

DAVOR ĐURĐEVIĆ dipl. inž. el.
Dalekovod d.d. - Zagreb
dr. sci. SRĐAN ŽUTOBRADIĆ dipl. inž. el.
Energetski institut "Hrvoje Požar" - Zagreb
DAVOR MIŠKOVIĆ dipl.ing.el.
SINIŠA JERGOVIĆ dipl. inž. el.
DENIS BRAJKOVIĆ dipl. inž. el.
HEP DP "Elektroistra" - Pula

KRITERIJI ZA OBNOVU NADZEMNIH VODOVA I PRIPADNIH TS 10(20)/0.4 kV

SAŽETAK

Proces deregulacije u elektroenergetskoj djelatnosti postavlja na distribuciju oštre gospodarske uvijete u smislu promišljanja investicijske politike te smanjenja troškova. U takvom kontekstu pitanje obnove (revitalizacije) dobiva na izuzetnom značenju kako u tehničkom tako i gospodarskom smislu.

Ključne riječi: obnova, nadzemni vodovi, stupovi, vodiči, oprema

CRITERION ON REFURBISHMENT OF OVERHEAD LINES AND ACCORDING SS 10(20)/0.4 kV

ABSTRACT

The deregulation process in the electric power supply imposes strict economic conditions on distribution in terms of consideration of the investment policy and costs reduction. In that context, the refurbishment issue takes on exceptional significance in both technical and economic terms.

Key words: refurbishment, overhead lines, towers, conductors, fittings.

1. U V O D

Procesi deregulacije odnosa u elektroenergetskoj djelatnosti postavljaju distributere električne energije u drugačiju poziciju nego do sada. Prema dostadašnjim iskustvima u svijetu, dolazi do pritiska nadležnih regulatornih tijela za smanjivanjem troškova električne energije. To se naročito odnosi na one dijelove elektroenergetskog sustava u kojima je prisutan prirodni monopol - a to su prijenosne i distribucijske mreže. S druge strane, teži se što boljoj kvaliteti isporuke električne energije, što podrazumijeva povećane troškove.

Navedena situacija zahtijeva promišljenu politiku pri donošenju investicijskih odluka. To se naročito odnosi na problematiku revitalizacije dotrajalih dijelova mreže. S obzirom na stalni manjak financijskih sredstava, nužno je usvojiti pristup revitalizaciji temeljem korištenja kriterija za izradu liste prioriteta. Osim toga, treba dati odgovor na koji način prići revitalizaciji (uz zadržavanje istih energetske kapaciteta ili s njihovim povećanjem, promjenom tehnoloških rješenja itd.).

S obzirom da nadzemni vodovi predstavljaju veoma značajan dio distribucijske mreže, u kojem je problem dotrajalosti posebno prisutan, u ovom referatu detaljnije će se razmatrati pristup njihovoj revitalizaciji

2. ZNAČAJKE POSTOJEĆE NADZEMNE MREŽE SREDNJEG I NISKO NAPONA U HRVATSKOJ

Podaci o postojećim distribucijskim vodovima HEP-a iz L7

Vodovi 35 kV: 3.472 km

- na drvenim stupovima:	69 km
- na betonskih stupovima:	764 km
- na čeličnim stupovima:	2639 km
- vodiči Al/Č 120:	1910 km
- vodiči Al/Č 95:	972 km
- vodiči < Al/Č 95:	243 km
- vodiči Cu:	347 km

Vodovi 10(20) kV: 22.677 km

- na drvenim stupovima:	17.665 km
- na betonskim stupovima:	2.724 km
- na čeličnim stupovima:	2.288 km
- vodiči Al/Č 120:	119 km
- vodiči Al/Č 95:	2.482 km
- vodiči Al/Č 70:	289 km
- vodiči Al/Č 50:	3.279 km
- vodiči Al/Č 35:	6.793 km
- vodiči Al/Č 25:	8.269 km
- vodiči < Al/Č 25:	219 km
- vodiči Cu:	1.227 km

Zračna mreža niskog napona:

(bez priključaka): 41.597 km

- na drvenim stupovima:	31.508 km
- na betonskim stupovima:	3.966 km
- na zidnim/krovnim nosacima:	6.123 km
- vodiči SKS 70:	6.660 km
- vodiči SKS 35:	3.207 km
- vodiči >50 Al/Č:	1.489 km
- vodiči 50 Al/Č:	5.205 km
- vodiči 35 Al/Č:	10.765 km
- vodiči 25 Al/Č:	9.277 km
- vodiči < 25 Al/Č:	3.989 km
- vodiči Cu:	1.007 km

Uvidom u izložene podatke (uz uvažavanje moguće nesigurnosti kod vodova n.n.) dolazi se do slijedećih zaključaka:

- najveći dio vodova 10(20) kV i n.n. izveden je na drvenim stupovima (78 %, odnosno 76 %)

- najzastupljeniji su mali presjeci vodiča na naponskim razinama 10(20) kV i n.n. (73 %, odnosno 80 %) (pod malim presjecima misli se na vodiče < 50 Al/Č)

Posljedice opisanog stanja su slijedeće:

- izrazita dotrajalost vodova, s obzirom na kratku životnu dob drvenih stupova u našim mrežama; broj drvenih stupova procjenjuje se na 1.900.000 komada (nabavne vrijednosti veće od 200 mil. DEM)
- česti problemi s naponskim okolnostima, naročito u mrežama n.n.
- zaoštavanje problema s naponskim okolnostima, u slučaju pojave novih potrošača, odnosno porasta konzuma.

Procjena starosti nadzemne distribucijske mreže HEP-a:

Vodovi 35 kV

Procjena starosti izvršena je na temelju podataka o godinama izgradnje vodova 35 kV (baza podataka EI "H. Požar"). Na temelju raspoloživih podataka dobivena je slijedeća statistička razdioba:

- vodovi izgrađeni nakon 1981.g. 22%
- vodovi izgrađeni između 1971. i 1980.g. 36%
- vodovi izgrađeni između 1961. i 1970.g. 25%
- vodovi izgrađeni prije 1960.g. 17%

Pri tome nije uvažena činjenica da su neki vodovi temeljito rekonstruirani.

Vodovi 10(20) kV

S obzirom na manjak podataka, procjena starosti ovih vodova izvršena je na temelju podataka iz godišnjih izvještaja "Elektroistre" Pula. Dobivena je sljedeća statistička razdioba:

- vodovi izgrađeni nakon 1981.g. 23%
- vodovi izgrađeni između 1971. i 1980.g. 21%
- vodovi izgrađeni između 1961. i 1970.g. 18%
- vodovi izgrađeni prije 1960.g. 38%

Potrebno je uvažiti činjenicu da su stariji vodovi u velikoj mjeri izgrađeni na drvenim stupovima. Zbog loše kvalitete tih stupova njihova životna dob obično iznosi 10 do 20 godina. To znači da su na mnogim starim vodovima zamjenjeni stupovi. No to se ne mora odnositi na vodiče, izolatore i ovjesni pribor.

Zračna mreža niskog napona

Kao što je poznato, podaci o vodovima niskog napona obično su prilično nesigurni. Zbog toga izloženu procjenu koja se također bazira na izvještajima "Elektroistre" Pula treba uzeti s određenom rezervom.

