

DIGITALNA PLATFORMA ZA UPRAVLJANJE KVAROVIMA I PLANIRANJE REMONTA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA**DIGITAL PLATFORM FOR FAILURE MANAGEMENT AND REPAIR PLANNING IN POWER SYSTEMS**

Željka Matović; Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Ovaj rad istražuje primjenu digitalne platforme za upravljanje kvarovima i planiranje remonta u elektroenergetskim sistemima u cilju njihovog poboljšanja. Izvršena je analiza ključnih prednosti aplikacije, uključujući brži odgovor na kvarove, bolju koordinaciju timova za održavanje i optimizaciju resursa.

Ključne reči: Elektroenergetski sistemi, kvarovi, remont

Abstract – This paper investigates the application of a digital platform for failure management and repair planning in power systems in order to improve them. An analysis of the application's key benefits was performed, including faster failure response, better coordination of maintenance teams, and resource optimization.

Keywords: Power systems, failures, repairs

1. UVOD

Električna energija je jedna od najvažnijih komponenti održivog društva i od suštinskog je značaja za rad domova, industrije i komercijalnih preduzeća. Upotreba električne energije i njena efikasna distribucija imaju ključnu ulogu u obezbjeđivanju stabilnosti i produktivnosti kompanije i društva uopšte. Elektroenergetski sistemi su kompleksni inženjerski entiteti koji obezbjeđuju neprekidno snabdijevanje različitih sektora električnom energijom, od domaćinstava i industrije do komercijalnih postrojenja.

Međutim, u elektroenergetskim mrežama mogu se pojaviti različiti kvarovi i problemi koji mogu uzrokovati prekid u isporuci električne energije, gubitke i ometanja svakodnevnih aktivnosti.

Kada je u pitanju efikasno upravljanje i rad elektroenergetskih sistema, imperativ je upotreba odgovarajućih komponenti i implementacija tehnoloških rješenja. Ovaj rad se fokusira na razvoj i implementaciju digitalne aplikacije koja olakšava proces prijavljivanja kvarova i planiranja remonta u elektroenergetskim sistemima. Aplikacija ima potencijal da unaprijedi efikasnost detekcije kvarova, brze intervencije, te planiranja preventivnih radova, što će rezultirati povećanjem pouzdanosti i smanjenjem prekida u snabdijevanju električnom energijom.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Bošković, vanr. prof.

2. ELEKTROENERGETSKI SISTEMI**2.1. Struktura elektroenergetskog sistema**

Elektroenergetski sistem (EES) je tehničko-ekonomski sistem u okviru koga se izvode sve elektroenergetske transformacije iz ili u električnu energiju, unutrašnje transformacije električne energije, njen prenos, distribucija i neposredna potrošnja [1].

Osnovni zadaci koji se postavljaju elektroenergetskim sistemima jesu da potrošačima obezbijede dovoljno snabdijevanje, tj. potrebnu snagu i dovoljnu količinu električne energije, i da snabdijevanje potrošača bude sigurno, kvalitetno i ekonomično, a sve to uz racionalnu upotrebu električne energije i minimalne troškove.

Kao složeni dinamički sistem, EES se može razdvojiti na četiri funkcionalno nezavisna, ali međusobno spregnuta i veoma zavisna podsistema [2]. Povezanost tih podsistema određena je smijerom toka električne energije (slika 1). Ti funkcionalno odvojeni podsistemi jesu:

- podsistem proizvodnje – u kojem se u elektranama proizvodi električna energija,
- podsistem prenosa – obuhvata prenosnu mrežu i služi da prenese električnu energiju od elektrana do distributivne mreže,
- podsistem distribucije – obuhvata distributivne mreže i distributivne transformatore u kojem se električna energija dobijena iz prenosne mreže distribuira do potrošača,
- podsistem potrošnje – u kojem se troši električna energija.



Slika 1. Prikaz toka energije u EES

2.2. Kvarovi u elektroenergetskim sistemima

EES su podložni različitim vrstama kvarova koji mogu imati ozbiljne posljedice kako po društvo, tako i po privredu i bezbjednost. Razumijevanje prirode, uzroka i posljedica kvarova u EES je od suštinskog značaja za efikasno upravljanje ovim sistemima.

