

DOI: [10.46793/CIGRE37.B2.05](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B2.05)**B2.05****ISPITIVANJE STANJA PROVODNIKA U PRENOSNOJ MREŽI SRBIJE PRIMENOM
ROBOTSKE TEHNOLOGIJE****CONDITION TESTING OF CONDUCTORS IN SERBIAN TRANSMISSION SYSTEM
USING LINE INSPECTION ROBOTS****Zoran Petrović, Goran Mišić, Vlastimir Tasić, Stefan Jovanović, Ivan Urošević,
Ana Lovrenčić¹**

Kratak sadržaj — Da bi se obezbedio siguran i pouzdan prenos električne energije u EES-u usled povećane potrošnje, starenja dalekovoda i zahteva u pogledu standarda za upravljanje i održavanje, razvijene su nove tehnike za procenu i dijagnozu stanja različitih elemenata nadzemnih visokonaponskih vodova u cilju potvrde stanja u kojem se elementi ovih vodova nalaze. One služe kao podloge za donošenje odluke o hitnoj sanaciji kao i za proces planiranja revitalizacije i adaptacije posebno starih visokonaponskih vodova čiji je životni vek na isteku. U ovom radu, predstavljeni su rezultati primene Kinectrics LineVue robotske tehnologije u prenosnom sistemu Republike Srbije koja omogućava procenu stanja provodnika sa čeličnim jezgrima (ACSR i ACSS) i čeličnih zaštitnih užadi. Robot vrši merenje preostale površine poprečnog preseka čeličnog jezgra provodnika, detektuje lokalnu koroziju i prekide čeličnih žica pod naponom ili u beznaponskom stanju visokonaponskog voda. Dobijeni rezultati se mogu koristiti za procenu indeksa zdravlja provodnika u postupku procene stanja i optimizacije preostalog životnog veka provodnika.

Ključne reči: *Ispitivanje provodnika, Ispitivanje visokonaponskih vodova, Mobilni robot, Procena stanja provodnika*

Abstract — In order to ensure safe and reliable transmission of electricity in electric power system due to increased consumption, power lines aging and requirements for operation and maintenance standards, new techniques have been developed for the assessment and diagnosis of the condition of various elements of high voltage overhead power lines in order to confirm the condition of the elements of these lines. They serve as a basis for making decisions on urgent rehabilitation as well as for the process of planning the revitalization and upgrade of especially aging transmission power lines whose service life is about to expire. In this paper, the results of the application of Kinectrics LineVue robotic technology in the transmission system of the

¹ Zoran Petrović, Vojvode Stepe 412, 11000, Beograd, Srbija, zoran.petrovic@ems.rs
Goran Mišić, Vojvode Stepe 412, 11000, Beograd, Srbija, goran.misic@ems.rs
Vlastimir Tasić, Husinskih rudara 19, 11000, Beograd, Srbija, vlastimir.tasic@eii.rs
Stefan Jovanović, Husinskih rudara 19, 11000, Beograd, Srbija, stefan.jovanovic@eii.rs
Ivan Urošević, Husinskih rudara 19, 11000, Beograd, Srbija, ivan.urosevic@eii.rs
Ana Lovrenčić, Riharjeva ulica 38, 1000, Ljubljana, Slovenija, ana.lovrencic@c-g.si

Republic of Serbia are presented, which enables the assessment of the condition of conductors with steel cores (ACSR and ACSS) and steel earth wires. The robot measures the remaining cross-sectional area of the conductor steel core, detects local corrosion and breaks of steel wires on energized or de-energized transmission lines. Provided results can be used to estimate the conductor health index in the process of condition assessment and optimization the remaining life of the conductor.

Keywords: *Conductor inspection, Transmission line inspection, Mobile robot, Conductor condition assessment*

1 UVOD

Tokom radnog veka dalekovoda, primena politike preventivnog održavanja je neophodna za optimizaciju postupaka za sprečavanje ili odlaganje pojave kvara. Kada se sprovede sistematično, rezultati pregleda dalekovoda se registruju i formiraju bazu podataka i izveštaje o stanju elemenata dalekovoda. Ove informacije predstavljaju polaznu osnovu za definisanje korektivnih mera i planiranje rekonstrukcija.

U mnogim zemljama značajan razvoj prenosne nadzemne mreže se odvijao šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka. Dalekovodi izgrađeni tada su približno 50 do 60 godina stari. Ova činjenica dovodi do pitanja trenutne pouzdanosti i preostalog životnog veka elemenata ovih dalekovoda.

Tradicionalno, odluke za održavanje dalekovoda su uglavnom bazirane na vizuelnom pregledu elemenata. Osnova ove tehnike održavanja je uglavnom kvalitativna i bazira se na subjektivnoj oceni usled čega mogu nastati neprecizne procene. Tokom vizuelnog pregleda provodnika moguće je utvrditi samo stanje vidljivih delova spoljnjih žica dok je za ostale žice moguće dati samo procenu stanja. Provodnici sa unutrašnjim prekidima žica, bez ikakvog znaka oštećenja žica u spoljnom sloju, predstavljaju vrlo opasan slučaj zbog čega je potrebno sprovoditi uzorkovanje i ispitivanje provodnika za kvantitativno poznavanje trenutnog stanja. Principi ispitivanja se razlikuju u praksi, gde pojedini operateri prenosnog sistema vrše laboratorijsko ispitivanje uzorka nakon kvara dok drugi vrše monitoring primenom ispitivanja bez razaranja, npr. robotom ili drugom metodom, dok za verifikaciju tako utvrđenog stanja vrše laboratorijska ispitivanja gde na bazi dobijenih informacija donose odluke aset menadžmenta o izvođenju intenzivnijeg održavanja ili terminsko planiranje zamene.

Kako bi se održala ili povećala pouzdanost dalekovoda nove tehnike održavanja postaju dostupne za procenu i dijagnozu stanja različitih elementa dalekovoda. Jedna od tih tehnika je primena mobilne robotike koja može smanjiti potencijalni rizik za ekipe za održavanje, doći do teško dostupnih raspona (npr. rečnih prelaza ili nepristupačnih raspona sa velikom razlikom u nadmorskoj visina tačaka vešanja), brže obavljati posao i smanjiti troškove u poređenju sa tradicionalnim metodama. Jedan takav uređaj je robot za procenu stanja na licu mesta (Line Inspection Robot) koji omogućuje pregled čeličnih žica jezgra aluminijskih provodnika (Al/Fe, ACSR), samonosivih provodnika (ACSS) i čeličnog zaštitnog užeta na dalekovodu. Robot meri preostali presek žica čeličnog jezgra i otkriva sve lokalne prelome i duboku koroziju žice pod naponom ili u beznaponskom stanju visokonaponskog voda.

Uobičajene dijagnostičke tehnike koje se koriste za procenu stanja provodnika podrazumevaju uzimanje uzoraka na licu mesta zbog čega je uzrokovanje ograničeno na jedan ili dva uzorka što čini ukupan broj uzoraka malim. Robot omogućuje procenu mnogo većeg dela čime se

dobija više informacija o stanju provodnika koje omogućavaju aset menadžerima da razviju pouzdaniji indeks zdravlja provodnika.

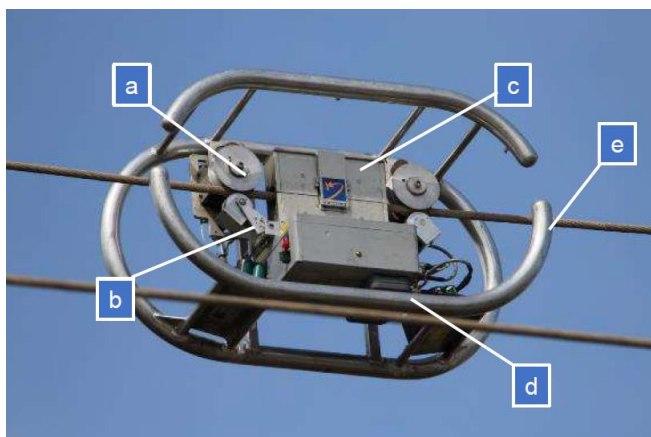
U septembru 2024. godine sproveden je Pilot projekat u mreži kompanije Elektromreža Srbije AD u cilju sticanja novih znanja o metodologiji utvrđivanja stanja provodnika tipa ACSR koji su u eksploataciji. Osnovni cilj je da se na bazi rezultata Pilot projekta pregleda stanja provodnika primenom robotske tehnologije proceni njihovo realno fizičko stanje.