- vodovi izgrađeni nakon 1971.g. 9%
- vodovi izgrađeni između 1961. i 1970.g. 32%
- vodovi izgrađeni prije 1960.g. 59%

Osnovni problem s izloženim podacima je u tome što nije moguće utvrditi dužinu izgrađenih zamjenskih vodova. To posebno vrijedi za područja na kojima je provedena obnova nakon akcije "Oluja", 1995.g.

No bez obzira na rečeno, može se zaključiti da je udio zračnih mreža zaostalih iz vremena elektrifikacije (razdoblje pedesetih godina) veoma visok.

3. KRITERIJI ZA DONOŠENJE ODLUKA O OBNOVI (REVITALIZACIJI) NADZEMNIH VODOVA

Prilikom donošenja odluka o značajnijim investicijskim ulaganjima u revitalizaciju nadzemnih vodova treba sagledati dva temeljna čimbenika:

- raspoloživost voda u zadnjih 5-10 godina (ovisno o načinu vođenja statistike pogonskih događaja)
- energetske parametre rada tijekom narednih 20-30 god. (očekivane padove napona i gubitke električne energije i snage)

Kriteriji koji se uzimaju u obzir kod analize raspoloživosti voda jesu:

- broj trajnih kvarova na vodu
- broj prolaznih kvarova na vodu
- dužina voda
- naponska razina voda
- starost dijelova voda
- okoliš (šuma je područje s čestim udarima munja)
- razdoblje od zadnje temeljite rekonstrukcije

Kriteriji vezani za energetske parametre jesu:

- protok energije po vodu
- broj većih (osjetljivih) potrošača
- naponske okolnosti na vodu
- razina gubitaka električne energije i snage.

Navedene parametre trebalo bi ponderirati, te nakon toga sumirati. To se posebno odnosi na pokazatelje vezane za raspoloživost voda. Konkretizacija ove ideje moguća je samo analizom podataka s terena.

Što se tiče energetske parametara, nužno je sagledati funkciju voda u mreži, i to za sadašnje stanje, ali i budućnosti. Pri tome posebno treba uvažiti:

- naponske okolnosti
- gubitke električne energije i snage

Maksimalni padovi napona u mrežama srednjeg napona nisu definirani tehničkom regulativom. Njihova veličina uvjetovana je koordinacijom padova napona, od početne točke (regulacijski transformator 110/x kV) do potrošačkih instalacija.

Uobičajena vrijednost koja se koristi za prethodne proračune iznosi:

$$\Delta U_{\max} = 8 \%$$

U mrežama niskog napona po novom pravilniku dopuštene promjene napona iznose +6/-10 %. U tab. I i II prikazani su relativni padovi napona (maksimalne vrijednosti) na dva tipična izvoda 10(20) kV, dužine magistralnog dijela 10 km, odnosno 20 km. Pretpostavljeno je jednoliko opterećenje voda.

Prikazani rezultati mogu pomoći kod određivanja traženog presjeka vodiča. Pri tome treba uvažiti očekivani porast opterećenja voda u budućnosti (tijekom životne dobi). Ukoliko se pretpostavi prosječni godišnji porast od 2,5 % tada se za trideset godina dobiva približno dvostruko opterećenje.

Opterećenje nadzemnih izvoda 10 kV u distribucijskoj mreži HEP-a mogu se procijeniti na temelju analize podataka o 240 različitih izvoda:

S (kVA)	(%) izvoda
< 500	31
500 - 1000	29
1000 - 1500	25
1500 - 2000	10
>2000	5
UKUPNO:	100

Kao što se vidi, oko 60% izvoda opterećeno je sa manje od 1 MVA. To ukazuje na mogućnost korištenja vodova s presjekom vodiča 3x50 Al/Č, koji će kod mjerenih dužina magistralnih dionica (desetak kilometara), osigurati tranzit električne energije uz prihvatljive padove napona. Ovaj zaključak, odnosi se kako na postojeće stanje, tako i budućnost (ako prosječni porast opterećenja ne nadmaši 2,5 % godišnje).

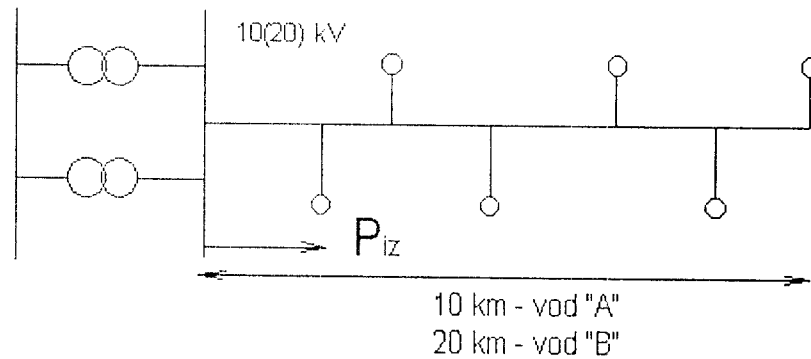
Dakako, kod vodova bitno veće dužine, odnosno kod većih opterećenja potrebno je koristiti vodiče većeg presjeka.

Tab I. Maksimalni padovi napona na karakterističnim vodovima 10/20 kV - vod "A" (%)

	$P_{iz} = 500 \text{ kW}$	$P_{iz} = 1000 \text{ kW}$	$P_{iz} = 1500 \text{ kW}$	$P_{iz} = 2000 \text{ kW}$
Presjek (mm^2) (Al/Č)	10 kV/20 kV	10 kV/20 kV	10 kV/20 kV	10 kV/20 kV
25	3.6/0.90	7.4/1.85	11.6/2.9	16.1/4.03
35	2.5/0.63	5.2/1.3	8.0/2.0	11.0/2.8
50	1.9/0.47	3.8/0.95	5.9/1.48	8.0/2.0
70	1.4/0.35	2.8/0.70	4.3/1.08	5.8/1.45
95	1.1/0.27	2.2/0.55	3.3/0.83	4.5/1.13
120	1.0/0.25	1.8/0.45	2.8/0.70	3.8/0.95
150	0.6/0.15	1.2/0.3	1.9/0.47	2.5/0.63

Tab II. Maksimalni padovi napona na karakterističnim vodovima 10 kV/20 kV - vod "B"

	$P_{iz} = 500 \text{ kW}$	$P_{iz} = 1000 \text{ kW}$	$P_{iz} = 1500 \text{ kW}$	$P_{iz} = 2000 \text{ kW}$
Presjek (mm^2) (Al/Č)	10 kV/20 kV	10 kV/20 kV	10 kV/20 kV	10 kV/20 kV
25	7.0/1.75	15.2/3.80	25.4/6.35	40.5/10.13
35	5.0/1.25	10.4/2.60	16.6/4.15	23.9/5.97
50	3.6/0.90	7.6/1.90	11.3/2.95	16.5/4.13
70	2.7/0.67	5.5/1.37	8.5/2.13	11.7/2.93
95	2.1/0.53	4.3/1.07	6.5/1.63	9.0/2.25
120	1.7/0.43	3.6/0.90	5.5/1.37	7.5/1.86
150	1.0/0.25	2.3/0.57	3.5/0.87	4.9/1.23



Slika 1.

