

Mario Križić  
Dalekovod-Projekt d.o.o.  
[mario.krizic@dalekovod.hr](mailto:mario.krizic@dalekovod.hr)

Tibor Dolenc  
Dalekovod-Projekt d.o.o.  
[tibor.dolenc@dalekovod.hr](mailto:tibor.dolenc@dalekovod.hr)

Ivan Orišak  
HEP ODS d.o.o.  
[ivan.orisak@hep.hr](mailto:ivan.orisak@hep.hr)

Filip Jelavić  
Dalekovod-Projekt d.o.o.  
[filip.jelavic@dalekovod.hr](mailto:filip.jelavic@dalekovod.hr)

Zoran Rubinić  
Dalekovod-Projekt d.o.o.  
[zoran.rubinic2@dalekovod.hr](mailto:zoran.rubinic2@dalekovod.hr)

## PLANIRANJE OBNOVE DALEKOVODA 35(30) KV KAO VAŽNE SASTAVNICE DISTRIBUCIJSKE MREŽE

### SAŽETAK

Nakon kratkog opisa AIM/CBRM metodologije, koja je korištena za kvantifikaciju rizika u Studiji planiranja obnove 35 kV dalekovoda HEP ODS-a, detaljnije je predstavljen dio metodologije kojim se ocjenjuje postojeće stanje dalekovoda. Razmatrani su parametri koji utječu na konačnu ocjenu zdravlja elementa bilo putem modifikatora zapaženog stanja ili putem faktora lokacije. Opisani su uzroci propadanja i najčešća oštećenja koja se pojavljuju na pojedinim elementima nadzemnih vodova.

U drugom dijelu rada razmatraju se općeniti scenariji obnove postojećih nadzemnih vodova. Ovisno o uočenim nedostacima (dotrajnost opreme, nedovoljna prijenosna moć, ugrožena sigurnost pogona i ljudi itd.) predlažu se odgovarajuća tehnička rješenja obnove. Na kraju je prikazan primjer tehničkog rješenja obnove DV 35 kV Krk – Cres – Lošinj uz primjenu LIDAR tehnologije.

**Ključne riječi:** AIM/CBRM metodologija, obnova nadzemnih vodova, LIDAR

## REFURBISHMENT PLANNING OF 35(30) kV OHLs AS AN IMPORTANT COMPONENT OF THE DISTRIBUTION NETWORK

### SUMMARY

After a brief description of the AIM/CBRM methodology, used for risk quantification in the Refurbishment planning study of the 35 kV HEP ODS transmission lines, a part of the methodology that assesses the existing state of the transmission line was presented in more detail. Parameters influencing the current health score through observed state modifiers or location factors are considered. Causes of deterioration and most common types of damage occurring on OHLs are described.

In the second part of this paper, general refurbishment scenarios are considered. Depending on the observed shortcomings (equipment degradation, insufficient ampacity, threats to public health and safety, threats to operational safety etc.) adequate technical solutions are proposed. Finally, a technical solution of a refurbishment using LIDAR technology is introduced on the example of 35 kV OHL Krk -Cres – Lošinj.

**Key words:** AIM/CBRM methodology, OHL refurbishment, LIDAR

## 1. UVOD

Uvažavajući povijesni razvoj elektroenergetske mreže diljem Europe, koji je intenzivno započeo nakon 2. svjetskog rata, evidentno je da je veliki broj dalekovoda u eksploataciji dugi niz godina. Tijekom ove dugogodišnje eksploatacije, dalekovodi su održavani, a poneki od njih su i sveobuhvatno rekonstruirani, odnosno obnovljeni.

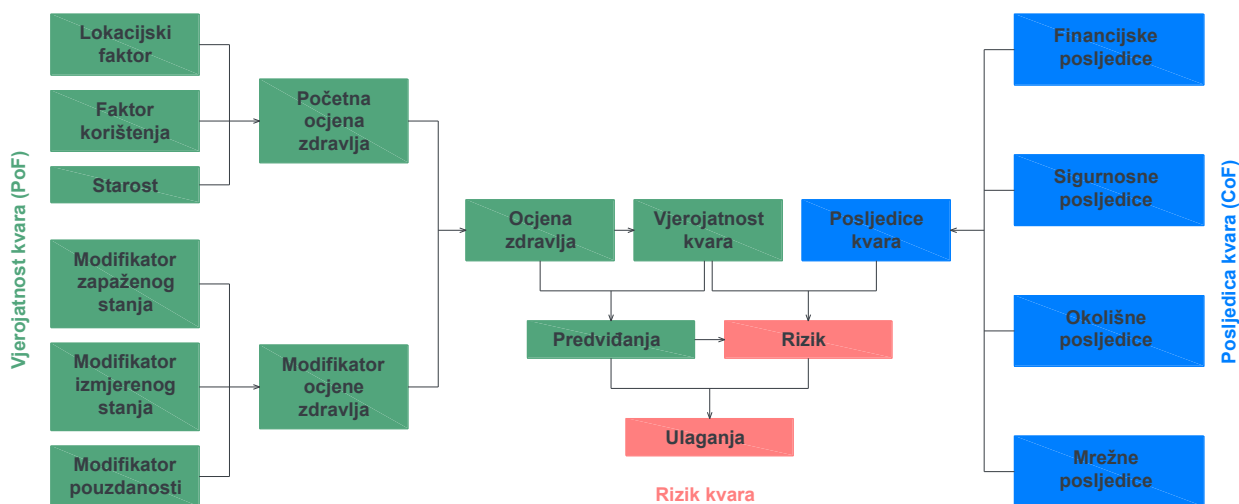
Do sada su odluke o upravljanju nadzemnim vodovima često bile donošene na temelju kvalitativne prosudbe iskusnih pojedinaca. Uzimajući u obzir pozitivna svjetska iskustva gospodarenja imovinom velikih sustava, smatra se da kvalitativni pristup ne može osigurati kvalitetan oslonac u donošenju odluka o upravljanju fizičkom imovinom jer nije adekvatno sistematiziran i usporedno vrednovan. Bez jasno definirane metodologije i kriterija za utvrđivanje tehničke ispravnosti imovine i posljedica kvarova (u ovom slučaju nadzemnih dalekovoda), neučinkovitost, proturječne ciljeve, nedostatak koordinacije i propuštene prilike nije moguće izbjeći. Kako bi se potencijalni negativni aspekti minimizirali ili u idealnom slučaju u potpunosti izbjegli, kao nužnost nameće se uvođenje odgovarajućeg sustava upravljanja imovinom, tzv. *Asset Management*.

U sklopu Studije planiranja obnove dalekovoda 35(30) kV kao važne sastavnice distribucijske mreže HEP ODS-a [1], za analizu i utvrđivanje rizika stanja dalekovoda 35 kV primijenjena je AIM/CBRM metodologija (eng. *Asset Investment Management / Condition-Based Risk Management*) [2].

U 2. i 3. poglavlju rada sažeto su opisani koncept AIM/CBRM Metodologije i parametri kojima se opisuje postojeće stanje voda. Tipska rješenja obnove dalekovoda i primjena Lidar tehnologije u izradi projekta postojećeg stanja i projekta obnove dalekovoda analizirana su u 4. i 5. poglavlju. U zaključku se daje osvrt na važnost sustavne analize postojećeg stanja dalekovoda kao prvog koraka u definiranju plana obnove 35 kV dalekovoda.

## 2. AIM/CBRM metodologija

Određivanje prioriteta obnove nadzemnih vodova uključenih u AIM/CBRM metodologiju određuje se na temelju ukupnog rizika. Dva ključna parametra za izračun rizika su vjerojatnost kvara i posljedice kvara. Rizik opreme dobiva se umnoškom ta dva parametra. Struktura metodologije prikazana je na slici 1.



Slika 1. Struktura AIM/CBRM metodologije [3]

### 2.1. Vjerojatnost kvara

Postojeće i buduće stanje određene komponente nadzemnog voda ocjenjuje se dodjeljivanjem odgovarajuće ocjene zdravlja *HI* (eng. *Health index*). Ocjena zdravlja *HI* povezana je s vjerojatnošću kvara *PoF* (eng. *Probability of Failure*). Ocjena zdravlja kreće se u rasponu od 0,5 do 10; za niske vrijednosti (od 0,5 do 4) vjerojatnost pojave kvara je konstantna i odgovara vjerojatnosti pojave kvara kod nove opreme dok za veće vrijednosti vjerojatnost kvara raste prema polinomu trećeg reda.

Ocjena zdravlja *HI* dodjeljuje se svakoj od definiranih komponenti opreme (u modelu 35(30) kV nadzemnih vodova to su užad, stupovi i ovjesno-spojna oprema) na temelju početne ocjene zdravlja i određenih modifikatora. Početna ocjena stanja dodjeljuje se na temelju odnosa trenutne starosti elementa i njegovog očekivanog radnog vijeka uzimajući u obzir lokacijski faktor i faktor korištenja.

Zapaženo i izmjereno stanje te karakteristike pouzdanosti određene opreme uzimaju se u obzir putem modifikatora zapaženog stanja, izmjerenog stanja i pouzdanosti kojima se iz početne ocjene zdravlja dobiva konačna ocjena zdravlja pojedine komponente.

## 2.2. Posljedica kvara

Posljedica kvara *CoF* (eng. *Consequence of Failure*) drugi je parametar koji se uzima u obzir prilikom određivanja rizika određene komponente. Posljedice kvara se prema metodologiji razvrstavaju u četiri kategorije: financijske posljedice, sigurnosne posljedice, okolišne posljedice i mrežne posljedice.

## 3. PARAMETRI KOJI OPISUJU POSTOJEĆE STANJE VODA

Prema uopćenoj definiciji, nadzemni dalekovod je građevina prijenosne i distributivne mreže koja služi za prijenos električne energije na veće udaljenosti, a sastoji se od sljedećih osnovnih elemenata:

- temelja,
- uzemljenja,
- stupova,
- izolacije,
- vodiča,
- zaštitnog užeta.

Pored gore navedenih osnovnih elemenata, dalekovod čine i ostali "sekundarni" elementi kao što su npr.: elementi/sustavi za penjanje, sustavi za zaštitu od neovlaštenog penjanja, elementi za zaštitu užadi od vibracija, rastojnici i odstojnici, spojnice, sustavi za obilježavanje i upozorenje, sustavi za zaštitu od ptica itd. Odgovarajuće tehničko stanje svakog od prethodno navedenih elemenata je nužno kako bi dalekovod tehnički korektno, sigurno i pouzdano izvršavao svoju funkciju prijenosa električne energije.

