

Unapređenje pouzdanosti medicinskih uređaja kroz savremene metode održavanja

ALMIS M. ALIČIĆ, Klinički centar, Univerziteta u Sarajevu,

Sarajevo, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0009-0009-2274-4311

MERIM M. ALIČIĆ, JP Elektroprivreda Bosne i Hercegovine,

Rudnik uglja „Kreka“, Tuzla, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0009-0008-2166-366X

Stručni rad

UDC: 615.47:658.58

DOI: 10.5937/tehnika2503295A

Tokom svog životnog ciklusa, medicinski uređaji neizbježno prolaze kroz procese degradacije uzrokovane kontinuiranom upotrebom, pri čemu su njihove električne i mehaničke komponente izložene fizičkim, hemijskim, temperaturnim i električnim utjecajima. Ovi faktori dovode do postepenog habanja, smanjene funkcionalnosti i povećanog rizika od kvarova. Pravovremena detekcija kvarova ključna je za osiguranje pouzdanog rada uređaja i minimizaciju neplaniranih zastoja. U tom kontekstu, neophodno je uspostaviti efikasne modele upravljanja tehnološkim resursima koji će omogućiti dugoročnu funkcionalnost i sigurnost medicinske opreme u kliničkoj praksi. Ovaj rad istražuje implementaciju savremenih metoda održavanja, uključujući prediktivnu dijagnostiku, proaktivno planiranje i pravovremene intervencije s ciljem sprječavanja ozbiljnijih kvarova. Integracija naprednih tehnologija i sistema za upravljanje podacima omogućava precizniju analizu kvarova i optimizaciju održavanja medicinske opreme. Cilj ovog istraživanja je identifikacija uzroka kvarova, razvoj efikasnih strategija održavanja i implementacija preventivnih mjera, čime se osigurava kontinuitet medicinskih procedura, dugoročna pouzdanost uređaja i smanjenje potencijalnog rizika za pacijente i medicinsko osoblje.

Ključne riječi: održavanje medicinskih uređaja, životni ciklus, analiza kvarova, degradacija opreme, strategije održavanja, kritičnost uređaja, prediktivno održavanje, sigurnost pacijenata

1. UVOD

Medicinska oprema predstavlja temelj za pružanje visokokvalitetne zdravstvene zaštite i ključni je faktor u osiguravanju sigurnosti pacijenata. Ova oprema obuhvata širok spektar uređaja, instrumenata i alata koji se koriste za dijagnosticiranje, liječenje, praćenje i rehabilitaciju pacijenata. Medicinski uređaji obuhvataju širok spektar opreme koja se koristi za dijagnostiku, monitoring, terapiju i hirurške zahvate. Svaka od ovih naprava ima specifičnu funkciju koja omogućava liječnicima i zdravstvenim radnicima da pravilno dijagnosticiraju zdravstvene probleme, primijene odgovarajuće terapije i osiguraju sigurnost pacijenata tokom procesa liječenja. S obzirom na rastu-

ću složenost i raznovrsne funkcionalnosti savremenih medicinskih uređaja, važno je naglasiti da oni imaju ključnu ulogu u zdravstvenim sistemima, ne samo u bolnicama, već i u drugim zdravstvenim ustanovama kao što su klinike, ambulate i specijalizovane medicinske laboratorije. Ovi uređaji postaju sve više povezani sa IT infrastrukturom, što omogućava automatsku razmjenu podataka i njihovu obradu u realnom vremenu, ali i bolju kontrolu i praćenje njihovog rada. Centralizovano prikupljanje podataka omogućava naprednu analizu performansi uređaja, prediktivno otkrivanje potencijalnih kvarova prije nego što dođe do kritičnih problema, te optimizaciju održavanja na osnovu stvarnih operativnih parametara. Međutim, ovaj nivo integracije sa informacijskim tehnologijama donosi i niz izazova, uključujući sigurnost i zaštitu podataka, interoperabilnost između različitih medicinskih i IT sistema, kao i potrebu za kontinuiranim nadzorom i redovnim ažuriranjem softverskih rješenja kako bi se osigurala pouzdanost i efikasnost sistema. Pored toga, upravljanje životnim ciklusom medicinskih uređaja postaje složeniji proces, koji zahtijeva

Adresa autora: Almis Aličić, Klinički centar Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, Bolnička 25, Bosna i Hercegovina

e-mail: almis_a@hotmail.com

Rad primljen: 03.04.2025.

Rad prihvaćen: 23.05.2025.

visoko razvijene strategije za održavanje, ažuriranje softverskih sistema, obuku kadrova i implementaciju sigurnosnih protokola.

Međutim, kako bi medicinska oprema ispunila svoju funkciju i bila pouzdana u svakodnevnom radu, od presudne je važnosti da se osigura njezino kontinuirano i efikasno održavanje. Redovno održavanje omogućava da oprema funkcionira u skladu sa svim tehničkim specifikacijama i standardima, čime se smanjuje mogućnost kvarova, pogrešnih dijagnoza i nepravilnih terapija koje mogu ozbiljno ugroziti zdravlje pacijenata.