Kvarove u EES možemo svrstati u nekoliko grupa:

- Električni kvarovi – kratki spojevi, otvorena kola, preopterećenja, naponske fluktuacije i sl.
- Mehanički kvarovi – povezani su sa mehaničkim komponentama EES. Ovi kvarovi često mogu biti posljedica starenja i oštećenja opreme.
- Prirodne katastrofe – oluje, poplave, zemljotresi, požari i sl.
- Ljudski faktori – ljudske greške, nepravilno rukovanje opremom, loše održavanje i sabotaze.

Posljedice navedenih kvarova u EES mogu biti ozbiljne i imati širok spektar negativnih efekata na rad elektroenergetskog sistema. Neke od posljedica su prekidi u snabdijevanju, bezbjednosni rizici, gubici i troškovi, poremećaji u električnim mrežama, itd.

Prevenција i upravljanje kvarovima su od ključnog značaja kada je u pitanju očuvanje pouzdanosti i efikasnosti EES. Ovo uključuje: redovno održavanje, praćenje i dijagnostiku, kao i brzu intervenciju.

2.3. Izrada plana remonta i održavanja termičkih jedinica

Remonti i održavanje objekata EES-a spadaju među najvažnije aktivnosti u eksploataciji. Posebno su osjetljivi problemi održavanja proizvodnih objekata jer se, iz ekonomskih razloga, savremeni EES-i razvijaju tako da rade sa što je moguće manjom rezervom.

Plan remonta i održavanja termičkih jedinica sastoji se u određivanju perioda i redoslijeda remonata pojedinih agregata, uz minimalne pogonske troškove i uz ograničenje da potrebe svih potrošača u sistemu budu zadovoljene [3]. Heuristička procedura za izradu optimalnog plana remonata sastoji se u računarskoj simulaciji rada sistema za svaku sedmicu ukupnog dozvoljenog perioda održavanja, pod pretpostavkom da su određene jedinice u remontu, a da su sve ostale jedinice raspoložive sa ukupnom snagom jednakom zbiru svojih nominalnih snaga, pomnoženim sa očekivanom raspoloživošću.

Planiranje remonta u EES je kompleksan proces koji zahtijeva pažljivo razmatranje više faktora kako bi se osigurao optimalan i efikasan postupak održavanja. Ključni elementi u procesu planiranja remonta uključuju:

- Pristup rizicima i problemima – identifikacija potencijalnih rizika i određivanje prioriteta remonta različitih komponenta EES.
- Troškovi i budžetiranje – utvrđivanje finansijskih resursa koji su neophodni za sprovođenje remonta i pravilno budžetiranje kako bi se obezbjedila sredstva za planirane aktivnosti.
- Vrijeme i raspoloživost – definisanje perioda za vrijeme kojeg je moguće izvršiti remont komponente EES i obezbjeđivanje radne snage i materijala koji su potrebni tokom tog vremenskog perioda.

- Ograničenja i norme – poštovanje relevantnih industrijskih standarda i zakonskih propisa tokom procesa remonta, uključujući sigurnosne norme i zahtjeve za zaštitu životne sredine.
- Kontinuirano praćenje i ažuriranje – proces planiranja remonta nije statičan i zahtijeva kontinuirano praćenje i ažuriranje kako bi se reagovalo na promjene i nepredviđene okolnosti.

Nakon planiranja remonta slijedi faza implementacije. Ova faza podrazumijeva precizno izvršenje planova remonta uz striktno poštovanje svih sigurnosnih i tehničkih procedura.

Kada je remont izvršen, pristupa se detaljnoj provjeri i testiranju opreme kako bi se u potpunosti osiguralo njeno ispravno funkcionisanje. Rezultati remonta uključuju poboljšane performanse, povećanu pouzdanost sistema i smanjenje rizika od kvarova.

3. METODOLOGIJA

Upravljanje kvarovima i planiranje radova (remonta) u elektroenergetskim sistemima predstavljaju ključne komponente kada je u pitanju stabilnost, pouzdanost i efikasnost elektroenergetskih mreža.

Razvoj metodologije za efikasno rješavanje izazova koje ove komponente donose zahtijeva pažljivo planiranje, organizaciju i koordinaciju različitih aktivnosti. Metodologija o kojoj će biti riječi u nastavku pruža detaljan uvid u korake i procese koji su od ključnog značaja za uspješno upravljanje kvarovima i cjelokupno održavanje EES-a.

Na slici 2 je prikazan dijagram slučajeva korišćenja koji ilustruje različite slučajeve korišćenja aplikacije za upravljanje kvarovima. Ovaj dijagram pomaže u razumijevanju ključnih interakcija između korisnika i sistema, pružajući osnovu za dalje razumijevanje arhitekture i implementacije aplikacije.

