertnog sustava javlja se niz pitanja na koja treba dati

odgovore. Prvi problem koji se javlja kod ekspertnih sustava je način predstavljanja znanja. Kako predstaviti znanje iz određenog područja u obliku pogodnih struktura podataka tako da se efikasno može iskoristiti u rješavanju problema? Drugo, postavlja se pitanje kako koristiti znanje i kako oblikovati mehanizam zaključivanja da bi se znanje efikasno koristilo u rješavanju problema? Treće, postavlja se pitanje stečenog znanja, tj. kako stečeno znanje spremi u računalo? Danas je stečeno znanje ključno pitanje u razvoju metoda umjetne inteligencije.

Znanje se čuva u bazi znanja ekspertnog sustava i razlikuju se dva tipa znanja:

- prvi tip znanja je činjenično znanje, odnosno znanje koje je široko poznato i nalazi se u knjigama, časopisima i sl.
- drugi tip znanja je heurističko znanje, odnosno ono znanje koje čovjek - ekspert gradi na temelju iskustva i koje u kombinaciji s prvim znanjem čini čovjeka ekspertom.

Alat za izgradnju ekspertnog sustava je programski jezik koji koristi programer da bi taj sustav izgradio. Pod alatom se podrazumijevaju i svi uslužni programi koji su na raspolaganju (programski jezici za razvoj ekspertnih sustava, jezici inženjeringa znanja). Razvijeni su specijalizirani alati za izgradnju ekspertnog sustava koji se nazivaju „školjka” (engl. *shells*). Ovi se alati razlikuju od uobičajenih programskih jezika po tome što osiguravaju odgovarajuće načine za predstavljanje složenih koncepata i elemenata znanja. Cjelovito znanje ugrađeno u ekspertni sustav prikupljeno je kroz interakciju s ključnim osobljem u službi održavanja, odjela ili područja tako da ono oslikava i trenutnu politiku i način rada te grupe.

Prednosti ekspertnih sustava baziranih na pravilima su:

- Prirodnost predstavljanja znanja - ekspert-stručnjak proceduru za rješavanje problema prikazuje tako da u određenim situacijama radi određene radnje. Ovakvo izražavanje pogodno je za predstavljanje znanja računalo u obliku *IF-THEN* pravila.
- Uniformiranost strukture pravila - svako pravilo predstavlja nezavisan dio znanja o problemu što omogućava dobru „samo-dokumentiranost”.

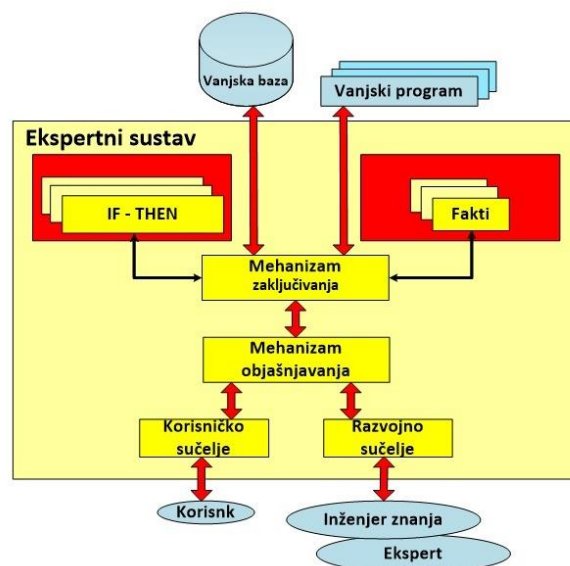
- Odvojenost znanja od procesiranja - struktura ekspertnih sustava baziranih na pravilima osigurava vrlo učinkovito odjeljivanje baze znanja od mehanizma zaključivanja. To omogućava mogućnost razvoja različitih aplikacija koristeći jedan te isti mehanizam zaključivanja (školjku ekspertnog sustava).
- Mogućnost procesiranja nepotpunog i nesigurnog znanja - većina školjki ekspertnih sustava u bazi znanja omogućava *IF-THEN* pravila uz dodjelu tzv. faktora sigurnosti kako na *IF* dijelu pravila tako i *THEN* dijelu.

Nedostatci ekspertnog sustava su:

- mogućnost pojave problema kod velikog broja produkcijskih pravila
- problem sagledavanja i održavanja relacija između pravila unutar baze znanja
- nemaju mogućnost samoučenja na temelju iskustava

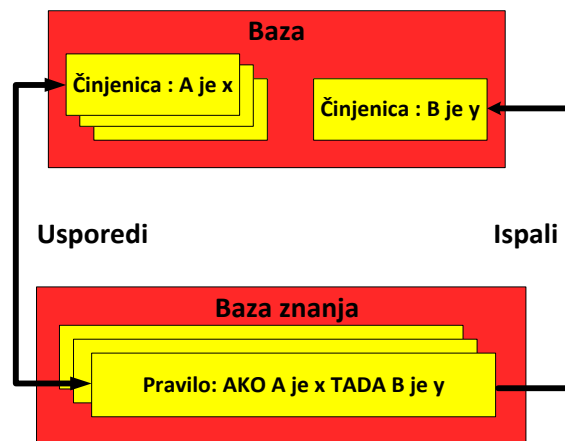
8.3. Elementi ekspertnog sustava

Na slici 8.3. prikazana je struktura ekspertnog sustava.