Pored toga, zanemarivanje održavanja može dovesti do ozbiljnih tehničkih problema, produžiti vrijeme potrebno za dijagnostiku ili liječenje, pa čak i uzrokovati velike ekonomske troškove. Kako bi se osigurao dugoročni rad medicinskih uređaja i njihova efikasnost, neophodno je implementirati holistički pristup održavanju, koji obuhvata planiranje, predviđanje i pravovremeno reagiranje na moguće kvarove, kao i stalan nadzor nad stanjem opreme. Ovaj pristup treba biti oslonjen na moderno upravljanje podacima, primjenu novih tehnologija i metodologija koje omogućavaju proaktivno održavanje i brzo otkrivanje problema.

Tabela 1. Faktori rizika i učestalost kvarova

Faktor rizika	Opis	Učestalost kvarova (%)
Starost opreme	Uređaji stariji od 10 godina	25–30%
Neredovno servisiranje i inspekcija	Nedostatak redovnih pregleda	30–40%
Preopterećenje opreme	Intenzivna upotreba	15–20%
Kvaliteta izrade	Uređaji niske tehničke kvalitete	10–25%
Ljudska greška	Nepravilno rukovanje i neadekvatna obuka korisnika	10–15%
Okolišni faktori	Vlaga, temperatura, elektromagnetne smetnje, prašina, vibracije, ionizirajuće zračenje i izlaganje hemijskim supstancama.	5–15%
Softverski problemi	Zastarjeli softver, nekompatibilna ažuriranja i sigurnosni propusti	5–10%

3. STRATEGIJA ODRŽAVANJA MEDICINSKIH UREĐAJA

Strategija održavanja nije statična. Ona mora biti podložna stalnom preispitivanju i poboljšanjima, jer redovno praćenje učinkovitosti održavanja omogućuje prilagodbu strategija novim izazovima i tehnološkim napretcima. Odabir odgovarajuće strategije održavanja zahtijeva pažljivo razmatranje specifičnih

2. ODRŽAVANJE MEDICINSKIH UREĐAJA

Održavanje medicinskih uređaja obuhvata niz ključnih sistematskih aktivnosti sa ciljem očuvanja funkcionalnosti i sigurnosti uređaja. Svako odstupanje u performansama medicinskih uređaja može izazvati ozbiljne posljedice, stoga je kontinuirano praćenje stanja uređaja, uz implementaciju naprednih tehnika od suštinskog značaja. Tradicionalni pristupi održavanju uređaja uglavnom su bili reaktivni, sa intervencijama koje su se obavljale tek nakon što bi se kvar manifestovao. Međutim, s obzirom na napredak u tehnologijama i metodama održavanja, pristupi su evoluirali u preventivna i prediktivna rješenja. Ovi pristupi ne samo da produžuju životni vijek uređaja, već i značajno poboljšavaju efikasnost zdravstvenih sistema, čime se omogućava kontinuirana i visokokvalitetna zdravstvena usluga. Reaktivno održavanje, odnosno izostanak pravovremenih intervencija, može dovesti do ozbiljnih posljedica, uključujući povećanje operativnih troškova, smanjenje kvaliteta zdravstvenih usluga, a u najgorem slučaju, ugrožavanje života. Tokom svoje eksploatacije, medicinski uređaji podliježu različitim oblicima degradacije, što povećava rizik od kvarova i smanjuje njihovu funkcionalnu pouzdanost.

potreba zdravstvene ustanove, kritičnosti opreme, potencijalnih rizika i troškova. Prvi korak u odabiru strategije održavanja je procjena rizika povezanih s kvarovima medicinskih uređaja. Ovaj proces omogućava implementaciju odgovarajuće strategije na temelju važnosti i kritičnosti svakog uređaja. Uređaji se klasificiraju prema njihovom utjecaju na zdravlje pacijenata i njihovu funkcionalnost u pružanju medicinskih usluga.