2 ROBOT ZA PROCENU STANJA PROVODNIKA – PRIMENA I METOD MERENJA

Sa stanovišta tehnološkog razvoja, trenutno, raspoloživo je više različitih mobilnih dijagnostičkih uređaja baziranih na robotskim tehnologijama za procenu stanja provodnika na licu mesta u prenosnoj i distributivnoj mreži sa potencijalom da značajno unaprede metodologiju građenja i održavanja. Postoji više klasifikacija robota i robotskih tehnologa, gde za prenosnu mrežu oni se mogu identifikovati kao roboti koji se pričvršćuju na provodnik i zaštitno uže (Line Suspended Robots), bespilotne letelice (Unmanned Aerial Vehicles), roboti koji pregled vrše sa zemlje (Ground Based Robots) i drugi roboti (puzajući roboti i roboti za izolatore). Roboti koji se pričvršćuju na provodnik i zaštitno uže mogu obavljati različite dijagnostičke zadatke kao što je vizuelni pregled, detekciju korozije, termografski pregled, merenje prelaznog otpora kompresionih spojeva, pritezanje vijaka, privremena sanacija prekinutih žica, identifikacija vegetacije, odleđivanje provodnika i zaštitnog užeta.

U okviru sprovedenog Pilot projekta, procena stanja provodnika je obavljena pomoću daljinski upravljanoj robota LineVue® (® - zaštitni znak) proizvedenog od strane kompanije Kinectrics, Kanada. LineVue robot se može primeniti na dalekovodima u beznaponskom stanju i dalekovodima pod naponom do 500 kV dok je primena na provodnicima i zaštitnim užadima ograničena na prečnike od 15 mm do 45 mm. Brzina pregleda provodnika je 40 m/min i zavisi od nagiba raspona i intenziteta kiše, snega i vetra. Robot u realnom vremenu putem radio veze šalje podatke na računar operatera na zemlji.

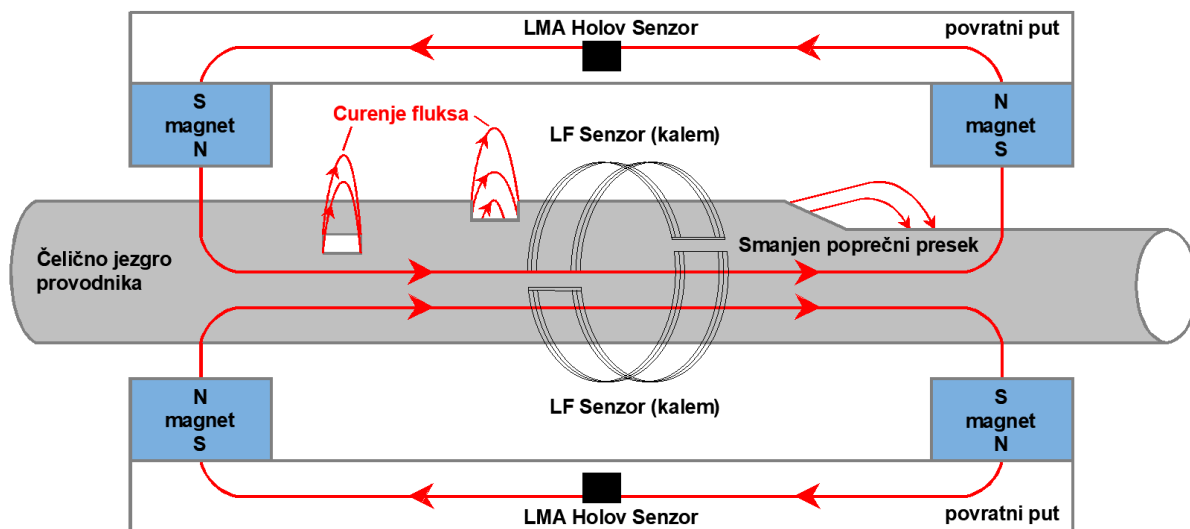
Glavne komponente LineVue robota su
a) industrijski motorni pogon; **b)** rotacioni enkoder za merenje pređene udaljenosti; **c)** glava sa senzorima za prikupljanje 20 uzoraka na 10 cm dužine provodnika; **d)** primopredajnik za slanje prikupljenih podataka u realnom vremenu na računar operatera i **e)** korona prstenovi za oblikovanje polja za primenu na dalekovodima pod naponom. Na Slici 1 je prikazan LineVue robot i glavne komponente.



Slika 1: Glavne komponente LineVue robota

LineVue robot koristi tehniku bez razaranja na principu ispitivanja magnetofluksom feromagnetnih materijala za detekciju prisustva korozije na površini čeličnih žica jezgra provodnika, vrši precizno merenje preostale površine poprečnog preseka i detektuje oštećenja i prekide žica. Ispitivanje magnetofluksom se zasniva na primeni elektromagneta ili jakih permanentnih magneta i zavisi od uniformne magnetizacije feromagnetnog materijala. Prednost

primene magneta je u tome što se može podesiti intenzitet magnećenja da odgovara različitim prečnicima žica. Princip merenja LineVue robota je prikazan na Slici 2.



Slika 2: Princip merenja LineVue robota

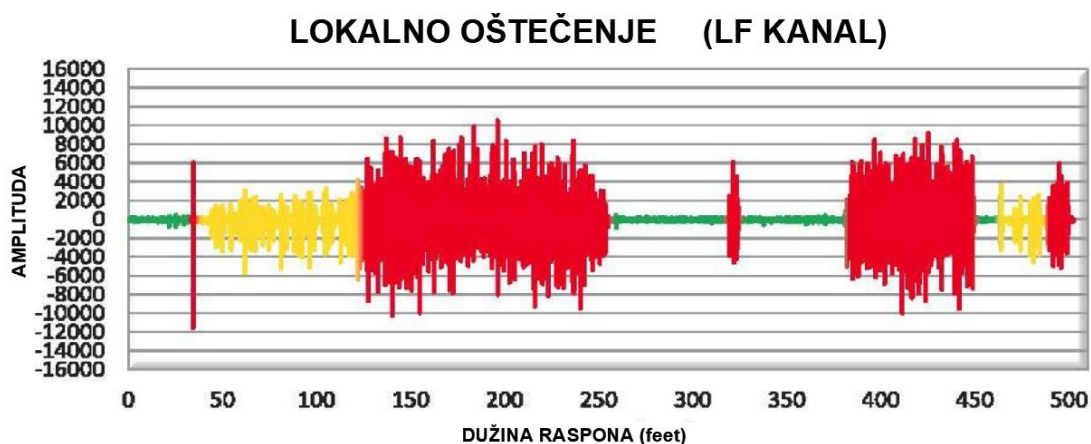
Senzorski deo robota sastoji se od Holovih senzora koji kvantitativno mere preostali poprečni presek jezgra i gubitak cinka LMA (akronim od Los of Mettalic Area) i kalema kao senzora koji detektuje lokalna oštećenja u materijalu žice LF (akronim od Local Flaw) kao što je prekid žice, pojava jamica ili abrazija. Preostali poprečni presek se može odrediti sa greškom ne većom od $\pm 5\%$ na dužini provodnika od 0,6 m – 0,9 m. Za stvaranje uniformnog magnetnog polja primenjeni su permanentni magneti.