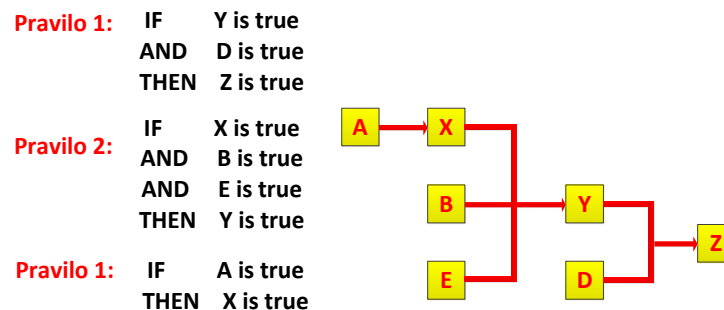
Slika 8.3. Struktura ekspertnog sustava

Na slici 8.4. prikazan je način predstavljanja znanja unutar ekspertnog sustava.



Slika 8.4. Način predstavljanja znanja unutar ekspertnog sustava

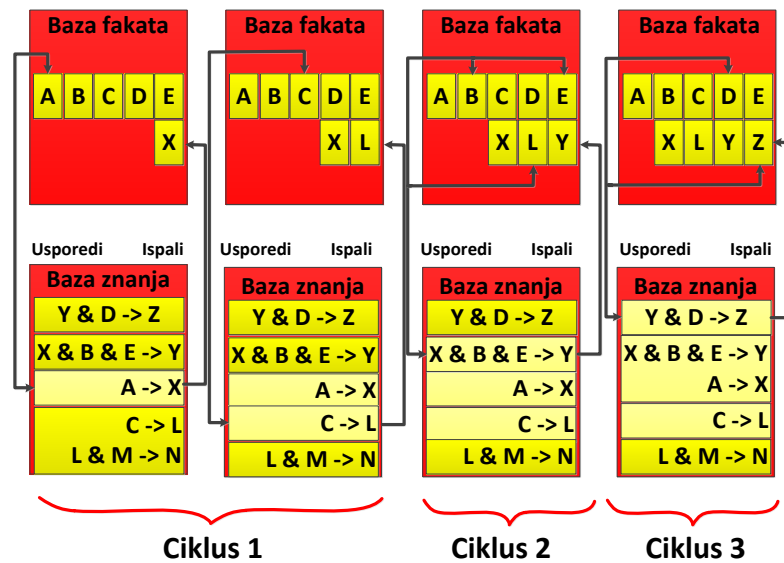
Na slici 8.5. prikazan je primjer lanca zaključivanja.



Slika 8.5. Primjer lanca zaključivanja unutar ekspertnog sustava

Na slici 8.6. prikazan je mehanizam zaključivanja ulančavanje unaprijed. Ulančavanje unaprijed je zaključivanje pokretano podacima. Zaključivanje počinje od poznatih podataka te se procesiranje nastavlja unaprijed istim podacima.

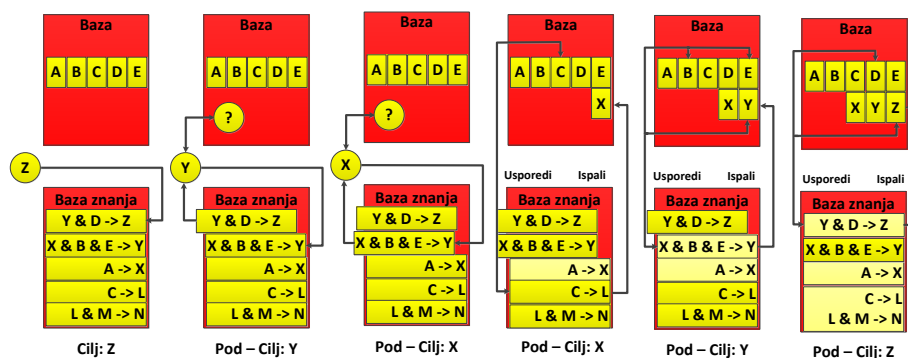
Na početku ciklusa uvijek se izvršava početno pravilo, a nakon izlaska pravila u bazu se dodaju nove činjenice (podaci). Svako pravilo izlazi samo jednom. Mnoga pravila izlaze iako ne moraju imati veze s postignutim ciljem. Ciklus usporedba-ulazak zaustavlja se nakon što nema daljnjih pravila za izlazak. Ako se želi donijeti zaključak samo na temelju jedne činjenice, tehnika ulančavanja unaprijed nije učinkovita.