Kvalitativni podaci o stanju elemenata se uobičajeno dobivaju periodičkim pregledima i terenskim očevidima pri kojima je presudna uloga kvaliteta prosudbe iskusnih pojedinaca. Prikupljanje kvantitativnih podataka o pojedinim elementima dalekovoda provodi se mjerenjem na terenu te laboratorijskim ispitivanjima. Kao pomoć pri ocjenjivanju tehničke ispravnosti pojedinog elementa voda, značajan izvor podloga su i raspoloživi zapisi o havarijama i nepoželjnim pogonskim događajima promatranih vodova, odnosno pojedinih elemenata voda. Navedeni zapisi mogu ukazivati na nedostatke pojedinih elemenata ili na potrebu zamjene opreme novom opremom boljih karakteristika.

### 3.1. Temelji

Temeljem dosadašnjeg iskustva, evidentirane su najčešće pojave koje uzrokuju propadanje temelja:

- upotreba neadekvatne kvalitete materijala prilikom ugradnje (betona i armature),
- loša, nestručna izvedba,
- vanjski utjecaji nastali povodom ljudskih (iskopi, zemljani radovi u blizini temelja...) ili prirodnih aktivnosti (klizišta, procjedne vode, ispiranje obala rijeka...) koje ugrožavaju statičku stabilnost tla oko temelja.

Prilikom terenskog očevida potrebno je obratiti pažnju na oštećenja glava temelja (otkrhnuća, pukotine u betonu itd.) koja bi trebalo sanirati jer izlažu armaturu atmosferskim utjecajima, profil terena oko temelja te točku u kojoj pojasnik ulazi u temelj. Naslage zemlje oko glava temelja mogu dovesti do pojave korozije na pojasnicima. Na stupnim mjestima s izraženim problemom zemljanih naslaga može se izgraditi zid kojim se sprječava nanošenje zemlje.

### 3.2. Uzemljenje

Glavnu opasnost po uzemljivač, u smislu negativnog utjecaja na životni vijek istog, predstavlja korozija. Korozivnost ili agresivnost tla ovisi o vrsti geološke strukture i o vlažnosti kao najvažnijim elementima. Postoje i drugi faktori kao što su pH vrijednost (koncentracija vodikovih iona), aeracija tla, kemikalije na područjima pojedinih većih industrijskih postrojenja, lutajuće struje u blizini izvora ili potrošača istosmjernne struje i sl. Brzina korozije ovisi ne samo o korozivnosti tla, nego i o vrsti upotrijebljenog materijala za uzemljivače. Bakar kao materijal pokazuje bolja svojstva u odnosu na ne pocinčano ili pocinčano željezo u uvjetima povećane korozije tla.

Vijek trajanja pocinčane čelične trake, koja se u praksi najčešće koristila, ovisi najviše o kvaliteti cinčanja. Dokazano je da propisno pocinčana čelična traka može, osim u vrlo agresivnom tlu, dati rješenje ravnopravno izvedbi uzemljivača od bakra. Loše pocinčana traka ili traka na kojoj je manipulacijom i neadekvatnim spajanjem došlo do oštećenja može imati vrlo kratak vijek trajanja, u vlažnom tlu svega nekoliko godina.

Stanje uzemljivača koji se nalaze u tlu moguće je kvalitativno procijeniti na temelju vremenskog razdoblja od ugrađivanja uzemljivača, agresivnosti tla, specifične otpornosti i samog tipa tla. Za uzemljivače koji su u uporabi dulje od njihovog predviđenog životnog vijeka za pretpostaviti je da su u većoj mjeri dotrajali, korodirali i izgubili svoja prvotna elektromehanička svojstva, te ne mogu više biti pouzdan element dalekovoda. Terenskim pregledom moguće je na svim stupnim mjestima utvrditi stanje spoja uzemljivača na konstrukciju stupa i manji dio uzemljivača koji se nalazi iznad zemlje.

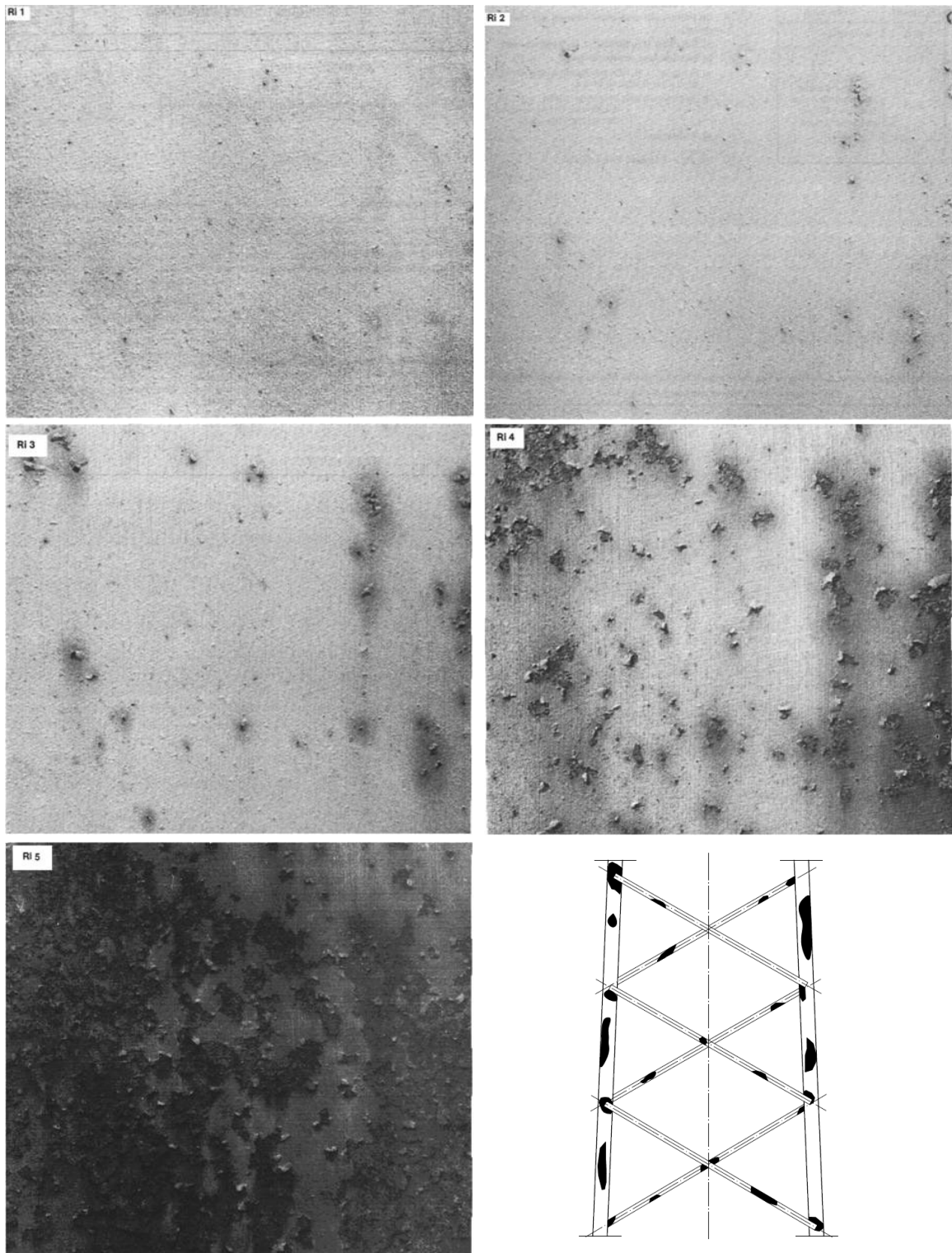
### 3.3. Stupovi

Temeljem dosadašnjeg iskustva, najčešće pojave koje uzrokuju propadanje stupova su sljedeće:

- upotreba neadekvatne kvalitete materijala prilikom ugradnje,
- loša, nestručna izvedba,
- korozija,
- vibracije zbog kojih dolazi do odvrtnja vijaka i matica,
- ekstremni klimatski uvjeti (tereti od vjetra i leda koji nisu predviđeni projektom),
- vanjski utjecaji nastali povodom ljudskih aktivnosti (vandalizam, krađe elemenata stupa, oštećenja stupova nastala uslijed manevriranja velikih strojeva u blizini stupa...).

Prilikom terenskog očevida potrebno je obratiti pažnju na cjelovitost konstrukcije, ispravnost elemenata konstrukcije, vijčane veze itd. Neka od oštećenja su lakša (svijena dijagonala, zamjena vijaka, itd.), te se relativno lako mogu otkloniti, dok se za teža oštećenja (zamjena konzole, pojasnika, sanacija vrha stupa, itd.) trebaju predvidjeti posebne metode sanacije. Očevidom je moguće uočiti površinsku koroziju u manjem ili većem obliku. Pretpostavka je da je djelovanje korozije naročito izraženo na spoju dijagonala na pojasnik stupa i na spoju etaža stupa pa je na ta mjesta potrebno obratiti posebnu pažnju. Stanje konstrukcije stupa s obzirom na koroziju ocjenjuje se usporedbom s nizom standardiziranih fotografija koje prikazuju čeličnu konstrukciju u raznim stadijima hrđavosti. Na slici 2., prikazane su fotografije pet različitih stadija korozije i primjer skice dijelova stupa zahvaćenih korozijom.

Iako u većini slučajeva antikorozijska zaštita stupova može trajati duži niz godina, probleme valja očekivati u industrijskim područjima, pogotovo u blizini kemijske industrije. U slučaju stupova sa zategama potrebno je provjeriti jesu li zategnute. U slučaju armiranobetonskih stupova potrebno je obratiti pažnju na oštećenja u betonu (otkrhnuća, pukotine u betonu itd.) koja bi trebalo sanirati jer izlažu armaturu atmosferskim utjecajima. U sklopu ocjene stanja stupova potrebno je pregledati i stanje opreme, npr. pločica za upozorenje, penjalica, zaštite od ptica itd.