3.1. Prijavlјivanje kvarova

Prijavlјivanje kvarova predstavlja prvi korak u procesu efikasnog upravljanja EES. Korisnici, poput domaćinstava ili preduzeća, koriste aplikaciju za prijavljivanje kvarova. Kvarovi se prijavljuju sa opisom problema koji se desio, kao i preciznom lokacijom na kojoj se kvar nalazi. Ovaj korak omogućava korisnicima da aktivno učestvuju u identifikaciji problema i komunikaciji u elektroenergetskim mrežama, pružajući osnovu za brz i precizan odgovor na potencijalne prekide ili kvarove.

3.2. Analiza i klasifikacija kvarova

Nakon izvršenog prijavljivanja kvara, tim koji je zadužen za praćenje i upravljanje kvarovima (administratorski tim) analizira svaku prijavu. Klasifikacija kvarova se vrši prema različitim kriterijumima, u koje spadaju ozbiljnost problema, hitnost intervencije, kao i potencijalni uticaj na elektroenergetski sistem. Ova analiza je od velikog značaja za naredni korak, odnosno za prioritizaciju kvarova.

3.3. Prioritetizacija kvarova

Na osnovu izvršene analize i klasifikacije kvarova, sledeći korak u metodologiji je njihova prioritizacija. Ozbiljni kvarovi koji za posledicu mogu imati ugrožavanje bezbjednosti korisnika ili narušavanje snabdijevanja električnom energijom se stavljaju na listu kvarova sa najvišim stepenom

prioriteta. Proces prioritizacije nije statičan. U zavisnosti od razvoja situacije i potencijalnog prijavljivanja novih kvarova, može doći do izmjene u prioritetima. Prioritizacija u velikoj mjeri pomaže efikasnijem rasporedu resursa i bržem odgovoru na hitne situacije.

3.4. Planiranje remonta

U cilju efikasnog upravljanja kvarovima, razvija se plan remonta. Planiranje remonta uključuje određivanje resursa koji su neophodni za popravku kvara, kao i utvrđivanje optimalnog vremenskog okvira za intervenciju koju je potrebno izvršiti.

Nakon kreiranja plana remonta, administrator sistema zakazuje popravku. Kada je popravka kvara zakazana, korisnicima se šalje obavještenje o datumu i lokaciji popravke.

3.5. Komunikacija i koordinacija

Kontinuirana komunikacija i koordinacija između različitih timova i aktera su jedan od ključnih elemenata metodologije. Ovaj korak metodologije omogućava elektrodistributivnim organizacijama da obezbijede pravilnu i brzu razmjenu informacija unutar sistema. Korisnicima se pružaju informacije i uvid u status prijavljenih kvarova, dok se timovima na terenu pruža detaljan raspored remonta. Ovo znatno utiče na poboljšanje efikasnosti upravljanja resursima i smanjuje vrijeme potrebno za popravke.

3.6. Praćenje i evaluacija

Nakon izvršenog remonta, vrši se praćenje i evaluacija kako bi se utvrdilo da li su popravke izvedene u skladu sa planom i da li su prijavljeni kvarovi otklonjeni. Ovaj segment metodologije omogućava organizacijama da aktivno prate performanse sistema, identifikuju potencijalne probleme i kontinuirano unapređuju svoje procese. Prvi korak u praćenju i evaluaciji je identifikacija i usvajanje ključnih pokazatelja performansi (KPI) za EES. Ovi KPI-ji obuhvataju različite aspekte, kao što su pouzdanost napajanja, efikasnost mreže, iskorišćenost resursa i sigurnost. Praćenje i evaluacija čine proces upravljanja EES-om dinamičnim i adaptivnim.