Slika 8.6. Mehanizam zaključivanja ulančavanje unaprijed

Slika 8.7. prikazuje ulančavanje unazad. Kod ulančavanja unazad ekspertnim sustavima poznavajući cilj i mehanizam zaključivanja pokušavaju se pronaći činjenice kojima se opravdava, tj. dokazuje cilj. Pretraživanjem baza znanja traže se pravila koja mogu imati traženo rješenje u svakom akcijskom dijelu pravila. Ako se pronađe takvo pravilo, a uvjetni dio pravila se poklapa s činjenicama u bazi podataka, pravilo je izlazak i cilj je dokazan.

Izbor mehanizma zaključivanja se temelji na način rada ljudskog eksperta. Ako ekspert prilikom rješavanja problema prvo zahtijeva sve dostupne informacije o problemu, a zatim neke od njih pokušava međusobno povezati te donijeti neki zaključak, potrebno je izabrati *mehanizam*



Slika 8.7. Ulančavanje unazad Kod ekspertnih sustava

ulančavanja unaprijed. Ako ekspert prilikom rješavanja problema prvo polazi od hipotetičkog rješenja, a nakon toga ide u pronalaženje fakata, tj. činjenica koje to rješenje dokazuju, potrebno je izabrati *mehanizam ulančavanja unazad*.

Na slici 8.8. prikazana je budućnost ekspertnih sustava.



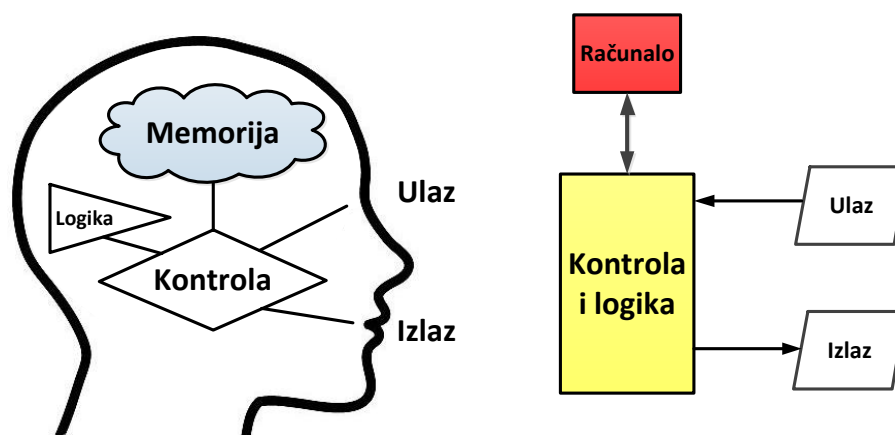
Slika 8.8. Budućnost ekspertnih sustava

Težište povećanja učinkovitosti i sigurnosti rada održavanja je u informatizaciji sustava koji obuhvaća:

- stvaranje online baze znanja s tehničkim podacima o strojevima
- aktivne baze preventivnog i reaktivnog održavanja
- automatske nadzorne sustave za praćenje rada infrastrukturne

- opreme
- pravodobno informiranje odgovornih osoba (putem SMS poruka).

Ekspertni sustav najčešće ne može u potpunosti odgovoriti svim potrebama struke. Zbog različitih preferencija, znanja, potreba, sklonosti i sposobnosti korisnika, i uz najbolji trud razvojnog tima ekspertnog sustava da ga izrade što prihvatljivijim što širem krugu korisnika, često se pojavljuju zahtjevi korisnika za koje je potrebno izraditi posebnu verziju. Izrada personaliziranih verzija normalno iziskuje dodatno vrijeme i troškove razvoja. Poznajući funkcioniranje ekspertnog sustava moguće je klasificirati zahtjeve korisnika, slika 8.8.



■ Slika 8.8. Veza između čovjeka i ekspertnih sustava

Korisnik preko sučelja ekspertnog sustava pokreće mehanizam zaključivanja koji koristi bazu znanja u procesu zaključivanja i daje određene (ekspertne) odgovore. Baze znanja su modeli realnog sustava opisanog parametrima i odnosima među tim parametrima. Mehanizam zaključivanja selekcionira potrebne parametre, izvlači ih iz baze znanja a pri tom može od korisnika ili na druge načine pribaviti vrijednosti tih parametara.

Kazalo pojmov

Centralno održavanje - organizacijski oblik službe održavanja kod kojega u poduzeću postoji samo jedna radna jedinica službe održavanja.

Defekt - odstupanje karakteristika kvalitete koja dovodi do toga da sustav ne izvršava specifične i predvidive zahtjeve uporabe.

Dijagnostika (engl. *diagnostics*) - određivanje stanja nekog postrojenja, tj. određivanje uzroka odstupanja njegovih parametara od nazivnih te, na osnovu iskustava i znanja, određivanje mjesta pogreške (kvara).