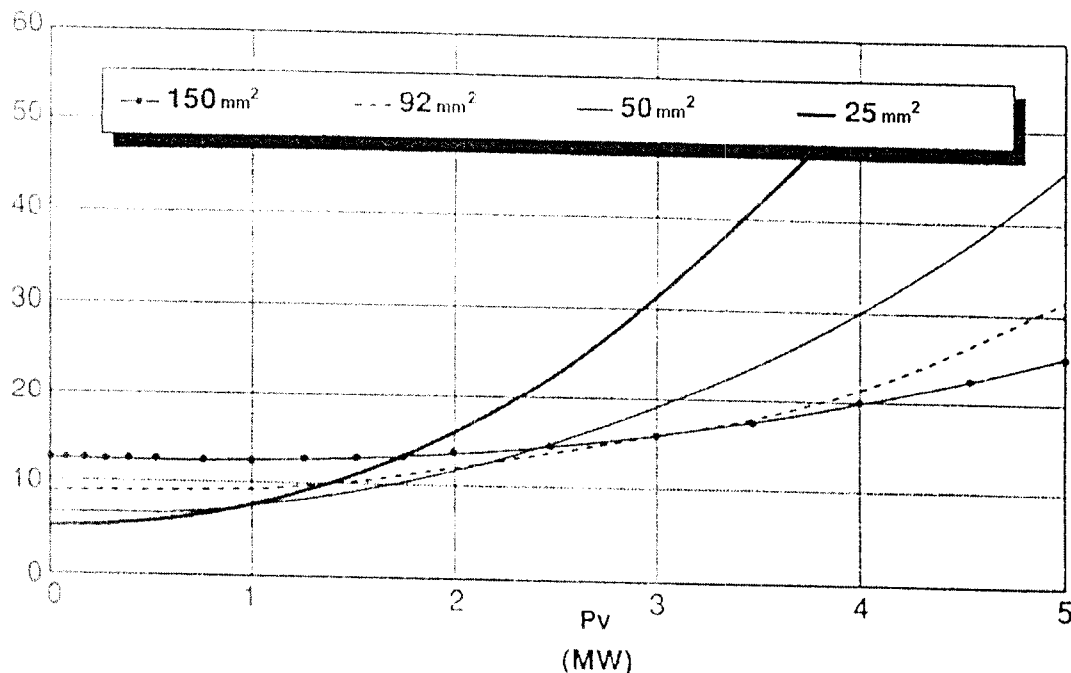
Dakako, s uvođenjem napona 20 kV situacija se izvanredno popravlja, što ne treba posebno komentirati.

Gubici električne energije i snage na vodu predstavljaju ekonomski parametar koji treba uvažiti pri odabiru presjeka vodiča. Pri tome je potrebno proračunati ukupne troškove voda tijekom životne dobi. Oni se sastoje od:

- investicijskih troškova
- aktualiziranih troškova gubitaka električne energije i snage
- aktualiziranih troškova održavanja voda.

Troškovi održavanja ovise o mnogim lokalnim specifičnostima, pa ih je teško obuhvatiti u općem modelu. Zbog toga se često optimalni presjek bira samo na temelju prva dva čimbenika. Proračun troškova gubitaka detaljno je opisan u L8. Uzima se u obzir trenutačna cijena gubitaka električne energije, te očekivani porast u budućnosti, porast opterećenja u budućnosti, te trajanje vršnog opterećenja (odnosno faktor opterećenja - "LOAD FAKTOR").

Kao primjer takvog proračuna dani su dijagrami na slici 2, koji se odnose na tvrtku ESB (Irska).



Slika 2. Troškovi izgradnje voda 20 kV i troškovi gubitaka (25 g.)

Što se tiče takvog pristupa u Hrvatskoj, treba upozoriti na odnos troškova gubitaka, te cijene izgradnje vodova. Kod vodova velikog presjeka koji su znatno skuplji u odnosu na vodove s vodičima presjeka 50 Al/Č, troškovi gubitaka postaju značajan čimbenik samo u slučaju velikih opterećenja izvoda (> 2 MW uz pogonski napon 10 kV).

4. TEHNOLOŠKI PRISTUP OBNOVI NADZEMNE MREŽE S OSVRTOM NA ZAKONSKU REGULATIVU

4.1 OPĆI DIO

Obnova odnosno revitalizacija nadzemne mreže (NN i dalekovoda) može se definirati kao zamjena ili popravak dotrajalih ili oštećenih dijelova (komponenti) mreže.

U širem smislu pod obnovom nadzemne mreže može se smatrati i zamjena komponenti mreže onim elementima koji ne samo da povećavaju pogonsku sigurnost mreže već i podižu nivo efikasnosti iste (veći presjeci i poboljšani tipovi vodiča, ugradnja užadi s optičkim vlaknima, suvremeni izolatori i ovjesni i spojni pribor, uzemljivači i sl.).

Pristup obnovi (revitalizaciji) diferenciran je po pojedinim razvijenim zemljama odnosno regijama ali zajedničko svima je intenzivno bavljenje navedenom problematikom. Cilj je, neovisno o metodologiji obnove odnosno eventualnim razlikama u kriterijima revitalizacije, utvrditi stupanj ugroženosti pojedinih komponenti mreže te optimiranje tehnoloških i gospodarskih parametara i činitelja za obnovu u svrhu minimiziranja troškova povećanja pogonske sigurnosti i konačno povećanja profita distribucijske djelatnosti.

U 2. poglavlju referata navedene su dužine distribucijske mreže (NN i dalekovoda) te osnovni podaci o stanju iste. Uz prezentirano možemo navesti i podatak da preko 4000 km dužine 110 kV dalekovoda u Republici Hrvatskoj, a od čega dio ima distribucijski karakter te neovisno na podjelu distribucijskih i prijenosnih nadležnosti, problematika održavanja vodova 110 kV naponskog nivoa može biti zanimljiva i samoj distribucijskoj djelatnosti. Preko 50 % dalekovoda 110 kV naponskog nivoa u Hrvatskoj starije je od 30 godina te je tako praktično ostvarilo preko polovine svog životnog vijeka. Taj podatak, uz podatke o starosti distribucijske mreže od NNM do 35 kV vodova navedenih u 2. Poglavlju, dovoljno govori o izuzetnom značaju obnove odnosno revitalizaciji mreže.

Svakako, ne smije se zanemariti i vrlo važna činjenica zakonske obveze vlasnika distribucijske mreže o održavanju elektroenergetskih objekata i provođenja svih potrebnih mjera nužnih za siguran pogon te osiguranje ljudi od opasnosti uzrokovanih eventualnim kvarovima ili neispravnim radom elektroenergetskih postrojenja za koje je nadležan distributer.

Glede spomenutog gospodarskog aspekta obnove distribucijske mreže riječ, dvije o iskustvima zapadnoeuropskih zemalja.

Elektroprivredne kompanije (distribucije) sve manje grade nove prijenosne objekte odnosno mrežu zbog gospodarskih i ekoloških razloga, već se koncentriraju na obnovi postojeće mreže s glavnim ciljevima rekonstrukcija (obnove):

- duži radni vijek
- povećanje kapaciteta prijenosa
- poboljšanje kakvoće isporuke električne energije
- uspostava telekomunikacijskih veza preko distribucijske mreže uporabom optičkih vlakana.

Efikasna politika obnove distribucijske mreže izuzetno je značajna za distribucijsku kompaniju glede rentabilnosti, osobito u današnjem tržišnom kontekstu koje vlada u elektroprivredi zemalja Zapadne Europe a gdje je primarna profitabilnost investicija.