Slika 2. Različiti stadiji korozije čelične konstrukcije

Vertikalnost stupova moguće je kontrolirati izvođenjem mjerenja na terenu uz pomoć teodolita ili obradom podataka dobivenih LiDAR snimkom. Odstupanje vrha stupa od vertikalne osi izražava se u postotku od ukupne visine stupa. Na temelju odstupanja stupa od vertikalnosti određuje se zadovoljava li vertikalnost stupa. Najveći pomak vrha čelično-rešetkastog stupa pri izvedbi ne smije biti veći od

$$f = 0,01\sqrt{h} \quad (1)$$

gdje je  $h$  visina stupa u metrima u skladu sa točkom 2.43 norme HRN EN 1993-3-1:2014/NA [4].

### 3.4. Izolacija

Temeljem dosadašnjeg iskustva, uobičajene pojave koje uzrokuju propadanje izolacije su sljedeće:

- loše, nestručno dimenzioniranje,
- upotreba neadekvatne kvalitete materijala u sastavu izolatorskog lanca (izolatora i ovjesno-spojne opreme),
- korozija metalnih dijelova,
- trošenje dijelova izolacije uslijed dinamičkih naprezanja,
- vibracije,
- nepredviđeni ekstremni klimatski parametri (ekstremni vjetar, led ili njihova kombinacija),
- oštećenja od udara munje, preskoka i kratkih spojeva,
- vanjski utjecaji (oštećenja od vjetrom nanesenih krhotina, udar ptica, lovci-propucavanje izolacije...).

Prilikom terenskog očevida potrebno je obratiti pažnju na ispravnost izolatora, broj izolatorskih kapa u sastavu lanca itd. Ako je terenskim pregledom utvrđeno da je od izgradnje predmetnog dalekovoda na trasi ili uz trasu istoga izgrađen novi objekt npr. asfaltna cesta, makadamski put, VN ili NN vod i sl. potrebno je provjeriti zadovoljava li izolacija u rasponu križanja uvjete električkog ili mehaničkog pojačanja. Također potrebno je provjeriti jesu li se od vremena izgradnje voda promijenili atmosferski uvjeti u okolini, npr. povećanje zagađenja zbog izgradnje industrijskih postrojenja. Povećanje stupnja zagađenja može ukazivati na potrebu povećanja duljine strujne staze.

Na staklene kapaste izolatore potrebno je obratiti više pažnje u prvim godinama nakon ugradnje. Česti nedostatak koji se javlja pri proizvodnji staklenih izolatora je pojava mjehurića u staklu koji uzrokuju pucanje izolatora kad se podvrgne promjenjivim vremenskim prilikama. Unutar par godina od ugradnje, nakon zamjene manjkavih jedinica, pouzdanost staklenih kapastih izolatora se stabilizira i poboljšava. Porculanski izolatori demonstriraju drugačije ponašanje. U prvim godinama nakon ugradnje rijetko se događaju kvarovi, a njihova učestalost raste s vremenom, pogotovo u hladnijim predjelima.

Ispravnost ovjesne opreme procjenjuje se na temelju vizualnog pregleda kojim se daje ocjena rasprostranjenosti korozije te utvrđuju mogući nedostaci. Mogući nedostatak je istrošenost gibljivih dijelova spojne opreme, a posebno su osjetljivi točkasti spojevi te općenito ovjesna oprema ugrađena na dionicama s učestalim i jakim vjetrom. Ovjesna oprema u izolatorskim lancima s utezima izložena je povećanom trošenju. Također, na izolatorskim lancima moguće je evidentirati i oštećenja rogova, prstena i druge opreme.

### 3.5. Vodiči

Tijekom svoje eksploatacije, vodiči su izvrnuti raznim električkim i mehaničkim naprezanjima, kao i utjecajima okoliša. Na vodičima nadzemnih elektroenergetskih vodova pojavljuju se mehaničke oscilacije u sljedećim oblicima:

- eolske vibracije,
- vibracije u podrasponima (između dva odstoynika),
- galopiranje.

Uzrok nastanka eolskih vibracija su zračna strujanja koja moraju biti okomita ili pod određenim kutom na trasu voda. Za nastanak eolskih vibracija, najpogodnija su konstantna zračna strujanja čija je brzina oko 1-7 m/s. Posljedice djelovanja eolskih vibracija su zamori materijala koji su ugrađeni na dalekovodima, a najčešće su to lomovi pojedinih žica vodiča ili zaštitnog užeta neposredno u blizini nosive i zatezne stezaljke, nastavne spojnice, rastojnika, te odvrtnje vijaka i matica na stupovima i ovjesnoj opremi.

Vibracije u podrasponima javljaju se samo kod vodiča u snopu u područjima s vjetrom srednjeg i velikog intenziteta. Iste ne predstavljaju problem na 35(30) kV nadzemnim vodovima pošto se u pravilu na toj naponskoj razini ne ugrađuju vodiči u snopu.

Pojave galopiranja opažene su kod jednostrukih vodiča, te kod vodiča u snopu pri vjetru srednje i velike jačine, a potencirane su stvaranjem ledenog omotača aerodinamičkih karakteristika. Vodiči u snopu

podložniji su galopiranju, pogotovo ako je snop postavljen u horizontalnoj ravnini i prilikom zaleđivanja poprima oblik sličan avionskom krilu. Prilikom udara vjetra dolazi do podizanja ovakvog snopa što može uzrokovati međufazne dodire vodiča, te oštećenja stupa prilikom jačih dinamičkih udara. Potrebno je napomenuti kako je pojava galopiranja na nadzemnim vodovima u našoj praksi relativno rijetka.

Kao što je prethodno navedeno, pored utjecaja električkih i mehaničkih naprezanja, značajnu ulogu na životni vijek vodiča ima i utjecaj vremena i okoliša na iste. Svi vodiči su osjetljivi na sličan način, odnosno generalni uzrok degradacije je produljena izloženost vremenskim utjecajima ili izloženost onečišćenju u atmosferi. Tijekom vremena, korozija komponenti vodiča je identificirana kao primarni uzrok kvara vodiča, međutim sama brzina korozije može ovisiti o nizu čimbenika bez obzira na opću premisu izloženosti vremenskim i okolišnim uvjetima. Takvi, drugi čimbenici koji mogu utjecati na brzinu i intenzitet korozije su, dob vodiča, vrsta vodiča, kvaliteta vodiča, kvaliteta ugradnje, ili obično kombinacija dva ili više prethodno navedenih. Svjetska iskustva ukazuju da se za kvalitetne vodiče<sup>1</sup> koji su izloženi normalnim uvjetima pogona, klimatskim uvjetima i uvjetima okoliša, može očekivati oko 55 godina srednjeg životnog vijeka. Naravno, ova procjena ne uključuje mehanička oštećenja, zamor materijala uzrokovan izlaganjem projektom nepredviđenim ekstremnim klimatskim parametrima (ekstremni vjetar, led ili njihova kombinacija), oštećenja uslijed vibracija, oštećenja od udara munje, preskoka i kratkih spojeva, oštećenja od vjetrom nanesenih krhotina, udar ptica, degradaciju spojne opreme ili u rijetkim slučajevima lošu montažu.

Terenskim očevitom moguće je evidentirati fizička oštećenja plašta vodiča. Ova oštećenja, nastala kao posljedica povratnih preskoka uslijed atmosferskih pražnjenja ili unutarnjih prenapona, očituju se u djelomičnom taljenju (prekidu) pojedinih žica aluminijskog plašta što kao posledicu ima dodatni gubitak mehaničke čvrstoće i električkih karakteristika vodiča, potencijalno izlaže koroziji čeličnu jezgru vodiča, a u konačnici uzrokuje pucanje vodiča na navedenim kritičnim mjestima i predstavlja potencijalno mjesto oštećenja stupova, prvenstveno konzola stupova. Naime, pucanje vodiča uzrokuje dinamičke udare na konzole stupova koje svojim oblikom i načinom izrade nisu dimenzionirane da preuzmu takva dodatna opterećenja. Ukoliko je terenskim pregledom na cijeloj trasi predmetnog dalekovoda u velikom broju raspona evidentirano oštećenje vodiča (koja mogu biti sanirana odgovarajućim spojnicama), realno se može pretpostaviti kako su vodiči uglavnom dotrajali i u tom smislu ih je neophodno zamijeniti. Vizualnim pregledom ponekad je teško ili nemoguće primijetiti koroziju unutar vodiča. I u slučajevima uznapredovane korozije unutar vodiča koja je već uzrokovala pucanje nekoliko žica, vanjski sloj vodiča može biti netaknut. Pošto su korozijski produkti vodiča volumenski višestruko veći od samog aluminijskog, na zahvaćenim mjestima moguće je primijetiti „napuhavanje“ vodiča.

Također, na osnovi mjerenja visina vodiča može se zaključiti je li došlo do povećanja njihovog provjesa (što je uobičajena pojava s obzirom na višegodišnju eksploataciju i neelastična linearna izduženja užeta), ovisno o iznosu tog povećanja moguće je ugrožavanje sigurnosnih visina i udaljenosti. Za vodiče koji su u uporabi dulje od njihovog predviđenog životnog vijeka za pretpostaviti je da su u većoj mjeri dotrajali i izgubili svoja prvotna elektromehanička svojstva, te ne mogu više biti pouzdan element dalekovoda.

Potrebno je također obratiti pažnju na opremu ugrađenu na vodiče kao što su odstojnici i prigušivači vibracija. Moguće je da pod utjecajem eolskih vibracija dođe do popuštanja vijaka i gibanja opreme uzduž vodiča.