Djelomična pogreška - pogreška koju obilježava činjenica da neki element može izvoditi samo neke zahtjevne funkcije.

Dugotrajna poslovna sredstva mogu se uvjetno nazvati i osnovna sredstva koja se mogu podijeliti na materijalna osnovna sredstva i nematerijalna osnovna sredstva.

Ekonomično održavanje - održavanje u kojemu je zbroj troškova održavanja i troškova zastoja najniži.

Ekonomičnost - mjera ukupnih troškova produkcije sustava i njegovog pogona u eksploataciji sustava po jedinici produkcije sustava.

Eksploatacijski vijek sustava - vrijeme od puštanja sustava u rad (komisija) do njegovog isključivanja iz eksploatacije.

Ekspertni sustav - program koji se ponaša kao stručnjak (ekspert) za određeno područje.

Ekspertiza (engl. *expertise*) - ocjena stanja i davanje mišljenja i preporuka

za zamjenu, popravak, reviziju ili revitalizaciju dijelova postrojenja ili strojeva. Temelji se na znanjima specijalista za pojedine tehničke discipline, a na osnovu provedenih dijagnostičkih ispitivanja.

Funkcija kriterija - funkcija koja određuje prihvatljivi output nekog sustava.

Funkcionalnost - mjera kapaciteta i performansi rada sustava.

Indeks kvarova X (engl. *failure rate*) - učestalost pojavljivanja kvarova u nekom sustavu-broj kvarova n na sat (1/h).

Indeks zahvata | 1 - ukupni broj zahvata održavanja podijeljen s ukupnim trajanjem zahvata u satima i iskazan u broju zahvata na sat.

Indirektni troškovi održavanja su troškovi zastoja.

Isključenje - prekid rada planiran unaprijed zbog održavanja ili drugih razloga.

Ispravnost - svojstvo proizvoda ili sustava da u cijelosti ispunjava zahtjeve iz njegove specifikacije.

Japanska proizvodna filozofija (TPM) - novi pristup organiziranju proizvodnje koji je počeo i realizira se u Japanu.

Kombinirano održavanje - ujedinjuje prednosti centralnog i pojedinačnog održavanja.

Kooperativno održavanje - oblik službe održavanja u kojemu se održavanje radnih sredstava povjerava specijaliziranim radnim organizacijama, i to u potpunosti ili djelomično.

Korektivno održavanje - oblik održavanja koji se obavlja prema načelu kvar - popravak.

Korisni vijek trajanja komponente Tw (engl. *usefulltime*) - vremensko razdoblje od završetka uhodavanja do zakazivanja prve komponente u velikoj populaciji istovrsnih komponenti.

Kratkotrajna poslovna sredstva nazivamo i obrtna sredstva. Možemo ih podijeliti na kratkotrajna materijalna sredstva i kratkotrajna nematerijalna sredstva.

Kratkotrajna materijalna sredstva obuhvaćaju: sirovine, zalihe, sitni inventar, potrošni materijal, nedovršenu proizvodnju, novac na računima i sva kratkoročna potraživanja.

Kratkotrajna nematerijalna sredstva obuhvaćaju: sva ulaganja u aktivnosti prikupljanja i obrade poslovnih informacija, što znači troškove svih aktivnosti *Business Intelligence*.

Kvaliteta, kakvoća (engl. *quality*) - frekventno upotrebljavan izraz i to za opis svojstva bilo čega, ali bez preciznijeg određenja sadržaja i opsega pojma.

Kvar (engl. *failure*) - uzrok odstupanja od nazivnog rada. Posljedica je kvara nedozvoljena promjena parametara zbog koje je onemogućen pravilan rad pogona. U težim slučajevima uzrokuje trajni prestanak sposobnosti pogona za obavljanje željene funkcije pod zadanim parametrima.

Kvarovi zbog dotrajlosti - (engl. *Wearout Failures*) nastaju ako se sustav ne održava po točnom ili strogom preventivnom principu.

Logistika - tehnička disciplina koja izučava sve osnovne aktivnosti u životnom ciklusu tehničkog sustava.

Materijalna osnovna sredstva - trajna sredstva za obavljanje određene proizvodne ili uslužne djelatnosti, a najčešće su to sustavi koji uključuju zemljište, građevine, postrojenja, sve predujmove za nabavu materijalnih osnovnih sredstava, investicije u tijeku, knjige, umjetnička djela, računalni programi, poslovne procedure, i procedure kontrole kvalitete te sva dugoročna financijska imovina (akumulirana amortizacija, udjeli i dionice, dugoročni krediti, depoziti i pretraživanja).

Nadzor - aktivnost koja se obavlja bilo ručno bilo automatski, s ciljem praćenja stvarnog stanja elementa.

Neispravno stanje - metoda kojom se utvrđuje nesposobnost nekog elementa za izvođenje zahtijevane funkcije.