Iako rekonstrukcija (obnova) rezultira ponekad značajno manjim troškovima u usporedbi s izgradnjom novih vodova ona zahtijeva i specifično znanje (KNOW-HOW). To znači stručne analize koje obuhvaćaju mehaničke čimbenike, kordinaciju izolacije i cjelovito funkcioniranje elektroenergetskog sustava.

Obnova također zahtijeva potpuno razumijevanje procesa projektiranja, projekt managmenta, mjerenja i izradu preciznih specifikacija, tehničke preglede, ispitivanja u laboratorijima itd.

4.2 METODE OBNOVE (REVITALIZACIJE) NADZEMNE MREŽE

4.2.1 TEHNOGOSPODARSKA ANALIZA ELEKTRODISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA S OSVRTOM NA KLIMATSKE ČIMBENIKE

Kao prvi korak u izradi programa obnove je izrada detaljne strategijske analize. Pod uvjetom funkcioniranja tržišta el. energije potrebno je odrediti, u okviru fiksnog proračuna, prioritete za obnovu glede funkcioniranja cjelokupne distribucijske mreže kako bi se optimirala rentabilnost investicija.

U pravilu, to bi značilo određivanje dijelova mreže gdje bi kvarovi mogli prouzrokovati probleme te značajne gubitke zbog neisporučene električne energije.

U okviru ove analize ne smije se izostaviti ni sve veći problem havarija distribucijske mreže zbog ekstremnih vremenskih nepogoda koje su sve učestalije zbog globalnih klimatskih poremećaja (IWAIS – Međunarodna konferencija o zaleđivanju – primjer Kanade – siječanj 1998. god.).

Glede podataka o starosti distribucijske mreže iznešenih u 2. poglavlju, iznimno se povećava značaj održavanja i obnove iste, osobito ako se zna da je pucanje vodiča najčešći uzrok havarija vodova uslijed vremenskih nepogoda između ostalog i zbog njihove dotrajalosti.

Naime, neke analize provedene u Velikoj Britaniji ukazuju kako užad nadzemnih vodova u prosjeku gube i do 1% svoje prekidne čvrstoće u tijeku jednogodišnjeg eksploatacijskog perioda. Dakle, u programu obnove potrebno je, koliko to realne mogućnosti dozvoljavaju, sagledati područja odnosno dijelove distribucijske mreže koja su izložena većoj opasnosti havarije uslijed vremenskih nepogoda (kao međusobnu funkciju dotrajalosti mreže, njezine elektroenergetske važnosti i područja s mogućim ekstremnim vremenskim uvjetima).

4.2.2 BAZE PODATAKA O ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI

Potrebu izrade baze podataka distribucijske mreže kao temeljnom preduvjetu za izradu programa obnove (revitalizacije dalekovoda) nije potrebno posebno elaborirati.

U sklopu baze podataka nužno je navesti:

- osnovne podatke
- kvarove (ispade) statistički obrađene
- intervencije
- meteorološke pojave
- remonte
- rezultate ispitivanja
- izvješća s detaljnih pregleda vodova.

Pod osnovnim problemom podrazumijeva se, između ostalog, sistematiziranje raspoložive dokumentacije o elektroenergetskim objektima i povezivanje s izvješćima o pregledima gdje se izrađuju tablice podataka za:

- temelje
- stupove
- uzemljenja
- spojnu i ovjesnu opremu
- izolaciju
- užad (vodiče i zaštitno uže)
- objekte u blizini distribucijske mreže
- posebne podatke.

Kao jedan od primjera slične baze podataka, navodimo onu u uporabi u DP "Elektroprimorje" Rijeka koja u velikoj mjeri odgovara navedenim kriterijima odnosno formi baze podataka potrebne za izradu programa obnove.

4.2.3 ANALIZA POGONSKOG STANJA NADZEMNE MREŽE

Analiza pogonskog stanja obuhvaća slijedeće parametre:

- karakteristike vodova u pogonu (ispadi, intervencije, meteorološke prilike, remont itd.)
- projektirana rješenja
- ocjena pregleda vodova
- mjerenje na vodovima
- ispitivanje opreme odnosno komponenti dalekovoda.

Analiza ispada i intervencija te njihova statistička obrada imaju izniman značaj jer omogućavaju detektiranje problematičnih dionica vodova odnosno područja čitave mreže.

O meteorološkim podacima odnosno njihovom uplivu na obnovu vodova već je prezentirano u točki 4.2.1 referata a ovdje možemo samo naglasiti važnost sustavnog praćenja meteoroloških pojava kao što su mjerenje brzine vjetra te osobito detekcija zaleđivanja na vodovima te njihovu sustavnu obradu. U svezi projektiranih rješenja postojećih vodova (mreže) potrebno je obaviti detaljnu reviziju ulaznih činitelja (tlak vjetra, dodatni teret, maksimalno radno naprezanje užadi, odabir stupova i izolacije, geomehnički podaci, tip vodiča i zaštitnog užeta, vibracije vodiča, atmosferska pražnjenja, onečišćenje – industrijsko, posolica i dr.).

Tijekom eksploatacije vodova prikupljeni relevantni podaci o okruženju vodova a također su stručna znanja o mehaničkim i električkim pojavama na vodovima znatno unaprijeđena te je isto nužno koristiti u postupku obnove. Također ne smije se zanemariti ni promjena tehničke regulative tijekom eksploatacije dalekovoda a što je potrebno uvažiti pri obnovi.

U uskoj vezi s navedenim su i mjerenja na vodovima:

- provjesa užadi
- otpor uzemljenja stupova
- otpor izolatora
- infracrvena termografija

a koja zajedno s revizijom projektiranih rješenja daju stručnu osnovicu za kvalitetnu obnovu mreže.

U svezi ispitivanja elemenata vodova potrebna je znatno detaljnija elaboracija nego što dozvoljava ovaj referat ali potrebno je naglasiti neke osnovne podatke.

Podaci o tome da vijek dalekovoda izgrađenih pedesetih godina najviše zavisi od korozije užadi (vodiča) kao i da zamor materijala nije ograničavajući čimbenik trajnosti vodiča imale su za posljedicu kriterij da stupovi (čeličnoredetkasti i često betonski) imaju najmanje dva puta duži vijek trajanja od vodiča. Ispitivanja vodiča nakon približno 30 godina eksploatacije na vodovima pokazale su da (u većini slučajeva) su na pojedinim dionicama oštećenja od korozije smanjila čvrstoću Al žica za više od 30 %.

Temeljem iskustava, za procjenu oštećenosti vodiča pretpostavljene su granice smanjenja čvrstoće od 15 %. Uz takav kriterij očekivani vijek trajanja vodiča je do 30 godina ali uz eliminiranje podataka o zamoru materijala. Po nekim pokazateljima nove vrste vodiča, čiji su slojevi zamašćeni tijekom proizvodnje, mogli bi u uvjetima bez onečišćenja, dostići do 45 godina eksploatacije.

Glede navedenih podataka nužno je pri analizi komponenti vodova ispitati užad.

Jedna od preporuka za ispitivanje užadi demontiranih s vodova u pogonu:

- jedan (1) uzorak na svakih 50 km mreže ali najmanje 3 uzorka s voda
- za vodove (mreže) u otežanim uvjetima (posolica, vibracije, strujna preopterećenja, onečišćenja i sl.) po mogućnosti uzeti više uzoraka
- dužina uzoraka treba biti 14 m odnosno po 7 m sa svake strane nosivog zavješnja a kod zateznih stupova uzeti 14 m od zateznog izol. lanca
- po mogućnosti uzeti uzorak s nastavnom spojnicom
- uzorak treba električki i mehanički i kemijski ispitati
- ispitivanja provesti po važećim svjetskim standardima (DIN, VDE, BS).