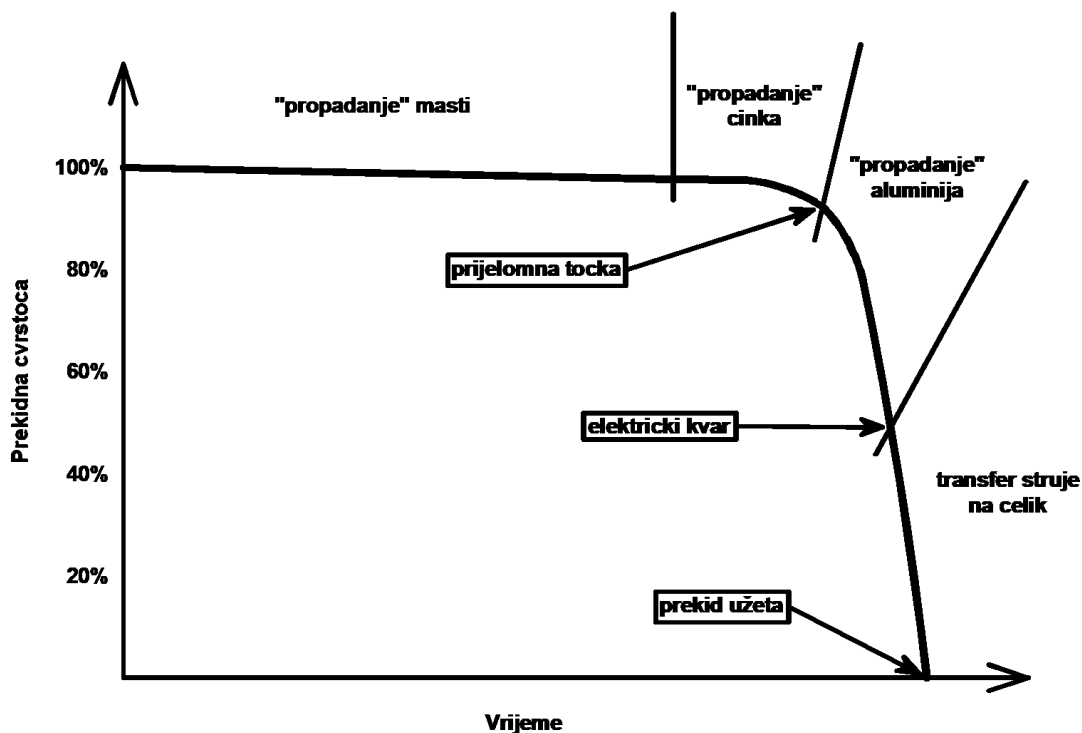
Ako ne postoje oštećenja vodiča koja navode na pojavu unutarnje korozije, stanje vodiča, te općenito užadi koja sadrži čeličnu jezgru moguće je utvrditi ne-destruktivnom metodom pomoću mjerenja magnetskog toka. Sukladno svjetskim iskustvima, procjena tehničke funkcionalnosti vodiča osnovom kvalitativnog pristupa se pokazala u praksi nedovoljno pouzdanom i to posebno u procjeni ostatne prekidne sile vodiča. Pokazalo se da je tijekom terenskih očevida i pregleda teško uočiti koroziju, oštećenja i slabljenja čelične jezgre vodiča a koja je ključna u pogledu mehaničke ispravnosti istog. Cilj ispitivanja užadi ne-destruktivnom metodom pomoću mjerenja magnetskog toka je rana detekcija degradiranja cinka na čeličnim jezgrama još u početnoj fazi, jer nakon njegovog gubitka dolazi do ubrzanog "propadanja" vodiča. Pojednostavljeni pregled tijekom "propadanja" vodiča uslijed interne korozije prikazan je na slici 3. Tijek navedenog procesa odvija se kroz sljedeće korake:

- U početku dolazi do degradacije i gubljenja masti koja dodatno štiti od korozije. U pravilu, proces gubljenja masti je brži kod vodiča koji imaju zamašćen samo prvi sloj žica.
- Nakon gubljenja masti, započinje proces degradacije, odnosno nestajanja cinka kojim su presvučene čelične žice jezgre.

---

<sup>1</sup> Radi lakšeg pisanja se koristi naziv vodič a zapravo je riječ o alučeličnom užetu

- Nakon gubitka cinka, započinje proces korozije čelične jezgre užeta i početak degradacije aluminijevih žica. Ova točka se može smatrati prijelomnom, odnosno točkom nakon koje slijedi ubrzana degradacija mehaničkih i električnih performansi vodiča. Porastom električnog otpora vodiča, dolazi do dodatnog zagrijavanja istog i samim tim do povećanja provjesa. Povećanjem provjesa smanjuju se sigurnosne visine i udaljenosti koje mogu doći u nedozvoljene granice.
- Nakon degradacije aluminijevih žica dolazi do transfera struje na čeličnu jezgru što se smatra električkim kvarom.
- Na kraju vodič mehanički degradira u potpunosti i dolazi do njegovog prekida.



Slika 3: „Propadanje“ alučeličnog vodiča uslijed interne korozije [5]

Osim na samim vodičima oštećenja se mogu pojaviti i na njihovoj opremi, npr. prigušivačima vibracija, odstojećima, strujnim mostovima, spojnicama, sfernim markerima itd. Stanje spojnica moguće je odrediti mjerenjem njihovog otpora.

### 3.6. Zaštitna užad

Kao i za vodiče, tako i za zaštitnu užad vrijedi da je tijekom svoje eksploatacije izvrgnuta raznim električkim i mehaničkim naprezanjima, kao i utjecajima okoliša. Na zaštitnoj užadi nadzemnih elektroenergetskih vodova najčešće se pojavljuju mehaničke oscilacije u obliku eolskih vibracija.

Isto kao i za vodiče, i za zaštitnu užad vrijedi da pored utjecaja električnih i mehaničkih naprezanja, značajnu ulogu na životni vijek istih ima i utjecaj vremena i okoliša na iste. Generalni uzrok degradacije zaštitne užadi je produljena izloženost vremenskim uvjetima ili izloženost onečišćenju u atmosferi odnosno pojava korozije. Sama pojava korozije je daleko izraženija kod „klasične“ zaštitne užadi, dok kod OPGW-a ista nije izražena zbog korištenja materijala vrlo otpornih na koroziju.

Terenskim očevidom moguće je evidentirati fizička oštećenja zaštitnog užeta. Ova oštećenja mogu uzrokovati pucanje zaštitnog užeta što uzrokuje dinamičke udare na vrhove stupova. Ukoliko je terenskim pregledom na cijeloj trasi predmetnog dalekovoda u velikom broju raspona evidentirano oštećenje zaštitnog užeta (koja mogu biti sanirana odgovarajućim spojnicama), realno se može pretpostaviti kako je zaštitno užet uglavnom dotrajalo i u tom smislu ga je neophodno zamijeniti. Za zaštitnu užad koja je u uporabi dulje od svojeg predviđenog životnog vijeka za pretpostaviti je da je u većoj mjeri dotrajala i izgubila svoja prvotna elektromehanička svojstva, te ne može više biti pouzdan element dalekovoda.



#### 4. DEFINIRANJE TIPSKIH RJEŠENJA OBNOVE DALEKOVODA 35(30) kV

Razlozi za revitalizaciju mogu biti problemi gubitaka električne energije, problemi preopterećenja, problemi konstruktivne i elektromontažne dotrajalosti, ali i problemi ugroženosti pogonske sigurnosti pojedinih dalekovoda nastali kao posljedica intenzivne urbanizacije koridora dalekovoda, pri čemu su značajnije ugrožene minimalno propisane sigurnosne udaljenosti i sigurnosne visine.

Revitalizaciju je, s obzirom na ustanovljene probleme, moguće izvršiti na jedan od sljedećih načina ili njihovom kombinacijom:

Tablica I. Opseg revitalizacije u ovisnosti o uočenim problemima

UOČENI PROBLEM	OPSEG REVITALIZACIJE	POTREBA ISHOĐENJA LOKACIJSKE/GRAĐEVINSKE DOZVOLE
Povećani gubici kod prijenosa električne energije	Primjena suvremenih visoko temperaturnih vodiča	-
	Primjena tipskih vodiča većeg presjeka uz nužne značajnije zahvate na konstrukciji stupova	+
Učestala preopterećenja	Primjena suvremenih visoko temperaturnih vodiča	-
	Primjena tipskih vodiča većeg presjeka uz nužne značajnije zahvate na konstrukciji stupova	+
Konstruktivna i elektromontažna dotrajalost	Sveobuhvatna obnova dalekovoda uz primjenu suvremenih visoko temperaturnih vodiča	-
	Sveobuhvatna obnova dalekovoda uz primjenu tipskih vodiča za konkretni nazivni naponski nivo	+ (u slučaju primjene vodiča većeg presjeka od postojećeg)
Smanjena pouzdanost uslijed povećane izloženosti vremenskim uvjetima	Prilagodba dalekovoda vremenskim uvjetima na mikrolokaciji (ugradnja dodatne opreme, povišenje stupova itd.)	-/+ (ovisno o obuhvatu obnove)
Ugroženost minimalnih propisanih sigurnosnih visina i udaljenosti	Primjena suvremenih visoko temperaturnih vodiča	-
	Značajniji zahvati na konstrukciji postojećih stupova (ugradnja među etaža ili novih stupova)	+
	Kabliranje određene dionice voda	+

##### 4.1. Revitalizacija uz primjenu opreme istog tipa

U slučaju da je detektirani problem na razmatranom vodu dotrajalost konstrukcije i elektromontažne opreme ili ugroženost minimalnih propisanih sigurnosnih visina i udaljenosti, dovoljna je zamjena dotrajale opreme novom istih karakteristika te obnova stupova i temelja (za čelično-rešetkaste stupove to uključuje i obnovu antikorozivne zaštite).

Tada revitalizacija i sanacija podrazumijeva ugradnju novog vodiča i zaštitnog užeta i zamjenu postojeće užadi novom na mjestima gdje je oštećena ili zastarjela. U slučaju da je na nekim dionicama

vodič ili zaštitno uže u zadovoljavajućem stanju njegova zamjena nije potrebna, već samo provjera trenutnog montažnog stanja i, ukoliko je potrebno, zatezanje užeta na projektirano naprezanje.

Revitalizacijom se obrađuju i izolatori i ovjesna oprema. U slučaju dotrajalosti ovjesne opreme za sastav izolatorskih lanaca potrebno je zamijeniti čitave lance. Ako je ovjesna oprema u zadovoljavajućem stanju zamjenjuju se samo oštećeni izolatori. U slučaju da u sastavu izolatorskih lanaca postoje izolatori različitog tipa, poželjno je unificirati tip izolatora. S obzirom na to da je tijekom životnog vijeka nadzemnog voda moguća izgradnja novih objekata u njegovoj trasi potrebno je provjeriti usklađenost izolacije s Pravilnikom [6] u pogledu primjene električki i mehanički pojačane izolacije.