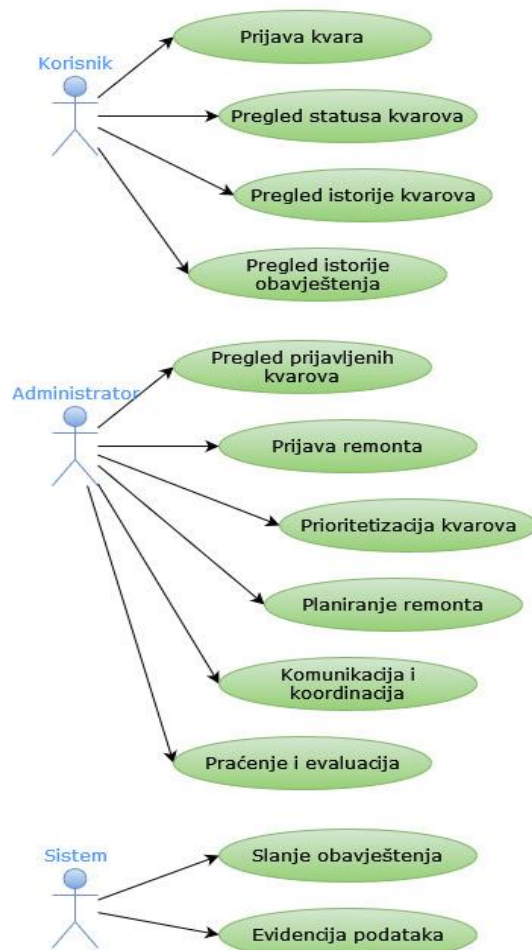
3.7. Unapređenje procesa

Ovaj segment metodologije fokusira se na analizu postojećih procesa i procedura kako bi se identifikovali prostori za optimizaciju i unapređenje. Prvi korak u unapređenju procesa je identifikacija svih ključnih procesa koji su od suštinskog značaja za funkcionisanje EES-a. Ovo uključuje sve korake u procesima održavanja, intervencije u slučaju kvarova, planiranja remonta i komunikacije.

Nakon identifikacije slijedi detaljna analiza svakog procesa u kojoj se identifikuju sve potencijalne slabosti i prostori za poboljšanje.

Na osnovu izvršene analize, definišu se ciljevi za unapređenje i pristupa se dizajniranju novih procesa ili optimizaciji postojećih.

Unapređenje procesa je iterativni proces. Ovaj korak metodologije čini EES sposobnim da se u kontinuitetu prilagođava novim izazovima, postiže viši nivo efikasnosti i da ispunjava očekivanja korisnika.



Slika 2. Slučajevi korišćenja

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Poboljšanje upravljanja EES-om se ogleda u efikasnosti i pouzdanosti aplikacije za prijavu kvarova i planiranje remonta. Efikasnost aplikacije podrazumijeva njenu sposobnost obezbjeđivanja brze reakcije na prijave kvarova, kao i automatsko obavješćavanje korisnika i administratora sistema. To značajno smanjuje vrijeme potrebno za identifikaciju i rješavanje problema.

Pouzdanost se odnosi na tačnost informacija koje se pružaju korisnicima. Aplikacija omogućava korisnicima da prate status svojih prijava kvarova, što doprinosi transparentnosti i povjerenju korisnika u aplikaciju. Intuitivnost i jednostavnost aplikacije za korišćenje omogućava korisnicima da brzo i lako prijave kvarove.

Smanjenje vremena potrebnog za reakciju i popravku kvara je od velikog značaja za održavanje pouzdanosti EES i obezbjeđivanje neprekidnog snabdijevanja korisnika električnom energijom. Uvođenje aplikacije za prijavu kvarova i planiranje remonta značajno doprinosi ostvarenju ovih ciljeva na više načina, u koje spadaju: brža detekcija kvarova u odnosu na dosadašnju, automatizovana obavješćenja, bolje planiranje resursa i njihovo efikasnije korišćenje, prioritizacija kvarova, olakšana koordinacija timova, praćenje i evaluacija performansi.

Planiranje remonta u EES predstavlja važnu kariku u održavanju EES, smanjenju vremena prekida u snabdijevanju električnom energijom i produženju životnog vijeka opreme. Implementacija aplikacije može značajno unaprijediti ovaj ključni aspekt upravljanja EES. Aplikacija omogućava sakupljanje podataka o stanju elektroenergetske infrastrukture i procjenu potrebnih resursa i vremenskih okvira, što doprinosi efikasnosti planiranja remonta. Olakšava komunikaciju između terenskih ekipa i centralne administracije. Omogućava planiranje remonta unaprijed, kao i njihov kalendarski pregled. Osim toga, aplikacija može doprinijeti efikasnijem korišćenju resursa i time uticati na smanjenje troškova održavanja i budžet elektroenergetskih preduzeća.

Osim što aplikacija za prijavu kvarova može poboljšati sigurnost i pouzdanost EES, ona značajno može doprinijeti zadovoljstvu korisnika i administracije. Korisnici će cijeniti bržu reakciju na prijavljene kvarove, kao i uvid u njihov status. Korisnici mogu pristupiti historiji svojih prijava i popravki, kao i historiji svih obavještenja, što im omogućava bolje razumijevanje rješavanja njihovih problema tokom vremena. Precizno planiranje i prioritizacija remonta znači da će nepotrebne smetnje korisnicima biti izbjegnute, što doprinosi njihovom zadovoljstvu i minimalnom uticaju na svakodnevne aktivnosti.