Pre merenja, vrši se kalibracija senzora pomoću čeličnih šipki relativne permeabilnosti približne materijalu korišćenom za žice jezgra provodnika. Može se primeniti i više čeličnih šipki različitih prečnika za formiranje efektivnog prečnika jezgra. Detekcija stanja provodnika se vrši u dva prelaska preko provodnika od stubova u rasponu. U prvom prelasku od baznog do susednog stuba, posredstvom permanentnih magneta vrši se magnećenje žica jezgra do blizu zasićenja dok se u povratku vrši merenje. Permanentni magneti formiraju magnetno polje oko provodnika sa linijama magnetnog polja u aksijalnom pravcu pri čemu je magnetni fluks proporcionalan poprečnom preseku jezgra. Kada se menja geometrija žice usled pojave površinske korozije i lokalnog oštećenja na površini, dolazi do izobličenja linija magnetnog polja i curenja fluksa kao posledica promene magnetnog otpora. Promena intenziteta i izobličenje linija magnetnog polja detektuje se Holovim senzorima koji daju naponski signal proporcionalan promeni horizontalne komponente gustine fluksa. Poređenje se vrši u odnosu na referentnu tačku koja predstavlja maksimum poprečnog preseka. Holovi senzori daju signal za LMA kanal merno akvizicionog sistema. Varijacija vertikalne komponente gustine fluksa indukuje napon na krajevima kalema proporcionalan težini lokalnog oštećenja. Kalem daje signal za LF kanal merno akvizicionog sistema.

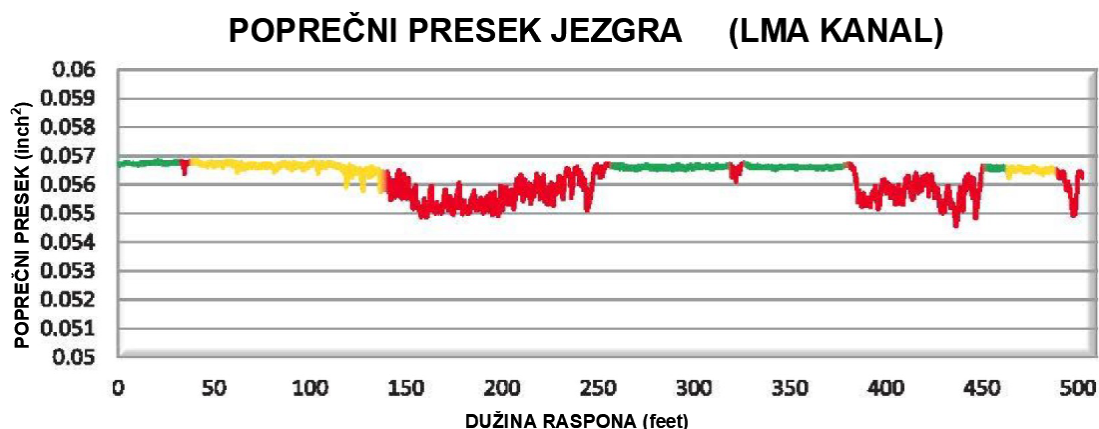
U Poglavlju 4.2, u Tabeli 3, date su vrednosti signala LF kanala za određivanje težine površinskog oštećenja. Naponski signali dobijeni od magnetnog curenja su male amplitude i moraju se pojačati za dalju obradu. Takođe, moraju biti filtrirani zbog prisustva smetnji koje su posledica vihornih struja i vibracija usled dejstva polja. Kinectrics koristi mašinsko učenje i veštačku inteligenciju za analiziranje podataka prikupljenih LineVue robotom. Aktivno se

uklanjaju smetnje iz prikupljenih podataka i primenjuju najbolji kompjuterski algoritmi za analizu.

Grafički prikaz signala LF i LMA kanala je dat na Slici 3 i Slici 4 gde su zelenom bojom naznačeni delovi provodnika u jednom rasponu koji se mogu smatrati da su u dobrom stanju bez prisustva korozije i lokalnih jamica, žutom bojom su naznačeni delovi gde je prisutna manja i srednja površinska korozija sa manjim lokalnim jamicama i crvenom bojom su naznačeni delovi sa velikom površinskom korozijom i lokalnim jamicama.



Slika 3: LF kanal – indikator koji detektuje lokalna oštećenja kao što su jamice i prekidi žica



Slika 4: LMA kanal – indikator koji detektuje preostali poprečni presek jezgra

LineVue robot se na provodnik može montirati sa stuba pomoću merdevina i konopca, iz vazduha pomoću helikoptera ili iz vozila sa platformom/korpom. Sam uređaj je prilagođen sa različitim tačkama za podizanje da odgovara navedenim načinima montaže. Za potrebe sprovedenog Pilot projekta, montažu robota su izveli zaposleni kompanije PD „ELEKTROISTOK – Izgradnja“, d.o.o. Beograd upotrebnom kamiona dizalice sa hidrauličnom platformom i korpom. Robotom su upravljali sa zemlje sertifikovani operateri kompanije C&G d.o.o. Ljubljana koja je partner kompanije Kinectrics u projektu, dok je obradu prikupljenih podataka i izradu izveštaja o rezultatima izvršenog ispitivanja izvršila kompanija Kinectrics.



Slika 5: Sprovođenje pilot projekta u mreži EMS-a

3 DEGRADACIJA PROVODNIKA TIP ACSR USLED KOROZIJE

Starenje provodnika tipa ACSR i gubitak mehaničke čvrstoće je posledica zamora materijala usled sila zatezanja i vibracija, žarenja aluminijuma usled preopterećenja (pregrevanja), atmosferskog pražnjenja i korozije. Korozija metala je elektrohemijski proces koji se generalno javlja u prisustvu vode, kiselina, baza, soli i drugih čvrstih i tečnih hemijskih supstanci. Uz prisustvo elektrolita na površini metala, metal napuštaju slobodni elektroni koji se kreću na metalu od jednog mesta (anoda) ka drugom mestu (katoda).

Prevlaka cinka se sastoji od četiri sloja: gama, delta, zeta i eta, gde je gama sloj prvi a eta sloj poslednji i izložen atmosferi. Prva tri intermetalna sloja sastoje se od gvožđa i cinka dok se poslednji, eta, sastoji od čistog cinka. Mehanizam degradacije galvanizovane žice provodnika od nove sa 100% cinka (Faza 1) do potpunog gubitka prevlake cinka i pojave direktne korozije do gubitka minimalne potrebne mehaničke čvrstoće (Faza 3) se odvija u tri podfaze (Faza 2). U Fazi 2 se razvija **a)** korozija površinskog sloja eta sloja pri kojoj nastaje 1% - 33% ukupne korozije, **b)** progresija dejstva korozije do kompletne oksidacije eta sloja pri kojoj nastaje 34% - 66% ukupne korozije i **c)** potpuni gubitak eta sloja, delimično do potpuno oksidiran intermetalni sloj sa površinski sporadično ostalim delovima prevlake cinka pri kojoj nastaje 67 % - 99% ukupne korozije [1].

Treba naglasiti da pri postupku tvrdog vučenja galvanizovane čelične žice, prečnik žice i debljina prevlake cinka su podložni promeni. Promena je posledica principa konstantne zapremine u procesu vučenja pri kome dolazi do smanjenja prečnika žice i smanjenja debljine prevlake cinka. Nakon postupka vučenja žice, ne samo da dolazi do promene mehaničkih svojstava žice, već dolazi i do promene prevlake cinka [3]. Uzimajući u obzir minimalne zahteve relevantnih standarda u pogledu debljine prevlake cinka, može se smatrati da je u Fazi 2 proces razvijanja korozije jednak za sve žice bez obzira na debljinu dok u praksi to ne mora biti slučaj kao posledica napred navedenog. Step en korozije je najvažniji parametar u proceni mehaničkih karakteristika čeličnih žica koje se ispituju. U elektrohemiji, step en korozije je određen gubitkom mase, prema čemu metod gubitka mase se koristi za kvantitativnu analizu korozije čelične žice. Degradativni proces traje sporije kod žica većeg prečnika u odnosu na žice manjeg prečnika što je posledica veće mase metala.