Tabela 2. Kategorizacija medicinskih uređaja prema prioritetu i funkciji

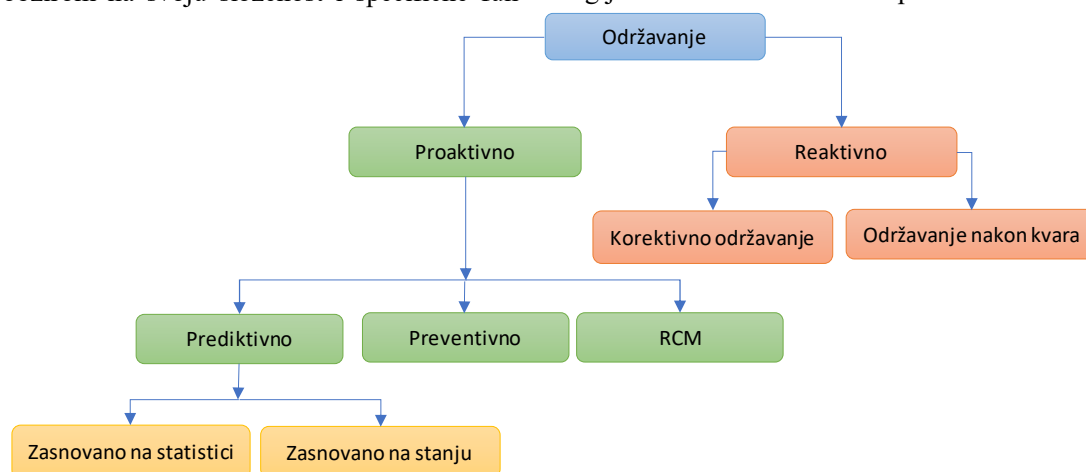
Prioritet	Kategorija uređaja	Opis
Visoki	Vitalni i hitni medicinski uređaji	Uređaji neophodni za hitne medicinske intervencije i održavanje vitalnih funkcija pacijenata u kritičnim stanjima.
Srednji	Dijagnostički i terapijski uređaji	Uređaji koji omogućavaju preciznu dijagnostiku i efikasno liječenje, ali nisu direktno povezani s održavanjem životnih funkcija.
Nizak	Uređaji za podršku kliničkim procesima	Uređaji koji olakšavaju dijagnostičke, terapijske i operativne postupke, ali čije privremeno odsustvo ne predstavlja neposredan rizik za pacijente.

Odabir strategije održavanja mora uzeti u obzir trajanje servisnih aktivnosti, njihov utjecaj na dostupnost medicinskih uređaja i osiguranje neometanog pružanja zdravstvenih usluga.

Starija oprema, zbog intenzivne upotrebe i prirodnog habanja, sklonija je kvarovima te zahtijeva učestalije preventivne intervencije kako bi se očuvala pouzdanost i produžio vijek trajanja. Medicinski uređaji, s obzirom na svoju složenost i specifične fun-

kcionalnosti, zahtijevaju temeljito planiranje, redovite provjere, servisiranje i popravke kako bi se osigurala njihove optimalne performanse i produžio vijek trajanja.

Održavanje tih uređaja može se podijeliti u dva osnovna pristupa: proaktivno i reaktivno održavanje. Oba pristupa ključna su za očuvanje pouzdanosti i dugovječnosti opreme, a razlikuju se u pristupu, strategiji i vremenskim okvirima provedbe.



Slika 1 - Strategije održavanja medicinskih uređaja

U praksi, proaktivno održavanje podrazumijeva razvoj sveobuhvatnog plana održavanja koji se temelji na naprednim tehnikama za predviđanje, praćenje i prevenciju kvarova, s ciljem optimizacije operativnih procesa, smanjenja neplaniranih zastoja i produžavanja životnog ciklusa medicinskih uređaja. Ključne aktivnosti unutar proaktivnog održavanja obuhvataju nekoliko strategija.

3.1. Prediktivno održavanje (Predictive Maintenance)

Prediktivno održavanje koristi napredne tehnologije kao što su Internet of Things rješenja (IoT), mašinsko učenje (ML) i vještačku inteligenciju (AI) za kontinuirano praćenje parametara uređaja u stvarnom vremenu. Medicinski uređaji opremljeni senzorima prikupljaju podatke o ključnim operativnim parametrima kao što su temperatura, vibracije, pritisak, napajanje i drugi relevantni indikatori stanja uređaja.

Pomoću analize tih podataka, uz primjenu algoritama za prepoznavanje obrazaca, moguće je identificirati promjene u radu uređaja koje ukazuju na potencijalne kvarove ili degradaciju performansi. Na primjer, povećanje temperature ili abnormalne vibracije mogu signalizirati početni kvar, omogućavajući pravovremenu intervenciju. Ovaj pristup ne oslanja se na fiksne vremenske intervale za održavanje, već omogućava intervenciju temeljem stvarnog stanja uređaja, čime se optimizira raspored održavanja, smanjuju troškovi i produžava životni ciklus opreme.

3.2. Statističko prediktivno održavanje (Statistical Predictive Maintenance)

Statističko prediktivno održavanje koristi napredne statističke modele i analizu historijskih podataka kako bi se predvidjela potreba za održavanjem na temelju obrazaca prethodnih kvarova i performansi uređaja. Ovaj pristup omogućava otkrivanje postepenih promjena u funkcionalnosti uređaja koje mogu biti neprimjetne kroz standardne inspekcije.