Za čeličnorešetkaste stupove preporuča se:

- uzimanje jednog uzorka na svakih 50 stupova a po procjeni na specifičnim područjima i uvjetima opterećenja i više uzoraka
- uzorak treba demontirati sa stupa uz pozornost da se ne ugrozi statička stabilnost stupa; po demontaži uzorka isti treba nadomijestiti novim, unaprijed pripremljenim odgovarajućim elementom
- potrebno je ispitati debljinu cinka, jednolikost sloja cinka, boje, prljanja boje (ovisno o vrsti zaštite stupa)
- po potrebi se mogu obaviti i druga mehanička ispitivanja
- ako postoji tehničko opravdanje, moguće je ispitivanje kompletnog stupa.

U svezi ispitivanja drvenih i betonskih stupova više riječi bit će kasnije.

Pri ispitivanju izolatora potrebno je uvažavati IEC glede broja uzoraka u zavisnosti od ukupnog broja. Također po uputama je potrebno provesti uvjete uzimanja uzoraka, pakiranje i transport kao i vrste ispitivanja i ocjenu kvalitete.

Za ovjesnu i spojnu opremu treba uzeti propisan broj uzoraka (minimalno 3 komada), a način uzimanja definirati uputama. U uputama definirati vrste ispitivanje i način ocjenjivanja kvalitete.

Glede navedenog nužno je u Hrvatskoj izraditi, sukladno suvremenim iskustvima (prvenstveno u zemljama Zapadne Europe) upute i kriterije kojima bi se detaljno definirali način uzimanja uzoraka s vodova i njihovo ispitivanje ovisno o naponskom nivou i vrsti (drveni, betonski, čeličnorešetkasti stupovi) vodova.

4.2.3. KRITERIJI ZA OBNOVU NADZEMNE MREŽE

Definiranje kriterija za obnovu (revitalizaciju) vodova je ključni korak u odluci o obnovi vodova. Ovdje ćemo iznijeti neke od osnovnih kriterija za revitalizaciju nadzemne mreže uz napomenu da su, ovisno o "paketu" odnosno "know-how" za izvedbu kompletne obnove, kriteriji i uvjeti za obnovu odnosno statistički parametri donekle različiti glede specifičnosti elektroprivreda gdje su razvijeni. Međutim, temeljni principi su slični te je na njima potrebno razvijati "know-how" za specifične uvjete nadzemne distribucijske mreže u Hrvatskoj elektroprivredi.

Osnovni kriterij za obnovu su slijedeći:

- a) Stvarno stanje vodova
- b) Granični uvjeti za zamjenu
 - vodiči (užadi)
 - izolatora
 - ovjesne i spojne opreme
 - stupova i temelja
- c) Procjena minimalno očekivanog uvjeta trajanja vodova
 - minimalno očekivani vijek trajanja voda određuje se temeljem određivanja minimalno očekivanog vijeka trajanja pojedinih komponenti voda
- d) Izrada redoslijeda obnove vodova temeljem poznatog stanja i procjene njihovog starenja ("propadanja") u budućnosti. Važno je napomenuti da je tu vrlo važna i ocjena voda odnosno distribucijske mreže u energetskom smislu.
- e) Optimiranje broja vodova (mreže) za godišnju obnovu. Optimiranje mora biti tehnički i gospodarski uvjetovano osobito uzimajući u obzir eventualno produženje procijenjenog vijeka trajanja vodova.

4.3 IZBOR NOVIH I ZAŠTITA POSTOJEĆIH ELEMENATA NADZEMNE MREŽE

4.3.1. IZBOR KLIMATSKIH ČINITELJA

U načelu se rekonstrukcija odnosno obnova vodova projektira s klimatskim činiteljima (tlak vjetra, dodatni teret) istovjetnim iz originalne tehničke dokumentacije po kojoj je vod izveden. Međutim ako analiza meteoroloških podataka tijekom eksploatacije pokaže da je eventualno došlo do promjena, bilo u pooštavanju kriterija bilo u ublažavanju potrebno je projektrirati sukladno referentnim podacima.

4.3.2 IZBOR VODIČA I ZAŠTITNOG UŽETA

a) Osnovni kriterij za izbor vodiča u obnovi nadzemne mreže je povećanje mehaničke sigurnosti odnosno zamjena vodiča kojima je istekao vijek trajanja te na taj način ugrožavaju cijeli vod. Prekidom vodiča dolazi do povratnih dinamičkih udara na stupove, što je prvenstveno slučaj kod zaleđivanja vodiča i djelovanja vjetra na njih, te do rušenja stupova i znatnih šteta na vodovima.

Također, izbor novih vodiča bio bi optimalan ako se povećava vodljivost u odnosu na postojeće vodiče te tako povećava prijenosna moć vodova. Takav izbor vodiča determiniran je sljedećim realnim tehnogospodarskim uvjetima:

- a) uporaba postojećih stupova
- b) ne ugoziti statičku stabilnost postojećih stupova
- c) zadržati (osim ako postoje rezerve u postojećem projektnom rješenju) postojeće provjese vodiča
- d) srednje godišnje naprezanje ne smije ni u najnepovoljnijim slučajevima prelaziti 20 % prekidne čvrstoće užeta

Današnja tehnologija proizvodnje vodiča u stanju je proizvesti vodiče za znatno veće podnosive temperature. Po važećem pravilniku o nadzemnim vodovima temperatura vodiča ne smije prelaziti 80°C, a pri tom se računa sa temperaturom okoline 40°C. Suvremene specijalne izvedbe vodiča mogu zahvaljujući sastavu strukturi materijala te dodatnim bojanjem posebnom crnom bojom, podnijeti zagrijavanje i do 150°C, te tako povećati prijenosnu snagu i preko 30% u odnosu na klasične vodiče istog ili sličnog promjera i presjeka.

Međutim zbog povećanja provjesa vodiči uslijed znatno veće temperature te povećanih gubitaka, odluka o izboru takve ili slične vrste vodiča mora biti rezultat detaljne tehničke i gospodarske analize. Iz dosadašnjih iskustava u Republici Hrvatskoj (DV 110 kV Ston – Komolac, DV 110 kV Đakovo – Našice i DV 110 kV Krajevac – Imotski) možemo ustvrditi relativnu ograničenost takve uporabe specijalnih vodiča osobito na području distribucijske djelatnosti.