Dva tipa klasifikacije korozije su zastupljena: klasifikacija na osnovu metala koji su uključeni u proces korozije i klasifikacija na osnovu strukture oštećenja.

Sa stanovišta klasifikacije korozije provodnika tipa ACSR na osnovu metala uključenih u proces, korozija se deli na atmosfersku i galvansku koroziju.

Atmosferska ili jednometalna korozija nastaje kada je metal izložen dejstvu kiseonika, ugljen-dioksida, vodene pare, soli, sumpora i jedinjenja hlora. Kod atmosferske korozije anoda i katoda se nalaze na istom baznom metalu i kod ACSR provodnika nastaje u galvanizovanom čeličnom jezgru. Klimatski i uslovi sredine kao i karakteristike provodnika utiču na brzinu procesa nastanka ovog tipa korozije, na način da prisustvo visoke koncentracije vlage ili soli u atmosferi ubrzava proces atmosferske korozije dok sa druge strane fizičke karakteristike provodnika u pogledu konstrukcije i sa tim u vezi povećano zadržavanje čestica vode i zagađivača takođe doprinose koroziji. Visoko reaktivni delovi supstanci kao što su hidroksidni radikali se atmosferom prenose na kratke udaljenosti, oksidanti kao što su oksid azota, vodonik peroksid i sumpor dioksid prenose se na udaljenosti od jednog do desetine kilometara od izvora dok se indirektni uticaj aerosolima ili kišom može preneti i na značajno veće udaljenosti i do 10 000 km.

Galvanska korozija ili bimetalna korozija nastaje kada su u kontaktu najmanje dva metala koja imaju različiti elektrodni potencijal, pri čemu elektonegativniji metal je anoda, a elektropozitivniji metal katoda. Kod ACSR provodnika prevlaka cinka i aluminijum reaguju kao anoda i katoda, gde cink (anoda) oslobađa slobodne elektrone što u konačnom, kada je prevlaka cinka potpuno nestala, može dovesti do kontakta aluminijuma i čelika kada aluminijum postaje žrtvena anoda i počinje ubrzano da korodira dok se tada proces korozije čelika smanjuje [2] [4] [5].

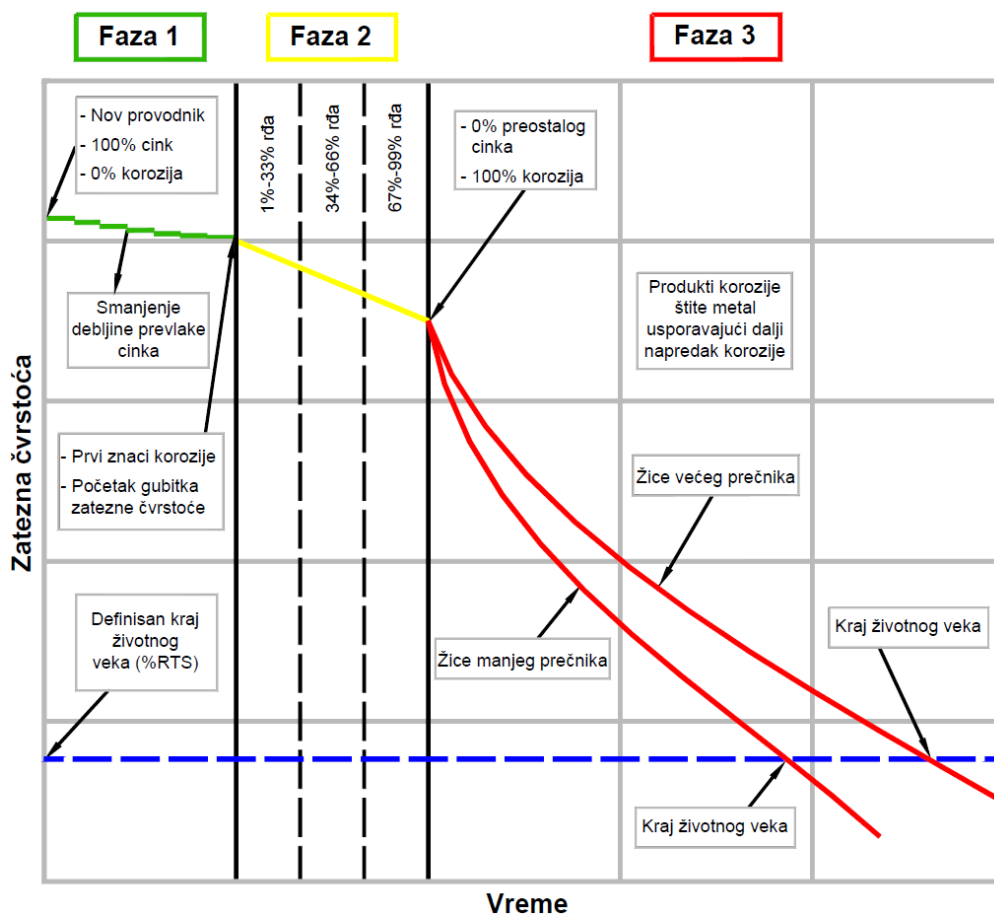
Sa stanovišta klasifikacije na osnovu strukture oštećenja postoji: uniformna ili opšta korozija, tačkasta korozija ili piting korozija pri kojoj nastaju lokalne jamice (šupljine), pukotinska korozija, intergranularna korozija koja se širi duž granica metalnog zrna u dubinu, naponska korozija pri sili zatezanja, korozija usled zamora pri dinamičkim naprezanjima, korozija opterećenih površina u kontaktu, galvanska korozija i korozija pri odvajanju metala iz legure. Kod uniformne korozije nastaje tanjenje metala po površini. Kod provodnika tipa ACSR dovodi do uniformnog gubitka poprečnog preseka žice i prisutna je na žicama spoljnog sloja provodnika i prevlaci cinka čeličnih žica jezgra u teškim industrijskim uslovima. Tačkasta korozija je lokalnog karaktera i manifestuje se pojavom rupa u materijalu koje podsećaju na jamice koje nastaju nakon nestanka prirodnog oksida metala usled izlaganja agresivnim jonima iz atmosfere. Zbog dejstva sila zatezanja i savijanja, tačkasta korozija predstavlja opasniju formu korozije u poređenju sa uniformnom korozijom. Pukotinska korozija je oblik tačkaste korozije pri kojoj do prodora korozije u materijal dolazi na mestima spoja metal-metal ili metal-nemetal i kod provodnika može nastati na mestu vara dve žice ili na mestu kontakta žica-klema. Naponska korozija pri sili zatezanja nastaje pri istovremenom delovanju sile zatezanja i korozije i normalno nastaje kada korozivni zagađivač dospe na specifične legure metala. U praksi ovaj vid korozije se može javiti na teško oštećenim ACSR provodnicima kao deo procesa koji dovodi to potpunog prekida [2].

Primena masti ima značajnu ulogu u zaštiti čeličnih žica jezgra provodnika od korozije. Mast treba da ispunji sve šupljine u koje mogu dospeti vlaga, voda i korozivni zagađivači i pored aluminijumskih žica preko jezgra provodnika kao fizičke predstavlja dodatnu hemijsku barijeru. Međutim, da bi mast bila efikasna u zaštiti od korozije, mora zadržati potrebna nivo sadržaja masnoće koji se gubi tokom vremena posebno kada je provodnik na visokim temperaturama, samim tim se gubi i efikasnost u zaštiti od korozije. Generalno, nezamašćen ACSR provodnik sa manje slojeva aluminijumske žice i žicama manjeg prečnika je skloniji povećanom riziku od korozije. Takođe, kompresione spojnice su sklone koroziji posebno ako montaža nije izvedena propisno, ako u trenutku montaže kompresione spojnice nije izvršeno pravilno čišćenje površine, zahvaćena je neka nečistoća i nije primenjen inhibitor korozije pre kompresije.