Korišćenjem podataka o prethodnim kvarovima, vremenskim intervalima između kvarova i operativnim uvjetima, statistički algoritmi mogu predvidjeti kada bi kvar mogao nastati, omogućujući planiranje preventivnih intervencija i optimizaciju rasporeda održavanja. Ova metoda posebno je korisna u prepoznavanju latentnih problema koji ne bi bili očigledni u svakodnevnom radu uređaja, ali koji mogu dovesti do iznenadnih kvarova.

3.3. Održavanje zasnovano na stanju (Condition-Based Maintenance)

Održavanje zasnovano na stanju uključuje praćenje stvarnog stanja uređaja putem senzora ili dijagnostičkih alata, uz intervencije koje se provode isključivo kada se zabilježe abnormalnosti ili pad performansi. U ovoj strategiji, održavanje se izvodi prema stvarnom fizičkom stanju uređaja, a ne prema fiksnim vremenskim intervalima, čime se smanjuje nepotrebno održavanje i optimiziraju resursi.

3.4. Preventivno održavanje (*Preventive Maintenance*)

Preventivno održavanje podrazumijeva sprovođenje aktivnosti prema tehničkim specifikacijama proizvođača i preporukama, kao i na osnovu analiza prethodnog rada uređaja. Ovaj pristup se temelji na planiranim i sistematskim intervencijama, koje su usmjerene na sprečavanje potencijalnih kvarova i očuvanje optimalne funkcionalnosti medicinskih uređaja. Preventivno održavanje se sprovodi prema fiksnim vremenskim intervalima, koji mogu biti dnevni, mjesečni, kvartalni ili godišnji, u zavisnosti od preporuka proizvođača i specifičnih potreba uređaja.

3.5. Održavanje zasnovano na pouzdanosti (*Reliability Centered Maintenance*)

Ovaj pristup omogućava identifikaciju kritičnih uređaja i sistema koji imaju najvažniju ulogu u osiguravanju sigurnosti pacijenata i nesmetanog poslovanja. RCM se bazira na analizi rizika i posljedica kvara svakog uređaja. Na temelju tih analiza, određuje se koji tipovi održavanja su najpogodniji za specifične uređaje. Takođe, RCM omogućava:

- Identifikaciju kritičnih sistema i uređaja: Uređaji koji imaju direktan uticaj na sigurnost pacijenata ili operativne procese se prioritetiziraju.
- Procjenu posljedica kvara: Razmatraju se potencijalni efekti kvara na cijeli sistem, kako bi se odredio optimalni raspored održavanja.
- Optimizaciju resursa: Na temelju analize, održavanje se prilagođava kako bi se smanjili troškovi i nepotrebna intervencija na uređajima koji nisu kritični.
- Smanjenje vremena zastoja: Proaktivnim pristupom i planiranjem održavanja, smanjuje se rizik od neočekivanih kvarova i smanjuje vrijeme koje uređaji provedu izvan funkcije.

3.6. Reaktivno održavanje (*Reactive Maintenance*)

Reaktivno održavanje odnosi se na popravku uređaja nakon što dođe do kvara. Ovaj pristup podrazumijeva da se održavanje sprovodi tek kada uređaj postane nefunkcionalan ili ne radi u skladu sa svojim specifikacijama, odnosno nakon što dođe do kvara koji zahtijeva intervenciju. Iako je ovaj model često manje skup u početnoj fazi, može imati značajne negativne posljedice na dugoročne troškove i operativnu efikasnost.

Za medicinske uređaje, posebno one koji se koriste u kritičnim ili urgentnim situacijama (kao što su uređaji za monitoring pacijenata, respiratori ili defibrilatori), reaktivno održavanje predstavlja ozbiljan rizik. U kritičnim okruženjima, kao što su intenzivna njega ili hirurške sale, reaktivno održavanje nije prihvatljivo

jer predstavlja nepredvidive prekide u funkcionalnosti uređaja koji mogu ozbiljno ugroziti ishode liječenja.