Nematerijalna osnovna sredstva - sva trajna nematerijalna imovina organizacije koja obuhvaća: patente, licencije, zaštitne znakove, *Goodwill*, izdatke za istraživanje i razvoj, nematerijalna ulaganja u pripremi, predujmove za nematerijalna sredstva i akumuliranu amortizaciju nematerijalne imovine.

Održavanje - kompleks aktivnosti administrativnog, organizacijskog, tehničkog i tehnološkog karaktera čiji je cilj očuvanje i poboljšanje radnih karakteristika ili pak osiguranje stanja održavnog sredstva u kojem sredstvo ima sposobnost obavljanja namjenske funkcije.

Održavanje u radu - postupak održavanja koji se obavlja na sastavnim dijelovima sustava dok je sustav u radu.

Održavanje u zastoju - postupak održavanja koji se izvodi samo kada je sastavni dio ili sklop u zastoju.

Oštećenje - promjena stanja TS-a ili njegovih sastavnih dijelova koje još ne smeta funkciji, ali se može razviti u kvar ili na drugi način smeta okolini.

Otkaz ili kvar - prestanak sposobnosti sustava da izvršava projektirane aktivnosti, odnosno da ostvaruje projektiranu funkciju.

Strojna oprema - stroj - agregat - sredstva rada.

Plansko održavanje - održavanje organizirano i provedeno prema unaprijed utvrđenom planu.

Prosječno vrijeme zahvata - recipročna vrijednost indeksa zahvata i koja se iskazuje u broju tekućih sati po zahvatu.

Pregled - provjera usklađenosti mjerenjem, promatranjem, ispitivanjem ili namještanjem odgovarajućih karakteristika nekog elementa.

Preventivno plansko održavanje - oblik održavanja kojim se sprječava nastanak kvara.

Pogreška - stanje elementa koje je obilježeno nemogućnošću izvođenja zahtijevane funkcije, isključujući tu nemogućnost tijekom preventivnog održavanja ili ostalih planiranih mjera ili uslijed pomanjkanja vanjskih sredstava.

Prikrivanje pogreške - stanje u kojem

pogreška postoji u podelementu nekog elementa, ali se ne može prepoznati zbog pogreške u tom elementu ili zbog neke druge pogreške u tome ili nekom drugom podelementu.

Pritajena pogreška - postojeća pogreška koja još nije otkrivena.

Proces održavanja - sve aktivnosti kojima se stanje radnih sredstava održava na proizvodnoj razini.

Pojedinačno održavanje - organizacijski oblik službe održavanja kod kojega svako proizvodno odjeljenje ima svoju jedinicu održavanja. Praćenje stanja sredstava za rad je odlično, kao i reagiranje na iznenadne kvarove, ali ovakve jedinice održavanja zbog nedostatka dovoljnog broja stručnjaka nisu ustanju riješiti sve kvarove, pa je potrebno angažirati vanjske stručnjake. Ovo pak poskupljuje održavanje i ukupnu proizvodnju.

Praćenje stanja (engl. *Condition Monitoring*) - periodičko ili neprekidno (online) nadgledanje rada pogona u cilju otkrivanja stanja pogona. Obuhvaća prikupljanje, obradu i analizu pojedinih veličina iz kojih se mogu dobiti informacije o stanju sustava.

Preventivno održavanje prema stanju - oblik preventivnog održavanja kojim se neprekidno nadziru pojedini čimbenici stanja stroja poput buke, temperature, vibracija, tlaka, viskoznosti i slično, a intervenira se samo kad neki od navedenih čimbenika poprimi alarmantnu vrijednost.

Pouzdanost (engl. *reliability*) - vjerojatnost (na određenom nivou povjerenja) da će određeni sustav adekvatno

udovoljavati svojoj namjeni (uspješno obaviti funkciju kojoj je namijenjen) u određenom vremenskom razdoblju pod određenim nametnutim uvjetima rada, bez otkaza i unutar specifičnih granica performansi.

Prosječno vrijeme između kvarova M (MTBF - *Mean Time Between Failures*) - broj sati između kvarova (h).

Prosječni vijek trajanja komponente M - vrijeme od početka rada komponente pa do sredine vremena otkazivanja prve i posljednje komponente zbog dotrajalosti (tada je najveća učestalost kvarova zbog dotrajalosti).

Prava vjerojatnost P - granična vjerojatnost omjera povoljnih ishoda kroz sveukupni broj pokusa.

Poslovna sredstva - sva sredstva potrebna nekoj organizaciji za ostvarivanje funkcije transformacije inputa organizacije u output prema definiranom skupu procedura i u skladu s definiranim funkcijom kriterija.

Početni kvarovi (engl. *Early Failures*) - kvarovi u samom početku rada sustava.

Radno stanje - stanje u kojem element obavlja zahtijevanu funkciju.

Radninalog - pisano uputstvo o radu koji treba obaviti.

Radni uvjeti - vanjski i unutarnji uvjeti rada, ali i specificirani zahtjevi sustava (radni uvjeti za koje je sustav projektiran i izrađen), te posebni radni uvjeti sustava (npr. kapacitet i sl.).