Metodologija za procenu stanja ASCR provodnika na bazi brzine korozije temelji se na određivanju i karakterizaciji vlažnosti, temperature i koncentracije zagađivača u atmosferi za dobijanje proračuna brzine korozije. Model se zbog složene geometrije provodnika i primene različitih metala ne može direktno primeniti ali predstavlja osnov za različite uslove atmosfere. Da bi se model primenio, potrebno je izvršiti ispitivanje uzoraka provodnika za dobijanje podatka o uticajima geometrije, sredine i mehaničkog opterećenja provodnika. Takođe, mogu se primeniti ubrzani testovi korozije na korodiranim uzorcima za kvantifikovanje efekta geometrije i različitih materijala na oštećenja usled korozije. Prikupljeni podaci se analiziraju za procenu trenda degradacije prema specifičnom kriterijumu (npr. prevlaka cinka, mehaničko naprezanje ili torziona čvrstoća) u funkciji vremena. Kriterijum za kraj životnog veka treba da je prema usvojenim principima razvoja mreže i projektovanja dalekovoda. Razmatrani kriterijumi za kraj životnog veka provodnika su:

- Sposobnost da izdrži najmanje 80% računске sile kidanja.
- Redukcija torziona čvrstoće do 5 uvijanja u poređenju sa 12 do 18 za kvalitet žice ST1A, kao mera preostale zatezne čvrstoće.
- Gubitak 80% do 100% prevlake cinka čeličnog jezgra.

Usled ograničenja u poznavanju činilaca za različite regione u procesu degradacije provodnika zbog korozije kao što su vlaga, koncentracija zagađivača/nečistoća i temperatura, model se može primeniti samo za geografski region gde je izvršeno uzorkovanje.



Slika 6: Degradativne faze ASCR provodnika usled korozije

Drugi model se bazira na proceni brzine gubitka mase materijala galvanizovane čelične žice. Ovaj model, za razliku od prethodno opisanog, ne modeluje gubitak mehaničke čvrstoće provodnika već gubitak materijala tokom vremena. Model se zatim poredi sa modelom gubitka mehaničke čvrstoće za predikciju preostale mehaničke čvrstoće u bilo kom vremenskom trenutku. Ovaj model koristi princip kontinualne aproksimacije za procenu efekta korozije na žici. Takođe, primenom iste aproksimacije, vrši konverziju aluminijuma u čelik za proračun zatezne čvrstoće. Provodnik je potrebno zameniti kada je njegova procenjena mehanička čvrstoća manja od odabranog limita izraženog kao računaska sila kidanja. Prikaz ovog modela je dat na Slici 6 [2].

Ovaj model zavisi od merenja na konkretnom uzorku i specifičan je za određene sredine što predstavlja njegovo ograničenje za primenu u drugim sredinama i za provodnike drugačije geometrije.

4 KRITERIJUMI ZA SELEKCIJU I REZULTATI ISPITIVANJA

4.1 Zahtevi za izbor provodnika

U okviru Pilot projekta, izvršeno je ispitivanje provodnika tipa ACSR ukupne dužine od 6236 metara na pet dalekovoda u vlasništvu kompanije Elektromreža Srbije uz primenu sledećih kriterijuma:

- a) ispitivanje će se sprovesti na provodnicima dalekovoda naponskog nivoa 110 kV;
- b) ispitivani provodnici će biti tipa 149-AL1/24-ST1A i 243-AL1/39-ST1A;
- c) provodnici moraju biti bez nastavka;
- d) provodnici su u eksploataciji duže od 40 godina;
- e) na dalekovodu je tokom eksploatacije zabeležen veći broj kvarova provodnika;
- f) kandidovani dalekovodi rade u uslovima normalne kao i u uslovima zagađene atmosfere;
- g) potrebno je obezbediti beznaponsko stanje dalekovoda tokom pregleda.

Na osnovu navedenih kriterijuma, ispitano je ukupno 25 provodnika u 15 raspona dalekovoda 110 kV naponskog nivoa, br. 1247 TS Beograd 2 - TS Beograd 22; br. 131/1 TS Beograd 3 – TS Beograd 33; br. 158/1 TS Mladenovac - TS Smederevska Palanka; br. 1104 TS Pančevo 2 - TS Pančevo 3 i br. 1153 TS Beograd 7 - TS Pančevo 2. Tokom pregleda svi dalekovodi su bili u beznaponskom stanju a provodnici uzemljeni na mestu pregleda čime su osigurani bezbedni uslovi rada tokom montaže i demontaže robota i eliminisan je potencijalan uticaj elektromagnetnih smetnji.

Trasa dalekovoda br. 1247 se nalazi u mešanom slabo naseljenom i gusto naseljenom gradskom području, trasa dalekovoda br. 131/1 se nalazi u prigradskom području, trasa dalekovoda br. 158/1 se nalazi u ruralnom području gde pretežno prelazi preko poljoprivrednog zemljišta, trasa dalekovoda br. 1104 se nalazi u gradskom području dok se trasa dalekovoda br. 1153 nalazi u mešanom slabo naseljenom, ruralnom i gradskom području. Trase dalekovoda br. 1104 i br. 1153 su u blizini proizvodnih postrojenja naftne i petrohemijske industrije Srbije koje predstavljaju izvor hemijskih jedinjenja koja u kontaktu sa metalom izazivaju koroziju. Podaci o tipu, starosti i dužini ispitivanih provodnika prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1: Podaci o tipu, starosti i dužini ispitivanih provodnika

Br. DV	Provodnik [tip]	Starost [god]	Ukupna ispitivana dužina [m]	Rasponi
1247	149-AL1/24-ST1A	68	1161	187-188; 188-189
131/1	149-AL1/24-ST1A	65	854	79-80; 80-81
158/1	149-AL1/24-ST1A	55	1351	1-2; 2-3; 46-47; 47-48
1104	243-AL1/39-ST1A	48	1164	106-107; 107-108; 115-116; 116-117
1153	243-AL1/39-ST1A	45	1706	23-24; 88-89; 89-90

4.2 Kriterijumi za ocenu stanja provodnika

Zatezna čvrstoća provodnika određena je na osnovu utvrđenog stepena korozije, promene prečnika i prisutnih lokalnih oštećenja i preloma svih čeličnih žica u jezgru. Kriterijumi za utvrđivanje nivoa i stepena korozije na površini žice su prikazani u Tabeli 2 i Tabeli 3. Stepni i faze degradativnog procesa žice usled korozije su označene sa 2A (> 0 - 33% korozije), 2B (> 33 - 66% korozije) i sa 2C (> 66 - < 100% korozije), dok je težina oštećenja klasifikovana u 5 kategorija od stanja bez korozije (kategorija 1) do stanja sa velikom površinskom korozijom sa srednjim do velikim jamicama (kategorija 5). Granične vrednosti amplitude signala za klasifikaciju težine lokalnog oštećenja (LF amplituda) su prikazane u Tabeli 3. Prikaz kategorije oštećenja jezgra provodnika i pojedinačnih žica je dat na Slici 7 i Slici 8.

Kriterijum za zamenu provodnika je baziran na stepenu korozije i težini oštećenja. Provodnici nadzemnih vodova su izloženi riziku od pojave tačkaste korozije u bilo kojoj atmosferi. Duboke jamice stvaraju lokalnu koncentraciju naprezanja koja je proizvod naprezanja i faktora koncentracije. Ukoliko je materijal u okolini jamice dovoljne sposobnosti da se plastično deformiše pre loma (duktilnosti), kada naprezanje na dnu jamice pređe tačku tečenja materijala nastaje lokalno tečenje usled čega se naprezanje prenosi na okolni materijal. Kako se jamica uvećava dolazi do povećanja naprezanja što dovodi do prekida žice i konačno, do prekida provodnika. Ova progresija od nastanka jamica do prekinute žice je uslovljena pojavom više uzročnika kao što su vibracije, opterećenja usled leda i vetra. Iako hitna zamena možda nije neophodna, važno je prepoznati potencijalni rizik.