3.7. Aplikacija za upravljanje održavanjem medicinskih uređaja

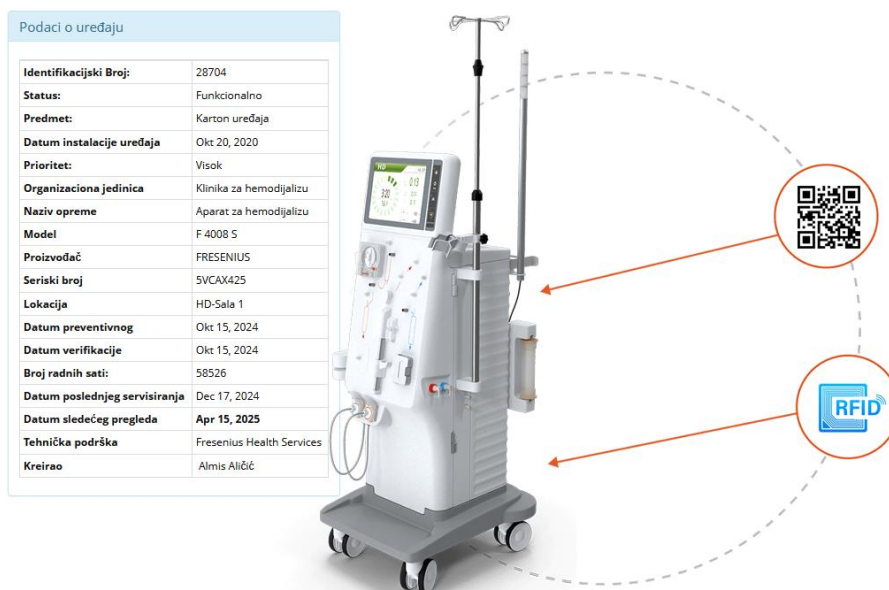
Aplikacija funkcioniše kao centralizovani registar koji omogućava efikasno sistematsko prikupljanje, praćenje i upravljanje svim relevantnim podacima vezanim za medicinske uređaje na svim nivoima zdravstvene zaštite: primarnom, sekundarnom i tercijarnom. Svaki uređaj u sistemu dobija jedinstven identifikator (inventurni broj, barkod, QR kod ili RFID tag), što omogućava brzu i preciznu evidenciju i praćenje tokom njegovog životnog ciklusa. Ključne informacije o uređaju, uključujući tehničke specifikacije, datum nabavke, status funkcionalnosti, istoriju održavanja, intervencije i zamjene dijelova, čuvaju se u centralnoj bazi podataka, koja je optimizovana za brzi pristup i pretragu podataka.

Glavni cilj ove aplikacije je da osigura stalnu operativnost i sigurnost medicinskih uređaja koji su ključni za pružanje visokokvalitetnih zdravstvenih usluga, uz minimizaciju vremena zastoja i povećanje efikasnosti u obavljanju zdravstvenih procedura. Kroz ovaj sistem, zdravstvene ustanove mogu u realnom vremenu pratiti stanje svih uređaja, kao i pravovremeno reagovati na moguće tehničke probleme, čime se povećava nivo sigurnosti pacijenata i efikasnost rada. Sistem omogućava klasifikaciju uređaja prema prioritetima održavanja, uzimajući u obzir funkcionalnu važnost uređaja, njihov uticaj na pacijentovu sigurnost, te učestalost i ozbiljnost kvarova. Uređaji koji imaju najveći uticaj na sigurnost pacijenata dobijaju prioritet u održavanju, što omogućava njihovu kontinuiranu i sigurnu upotrebu, čak i u kriznim situacijama kao što su vanredne medicinske intervencije ili pandemije.

Za svaki medicinski uređaj u zdravstvenoj ustanovi kreira se karton uređaja koji funkcioniše kao centralizovana baza podataka i arhiva svih relevantnih informacija tokom njegovog životnog ciklusa – od nabavke i instalacije do povlačenja iz upotrebe. Karton omogućava sistematsko evidentiranje, praćenje i ažuriranje ključnih podataka o uređaju, uključujući tehničke specifikacije, istoriju održavanja, izvršene intervencije, zamjene dijelova i trenutni status funkcionalnosti.

Svaki uređaj je opremljen jedinstvenim identifikatorom (RFID tag, barkod ili QR kod), koji omogućava laku i brzu evidenciju prilikom servisiranja, kalibracije ili bilo kakvih drugih intervencija.

Ovaj sistem takođe omogućava automatsko praćenje statusa uređaja, uočavanje potencijalnih problema pre nego što postanu kritični i preduzimanje potrebnih preventivnih mjera.



Slika 2 - Podaci o dijaliznom aparatu dostupni putem QR koda

Aplikacija može da funkcioniše kao centralizovani registar medicinskih uređaja na svim nivoima zdravstvene zaštite – primarnom, sekundarnom i tercijarnom. (slika 3) Ova integracija omogućava sveobuhvatan uvid u stanje i dostupnost medicinskih uređaja na svim nivoima, čime se postiže efikasnije i koordinisanije upravljanje resursima zdravstvenih ustanova. Integracijom podataka o uređajima sa različitih nivoa zdravstvene zaštite, aplikacija omogućava brz i tačan pristup informacijama o statusu i raspoloživosti uređaja. To je od ključne važnosti u hitnim situacijama i vanrednim događajima, kada je potrebna prioritarna redistribucija resursa. Tokom globalnih kriza, kao što

je pandemija COVID-19, zdravstveni sistemi suočili su se sa naglim porastom potražnje za ključnim uređajima poput respiratora, mobilnih dijagnostičkih aparata i uređaja za intenzivnu negu. U takvim situacijama, registar omogućava hitni pristup podacima o statusu uređaja, uključujući informacije o tome da li su uređaji operativni, gde se nalaze, koji su dostupni za upotrebu i koji uređaji zahtevaju hitno održavanje. Ova funkcionalnost omogućava brz i efikasan odgovor zdravstvenih ustanova, kao i pravilnu distribuciju opreme prema specifičnim potrebama, čime se povećava efikasnost i smanjuje rizik od operativnih problema