Remont - sveobuhvatni skup obavljenih ispitivanja i provedenih mjera s ciljem održavanja zahtijevane razine

raspoloživosti i sigurnosti nekog elementa.

Slaba (kritična) mjesta - pozicije ili sklopovi čija je frekvencija ili učestalost kvarova veća od uobičajene.

Slučajni kvarovi (engl. *Chance Failures*) su prisutni od samog početka, samo su u početku pomiješani s početnim kvarovima.

Sigurnost (engl. *safety*) - značajka sustava da svojim kvarom ne ugrožava radne sposobnosti ili ne oštećuje druge sustave (ili osobe) s kojima zajedno ostvaruje radnu funkciju.

Sposobnost održavanja - mogućnost popravka radnih sredstava u slučaju nastanka kvara.

Spremnost sustava postoji bez obzira nalazi li se ono u radu ili u stanju mirovanja (*stand by*).

Spremnost za uporabu (radna spremnost, raspoloživost) - svojstvo sustava da obavlja projektiranu funkciju u potrebnom trenutku i u određenom vremenskom intervalu.

Sustav - skup, cjelina, uređenje, pravilnost, sklad, raspoređenost, organiziranost i povezanost.

Stvarno stanje - svojstva elementa u određenom trenutku.

Stanje spremnosti - stanje elementa, označeno činjenicom da on može obaviti zahtijevanu funkciju, pod pretpostavkom da su osigurana, ako je potrebno, vanjska pomoćna sredstva.

Stanje ograničenosti - stanje elementa u kojem element nastavlja obavljati funkciju do prihvatljivih granica koje su niže od nazivnih vrijednosti ili nastavlja

obavljati samo dio od svojih potrebnih funkcija.

Stanje zastoja - stanje elementa koje je obilježeno pogreškom ili eventualnom nesposobnošću izvođenja zahtijevane funkcije tijekom preventivnog održavanja.

Stanje onesposobljenosti - stanje elementa koje označava njegovu nesposobnost da obavlja zahtijevanu funkciju iz bilo kojeg razloga.

Stanje mirovanja - stanje spremnosti u kojem element ne radi u zahtijevanom vremenu.

Stanje pripravnosti - stanje spremnosti u kojem elementne radi tijekom zahtijevanog vremena.

Stanje opasnosti - stanje nekog elementa za koje se procjenjuje da bi moglo izazvati ozljede osoba, značajne materijalne štete ili druge neprihvatljive posljedice.

Terotehnologija ili menadžment održavanja poslovnih sustava (*grč. terein znači brinuti se*) - znanstvena disciplina koja istražuje metode i zakonitosti menadžmenta poslovnih sustava tijekom njihovog vijeka trajanja sustava.

Troškovi održavanja ovise o količini održavanja; što je održavanje češće, troškovi su viši.

Troškovi zastoja ovise o količini zastoja; što je zastoja više, troškovi su viši.

Ukupni troškovi - zbroj troškova zahvata (pravac) i troškova zastoja (hiperbola) - donja slika.

Vanjski radni uvjeti su okolišni uvjeti u kojima sustav radi (temperatura, vlaga, vibracije, prašina, slanost i dr.).

Vanjsko stanje onesposobljenosti - onaj dio stanja onesposobljenosti kada je element u stanju spremnosti, ali mu nedostaju zahtijevana vanjska sredstva ili je onesposobljen zbog planiranih mjera koje su izvan djelokruga održavanja.

Vijek trajanja - vremenski interval koji započinje s pokretanjem proizvodne zamisli i završava zbrinjavanjem elementa.

Vrijeme spremnosti - vremenski interval tijekom kojeg je element u stanju spremnosti.

Vrijeme zastoja - vremenski interval tijekom kojeg je element u stanju zastoja.

Zalihost (engl. *redundancy*) - konfiguracija koja osigurava sposobnost da se izbjegne zastoje i onda kad neka komponenta sustava zataji.

Zastoj - stanje sustava u kojem ono ne može izvršavati projektiranu i očekivanu funkciju.

Životni vijek sustava - vrijeme od početka ulaganja materijalnih sredstava s ciljem realizacije sustava pa do konačnog izdvajanja sustava iz procesa eksploatacije.