Tabela 2: Stepni korozije

Stepni korozije na površini čeličnih žica	
Faza	Procenat korozije
1	0% (bez korozije)
2A	> 0 - 33%

Tabela 3: Težina oštećenja na površini žica

Težina oštećenja površinskog sloja čelične žice korozijom			
Kategorija	Opis	LF Amplituda	
1	Bez korozije, 100 % sloj cinka	0-300	
2	Manja površinska korozija sa zanemarljivim jamicama	300-1600	

Stepen korozije na površini čeličnih žica		Težina oštećenja površinskog sloja čelične žice korozijom		
Faza	Procenat korozije	Kategorija	Opis	LF Amplituda
2B	> 33 - 66%	3	Srednja površinska korozija sa manjim jamicama	1600-4000
2C	> 66 - < 100%	4	Velika površinska korozija sa manjim do srednjim jamicama	4000-12000
3	100% (potpuna korozija)	5	Velika površinska korozija sa srednjim do velikim jamicama	>12000

Kategorija 1

Kategorija 2

Kategorija 3

Kategorija 4

Kategorija 5



Slika 7: Kategorija težine oštećenja korozijom jezgra provodnika

Kategorija 1

Kategorija 2

Kategorija 3

Kategorija 4

Kategorija 5



Slika 8: Kategorija težine oštećenja korozijom pojedinačnih čeličnih žica

4.3 Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja provodnika su prikazani u Tabeli 4 [6]. Važno je naglasiti da dobijeni rezultati ispitivanja mogu važiti na celom dalekovodu ali usled mogućih različitih geografskih, klimatskih i uslova zagađene atmosfere, oni se mogu značajno razlikovati. Na osnovu rezultata ispitivanja određena je preostala zatezna čvrstoća jezgra i na osnovu nje proračunata je računaska sila kidanja provodnika uz pretpostavku da je zatezna čvrstoća aluminijumskih žica 100%.

Ocena stanja ispitivanih provodnika prema određenoj računskoj sili kidanja samo čeličnog jezgra je klasifikovana na sledeći način:

	Vrlo dobro – 100% računске sile kidanja jezgra
	Dobro – 95% - < 100% računске sile kidanja jezgra
	Zadovoljavajuće – 90% - < 95% računске sile kidanja jezgra
	Dotrajalo – 85% - < 90% računске sile kidanja jezgra <i>[planirati zamenu]</i>
	Vrlo loše – < 85% računске sile kidanja jezgra <i>[potencijalni kvar]</i>

Uslovi sredine nisu uvaženi za procenu mehaničke čvrstoće ispitanih provodnika. Ovo je iz razloga što LineVue beleži stanje provodnika u konkretnom vremenskom trenutku pri čemu je trenutna preostala mehanička čvrstoća provodnika rezultat radnih uslova od početka eksploatacije do trenutka ispitivanja LineVue robotom.

Tabela 4: Sumarni prikaz rezultata ispitivanja

Broj DV	Raspon	Faza	Procenjena zatezna čvrstoća		Ocena stanja ispitivanih čeličnih žica	Stepen korozije	Težina oštećenja
			% od računске sile kidanja	% od zatezne čvrstoće jezgra			
1247	187-188	gornja	93%	89%	Dotrajalo	2C	4
	187-188	srednja	96%	94%	Zadovoljavajuće	2B	4
	187-188	donja	92%	86%	Dotrajalo	2C	4
	188-189	gornja	97%	95%	Dobro	2B	3
	188-189	srednja	97%	96%	Dobro	2B	3
	188-189	donja	97%	96%	Dobro	2C	3
131/1	79-80	gornja	97%	96%	Dobro	2A	3
	79-80	srednja	96%	93%	Zadovoljavajuće	2A	4
	80-81	gornja	92%	87%	Dotrajalo	2A	4
	80-81	srednja	94%	90%	Zadovoljavajuće	2A	4
158/1	1-2	gornja	98%	98%	Dobro	2A	2
	2-3	donja	95%	92%	Zadovoljavajuće	2B	4
	46-47	donja	97%	96%	Dobro	2A	3
	47-48	donja	97%	95%	Dobro	2A	3
	47-48	gornja	98%	97%	Dobro	2A	2
1104	106-107	donja	97%	96%	Dobro	2A	2
	107-108	donja	97%	96%	Dobro	2A	3
	115-116	donja	97%	96%	Dobro	2A	3
	116-117	donja	98%	97%	Dobro	2A	2

Broj DV	Raspon	Faza	Procenjena zatezna čvrstoća		Ocena stanja ispitivanih čeličnih žica	Stepen korozije	Težina oštećenja
			% od računске sile kidanja	% od zatezne čvrstoće jezgra			
1153	23-24	gornja	98%	98%	Dobro	2A	2
	23-24	srednja	98%	98%	Dobro	2A	2
	23-24	donja	98%	98%	Dobro	2A	2
	89-90	srednja	98%	98%	Dobro	2A	2
	89-90	donja	98%	98%	Dobro	2A	2
	88-89	donja	98%	98%	Dobro	2A	2

Na osnovu rezultata ispitivanja se zaključuje:

1. Računska sila kidanja RTS (akronim od Rated Tensile Strenght) provodnika donje faze DV br. 1247 TS Beograd 2 - TS Beograd 22 u rasponu stubova br. 187 – br. 188 za ovaj dalekovod ima najmanju proračunatu vrednost i iznosi 92% dok je računska sila kidanja jezgra 86%. Računska sila kidanja provodnika gornje faze iznosi 93% dok je računska sila kidanja jezgra 89%. Step en korozije žica gornje i donje faze je 2C što znači da je degradiralo do 99% (>66 - <100%) cinka dok je na površini prisutna velika korozija sa manjim do srednjim jamicama koja ima maksimum na udaljenosti od približno 26 metara na provodniku donje faze i 72 metara na provodniku gornje faze od stuba br. 188. Usled utvrđenog stanja potrebno je planirati zamenu provodnika ovih faza u ovom rasponu. Računska sila kidanja provodnika srednje faze je 96% dok računska sila kidanja jezgra iznosi 94% sa prisutnom velikom površinskom korozijom žica na pojedinim mestima. Ocena stanja provodnika srednje faze je „zadovoljavajuće“. U rasponu stubova br. 188 – br. 189 ocena stanja provodnika je „dobro“ a određena računska sila kidanja iznosi 97% dok je najmanja računska sila kidanja jezgra 95% (gornja faza), stoga nije potrebno planirati popravku ili zamenu. Ispitani rasponi se nalaze u slabo naseljenom području gde provodnici prelaze preko poljoprivrednog i šumskog zemljišta. Ukoliko se ne uvaži istorija održavanja, eksploatacioni uslovi i učestanosti kvarova, može se pretpostaviti da je utvrđeno stanje provodnika posledica njegove starosti od 68 godina sa potencijalno doprinosom uticaja nanosa hemijskih jedinjenja koja se koriste pri obradi poljoprivrednog zemljišta kao što su đubriva, preparati za kontrolu bolesti i suzbijanje korova koji su visoko korozivni.
2. Računska sila kidanja RTS provodnika gornje faze DV br. 131/1 TS Beograd 3 – TS Beograd 33 u rasponu stubova br. 80 – br. 81 ima najmanju proračunatu vrednost za ovaj dalekovod i iznosi 92% dok je računska sila kidanja jezgra 87%. Računska sila kidanja provodnika srednje faze je 94% dok je računska sila kidanja jezgra 90%. Step en korozije žica je 2A što znači da je degradiralo do 33% (>0 - 33%) cinka dok je na pojedinim mestima sporadično na površini prisutna velika površinska korozija i manje do srednje jamice. Površinska oštećenja provodnika gornje faze su sa maksimumom na udaljenosti od približno 178, 186, 188, 190 i 196 metara od stuba br. 80 a obzirom na utvrđeno stanje potrebno je planirati zamenu provodnika ove faze. Ocena stanja provodnika srednje faze je „zadovoljavajuće“ a usled utvrđene velike korozije potrebno je stanje provodnika verifikovati laboratorijskim ispitivanjem. U rasponu stubova br. 79 – br. 80 ocena stanja

provodnika je „dobro“ i „zadovoljavajuće“. Prema izmerenom stepenu i težini korozije nije potrebno planirati popravku ili zamenu provodnika u ovom rasponu.