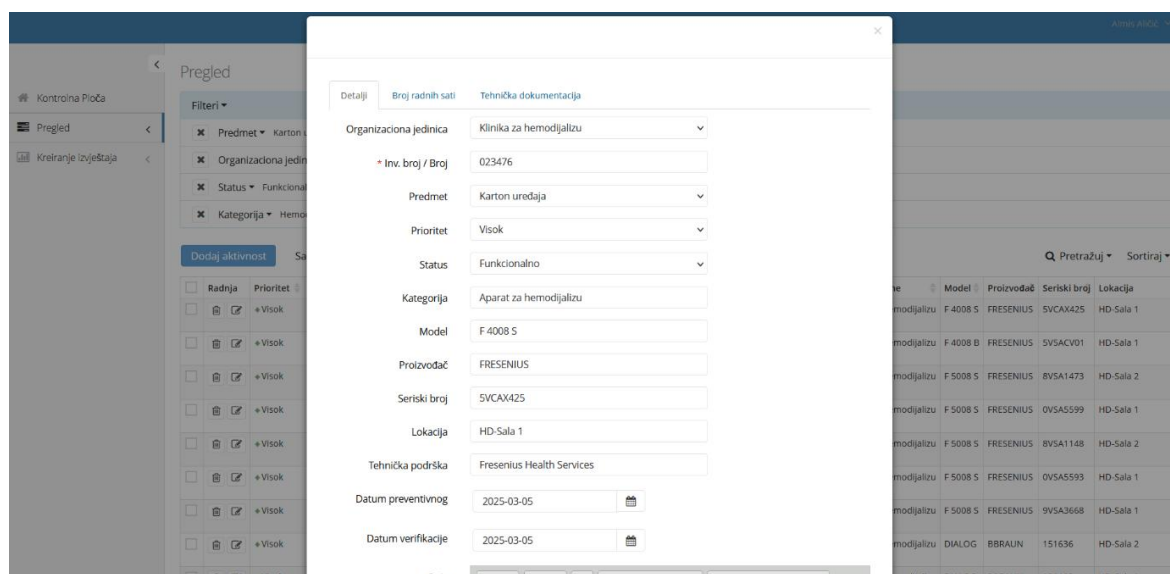


Slika 3 - Registar medicinskih uređaja na primarnom, sekundarnom i tercijarnom nivou zdravstvene zaštite

Na slici 4 prikazan je registar hemodijaliznih aparata na Klinici za hemodijalizu, koji služi kao centralizovani sistem za praćenje, održavanje i upravljanje ovom ključnom medicinskom opremom.

Registar omogućava sistematsko evidentiranje svih tehničkih podataka, uključujući operativni status, historiju održavanja, evidentirane kvarove, izvršene

popravke, planirane servise te podatke o odgovornim tehničarima i dobavljačima rezervnih dijelova. Integracijom ovih podataka omogućava se napredna analitika i prediktivno održavanje, čime se smanjuje rizik od kritičnih kvarova, optimizuje radni vijek uređaja i osigurava njihova dugoročna funkcionalnost.



Slika 4 - Registar hemodijaliznih aparata na Klinici za hemodijalizu i pristup elektronskom kartonu odabranog uređaja

U okviru ovog rada predstavljena je sveobuhvatna analiza kvarova na 77 hemodijaliznih aparata različitih proizvođača (Fresenius, B. Braun, BAXTER, NIPRO). Kvarovi su sistematski razvrstani u pet ključnih kategorija: provodljivost, pritisak, pumpe, napajanje i transduttori/senzori. Ova klasifikacija omogućava preciznu identifikaciju dominantnih uzroka tehničkih problema, što je od suštinskog značaja za unapređenje preventivnog održavanja, optimizaciju radnih procedura i

poboljšanje operativne efikasnosti uređaja. Rezultati analize pružaju temelje za razvoj strategija koje će omogućiti smanjenje broja kvarova, brže i efikasnije otklanjanje problema te produženje radnog vijeka aparata. Na taj način direktno se doprinosi povećanju sigurnosti pacijenata, smanjenju operativnih troškova i unapređenju kvaliteta zdravstvene zaštite, uz osiguranje stabilnog i pouzdanog rada hemodijaliznih sistema.