Popis slika i tablica

Slike

Slika 1.1.	Životni vijek opreme.....	10
Slika 1.2.	Učestalost kvarova u funkciji vremena.....	11
Slika 1.3.	Vrste održavanja.....	14
Slika 1.4.	Proces održavanja	14
Slika 1.5.	Izvori podataka o preventivnom održavanju.....	23
Slika 1.6.	Poboljšanje procesa održavanja	29
Slika 1.7.	Elementi upravljanja zdravljem i sigurnošću	29
Slika 1.8.	Provedba procjene	30
Slika 2.1.	Postotak nesreća sa smrtnim posljedicama 2004. - 2007. godine s obzirom na aktivnosti	34
Slika 2.2.	Organizacijski pristup održavanju.....	36
Slika 2.3.	Model švicarskog sira u analizi i upravljanju rizicima.....	36
Slika 2.4.	Lokoti za zaključavanje	38
Slika 2.5.	Zatvaranje (blokiranje) ventila za vodu i plin i zaključavanje (blokiranje) utikača za struju.....	39
Slika 2.6.	Zaštita razdvajanja/odvajanja na strojevima	40
Slika 2.7.	Funkcija 3-fazne daljinske sigurnosne sklopke	41
Slika 2.8.	Kako koristiti ove upute	43
Slika 2.9.	Faktori koji utječu na ponašanje na radnom mjestu	44
Slika 2.10.	Obveze poslodavca i radnika kod opreme	48
Slika 2.11.	Radni prostor za održavanje.....	51
Slika 2.12.	Siguran pristup	51
Slika 2.13.	Radovi na montaži i demontaži strojeva	52
Slika 2.14.	Pokazni uređaji.....	52
Slika 2.15.	Zatvaranje dovoda energije	53
Slika 2.16.	Iskopčavanje od napona	54
Slika 3.1.	Faze dijagnostičkog procesa	58
Slika 3.2.	Motrenje stanja stroja	60
Slika 3.3.	Snimanje endoskopijom	60
Slika 3.4.	Stroboskop	61
Slika 3.5.	Uređaj za mjerenje vibracija	62
Slika 3.6.	Vibracije kao pokazatelji stanja stroja.....	63
Slika 3.7.	Uzroci vibracija	64
Slika 3.8.	Primjeri primjene IC termografije	65

Slika 4.1. Hijerarhijsko stablo	69
Slika 4.2. Osnovni dijelovi stroja.....	72
Slika 4.3. Dijagram pojava u radu i zastoju	75
Slika 4.4. Tipične krivulje pouzdanosti $R(t)$ i nepouzdanosti $F(t)$	77
Slika 4.5. Tipične krivulje učestalosti $f(t)$ i intenziteta $I(t)$	78
Slika 4.6. Složeni sustav	79
Slika 4.7. Sustav sa serijskom vezom.....	80
Slika 4.8. Sustav s poluserijskom vezom	80
Slika 4.9. Sustav s paralelnom vezom	81
Slika 4.10. Sustav s poluparalelnom vezom	81
Slika 4.11. Sustav sa sklopkom	82
Slika 4.12. Složeni sustav	83
Slika 5.1. Veza između troškova i raspoloživosti opreme.....	91
Slika 5.2. PDCA petlja	92
Slika 6.1. Strateški ciljevi organizacije	95
Slika 6.2. Organizacija održavanja kao funkcija procesa upravljanja.....	97
Slika 6.3. Organizacijska struktura održavanja	98
Slika 6.4. Funkcionalni odnosi između održavanja i proizvodnje	101
Slika 6.5. Moduli informatičkog sustava	104
Slika 6.6. Temeljne funkcije računalne potpore održavanju	106
Slika 7.1. Preobrazba održavanja u terotehnologiju	109
Slika 7.3. Terotehnološki postupci	111
Slika 7.4. Utjecajni faktori na troškove održavanja	112
Slika 7.5. Odnos troškova održavanja i raspoloživosti TS-a	113
Slika 7.7. Krivulje troškova	115
Slika 8.1. Razvoj pristupa ekspertnog sustava u zadnjih 100 godina	118
Slika 8.2. Struktura razvojnog tima ekspertnog sustava	121
Slika 8.3. Struktura ekspertnog sustava	123
Slika 8.4. Lanac zaključivanja unutar ekspertnog sustava	124
Slika 8.5. Primjer lanca zaključivanja unutar ekspertnog sustava	124
Slika 8.6. Mehanizam zaključivanja - ulančavanje unaprijed	125
Slika 8.7. Mehanizam zaključivanja - ulančavanje unazad	126
Slika 8.8. Veza između čovjeka i ekspertnih sustava	128

Tablice

Tablica 1.1. Primarni i sekundarni zadaci održavanja.....	13
Tablica 1.2. Podjela metoda prema kriterijima održavanja	18
Tablica 1.3. Metode održavanja	25
Tablica 1.4. Razlozi korištenja usluga vanjskih tvrtki za održavanje te prednosti i nedostatci	26
Tablica 2.1. Opasnosti kojima su izloženi radnici na održavanju.....	35
Tablica 3.1. Postupci dijagnostike s metodama i instrumentima	57

Tablica 4.1. Tablica mogućih načina otkazivanja.....	74
Tablica 6.1. Razlike između tradicionalne i suvremene organizacije održavanja.....	96
Tablica 6.2. Dvanaest nepoželjnih i njihove mreže sigurnosti.....	102
Tablica 8.1. Opće skupine ekspertnog sustava	119
Tablica 8.2. Ekspertni sustavi bazirani na pravilima	120