Kako bi se zadovoljili uvjeti glede sigurnosnih visina i udaljenosti na nosivim stupovima moguće je ugraditi nosivo-zatezna zavješnja izolatorskih lanaca umjesto nosivih izolatorskih lanaca. U većini slučajeva nosivo-zatezno zavješnje dovoljno je ugraditi samo na najnižoj fazi i time zadovoljiti uvjete sigurnosnih visina i udaljenosti bez ugrožavanja uvjeta za razmak među vodičima. Ako su sigurnosne visine i udaljenosti značajnije ugrožene pristupa se povišenju postojećih stupova ili ugradnji novog stupa u ugroženom rasponu.

U slučaju čelično-rešetkastih stupova potrebno je sanirati detektirana oštećenja (savijene dijagonale, oštećenja pojasnika, nedostajući vijci, uznapredovala korozija na pojedinim elementima itd.) i izvesti zaštitu od korozije na svim stupnim mjestima bojenjem zaštitnim premazom u dva sloja premaza (temeljni i završni premaz). Stanje konstrukcije postojećih stupova sa novom antikorozivnom zaštitom dovodi se u zadovoljavajuće stanje, te se na taj način čuva postojanost konstrukcije i produljuje njen životni vijek.

Na betonskim stupovima potrebno je sanirati oštećenja betonske konstrukcije (oštećenja zaštitnog sloja, pukotine, odlomljeni dijelovi konzola itd.). Ako su dotrajale postojeće ploče s upozorenjem na opasnost, nazivom dalekovoda, nazivom vlasnika voda i rednim brojem stupa potrebno je predvidjeti postavljanje novih na svakom stupnom mjestu. Spomenute ploče za označavanje stupova potrebno je postaviti na dovoljnu visinu iznad terena na strani stupa do koje je najlakši pristup. Predmetne ploče za označavanje dalekovoda trebaju biti izrađene od kombinacije pocinčanog čeličnog lima i emajliranog lima.

Na stupovima razmatranog dalekovoda za koje je terenskim očevitom utvrđeno da postoje tehnički opravdani uvjeti i da se nalaze na pristupačnim terenima za ljude (u blizini kuća, asfaltnih cesta, vinograda, maslinika, obradivih površina, makadama itd.) ili na stupnim mjestima gdje nema uzemljivača ili je uzemljivač nepotpun predlaže se ugradnja novih uzemljivača. Također, u slučaju dotrajalosti zemljovoda predlaže se i njihova zamjena.

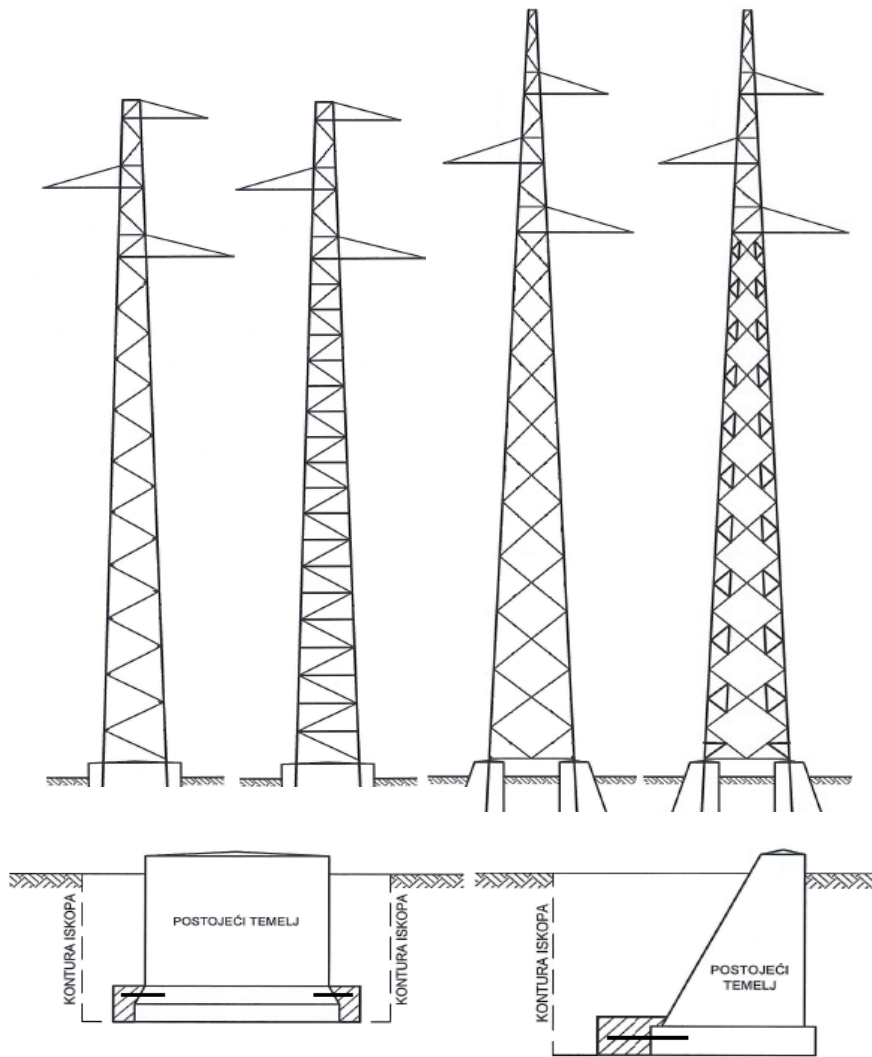
U slučaju da je dio trase i stupnih mjesta razmatranog dalekovoda nepristupačan, u svrhu omogućavanja pristupa mehanizaciji i radnoj snazi do stupova, potrebno je izraditi odgovarajuće pristupne puteve, s naglaskom na zatezne stupove.

#### **4.2. Ugradnja vodiča većeg presjeka od postojećih**

Povećanje gubitaka kod prijenosa električne energije i učestala preopterećenja moguće je riješiti ugradnjom vodiča većeg presjeka. Kako se ugradnjom vodiča većeg presjeka povećavaju opterećenja na stupove, koji za njih vjerojatno nisu dimenzionirani, u većini slučajeva potrebno ih je ojačati ili u potpunosti zamijeniti. U slučaju ugradnje novih stupova javlja se potreba ishoda koja dozvoljava što značajno produžuje vrijeme potrebno za obnovu.

Kako bi se odredio točan broj stupova koje je potrebno ojačati ili zamijeniti provodi se statička analiza svakog stupa na trasi pojedinačno. Analiza se provodi prema stvarnim uvjetima opterećenja svakog stupa. Tim putem dobivaju se detaljne informacije o opterećenjima koja djeluju na svaki stup te se identificiraju kritični elementi stupa. Pojedinačnom analizom izbjegava se induktivno zaključivanje o opterećenju stupova na temelju najgoreg slučaja na trasi i uklanja potreba ojačavanja stupova za koje to prema mikrolokacijskim uvjetima opterećenja nije potrebno.

Ojačavanje čeličnorešetkastih stupova izvodi se ojačavanjem postojećih elemenata ili ugradnjom novih dodatnih horizontala ili dijagonala, dodatne sekundarne ispune itd. Na slici 4 prikazani su primjeri ojačavanja postojećih stupova u dva slučaja: dodavanje novih horizontala i dodavanje sekundarne ispune. Na stupnim mjestima na kojima se ukazuje potreba za dodatnim ojačavanjem konstrukcije moguća je i potreba za ojačavanjem temelja. Temelji se ojačavaju ugradnjom dodatnog betona i armature oko postojećeg temelja. Spoj starog i novog betona potrebno je dobro očistiti i premazati sredstvom za bolje povezivanje betona. Dodatnu armaturu treba povezati s postojećim betonom.



Slika 4: Primjeri ojačavanja stupova i temelja

Ugradnja vodiča većeg presjeka od postojećih također može zahtijevati i ugradnju nove ovjesno spojne opreme boljih mehaničkih karakteristika (s obzirom na prekidnu silu elemenata), a u svakom slučaju potrebna je ugradnja novih stezaljki prilagođenih za vodič većeg promjera. Osim povećanja opterećenja na stupove, zbog većeg promjera vodiča dolazi i do povećanog djelovanja vjetra na njih što može dovesti i do povećanja maksimalnog otklona izolatorskih lanaca na nosivim stupovima. Na stupnim mjestima gdje povećani otklon izolatorskih lanaca ugrožava minimalne propisane sigurnosne razmake ugrađuju se lanci s utezima.

#### 4.3. Ugradnja visoko temperaturnih vodiča

Povećanje gubitaka kod prijenosa električne energije i učestala preopterećenja moguće je riješiti ugradnjom visoko temperaturnih vodiča. Kako se ugradnjom vodiča većeg presjeka povećavaju opterećenja na stupove, koji za njih nisu dimenzionirani, u većini slučajeva potrebno ih je pojačavati ili u potpunosti zamijeniti. Ugradnjom visoko temperaturnih vodiča ne dolazi do potrebe rekonstrukcije stupova pošto je moguće povećati prijenosnu moć voda bez povećanja dimenzija vodiča.

Visoko temperaturni vodič je vodič koji je sposoban za trajni pogon na temperaturama iznad  $100^{\circ}\text{C}$  bez promjena izvornih mehaničkih i električkih svojstava. Suvremeni visoko temperaturni vodiči niskog provjesa (HTLS) prate konstrukciju klasičnih vodiča, odnosno sastoje se od plašta koji preuzima električka opterećenja vodiča, i jezgre koja preuzima mehaničko opterećenje cijelog vodiča. Upravo je jezgra često kritičan dio vodiča koja određuje koliko će se vodič provjesiti na visokim temperaturama i time ugroziti zakonom propisane sigurnosne visine u odnosu na objekte koje dalekovod križa.

Kao materijal za izradu plašta koristi se legura aluminija i cirkonija ili žareni aluminij. Vodiči od legure aluminija i cirkonija (AlZr) se označavaju kao TAL i ZTAL. U osnovi imaju istu električnu vodljivost i prekidnu silu kao i uobičajeni vodiči od aluminija. Međutim, ovi vodiči imaju svojstvo da mogu biti kontinuirano u pogonu na temperaturi 150°C (TAL), odnosno 210°C (ZTAL) bez gubitka vlačne čvrstoće. Žice od žarenog aluminija su po kemijskom sastavu istovjetne onima hladno vučenog aluminija ali je njihova vlačna čvrstoća bitno smanjena. Međutim, ovako dobivene žice podnose trajni pogon na temperaturi i iznad 250°C bez ikakve promjene u materijalu žice [7].