Tabela 3. Tipovi kvarova na hemodijaliznim aparatima

Kategorija kvara	Vrsta kvara	Broj uređaja sa kvarom	Postotak (%)
Mehanički kvarovi	Problemi s provodljivošću	18 od 77	23.40%
	Problemi s pritiskom	19 od 77	24.70%
	Neispravnosti pumpi	27 od 77	35.10%
Električni kvarovi	Problemi s napajanjem	25 od 77	32.50%
	Neispravnosti transduktora i senzora	20 od 77	26.00%

Tabela 4. Problemi s provodljivošću

Uzrok	Broj uređaja	Postotak (%)
Temperaturne greške	2	11,1
Kvarovi u pumpama	8	44,5
Loše rješenje	6	33,3
Nekalibrirani transdudktor	2	11,1
Ukupno	18	100

Problemi sa provodljivošću (tabela 4) predstavljaju značajan izvor kvarova na hemodijaliznim aparatima, pri čemu su najizraženiji kvarovi povezani s neispravnostima u pumpama (44,5%) i lošim rastvorima (33,3%). Ovi podaci ukazuju na ključne tačke

koje zahtijevaju poboljšanja: prvo, potrebno je intenzivirati održavanje i kontrolu pumpi, kako bi se smanjio broj kvarova, a drugo, postoji jasna potreba za unapređenjem procesa pripreme i korišćenja dijaliznih rastvora.

Tabela 5. Problemi s pritiskom

Uzrok	Broj uređaja	Postotak (%)
Nekalibrisan transduktori pritiska	2	10,5
Otpad u filtrima i ventilima	7	36,8
Nekalibrisane pumpe	4	21,1
Kvar transduktora	1	5,3
Curenje tekućine	5	26,3
Ukupno	19	100

Problemi u sistemu pritiska (tabela 5) uglavnom su uzrokovani otpadom u filtrima i ventilima (36,8%) i nekalibriranim pumpama (21,1%). Ovi kvarovi

ukazuju na potrebu za redovnim servisiranjem sistema za filtraciju, kao i na važnost precizne kalibracije svih komponenti sistema pritiska.

Tabela 6. Neispravnosti pumpi

Uzrok	Broj uređaja	Postotak (%)
Kvar četke	6	22,2
Kvar zupčanika	4	14,8
Začepljenje pumpi	8	29,7
Pregrijavanje	2	7,4
Kvar remena na krvnim pumpama	7	25,9
Ukupno	27	100

Neispravnosti pumpi (tabela 6) predstavljaju značajan izazov, pri čemu su najčešći problemi začepljenje pumpi (29,7%) i kvarovi četkica (22,2%). Začepljenje pumpi često je rezultat nepravilnog održavanja ili upotrebe, dok kvarovi četkica ukazuju na potrebu za

redovnom zamjenom tih dijelova, kako bi se osigurala dugoročna pouzdanost i efikasnost pumpi. Implementacija preventivnog održavanja i zamjena potrošnih dijelova može značajno smanjiti učestalost kvarova i povećati operativnu sigurnost uređaja

Tabela 7. Problemi s napajanjem

Uzrok	Broj uređaja	Postotak (%)
Strujni udar	15	60
Kvar u softveru	1	4
Visoka temperatura	5	20
Prolivanje tekućine u uređaju	4	16
Ukupno	25	100

Problemi s napajanjem (tabela 7) najčešće su izazvani strujnim udarima (60%), što ukazuje na visok rizik od električnih smetnji koje mogu ozbiljno ugroziti funkcionalnost aparata. Ovaj problem naglašava važnost implementacije zaštitnih sistema, poput UPS-

a (neprekidnog napajanja), kao i preventivnih mjera za zaštitu uređaja od strujnih udara. Dodatno, redovna provjera temperature i osiguranje zaštite od prolijevanja tekućine može dodatno smanjiti učestalost ovih kvarova.

Tabela 8. Neispravnosti transduktora i senzora

Uzrok	Broj uređaja	Postotak (%)
Nekalibriran transduktor ili senzor	3	15
Dugotrajno korištenje	3	15
Softverski kvarovi	7	35
Nepravilna filtracija vode	7	35
Ukupno	20	100

Neispravnosti transduktora i senzora (tabela 8) najčešće su uzrokovane softverskim kvarovima (35%) i nepravilnom filtracijom vode (35%). Ovaj tip kvarova ukazuje na ključne tačke za poboljšanje: prvo, važno je optimizirati procese filtracije vode, kako bi se osigurala tačnost rada senzora i transduktora, a drugo, potrebno je redovno ažurirati i održavati softverske sisteme koji upravljaju ovim komponentama. Ove mjere mogu značajno poboljšati preciznost i pouzdanost uređaja, smanjujući broj kvarova i produžujući radni vijek sistema.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad ističe značaj implementacije naprednih tehnologija u upravljanju održavanjem medicinskih uređaja, čime se direktno doprinosi stabilnosti, efikasnosti i kvalitetu zdravstvenog sistema. Istraživanje pruža jasne smjernice za dalji razvoj i unapređenje sistema održavanja medicinske opreme, temeljenog na najnovijim tehnološkim dostignućima, čime se omogućava sigurnija i efikasnija zdravstvena praksa.