Ali isto tako treba imati na umu da se tehnologija materijala i proizvodnja vodiča znatno unaprijeđuju te je praćenje suvremenih trendova u toj oblasti nužnost osobito glede problematike obnove.

b) Područje koje je izuzetno zanimljivo u obnovi nadzemne mreže je montaža svjetlovodnih vlakana. Primjenom tehnologije svjetlovodnih vlakana na distribucijskim nadzemnim vodovima stvorene su velike mogućnosti uporabe vodova na području telekomunikacijskih usluga. Zahvaljujući velikoj dužini i razgranatosti distribucijskih vodova omogućava se potreban pristup korisnicima u ruralnim i urbanim sredinama, kako za upravljanje elektroenergetskim sustavom tako i za sve vrste prijenosa telekomunikacijskih signala. U tom smislu, moguće je na nadzemnim mrežama koristiti svjetlovodna vlakna u raznim konfiguracijama primjene, kao što su:

- 1) svjetlovodna vlakna u zaštitnom užetu (OPGW – Optical Ground Wire)
- 2) svjetlovodne niti u faznom vodiču (OPPC – Optical Phase Conductors)
- 3) nemetalni samonosivi kabel (ADSS – All Dielectric Self – Supporting)
- 4) kabel sa svjetlovodnim vlaknima u izoliranom vodiču (OPPCI – Optical Phase Conductor Insulated)
- 5) svjetlovodna vlakna u metalnom kabelu (OPMW – Optical Messenger Wire)
- 6) svjetlovodna vlakna omotana oko vodiča i zaštitnog užeta

Dosadašnje primjene svjetlovodnih vlakana ograničila se u Hrvatskoj na primjenu svjetlovodnih niti ugrađenih u zaštitnu užad dalekovoda u prvom redu prijenosne mreže (osim DV 35 kV Plitvice – Rastovača).

Porebno je istaknuti izuzetne mogućnosti i potencijal što pruža revitalizacija nadzemne mreže za ugradnju tehnologije svjetlovodnih niti, u prvom redu za potrebe same elektroprivrede ali i za komercijalizaciju informacija transferiranih distribucijskom mrežom.

4.3.3 IZBOR IZOLATORA I OVJESNE I SPOJNE OPREME

Kao i kod užadi i vodiča i zaštitnog užeta tako i kod proizvodnje izolatora došlo je do značajnih pomaka u vrsti i kvaliteti materijala te samoj konfiguraciji izolatora. Odabir izolatora na obnovljenom vodu prvenstveno je u funkciji ponašanja voda u pogonu glede broja ispada i uništenih izolatora, a uvažavajući stupanj onečišćenja i izokeraunički nivo.

Kod izbora ovjesne i spojne opreme prvenstveno treba voditi računa o prekidnoj čvrstoći iste, te o specifičnostima na nadzemnoj mreži (klimatski uvjeti).

4.3.4 ZAŠTITA OD VIBRACIJA

Zaštita od vibracija posebno je i kompleksno područje te će ovdje biti samo naznačena važnost koju ta zaštita može imati u određenim slučajevima odnosno na određenim vodovima.

Primjena sredstava za zaštitu od vibracija isključivo je ograničena na prijenosne vodove i rijetko na vodove naponskog nivoa 35 kV, ali glede statusa 110 kV vodova te samih 35 kV vodova iznijet ćemo samo nekoliko osnovnih podataka o problemima vibracija.

Eolske vibracije su kao pojava najbolje proučene, a imaju frekvenciju od 5 do 120 Hz, amplitudu u intervalu 0.1 – 1.0 cm, vrlo rijetko veću, te valnu duljinu 0.5 – 10 m. Uzrok nastanka eolskih vibracija su zračna strujanja koja moraju biti okomita ili pod određenim kutem na trasu voda. Najpovoljnije za nastanak eloskih vibracija su konstantna zračna strujanja čija je brzina 1 – 5 m/s.

Nastankom eloskih vibracija pogoduje ravan teren, nisko raslinje i uske doline gdje dolazi do strujanja zračne mase i sl.

Dugačak rasponi i veća mehanička naprezanja vodiča i zaštitne užadi pogoduje pojavi vibracija. Karakteristike vodiča i zaštitne užadi koje pogoduju vibracijama su mala specifična težina po jedinici volumena te nizak nivo samoprigušenja. Postoje mnogobrojna sredstva i metode zaštite od vibracija, a jedno od najpouzdanijih su prigušivači vibracija tipa Stockbridge koji imaju najveće prigušne snage i najveće pokrivanje frekventnog područja.

Jedna od mjera zaštite je i korištenje zaštitnih spirala u nosivim ovješnjima (primjer DV 35 kV Krk – Dunat) gdje treba napomenuti da oni nisu sredstvo zaštite od vibracija koje može smanjiti intenzitet vibracija odnosno amplitudu vibracija u štićenom rasponu, ali u nosivom ovjesištu gdje su montirane povećavaju krutost vodiča, a time i njegovu otpornost na zamor od vibracija.

Prije izvođenja obnove vodova bilo bi najsvrsishodnije tamo gdje postoje zapažanja o djelovanju vibracija, provesti mjerenja posebnim rekorderima te rezultate obraditi na računalu i odrediti optimalnu zaštitu (tip prigušivača, razmještaj u rasponima).

4.3.5 IZBOR STUPOVA I ZAŠTITA POSTOJEĆIH

Obnova dalekovoda u načelu ne obuhvaća izgradnju novih stupova (izuzetak su sanacije ozbiljnih šteta). Način obnove stupova ovisan je u prvom redu o tipu stupova (čeličnoretastki, betonski, drveni) vrsti oštećenja, starosti stupova, energetske važnosti voda i dr. U kratkim crtama dat ćemo pregled načina obnove po tipovima stupova.

Naravno dotrajale ili oštećene stupove nužno je zamjeniti i imajući u vidu (osobito kod vodova s vodičima malog presjeka odnosno male prijenosne snage) da statički novi stupovi budu proračunati za vodiče većeg presjeka glede eventualne obnove cijelog voda.

Također treba ukazati na jednu vrlo bitnu činjenicu, a to je vrijednost koridora postojećih vodova. Uobičajeno je u stranoj literaturi da se efikasnost iskorištenja koridora definira kao:

$$INDEKS_DJELOTVORNOSTI = \frac{SNAGA_PRIJENOSA}{SIRINA_KORIDORA} [MVA/m]$$

Iz ovog jednostavnog izraza vidljivo je da je tehnički i gospodarski opravdano graditi nove vodove koristeći postojeće trase te da pri odluci o gradnji odnosno obnovi vodova treba posebnu pozornost obratiti na sve veću vrijednost koridora u prostornom smislu. Takav koridor treba iskoristiti (povećanje naponskog nivoa dalekovoda, višesistemski vodovi, korištenje novih tehnologija u projekiranju i izgradnji i sl.). Napomenimo da su na pojedinim vodovima, 10 kV čiji je vijek trajanja pri kraju značajna poboljšanja postignuta ugradnjom čeličnoredkastih stupova kao kutno zateznih te izradom tehničkih rješenja obnove koja se zatim izvodi po etapama, ovisno o potrebi odnosno financijskim mogućnostima.

4.3.5.1 ČELIČNOREŠETKASTI STUPOVI

Dominantna oštećenja odnosno ugrožavanje sigurnosti čeličnoredkastih stupova je pogoršanje antikorozijske zaštite te takvo stanje zahtijeva obnavljanje i poboljšanje zaštite stupova primjenom suvremenih i efikasnih metoda. Učinkovita zaštita ovakvih površina sprječava gubitke i bitno produžuje vijek trajanja čelične konstrukcije. Čelik kao građevni materijal nije otporan na koroziju te ga je potrebno zaštititi:

- kemijski otpornim prevlakama
- obradom površine galvanskim prevlakama
- prevlakama cinka s premazima (duplex)
-

Stupovi dalekovoda mogu se zaštititi od korozije:

- premazima (temeljni + pokrivni)
- vrućim cinčanjem
- metalizacijom
- katodnom zaštitom

a) Premazi – zahtijeva se da učinkovito i trajno štite konstrukciju od korozije, premazi se dijele na osnovne i pokrivne; jednostruki debeloslojni premazi novijeg su datuma i vrlo su pogodni za zaštitu konstrukcija zahvaćenih korozijom; takvi premazi (npr. epoksidni) pogodni su za:

- a) površine kod kojih se ne može postići visok stupanj čistoće
- b) dijelove konstrukcije na kojima je ograničeno vrijeme radova na održavanju

b) Vruće cinčanje – sastoji se od pripreme površine (odmašćivanje, čišćenje, ispiranje, nanošenje talitelja, predgrijavanje), umakanje čeličnog dijela u rastopljeni cink i završne obrade; slojevi cinka moraju biti ujednačene debljine od 50 do 120 μm ovisno o vrsti i namjeni dijela koji se cinča.