Čelična jezgra podnosi visoke temperature HTLS vodiča bez gubitaka mehaničkih svojstava. Međutim, upotreba čeličnih žica jezgre je ograničena pucanjem zaštitnog sloja na površini žice pri temperaturama iznad 200°C za pocinčani čelik, 250°C za čelik premazan „mischmetalom“ (Zn-5% Al premaz) ili 300 °C ukoliko su čelične žice jezgre presvučene aluminijem (ACS-Aluminium Clad Steel) [7].

Invar je legura željeza i nikla s izrazito malim koeficijentom toplinske rastezljivosti, te nešto manjom vlačnom čvrstoćom i modulom elastičnosti u usporedbi s galvaniziranom čeličnom žicom. U usporedbi s ACS žicom, koeficijent toplinske rastezljivosti Invara je oko 3 puta manji [7].

Jezgra izvedena od kompozitnog materijala iz vlakana izrađenih od aluminij-oksida unutar aluminijske matrice pokazuje mnoga pozitivna svojstva. Aluminij-oksidna vlakna imaju manju toplinsku rastezljivost od aluminija (25% od rastezljivosti aluminija) ili čelika (50% od rastezljivosti čelika), jezgra je izrazito otporna na koroziju, ne pokazuje nepoželjna magnetska svojstva i može biti u pogonu na visokim temperaturama. Masa takve jezgre po dužnom metru je manja od mase čelične jezgre. Vlaknasta kompozitna jezgra napravljena od vlakana i polimerne smole ima niži toplinski koeficijent rastezljivosti od čelika i mnogo veći omjer čvrstoća/masa [8].

Tablica II. Usporedba klasičnog s visoko temperaturnim vodičima [9]

Vodič	Prijenosna moć	Omjer cijena	Ugrađena duljina [km]	Godina
Alučelik	1	1	>800000 (230 kV i više u SAD-u)	Početak 20 st.
ACSS	1.8 – 2.0	1.2 1.5	65000	1975
GTACSR (Gap)	1.6 – 2.0	2	12200	1994
ACIR (Invar)	1.5 – 2.0	3	13300	1989
ACCR	2.0 – 3.0	5.0 – 6.5	1125	1994
ACCC	2	2.5 – 3.0	>8000	2004

Tip visoko temperaturnog vodiča odabire se kao optimalno rješenje između nekoliko tipova vodiča koji su razmatrani u smislu potencijalnog rješenja zamjene postojećeg vodiča. Na temelju provedene analize mreže poznata je zahtijevana prijenosna moć vodiča, te se na temelju tog podatka odabire nekoliko tipova visoko temperaturnih vodiča za daljnju analizu. U svrhu usporedbe predviđenih tipova vodiča te pronalaska optimalnog rješenja za ugradnju na razmatranom dalekovodu, provodi se analiza sila, naprezanja i provjesa promatranih vodiča pri istim ulaznim parametrima. Za odabir najpovoljnijeg rješenja potrebno je osim tehničkih parametara razmotriti i ekonomske čimbenike. Ekonomskom analizom se osim troška ulaganja u obzir uzimaju i troškovi pogona (gubitaka i neisporučene energije) tijekom promatranog razdoblja planiranja.

Konačni tip visoko temperaturnog vodiča odabran je da zadovoljava kriterij zadržavanja postojećih opterećenja na stupove, a postiže napredak u pogledu provjesa i prijenosne moći uz razmatranje troškova ulaganja i pogona. Maksimalna radna naprezanja novo predviđenih visoko temperaturnih vodiča odabiru se na način da se ne povećavaju statička opterećenja postojećih stupova. Na taj način izbjegava se potreba pojačavanja postojećih stupova.

Ugrađuje se ovjesna i spojna oprema prilagođena za povišena temperaturna opterećenja s obzirom na specificiranu maksimalnu radnu temperaturu odabranog visoko temperaturnog vodiča. Ovisno o stanju

izolatorskih lanaca moguća je zamjena samo nosivih i zateznih stezaljki iako se uobičajeno pristupa zamjeni cijelog lanca. Nastavne spojnice visoko temperaturnih vodiča skuplje su i složenije za izvođenje od spojnica klasične užadi. Kako bi se izbjeglo izvođenje nastavnih spojnica vodiča u rasponima i smanjio njihov ukupan broj potrebno je definirati duljine vodiča na bubnjevima. Izračun duljina vodiča na bubnjevima provodi se na osnovi proračuna kosog raspona na temelju razlika apsolutnih visina u točkama ovjesišta užeta i to za svaki promatrani raspon zasebno. Izračun se provodi kod neke pretpostavljene srednje temperature montaže (ovisi o lokalnim klimatskim uvjetima i dobu godine u kojem se izvode radovi). Za razliku od klasičnih vodiča na koje se u pravilu ne ugrađuju prigušivači vibracija na visoko temperaturnim vodičima njihova ugradnja se preporuča.

Prilikom ugradnje visoko temperaturnih vodiča potrebno je poštovati određene specifičnosti glede zahtjeva na opremu koja se koristi za razvlačenje. Tu se prvenstveno misli na veće radijuse koloturnika te radijuse bubnjeva vitla i kočnice preko kojih se povlače vodiči prilikom ugradnje, kao i nešto složeniji proces zatezanja i komprimiranja vodiča u zatezne stezaljke.

#### **4.5. Kabliranje dionice voda**

U svrhu smanjenja zauzeća prostora, zbog značajne urbanizacije na dijelu trase voda, određena dionica ili cijeli razmatrani dalekovod može se zamijeniti kabelom. Takvo rješenje najčešće se primjenjuje na krajnjim dionicama nadzemnog voda koji završava u blizini nekog naseljenog mjesta.

Kandidati za kabliranje su dionice na kojima se uz postojeći dalekovod izgradio niz stambenih i poslovnih prostora, skladišnih dvorišta, industrijskih postrojenja itd., a postoje perspektive daljnje izgradnje. Ugradnja niskoprovjesnih visoko temperaturnih vodiča sigurno bi doprinijela povećanju sigurnosti pogona razmatranog dalekovoda, kao i sigurnosti njegove okoline s obzirom na ostvarivanje povoljnih provjesa što povlači za sobom realizaciju većih sigurnosnih visina i udaljenosti. No, ovakvo rješenje ne može se smatrati optimalnim na dionicama s problemom rastuće i nezaustavljive urbanizacije okolice. Nicanje i širenje objekata u okolini razmatranog dalekovoda ukazuje na činjenicu da vlasnici ne percipiraju dalekovod kao opasnost te grade nove objekte i bez suglasnosti vlasnika voda, što može dovesti do pogubnih situacija za njihove živote, imovinu te naravno i za pogon dalekovoda. Ugradnja HTLS vodiča u tom smislu samo je vatrogasna mjera i u takvom okruženju značila bi tek neznatno poboljšanje prilika.

Kao zaključak nameće se kao jedino trajno rješenje, kojim bi se osigurala pouzdanost i sigurnost pogona dalekovoda, a još važnije, sigurnost ljudi i njihove imovine na tom području, kabliranje određene dionice razmatranog dalekovoda. Kabliranju se može pristupiti u fazama, sanirajući problem najprije oko najugroženije dionice, a daljnje kabliranje dalekovoda usklađivati s razinom ugroze. Osim smanjenja zauzeća prostora, pozitivan efekt kabliranja nadzemnog voda je i eliminiranje njegovog negativnog vizualnog učinka.

Kada je odabrana dionica koju se planira zamijeniti kabelom, potrebno je odrediti trasu kabelskog voda. Poželjno je da je trasa kabelskog voda što direktnija, no potrebno ju je prilagoditi postojećim objektima. Praktično je trasu položiti prateći postojeću cestovnu infrastrukturu. Prilikom odabira trase nastoji se smanjiti broj križanja s ostalim infrastrukturnim objektima (telekomunikacijski kabeli, energetske kabeli, vodovodne i kanalizacijske cijevi itd.). Kako bi se odabrao najpogodniji način polaganja i raspored kabela potrebno je obaviti terenski očevid trase. Očevidom se utvrđuje stupanj urbanizacije, veličina zgrada, dimenzije cesta i pločnika, točne lokacije infrastrukturnih objekata itd. Podatke o prostornoj lokaciji postojećih infrastrukturnih objekata potrebno je prikupiti od nadležnih službi, a dodatna provjera njihove lokacije izvodi se pomoću georadara. Na temelju prikupljenih podataka o trasi odabire se optimalni način polaganja kojim se utjecaj na postojeće prometnice i prekidi prometa svode na minimum. Preferira se polaganje kabela u zelenom pojasu ili ispod pločnika, a ne ispod kolnika ukoliko prostorni uvjeti to dopuštaju.

Podzemni energetske kabeli moraju biti u stanju prenositi struje opterećenja i preopterećenja bez pregrijavanja u najgorem slučaju ambijentalnih i ventilacijskih uvjeta. Također kabeli moraju izdržati longitudinalna mehanička naprezanja tijekom ugradnje i radijalna naprezanja tijekom njihovog radnog vijeka. Poželjno je da su dimenzije kabela što je moguće manje, kako bi se smanjilo zauzeće ograničenog podzemnog prostora u zagušenim urbanim područjima.

Razmatraju se tri osnovna kriterija: trajno dopušteno strujno opterećenje, debljina zaslona i maksimalna vučna sila.