Administracija ima bolju kontrolu nad procesom prijave kvarova i planiranja remonta, čime je omogućena efikasnost alokacija resursa i bolja koordinacija timova. Preciznim planiranjem remonta, administracija može bolje predvidjeti troškove i izbjeći one koji su nepotrebni. Administrativni procesi, kao što su praćenje i izvještavanje, su poboljšani i unaprijeđeni, čime se štedi kako vrijeme, tako i resursi. Na kraju, zadovoljni korisnici često znače manji pritisak na administraciju, što doprinosi boljem radnom okruženju i opštem zadovoljstvu zaposlenih.

Buduće mogućnosti unapređenja aplikacije za prijavu kvarova i planiranje remonta u EES mogu donijeti dodatne koristi i unapređenja. Jedna od ključnih sekcija koje se mogu istraživati i razvijati u cilju unapređenja aplikacije je vještačka inteligencija i napredna analitika. Njihova implementacija može omogućiti prediktivno održavanje i identifikaciju potencijalnih kvarova prije nego što se oni dese. Vještačka inteligencija može analizirati velike količine podataka kako bi identifikovala obrasce i rizike, čime se smanjuje potreba za reaktivnim intervencijama. Upotreba *Internet of Things* (IoT) senzora za praćenje stanja opreme može automatski generisati prijave kvarova kada senzori otkriju odstupanja ili probleme u elektroenergetskoj mreži, što omogućava još bržu reakciju na probleme. Takođe, razvoj mobilne aplikacije bi omogućio terenskim ekipama lakši pristup informacijama o kvarovima i evidenciji popravki. *Blockchain* tehnologija je još jedan od načina unapređenja aplikacije koji može osigurati sigurnost i transparentnost u procesima prijave kvarova i evidencije popravki. Ova tehnologija ima posebnu važnost u situacijama koje zahtijevaju konstantnu verifikaciju i evidenciju.

Buduće mogućnosti unapređenja ove aplikacije su brojne, a njihova implementacija će doprinijeti efikasnijem i pouzdanijem elektroenergetskom sistemu, čime će se obezbjediti bolja usluga korisnicima i optimizacija resursa.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu istražen je razvoj i primjena digitalne aplikacije za prijavu kvarova i planiranje remonta u EES. Cilj ovog istraživanja bio je unapređenje efikasnosti i pouzdanosti elektroenergetskih mreža, što je od suštinskog značaja za obezbjeđivanje stabilnog snabdijevanja električnom energijom.

Kroz analizu problema u EES, razvijena je metodologija koja omogućava efikasno upravljanje kvarovima i održavanjem. Ova metodologija uključuje korake prijavljivanja kvarova, analize i klasifikacije kvarova, prioritizacije, planiranja remonta, komunikacije i koordinacije, praćenja i evaluacije, kao i unapređenja procesa. Implementacija metodologije u korelaciji sa odgovarajućim tehnologijama i resursima može dati značajan doprinos stabilnosti i pouzdanosti elektroenergetskih mreža i EES u cjelini.

Takođe, rad takođe ukazuje na buduće mogućnosti unapređenja, kao što su integracija vještačke inteligencije i bolje analitike, zatim IoT senzori i *blockchain* tehnologija. Navedene tehnologije mogu dodatno unaprijediti efikasnost i sigurnost EES.

Ovaj rad ukazuje na važnost uloge digitalizacije u modernizaciji EES. Njegova primjena pored toga što doprinosi boljem praćenju i upravljanju kvarovima i remontima, takođe igra važnu ulogu u većem zadovoljstvu korisnika i administracije.

6. LITERATURA

- [1] Sreten Škuletić, Marina Braletić, "Uvod u energetiku", Podgorica, 2022.
- [2] Vladimir C. Strezoski, "Osnovi elektroenergetike", Novi Sad, 2014.
- [3] Miloš Milanković, Dragoslav Perić, Ivana Vlajić-Naumovska, "Osnovi elektroenergetike", Beograd, 2016.

Kratka biografija:



Željka Matović rođena je u Trebinju 1997. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Primenjeno softversko inženjerstvo odbranila je 2023. godine.

kontakt: matoviczeljkaa@gmail.com