Obzirom na starost provodnika u ispitivanim rasponima od 65 godina i da u okolini nema izvora pojačanog zagađenja uz uvažavanje činjenice da se ispitivani provodnici nalaze u naseljenoj sredini gde je grejanje stambenih objekata pomoću čvrstog goriva, može se zaključiti da je stanje provodnika posledica dužine dosadašnje eksploatacije bez većeg uticaja sredine.

3. Računska sila kidanja RTS provodnika donje faze DV br. 158/1 TS Mladenovac - TS Smederevska Palanka u rasponu stubova br. 2 – br. 3 za ovaj dalekovod ima najmanju proračunatu vrednost i iznosi 95% dok je računski sila kidanja jezgra 92%. Stepenn korozije je 2B što znači da je degradiralo do 66% (>33 - 66%) cinka dok je na površini žica prisutna velika površinska korozija i manje do srednje jamice na pojedinim mestima, stoga je potrebno planirati laboratorijsko ispitivanje provodnika u cilju potvrde stanja. U ostalim ispitanim rasponima stubova br. 1 – br. 2; br. 46 – br. 47 i br. 47 – br. 48 ocena stanja provodnika je „dobro“ sa uočenom manjom do srednjom površinskom korozijom žica na pojedinim mestima. Uvažavajući starost provodnika od 55 godina i da se u neposrednoj blizini stubova br. 1, br. 2 i br. 3 nalazi industrijsko postrojenje za proizvodnju keramike, u kom procesu se u atmosferu ispušta ugljen dioksid pri čemu se u reakciji sa vlagom formira sumporna kiselina koja je visoko korozivna, može se zaključiti da eksploatacioni uslovi i dužina eksploatacije nisu doveli do značajne degradacije mehaničkih karakteristika jezgra i na osnovu proračuna, mehaničkih karakteristika celog provodnika.
4. Računska sila kidanja RTS provodnika donje faze DV br. 1104 TS Pančevo 2 - TS Pančevo 3 u rasponima stubova br. 106 – br. 107; br. 107 – br. 108 i br. 115 – br. 116 iznosi najmanje 97% dok je računski sila kidanja jezgra najmanje 96%. Stepenn korozije je 2A što znači da je degradiralo do 33% (>0 - 33%) cinka dok je na pojedinim mestima na površini svih ispitivanih provodnika prisutna manja i srednja površinska korozija sa manjim jamicama. Ocena stanja svih ispitivanih provodnika uključujući i provodnik donje faze u rasponu stubova br. 116 – br. 117 je „dobro“. Uzimajući u obzir starost provodnika od 48 godina i blizinu petrohemijske i naftne industrije ispitivanim rasponima od približno 6 km bez prirodnih i veštačkih prepreka između, zaključuje se da uslovi sredine i dužina eksploatacije nisu značajno uticali na smanjenje mehaničkih karakteristika jezgra i na osnovu proračuna, mehaničkih karakteristika celog provodnika.
5. Računska sila kidanja RTS svih ispitivanih provodnika DV br. 1153 TS Beograd 7 - TS Pančevo 2 u rasponima stubova br. 23 – br. 24, br. 88 – br. 89 i br. 89 – br. 90 iznosi 98% dok je računski sila kidanja jezgra takođe 98%. Stepenn korozije je 2A što znači da je degradiralo do 33% (>0 - 33%) cinka dok je na pojedinim mestima na površini svih ispitivanih provodnika prisutna manja korozija sa zanemarljivim jamicama. Ocena stanja svih ispitivanih provodnika je „dobro“. Uzimajući u obzir starost provodnika od 45 godina i da se u okolini stubova br. 23 i br. 24 nalazi slabo naseljeno i poljoprivredno područje a na udaljenosti od oko 6 km od stubova br. 89 i br. 90 petrohemijska i naftna industrija bez prirodnih i veštačkih prepreka između, može se zaključiti da uslovi sredine i dužina eksploatacije nisu značajno uticali na smanjenje mehaničkih karakteristika jezgra i na osnovu proračuna, mehaničkih karakteristika celog provodnika.

Varijacija mehaničke čvrstoće provodnika različitih faza istog raspona, koje su uočljive na provodnicima DV br. 1247 i DV br. 131/1 mogu biti posledica više uticajnih faktora kao što su tolerancije u proizvodnji, rukovanje pri montaži, frekvencija i amplituda vibracija koje dovode

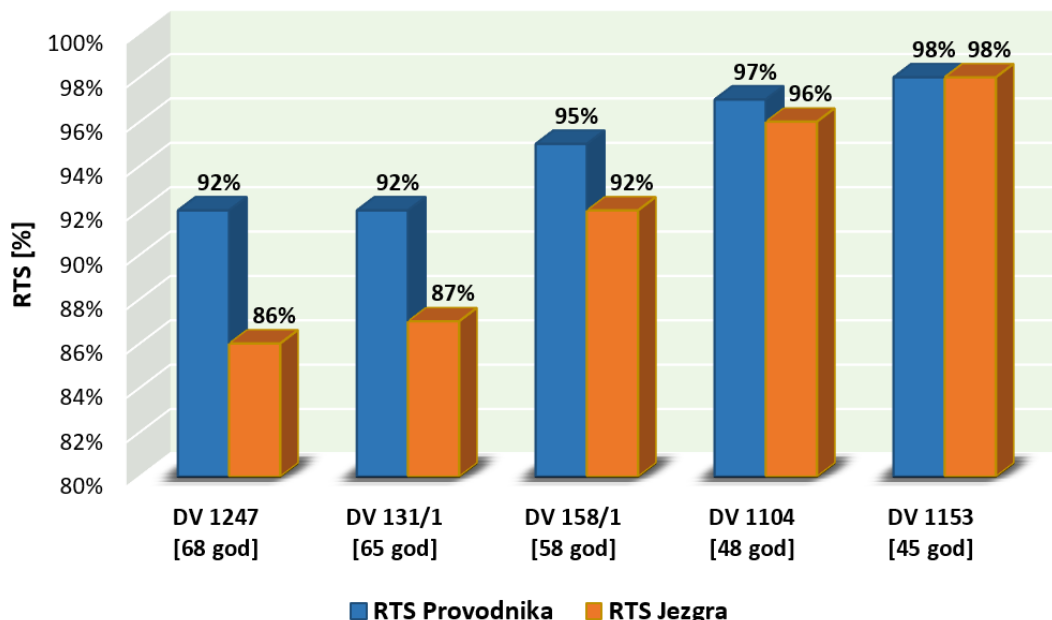
do abrazije usled kontakta žica-žica, prisustvo korozivnih zagađivača i broja ciklusa vlaženja i sušenja.

Takođe, varijacija mehaničke čvrstoće provodnika iste faze u dva susedna raspona ograničena nosećim stubom, prema ranije naglašenom, uslovljena je rezultatom merenja za najkritičnije mesto prema utvrđenom stepenu i težini korozije.

U cilju praćenja stanja provodnika i izrade krive starenja, provodnike dalekovoda br. 1247 je potrebno ponovo ispitati za 1-3 godine, provodnike dalekovoda br. 131/1 je potrebno ponovo ispitati za 2-3 godine dok je provodnike dalekovoda br. 158/1, br. 1104 i br. 1153 potrebno ponovo ispitati za 3-6 godina pri čemu na svim dalekovodima treba sprovesti ispitivanje i prethodno ispitanih provodnika. Navedeni predlozi mera su bazirani na merenjima dobijenim pomoću LineVue robota i ne uvažavaju druge faktore kao što su dužina radnog veka, eksploatacioni uslovi, održavanje, broj kvarova i kritičnost. Daljim praćenjem stanja provodnika u ispitivanim rasponima bi se dobilo više informacija o njihovom stanju za proces donošenja odluka o popravci i zameni.