Vruće cinčanje je osnovna, ali često i ne i dovoljna zaštita od korozije. Pocinčane konstrukcije treba pasivizirati radi sprječavanja trošenja sloja cinka. Cink reagira s česticama atmosfere te se, ovisno o agresivnosti agensa, slabije ili jače razgrađuje. Na površini cinka nastaju soli topive u vodi, što dovodi do smanjenja debljine sloja cinka. Ova činjenica ukazuje na neophodnost ličenja starijih (10, 15 godina) pocinčanih konstrukcija izloženih atmosferskim i drugim agresivnim utjecajima. Ispitivanja su pokazala da se debljina cinka smanji za 1 μm u seoskoj do 10 μm u industrijskoj atmosferi. Glede navedenog, smatra se opravdanim preporučiti dodatnu zaštitu svih pocinčanih čeličnih konstrukcija stupova za koje se traži konstantna sigurnost tijekom zadanog vijeka trajanja.

4.3.5.2 BETONSKI STUPOVI

Obnova betonskih stupova osobito kod vodova nižeg naponskog nivoa često ekonomski nije opravdana već se mijenja cijeli stup. Izuzetak su popravci manjih oštećenja koji mogu biti relativno važni osobito u atmosferi s visokim stupnjem onečišćenja glede zaštite armature od korozije. Kod viših napona

sanacija betonskih stupova složen je zahvat koji je specifičan za svaki vod i traži ekspertizu stručnjaka za beton, te detaljnu tehničkoekonomsku analizu takve sanacije.

4.3.5.3 DRVENI STUPOVI

Drveni stupovi na niskonaponskim mrežama i 10 kV vodovima predstavljaju skoro 80% udjela u ukupnom broju stupova i kao takvi trebali bi predstavljati poseban predmet zanimanja glede obnove nadzemne mreže. Obnova drvenih stupova i cjelokupna problematika drvenih stupova opsežno je i kompleksno područje i predmet posebnog razmatranja. Ovdje ćemo u najkraćim crtama prikazati neke od svjetskih iskustava koje se odnose na navedenu problematiku.

Revitalizaciju (obnovu) drvenih stupova u Hrvatskoj regulira Granska norma oznake N.022.10, klas.br 4.13/44 naziva "Tehnički uvjeti za izradu i impregnaciju drvenih stupova za nadzemne elektroenergetske vodove" Zagreb, 10.02.1995. god., osobito u poglavlju IV, točka 3.3 Evidencija o stanju zamijenjenih dotrajalih stupova i točka 3.4 Postupak za određivanje dotrajalosti ugrađenih stupova. U navedenim postupcima navedene su dvije (2) metode ispitivanja stanja drvenih stupova:

- udaranje čekićem po stupu i procjena kvalitete zvuka za ocjenu stanja stupa (trulež ili zdravo stanje)
- bušenje Preslerovom svrdlom i uzimanje uzorka te ocjena istih glede stupnja ugroženosti od truleži

Svjetska iskustva s drvenim stupovima (V. Britanija i SAD) su uglavnom pozitivna. Po podacima iz literature drveni stupovi imaju radni vijek od 30 - 35 godina u oštrim klimama te do 50 ili više godina u područjima s manje oštrom klimom. U SAD drveni stupovi se proizvode sukladno specifikacijama Američkog državnog instituta za standardizaciju (ANSI - 05.01.87g.) dok je način tretiranja stupova opisan u standardu C4 - 89 (AWPA, 1989 g.) - Američkog udruženja konzervatora drveta. To su minimalni standardi koji su utvrđeni kosnežusom krajnjih korisnika, proizvođača te interesa trećih strana s ciljem osiguranja zadovoljavajućih radnih karakteristika drvenih proizvoda. Slično je i u V. Britaniji gdje standard za netretirano drvo (BS - British Standard Institute, 1990 g.) i standard za tretirano drvo (BS 5589, BS4072 i BS 144) služi za minimalne smjernice za nabavu proizvoda od drveta. U Europi su na snazi norme EN koje reguliraju navedenu problematiku.

Tipovi inspekcija kojima se daje inače velika pozornost možemo klasificirati kako slijedi:

1) Vizualne inspekcije

Bilo da se provodi pješačkom ophodnjom, voznom ophodnjom ili zračnom ophodnjom, vizualna inspekcija je najuobičajenija metoda procjene adekvatnosti konstrukcije ili uzroka kvara na drvenim stupovima. Vizualna inspekcija se proceduralno definira, postoje službeni programi obuke te alati i uređaji za obuku kako bi se unaprijedio proces inspekcije te kakvoća podataka prikupljenih na terenu na temelju kojih će se donositi kasnije odluke.

2) Sondiranje

Sondiranje kao postupak inspekcije samo po sebi ne može odrediti opseg ili učestalost bilo kakvog problema osim vrlo ozbiljnih. Ovim se postupkom mogu locirati sumnjiva područja koja zahtijevaju daljnju procjenu osobito uporabom bušenja.

3) Bušenje ili vađenje uzoraka jezgre

Bušenje se obavlja pomoću odgovarajućeg svrdla te određivanjem lokacije, veličine i stupnja truljenja, ova metoda inspekcije omogućuje donošenje preliminarne odluka vezanih za popravak, zamjenu ili naknadni tretman stupa.

4) Iskop

Iskopi omogućuju procjenu truljenja ispod razine zemlje. Potreba za provođenjem opsežnog iskopa ovisi o klimi i vrsti drveta.

Smanjenje čvrstoće drveta uslijed truljenja obično se procjenjuje pomoću omjera poprečnog presjeka i ukupnog poprečnog presjeka bez truleži. Jedno od temeljnih pitanja kod pristupa području truljenja se sastoji u tome što on ne može obuhvatiti početne faze raspada uslijed truljenja, kad se učinak truljenja ne može smatrati ukupnim gubitkom čvrstoće. Još je bitnija činjenica da stvarna čvrstoća preostalog takozvanog "nesimetričnog dijela" poprečnog presjeka nije poznata.

5) Uređaji za inspekciju

Metode navedene u točkama 1) do 4) tradicionalne su metode i predstavljaju uobičajene metode za određivanje oštećenja drvenih stupova. Međutim u spomenutim zemljama u uporabi su uređaji koji omogućavaju nadomještanje ili unaprijeđivanje konvencionalnih tehnika dok drugi služe pružanju informacija do kojih nije moguće doći konvencionalnom metodom. Osobito je važno da smanjenje fizičke čvrstoće stupa bude otkriveno u ranoj fazi, prije nego stup postane nepouzdan za uporabu.