LITERATURA

- [1] Kihui J, Maranga S, Mutia D. Maintenance management of medical equipment in hospitals. *Industrial Engineering Letters*, (3):9-19, 2012.
- [2] Patil P. J, Patil S. P, Jaltade V. G, Gupta S. S. Departmental equipment maintenance system in government medical college. *International Archives of Integrated Medicine*. 2(3):79-86, 2015.
- [3] Hamdi N, Oweis R, Zraiq H. A, Sammour D. A. An intelligent healthcare management system: a new approach in work-order prioritization for medical equipment maintenance requests. *J Med Syst*. 36(2):557-67, 2012.
- [4] Oshiyama N. F, Silveira A. C, Bassani R. A, Bassani J. W. M. Medical equipment classification according to corrective maintenance data: a strategy based on the equipment age. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*. 30(1):64, 2014.
- [5] Karimi A, Mojdeh S, Mehraban MA. The effect of six sigma program on improving medical equipment management of operating rooms in one of the hospitals in Isfahan in 2016. *Pharmacophore*, 8(6):e-1173225, 2017.
- [6] Gartner Report, *Global Medical Device Maintenance Market*, 2020.
- [7] Journal of Medical Systems, *A study on medical equipment failures and maintenance*, 2019.
- [8] IEEE Transactions on Medical Devices, *Impact of Maintenance Strategies on Medical Device Failures*, 2021.
- [9] World Health Organization (WHO) *Medical Equipment Management: Global Health Perspective*, 2020.
- [10] The relationship between device quality and failure rates, *International Journal of Healthcare Technology and Management*, 2018
- [11] Human Errors in Medical Device Usage and Their Impact on Clinical Outcomes, *BMJ Quality & Safety*, 2022.
- [12] Taghipour S. *Reliability and maintenance of medical devices: Citeseer*. University of Toronto; 2011.
- [13] Wang B, Fedele J, Pridgen B, Williams A, Rui T, Barnett L, Granade C, Helfrich R, Stephenson B, Lesueur D, Huffman T, Wakefield JR, Hertzler LW, Poplin B, Evidence-based maintenance: part I-measuring maintenance effectiveness with failure codes. *J Clin Eng* 35(3):132-144, 2010.
- [14] Patil P. J, Patil S. P, Jaltade V. G, Gupta S. S. Departmental equipment maintenance system in Government Medical College. *Int Arch Integr Med*. 2(3):79-86, 2015.
- [15] Jamshidi A, Rahimi S. A, Ait-kadi D, Bartolome A. R. Medical devices inspection and maintenance; a literature review. In: *Institute of Industrial and Systems Engineers annual conference proceedings*, vol. 3895. 2014.
- [16] Kihui J, Maranga S, Mutia D. Maintenance management of medical equipment in hospitals. *Indust Eng Let*. 2(3):9-19, 2012.
- [17] Goszczynska M, Tyszka T, Slovle P. Risk perception in Poland: A comparison with three other countries. *J Behav Decis Mak*. 4(3):179-93, 1991.
- [18] Alikhani P, Ganji H, Abtahi M, Vesal S, Naghdi B. Preventive maintenance of medical equipment in Alzahra Hospital, Isfahan, Iran 2013. *Int J Health Syst Disaster Manag*. 1(4):217, 2013.
- [19] Mahfoud H, El Barkany A, El Biyaali A. A hybrid decision-making model for maintenance prioritization in health care systems. *Am J Appl Sci*. 13(4):439-50, 2016.
- [20] Italian Ministry of Health, *Recommendation number 9: prevention of adverse events resulting in failure of medical devices or electromedical equipment*, 2009.

SUMMARY

ENHANCING THE RELIABILITY OF MEDICAL DEVICES THROUGH CONTEMPORARY MAINTENANCE STRATEGIES

Medical devices inevitably undergo degradation throughout their life cycle due to continuous use, during which their electrical and mechanical components are subjected to various physical, chemical, thermal, and electrical stressors. These factors contribute to gradual wear, diminished functionality, and an increased risk of malfunction. Timely detection of faults is crucial for ensuring reliable device performance and minimizing unplanned downtime. In this context, the establishment of efficient technological resource management models is essential to maintain the long-term functionality and safety of medical equipment in clinical settings.

This study investigates the application of advanced maintenance methodologies, including predictive diagnostics, proactive planning, and timely interventions, aimed at preventing critical failures. The integration of cutting-edge technologies and data management systems enables more accurate fault analysis and enhances the maintenance process. The primary objective of this research is to identify the root causes of device failures, develop effective maintenance strategies, and implement preventive measures that support the continuity of medical procedures, ensure long-term equipment reliability, and reduce potential risks to both patients and healthcare professionals.

Key Words: *Medical device maintenance, life cycle, failure analysis, equipment degradation, maintenance strategies, device criticality, predictive maintenance, patient safety*