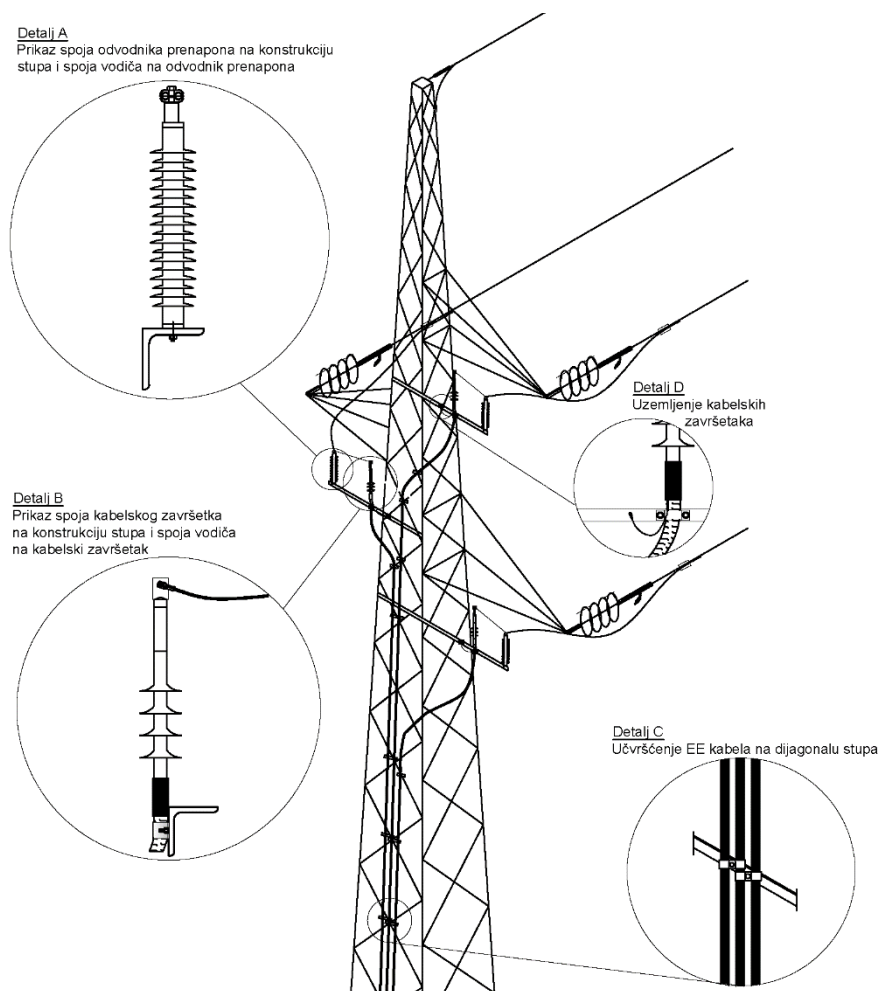
Trajno dopušteno strujno opterećenje određuje se prema [10]. Trajno dopušteno strujno opterećenje predstavlja struju u ustaljenom stanju pri kojoj temperatura vodiča dostiže maksimalnu

dopuštenu temperaturu (ovisi o tipu izolacije, npr. 90°C za XLPE (umreženi polietilen)), a hlađenje i zagrijavanje kabela su usklađeni. Zagrijavanje kabela ovisi o njegovoj konstrukciji (otpornost vodiča, gubici u izolaciji ili zaslonu, broj žila itd.) i načinu polaganja (način povezivanja zaslona, efekti uzajamnog zagrijavanja). Hlađenje kabela ovisi o razlici temperature vodiča i okoline te ukupnom toplinskom otporu svih elemenata (ekran vodiča, izolacija, ekran izolacije, zaslon, vanjski plašt, posteljica, tlo itd.), a značajno se mijenja s obzirom na način polaganja. Kabei položeni direktno u zemlju brže se hlade, što rezultira većom prijenosnom moći od istovjetnih kabela položenih u cijevi ili betonu. Prijenosna moć trožilnih kabela niža je od jednožilnih zbog efekta međusobnog zagrijavanja.

Važna je mehanička zaštita koju pruža ekran prilikom polaganja i eksploatacije kabela. U svrhu sprječavanja oštećenja kabela prilikom polaganja ili u vrijeme njegove eksploatacije važan je pravilan odabir debljine ekrana prema IEC 60502-1 i IEC 60502-2.

Prekidna sila odabranog kabela mora biti viša od maksimalne očekivane vučne sile tijekom polaganja. Vučna sila ovisi o nizu parametara; masi kabela po jedinici dužine, duljini neprekinute sekcije koja se polaže, nagibu terena, zavojitosti trase, trenju između kabela i tla/cijevi te trenju između susjednih kabela.

Ako se ne zamjenjuje cijeli nadzemni vod kabelom već samo neka njegova dionica potrebno je odrediti krajnji stup nadzemne dionice. U većini slučajeva potrebno je ugraditi novi zatezni krajnji stup na kojem će se izvesti prijelaz iz nadzemnog u kabelski vod zato što, u pravilu, postojeći zatezni stup originalno nije bio dimenzioniran za jednostrana opterećenja.



Slika 5: Prikaz prijelaza iz nadzemnog u kabelski vod na stupu

Cjelokupni prijelaz iz nadzemne u kabelsku dionicu moguće je izvesti na stupu (Slika 5). Kabei se vode do posebno konstruirane police/konzolice za smještaj kabelskih završetaka na stupu. Za zaštitu kabelskog voda od prenapona prije kabelskih završetaka ugrađuju se odvodnici prenapona.

## 5. PRIKAZ IZRADE PROJEKTA POSTOJEĆEG STANJA I PROJEKTA OBNOVE DALEKOVODA 35(30) KV POMOĆU LIDAR TEHNOLOGIJE

### 5.1. Prikupljanje i analiza postojeće dokumentacije o predmetnom nadzemnom vodu

U svrhu upoznavanja sa svim bitnim tehničkim parametrima analiziranog voda potrebno je detaljno proučiti postojeću projektnu dokumentaciju prema kojoj je vod građen te svu dokumentaciju prema kojoj su eventualno vršene sanacije i revitalizacije tijekom eksploatacijskog perioda.

### 5.2. Terenski očevid predmetnog nadzemnog voda

Nakon inicijalne faze pregleda postojeće dokumentacije o predmetnom vodu, potrebno je izvršiti terenske očevide kako bi se utvrdilo stvarno stanje voda, eventualne nepravilnosti te sukladnost ugrađene opreme sa onom predviđenom postojećom projektnom dokumentacijom.

### 5.3. LIDAR – geodetski snimak iz zraka

Za potrebe izrade projektne dokumentacije u svrhu odabira optimalnog tehničkog rješenja revitalizacije DV 35 kV Krk – Cres – Lošinj izvršen je zračni geodetski snimak LiDAR tehnologijom. Snimanje je provedeno u koridoru predmetnog nadzemnog voda širine 100 m, odnosno 50 m sa svake strane voda te gustoćom od 20 snimljenih točaka po kvadratnom metru.

Prilikom ovih snimanja bilo je potrebno snimiti i koordinate svakog stupnog mjesta (temelj, točke ovješena vodiča i vrh stupa), kao i položaj svih vodiča na minimalno tri (3) mjesta duž svakog raspona (ne uzimajući u obzir točke zavješena vodiča na stupu). Tom prilikom, bilo je nužno bilježiti i podatak o trenutnoj temperaturi okoline, brzini vjetra i insolaciji, obzirom da isti služe za određivanje postojećeg montažnog stanja užadi.

Kod križanja dalekovoda sa drugim infrastrukturnim objektima, potrebno je bilo detaljno snimiti područje križanja u svrhu mogućnosti provjere sigurnosnih visina i udaljenosti u odnosu na vodove s kojima se predmetni vod križa.



Slika 6: Prikaz modeliranog 35 kV nadzemnog voda na geodetskim podlogama

#### **5.4. Izrada stručnog mišljenja o stupnju tehničke ispravnosti dalekovoda**

Temeljem izvršenih terenskih očevida te pripadajućih zaključaka navedenih u izvještajima o očevidu potrebno je izraditi Stručno mišljenje o stupnju tehničke ispravnosti dalekovoda. Konkretno, u stručnom mišljenju je potrebno osvrnuti se na zatečeno stanje opreme i elemenata predmetnog voda poput čelično rešetkaste konstrukcije, vidljivih dijelova temelja, vodiča, izolatorskih lanaca, nadzemnih dijelova uzemljivačkog sustava, zaštitnog užeta i pripadajuće ovjesno spojne opreme te oznaka za upozorenje. Također, mišljenjem je potrebno obuhvatiti i stanje šumske prosjeke, osvrnuti se na općenitu pristupačnost trase te ustanoviti ukoliko postoji neusklađenost s odredbama Pravilnika, osobito u smislu sigurnosnih visina i udaljenosti.

Stručno mišljenje u sljedećim fazama služi kao temeljni izvještaj za detaljnije projektantske razrade opcija revitalizacije.

#### **5.5. Izrada 3D modela predmetnog nadzemnog voda u programskom alatu PLS CADD**

U svrhu kasnijih aktivnosti u smislu detaljnih elektro-mehaničkih provjera i proračuna te izrade ažuriranih podloga (situacije trase, uzdužni profili trase itd.) potrebno je izraditi 3D model predmetnog voda temeljem geodetskih podloga prethodno izvršenog snimka iz zraka.

Predmetne dalekovode potrebno je modelirati na način da se definiraju modeli izolatorskih lanaca i užadi, kao i snimljenih točaka postojećih stupova i užadi. U slučaju DV 35 kV Krk – Cres – Lošinj, uslijed prirode revitalizacije, potrebno je izvršiti statičku analizu stupova. Razvijeni su 3D modeli postojećih tipova stupova kako bi se provjerila izvedivost predviđenih tehničkih rješenja. Modeliranje stupova izvršeno je u programskom alatu PLS Tower temeljem opterećenja simuliranih u PLS CADD-u u skladu sa zahtjevima definiranim važećim Pravilnikom.

U modelu voda u PLS CADD-u potrebno je na svakom stupnom mjestu model stupa precizno pozicionirati unutar snimljenih točaka realnog stupa. Nadalje, lančanicu definiranog modela užeta, za proračunom određenu temperaturu užeta, potrebno je grafički „provući“ kroz snimljene točke svih užeta. Za ovako modeliranu užad potrebno je računski odrediti stvarno montažno stanje. Za izračun temperature užeta u trenutku snimanja potrebno je koristiti klimatske podatke (brzina vjetera, insolacija, temperatura okoline) prikupljene na osnovu zapisa o vremenu provođenja snimanja, kao i podatak o strujnom opterećenju dalekovoda u trenutku snimanja koje će, na temelju datuma i vremena snimanja, osigurati naručitelj.