Na bazi dobijenih rezultata u pojedinim rasponima, za utvrđivanje sveukupnog stanja provodnika na dalekovodu, idealno, potrebno je sprovesti ispitivanje 2% ukupne dužine dalekovoda da bi se obezbedili potrebni statistički pokazatelji sveukupnog stanja provodnika na dalekovodu. Dodatno, uzimanje uzorka i ispitivanje u laboratoriji bi dalo dopunske podatke o stanju provodnika.

Ukoliko se razmatra samo starost provodnika bez uvažavanja drugih činilaca koji utiču na smanjenje mehaničkih karakteristika, utvrđena računaska sila kidanja ispitivanih provodnika i obim i stepen oštećenja korozijom je u korelaciji sa njihovom dužinom eksploatacije. Sumarni pregled najmanje računске sile kidanja provodnika i jezgra za ispitane dalekovode je prikazan na Slici 9.



Slika 9: Najmanja određena računaska sila kidanja provodnika i jezgra

Treba naglasiti da se jezgro provodnika tipa 243-AL1/39-ST1A sastoji od čeličnih žica kvaliteta ST1A nominalnog prečnika 2,68 mm koje su većeg prečnika od ST1A žica jezgra provodnika

tipa 149-AL1/24-ST1A koji iznosi 2,1 mm zbog čega se, prema modelu gubitka mase materijala, može očekivati da je degradacija mehaničkih karakteristika provodnika tipa 243-AL1/39-ST1A usled korozije vremenski sporija u istim uslovima rada.

Nakon potpunog gubitka prevlake cinka, zatezna čvrstoća čelične žice može ostati blizu nazivne vrednosti dugi niz godina. Korozija je najčešće najveća u trбуhu lančаницe i u okolini kompresionih nastavniх spojnica zbog efekta talоženja vode usled dejstva gravitacije na spiranje i zadržavanja korozivnih zagađivača. Tokom ispitivanja nisu utvrđena veća lokalna oštećenja i prekidi žica.

Trenutno, modeli korozije za dugoročnu procenu stanja i preostalog životnog veka provodnika su razvijeni za nekolicinu područja, uglavnom Kanada i Japan. U nedostatku generalnih modela korozije, potrebno je sprovesti istraživanja kako bi se ovaj model razvio za konkretnu geometriju provodnika i konkretne uslove sredine. Nakon toga, model korozije je vrlo koristan u kombinaciji sa laboratorijskim ispitivanjem za predikciju budućeg stanja i planiranje popravki i zamena.

Iskustva operatera prenosnog sistema pokazuju da je prosečan životni vek provodnika između 50 do 70 godina za normalne uslove sredine i između 30 do 50 godina za teške i specijalne uslove sredine. Teški uslovi smanjuju životni vek za oko 20 godina, u poređenju sa normalnim uslovima [2]. Kriterijumi za donošenje odluke za zamenu provodnika su bazirani na prvom mestu na rezultatima ispitivanja praćeni starošću i povećanim ili neprihvatljivim brojem kvarova. Mere za produžetak i praćenje očekivanog životnog veka se zasnivaju na analizi rezultata ispitivanja kao najčešće primenjene mere, zatim na praćenju i analizi učestanosti kvarova. Analiza kvarova za potrebe procene rizika je najčešće primenjen metod za provodnike, spoјnu i ovesnu opremu i prigušivače. Najveći broj kvarova opreme je povezan sa korozijom praćen kvarovima usled zamora. Rizik od kvara i primena ispravne metodologije za procenu preostalog životnog veka opreme je danas najveći izazov za operatere prenosnog sistema.

5 ZAKLJUČAK

Poznavanje stvarnog stanja provodnika i njegovog preostalog životnog veka predstavlja izazov uvažavajući činjenicu da podaci o istoriji održavanja, uslovima eksploatacije i broju kvarova nisu uvek raspoloživi za stare dalekovode. Zahtevi za visokim stepenom sigurnosti, raspoloživosti i pouzdanosti dalekovoda su glavni motivatori primene savremene robotske tehnologije koja se nameće kao metod i efikasno dijagnostičko sredstvo u postupku procene stanja i optimizacije preostalog životnog veka bimetalnih golih provodnika i čeličnih zaštitnih užadi.

Uzročnik najvećeg broja prekida provodnika u eksploataciji je korozija praćena zamorom usled sila zatezanja i vibracija. U okviru sprovedenog Pilot projekta utvrđeno je da se stepen korozije ispitivaniх ACSR provodnika kreće od manje površinske korozije sa zanemarljivim oštećenjima do velike površinske korozije sa manjim do srednjim oštećenjima. Pojedini ispitivani provodnici su pretrpeli značajan gubitak mehaničke čvrstoće što se može dovesti u vezu sa proteklim vremenom njihove dosadašnje eksploatacije.

Zbog utvrđene velike površinske korozije na pojedinim ispitanim provodnicima, preporučuje se da se dodatni rasponi istih dalekovoda u istim i u različitim geografskim područjima ispituju pomoću LineVue robota. Periodičnim ispitivanjem je moguće proceniti brzinu i stepen degradacije i na osnovu ovih podataka, formulisati metod za procenu indeksa zdravlja i preostalog životnog veka.

Obzirom da LineVue robot pretpostavlja da je aluminijum zadržao 100% svoje prvobitne mehaničke čvrstoće i ograničen je u svojoj sposobnosti da odredi makroskopske efekte koje korozija ima na svojstva čelične žice, kao što su duktilnost i procentualno izduženje, ova svojstva se mogu utvrditi laboratorijskim ispitivanjem starih provodnika. Zbog toga je, za potvrdu stanja provodnika koji su ispitani LineVue robotom, potrebno uzimanje uzorka sa pozicija iz raspona u kojima je utvrđeno najveće oštećenje da bi se utvrdilo stanje aluminijuma i sveukupno stanje provodnika i na taj način dobilo više informacija za donošenje odluka aset menadžmenta.

6 LITERATURA

- [1] F. Lequien, Q. Auzoux, G. Moine, M. Rousseau, S. Pasquier-Tilliette, A. Holande, S. Ammi, S. Heurtault, P. Prieur: Characterization of an aluminum conductor steel reinforced (ACSR) after 60 years of operation, januar 2023. godine.
- [2] CIGRE TB 905: Sustainability of overhead line conductors and fittings – Conductor condition assessment and life extension Volume 1: State of the art, jul 2023. godine.
- [3] Maciej Suliga, Radosław Wartacz, Marek Hawryluk; Evolution of zinc coatings during drawing process of steel wires, mart 2023. godine.
- [4] Dr Lakshitha Naranpanawe, Dr Hui Ma and Professor Tapan Saha: Overhead Conductor Condition Monitoring, Milestone Report 1, The University of Queensland, maj 2019. godine.
- [5] Dr Vladimir Vujačić: Značaj poznavanja kontaktne korozije, februar 2000. godine.
- [6] KINECTRICS & C&G: LineVue field inspection report K-800384-RC-0001 R02, novembar 2024. godine.
- [7] Dejan Momčilović, Dragan Jaković, Ivana Atanasovska: Klasifikacija eksploatacijskih oštećenja čeličnih užadi, novembar 2007. godine.
- [8] CIGRE TB 175: Management of existing overhead transmission lines, decembar 2000. godine.
- [9] CIGRE TB 176: Ageing of the system impact on planning, decembar 2000. godine.
- [10] Alan Rondineau, Laurent Gaillet, Lamine Dieng, Sébastien Langlois: Degradation of Steel Wires in Bimetallic Aluminum–Steel Conductors Exposed to Severe Corrosion Conditions, novembar 2022. godine.
- [11] CIGRE TB 731: The use of robotics in assessment and maintenance of overhead lines, jun 2018. godine.