Literatura

1. Belak, S., Čičin-Šain, D. 2005.: *Razvoj koncepta terotehnologije*, Pomorstvo, 19, 79-87.
2. Bhadury, B., 1988: *Total Productive Maintenance*, Allied Publishers Limited, New Delhi.
3. Bukša, A. Tudor, M. Kralj, P.: *Analiza kvarova brodskih redundantnih sustava*, Pomorstvo, 18, 2004, 111-120.
4. Complete computer control of machinery, Marine Propulsion Intern, 1986, May, str. 31.
5. Computerized condition monitoring optimizes maintenance, The Motor Ship, 69, 1988, 813, str. 62.
6. Čala, I.: *Suvremeni pristup strategiji održavanja*, Management i održavanje, 1, 1994, br.1.
7. ENCOM - Engine Monitoring System from Wartsila Diesel, Sciff und Hafen, 37, 1985, 5, str. 56.
8. Feigenbaum, A. V. 1991.: *Total Quality Control*, McGraw-Hill, NY
9. Griffin, M.J.: *Handbook of human vibration*, London, Academic Press, 1990., Hans G.; Payer, *Powering of Large Container Vessels*, The Motor Ship Propulsion Conference Proceeding 11-12 September 2007.
10. Kalinić, Z. 1997.: *Održavanje alatnih strojeva*, Školska knjiga, Zagreb
11. Lovrić, J. 1989.: *Osnove brodske terotehnologije*, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet Dubrovnik.
12. Mokashi, A. J., Wang, J., Vermar, A. K.: *A study of reliability-centred maintenance in maritime operations*, Marine Policy 26, 2002, 325-335.
13. Mijović, B, 2008.: *Primijenjena ergonomija*, Veleučilište u Karlovcu
14. Mijović, B, 2012.: *Zaštita strojeva i uređaja*, Veleučilište u Karlovcu
15. Operating manual for diesel engines, Type 7L 400/500, Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg Aktiengesellschaft D -8900 Augsburg 1, Stadtbachstrasse 1, D 365617 E.
16. Palmer, D.R. 1998.: *Planning and control of maintaining systems*, John Wiley and Sons, NY
17. Redfern, M.S., Bidanda, B.: *Slip resistance of the shoe-floor interface under biomechanically relevant conditions*, Ergonomics, 37, 1994., 3, 511-524.

18. Rejec, E. 1974.: *Terotehnologija - Suvremena organizacija održavanja sredstava*, Informator, Zagreb
19. Sippola, M.R., Nataroff W.W.: *Modelling Particle Deposition in Ventilation Ducts*, Proceedings of 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, USA, 515-520, 2002.
20. Singer, W., Brandes, K. H.: *Machinenuberwachungsanlagen fur den Bordbetrieb*, Hansa 125, 1988, 15-16, str. 822.
21. Tomašević, M., Oršulić, M., Belak, S.: *Istraživanje pouzdanosti brodskog dizelskog motora*, Naše more, 47, 2000, 3-4.
22. Vibration monitoring to reduce maintenance costs, Marine Propulsion Intern., March, 1987., str. 9-10.
23. Valmet develops bridge workstation for engine control, The Motor Ship, 69, 1988, 817, str. 34.
24. Vučinić, B., 1994.: *MA - CAD Maintenance Concept Adjustment and Design*, Delft, Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology.
25. Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, N.N. 37/90
26. Pravilnik o sredstvima osobne zaštite na radu i osobnoj zaštitnoj opremi (SL br. 27. 35/69)
28. Pravilnik o najvišim dopuštenim snagama zračenja radijskih postaja u gradovima i naseljima gradskog obilježja. Narodne novine 111/2001.
29. Pravilnik o procjeni utjecaja na okoliš. Narodne novine 59/2000. Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja. Narodne novine 204/2003.
30. Pravilnik o najvišim dopuštenim snagama zračenja radijskih postaja u gradovima i naseljima gradskog obilježja. Narodne novine 111/2001.
31. Pravilnik o ograničenjima jakosti elektromagnetskih polja za radijsku opremu i telekomunikacijsku terminalnu opremu. Narodne novine 60/2004.
32. Pravilnik o minimalnim zdravstvenim i sigurnosnim zahtjevima koji se odnose na izloženost radnika rizicima koji potječu od elektromagnetskih polja. Narodne novine 38/2008.
33. Zakon o zaštiti od buke, N.N. 20/2003., 1-3
34. Zakon o zaštiti na radu, N.N. 59/96
35. Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Narodne novine 91/2010.
36. Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Narodne novine 105/1999.

37. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti. Narodne novine 28/2010.
38. Zakon o nuklearnoj sigurnosti. Narodne novine 173/2003.
39. Zakon o izmjenama i dopunama Kaznenog zakona. Narodne novine 152/2008.
40. Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja. Narodne novine 27/1999.
41. Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja. Narodne novine 64/2006.