#### **5.6. Projekt postojećeg stanja**

Temeljem prikupljenih geodetskih podloga, izrađenog 3D modela postojećeg stanja predmetnog nadzemnog voda te Stručnog mišljenja o stupnju tehničke ispravnosti dalekovoda pristupa se izradi projekta postojećeg stanja čija je svrha dubinski analizirati postojeće stanje te detaljno utvrditi sva odstupanja od zahtjeva definiranih važećim Pravilnikom. Ova točka uključuje projektnu dokumentaciju u detaljnijoj razradi od one razrađene u stručnom mišljenju te uključuje izradu uzdužnih profila postojećeg stanja kako bi se utvrdila potencijalna odstupanja od zahtjeva vezanih uz sigurnosne visine i udaljenosti, situaciju trase u mjerilu 1:25000 na topografskoj podlozi te u mjerilu 1:5000 na ortofoto podlozi te skice prethodno ugrađene opreme (stupovi i izolatorski lanci).

#### **5.7. Tehno-ekonomska analiza**

Nakon identifikacije postojećih nedostataka na predmetnom vodu potrebno je razraditi tehnički izvedive opcije kojima će se otkloniti postojeći nedostaci te povratiti ili povećati pouzdanost i sigurnost opskrbe predmetnim vodom. Kako bi se isto ostvarilo, potrebno je pristupiti problematici s dva aspekta paralelno. Jedna aktivnost uključuje provedbu detaljne analize mreže dok druga aktivnost obuhvaća projektantsku razradu opcija revitalizacije voda u svrhu zadovoljavanja svih tehničkih, normativnih i komercijalnih zahtjeva predmetnog objekta.

Analiza tokova snaga i naponskih prilika u promatranoj mreži provodi se kako bi se za postojeće i planirano stanje mreže utvrdila razina opterećenja vodova i pripadni naponski profil. Analiza treba obuhvatiti sve utjecajne elemente prijenosne i distribucijske mreže, a provodi se uz raspoložive sve elemente mreže, te eventualno i uz neraspoloživ jedan element mreže - (N-1) analiza - i to na nekoliko scenarija karakterističnih za promatrani dio mreže, ovisno o sezoni, odnosno razini opterećenja sustava, angažmanu okolnih proizvodnih objekata i ostalim specifičnim parametrima (planiranim i prisilnim zastojsima i sl.).



Kao paralelna aktivnost analizi mreže provodi se multikriterijska analiza s ciljem razrade više izvedivih opcija revitalizacije objekta i zadovoljavanja zahtjeva krajnjih potrošača i klijenta. Analiza mora uzeti u obzir postojeće stanje ugrađene opreme, starost pojedinih elemenata te energetske potrebe napajnog područja. Unutar ove aktivnosti posebni se naglasak stavlja na eventualnu potrebu za povećanjem prijenosne moći postojećeg dalekovoda, što je čest slučaj sa postojećom energetskom infrastrukturom u turistički razvijenim područjima gdje je vršna potrošnja u značajnom porastu. U tom smislu, prilikom izrade analize potrebno je istražiti mogućnost ugradnje visoko temperaturnih vodiča (HTLS vodiča), odnosno identificirati različite tipove i tehnologije HTLS vodiča te ih međusobno usporediti na bazi tehničkih, tehnoloških i komercijalnih parametara te vezanih implikacija u smislu potrebnih zahvata na postojećoj infrastrukturi (čelično rešetkastoj konstrukciji i temeljima).

Također, svaka od predloženih varijanti mora sadržavati i ekonomski aspekt, odnosno razradu predvidivih ulaganja i troškova za potrebe realizacije promatrane varijante.

## **5.8. Izrada izvedbenog projekta revitalizacije**

Temeljem identificiranih nedostataka, izvršenih analiza, razrađenih opcija te naposljetku odabrane opcije, pristupa se izradi izvedbenog projekta revitalizacije predmetnog objekta. Na osnovu definiranog modela dalekovoda, u kombinaciji sa generiranim 3D modelom terena i snimljenim točkama „prepreka“, u PLS-CADD-u se vrše sljedeće aktivnosti:

- Simulacija slučajeva opterećenja na stupove sukladno važećem Pravilniku temeljem koje se pristupa statičkoj analizi stupova u programskom alatu PLS Tower. Ova je provjera nužna jedino u slučaju da se uslijed primjene predviđenih tehničkih rješenja javila potreba za dodatnom statičkom provjerom stupova.
- Izrada montažnih tablica za trenutno montažno stanje vodiča i zaštitnog užeta kao i za cijeli spektar temperatura od -20°C do maksimalne temperature.
- Izvršavanje propisanih proračuna, kontrola i analiza za stvarno snimljeno stanje. Prethodno navedeno se odnosi na kontrolu sigurnosnih visina i udaljenosti vodiča u odnosu na sve locirane objekte, vegetaciju i tlo, kontrole trenutnih provjesa i naprezanja, kontrolu otklona nosivih izolatorskih lanaca, kontrolu naprezanja užadi u ovjesištima, te kontrolu razmaka između užadi.
- Izrada situacije trase, u nacionalnom koordinatnom sustava, na topografskoj karti u mjerilu 1:25000 i na ortofoto karti u mjerilu 1:5000 sa stvarnim prikazom svih stupnih mjesta.
- Izrada stupne liste. (Oznaka stupnog mjesta, tip stupa, visina stupa do donje konzole izolacija, raspon, poluzbroj raspona, kut loma trase, duljina zateznog polja, duljina trase, gravitacijski raspon, tlak vjetra, dodatni teret, maksimalno radno naprezanje vodiča i zaštitnog užeta, oznaku optičke spojnice, težina utega po fazi, tip uzemljivača, križanja s drugim objektima).
- Izrada skica stupova na osnovu snimljenih podataka, nacrti izolatorskih lanaca na osnovu stvarnog stanja – detaljnog snimka.
- Izrada uzdužnih profila.
- Izrada backup datoteka modela dalekovoda sa svim snimljenim točkama za korištenje na drugim računalima.
- Izrada modela dalekovoda u .kmz formatu za uvid u stvarni položaj dalekovoda na terenu sa programom GoogleEarth i mogućnost navigacije do pojedinog stupnog mjesta (moguće je korištenje na bilo kojem računalu ili tabletu, isključivo uz prethodno učitavanje .kmz datoteke koja sadrži podatke o dalekovodu; ostalim online korisnicima servisa GoogleEarth model dalekovoda nije vidljiv).
- Izrada modela dalekovoda u .gdb formatu za uvid u stvarni položaj dalekovoda na terenu sa GPS uređajem i mogućnost navigacije do pojedinog stupnog mjesta (moguće je korištenje na bilo kojem GPS uređaju, uz prethodno učitavanje .gdb datoteke koja sadrži podatke o dalekovodu).

Temeljem gore opisanih aktivnosti izvršenih u odgovarajućim programskim alatima, potrebno je razraditi izvedbenu projektnu dokumentaciju koja će sadržavati sve dozvole, tehničke detalje, nacрте, tehničke opise, kontrolne proračune, program osiguravanja kvalitete, tehnička rješenja za primjenu pravila zaštite na radu i zaštite od požara, posebne tehničke uvjete, razradu zbrinjavanja građevinskog otpada,

specifikaciju sve predviđene opreme te procjenu ulaganja kojima se potvrđuje izvedivost odabrane tehničke varijante.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je detaljnije predstavljen dio AIM/CBRM metodologije koji se odnosi na ocjenjivanje postojećeg stanja dalekovoda. Razmatrani su parametri koji utječu na konačnu ocjenu zdravlja elementa bilo putem modifikatora zapaženog stanja ili putem faktora lokacije. Opisani su najčešći uzroci propadanja posebno za svaku komponentu dalekovoda.

U drugom dijelu rada analizirani su općeniti scenariji obnove postojećih nadzemnih vodova. Ovisno o uočenim nedostacima (dotrajnost opreme, nedovoljna prijenosna moć, ugrožena sigurnost pogona i ljudi itd.) predlažu se odgovarajuća tehnička rješenja obnove. Na kraju je prikazan primjer tehničkog rješenja obnove DV 35 kV Krk – Cres – Lošinj uz primjenu LIDAR tehnologije.

Radi zadržavanja značajne uloge u distribucijskoj mreži, uvođenje sustavne metodologije za ocjenu i kvantifikaciju rizika postojećeg stanja 35 kV dalekovoda u distribucijskoj mreži HEP ODS-a je od iznimne važnosti. Stoga, potrebno je unificirati i povećati kvalitetu pregleda dalekovoda kako bi se moglo normizacijom značajki stanja pojedinih elemenata dalekovoda provesti odgovarajući izračun rizika.

## 7. LITERATURA

- [1] Studija planiranja obnove dalekovoda 35(30) kV kao važne sastavnice distribucijske mreže HEP ODS-a, Energetski institut Hrvoje Požar i Dalekovod Projekt d.o.o., Zagreb, travanj 2020.
- [2] DNO Common network Asset Indices Methodology, Ofgem, 30.1.2017., dostupno na poveznici: [https://www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2017/05/dno\\_common\\_network\\_asset\\_indices\\_metho\\_dology\\_v1.1.pdf](https://www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2017/05/dno_common_network_asset_indices_metho_dology_v1.1.pdf)
- [3] G. Vidmar, A. Tunjić, I. Baran, N. Bogunović, Ž. Plantić, „AIM/CBRM metodologija u HEP ODS-u - Organizacija projekta i osiguranje podataka“, 14. savjetovanje HRO CIGRÉ, Šibenik, studeni 2019
- [4] HRN EN 1993-3-1:2014/NA Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija – Dio 3-1: Tornjevi, jarboli i dimnjaci – Tornjevi i jarboli – Nacionalni dodatak, veljača 2014.
- [5] SP Energy Networks 2015-2023 Business Plan – Annex 132 kV Overhead Lines Strategy, SP Energy Networks, ožujak 2014.
- [6] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, «Službeni list» broj 65/88, «Narodne novine» broj 53/91 – Zakon o standardizaciji, 24/97
- [7] N. Vujičić, „Primjena visokotemperaturnih vodiča malog provjesa na postojećim dalekovodima u svrhu povećanja prijenosne moći“, Diplomski rad, Tehničko veleučilište u Zagrebu, rujan 2016.
- [8] Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors, CTC Global, 2011
- [9] CTC Annual Shareholder Meeting presentation, CTC Global, ožujak 2010.
- [10] HRN IEC 60287 Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti, travanj 2001.