Dugi niz godina je procjena stanja drvenih stupova (V. Britanija, SAD) bila usredotočena na vizualno otkrivanje nedostataka i utvrđivanje prisustva truleži ili propadanje uzrokovanih insektima. Kvantificiranje utjecaja ovih čimbenika na nosivost (čvrstoću) stupova je prilično teško. Naime, koncepti čvrstoće i kvalitete se često međusobno zamjenjuju. Kvaliteta se općenito izjednačava stupnjem truleži prisutnom u drvenom elementu. Čvrstoća se pri tom neizravno predviđa na temelju prisutnog trulog fragmenta. Vrlo je mali broj direktnih metoda procjena čvrstoće. Prilikom procjene drveta u uporabi razlika između kvalitete i čvrstoće se može odrediti na sljedeći način:

Metoda	Primarna svrha
Procjena kvalitete	Procjena potrebne zaštite drveta kako bi se njegov vijek trajanja produžio
Procjena čvrstoće	Određivanje nosivosti

Otkrivanje truleži u velikoj mjeri još uvijek predstavlja glavnu metodu procjene koja se danas koristi za procjenu strukturne pouzdanosti drvenih konstrukcija. Iako je poznato da proširena trulež može uzrokovati propadanje drvenih stupova, postoji nekoliko drugih čimbenika koji su također odgovorni za slabljenje konstrukcije.

Uređaji se općenito mogu podijeliti na sljedeće kategorije:

- zvučne
- rendgenske
- NMR (nuclear magnetic resonance)
- uređaji za mjerenje mehaničkog otpora (bušilice)
- instrumenti za mjerenje električnog otpora

Ne ulazeći u detalje i tehnologiju uređaja možemo ukazati na nekoliko osnovnih podataka o uređajima za mjerenje.

Mjerenje brzine vala naprezanja (brzina zvuka) jedna je od nedestruktivnih metoda procjene (NDE - nondestructive evaluation) koja se koristi za pregled drvenih stupova. Princip je da je kod drveta slabije kvalitete ili trulog drveta brzina vala manja. Jedna od novijih metoda NDE je metoda analize vala naprezanja za drvene konstrukcije. Analiza vala naprezanja temelji se na načelu da se kod nehomogenih materijala kao što je drvo, valovi naprezanja ne samo šire različitim smjerovima, već pri različitim frekvencijama drugačije prigušuju.

Danas se primjene tehnike za nedestruktivnom procjenom (NDE) drveta temelji na empirijskom odnosu između parametara čvrstoće i nedestruktivne procjene. Na tržištu Zap. Europe i SAD postoje praktični instrumenti za utvrđivanje oštećenja drvenih stupova te bi bilo korisno, razmotriti mogućnost uporabe na drvenim stupovima u Hrvatskoj.

Rendgenski i NMR uređaji (nuclear magnetic resonance = nuklearna magnetska rezonancija) omogućava dvodimenzionalno i trodimenzionalno prikazivanje karakteristika oštećenja stupova. Za postizanje visoke rezolucije ova se oprema smatra izuzetno skupom i neprikladnom za primjenu na terenu.

Bušilice kao relativno stara tehnologija usavršene su tako da svrdlo za bušenje konstantnom brzinom, upravljano elektroničkom regulacijom brzo prodire tvrdo ili meko drvo. Otpor svrdla se mjeri i istovremeno ispisuje te se može optimalno pohraniti te temeljem tih podataka može utvrditi trulež odnosno stanje drvenog stupa.

Instrumenti za mjerenje električnog otpora baziraju se na činjenici da drvo napadnuto truleži oslobađa negativne ione. Oslobađanjem negativnih iona smanjuje se električni otpor trulog drveta stvarajući mjerljive promjene kroz poprečni presjek stupa.

Zaštita drvenih stupova

Autori u V. Britaniji i SAD dijele zaštitu drvenih stupova na:

- a) Vanjsku zaštitu - kemijska sredstva (premazi) koja se nanose iznad ili ispod razine zemlje na stup, kako bi propadanje vanjskog sloja svelo na najmanju moguću mjeru sredstva se obično dodatno omotaju vanjskom oblogom koja se proteže od ispod razine zemlje do nešto malo iznad zemlje.
- b) Unutarnja zaštita - primjena poljoprivrednih sredstava za fumigaciju koje se u pravilu nanose stavljanjem tekuće kemikalije ili krutog sredstva u izbušene rupe i blizu zemlje ili drugih lokacija osjetljivih na trulenje; sredstva za fumigaciju se u obliku para šire po stupu.

U tehničkim uvjetima za izradu i impregnaciju drvenih stupova za elektroenergetske nadzemne vodove, navedenim u uvodu ovog poglavlja, u točki 4. Reimpregnacija stupova dani su osnovni uvjeti za obnovu (reimpregnaciju) drvenih stupova.

Prijedlog autora je da se (anketom ili sl.) pokuša utvrditi način zaštite odnosno način obnove postojećih drvenih stupova i u kojoj se mjeri uopće takva zaštita provodi, te da li ima gospodarsku i tehničku opravdanost. Uvidom u broj postojećih drvenih stupova, takva aktivnost ima po mišljenju autora, svoj tehnički i gospodarski smisao.

4.4 Zakonska regulativa

Održavanje nadzemnih distribucijskih vodova u Republici Hrvatskoj obavlja se prema sljedećim pravilnicima:

- 1) Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl. list 19/68, NN RH 55/96)
- 2) Pravilnik o održavanju elektrodistribucijskih objekata i postrojenja, HEP - Direkcija za distribuciju - Zagreb, travanj 1992 god.

Navedeni pravilnici reguliraju sve aktivnosti koje se moraju obavljati u svezi pregleda, održavanja i otklanjanja uočenih nedostataka, kao rokove i dopuštena odstupanja od rokova za obavljanje navedenih aktivnosti te nužnu dokumentaciju koja se mora voditi.

5. OSVRT NA OBNOVU TRANSFORMATORSKIH STANICA 10(20)/0.4 kV

Analiza stanja postojećih TS 10(20)/0,4 kV u nadzemnoj mreži osnova je za stvaranje kriterija za revitalizaciju. Pod pojmom revitalizacija u tekstu podrazumijeva se zamjena transformatorske stanice na istoj lokaciji s potpuno novom ili rekonstrukcija postojeće, a sve zbog ostvarenja ciljeva revitalizacije. Ciljevi revitalizacije ujedno su i aspekti za provedbu analize, a to su:

- smanjenje troškova održavanja,
- povećanje kvalitete opskrbe električnom energijom,
- povećanje sigurnosti pri manipulaciji i radu u trafostanici, te
- omogućavanje prelaska na napon 20 kV

5.1 Utjecajne veličine

Utjecajne veličine koje određuju kriterij na osnovu kojeg se donosi odluka o provedbi i definira način revitalizacije su:

- starost transformatorske stanice,
- vršno opterećenje i njeno trajanje,
- troškovi održavanja elektro i građevinskog dijela,
- ocjena kvalitete i sigurnosti napajanja potrošača,
- ocjena kvalitete i sigurnosti napajanja potrošača,
- ocjena sigurnosti pri manipulaciji,

- ocjena važnosti priključenih potrošača, (stupnja ovisnosti priključenih potrošača o konstantnoj isporuci električne energije),
- perspektive rasta opterećenja.

Starost transformatorske stanice važan je pokazatelj potrebe za revitalizacijom jer se s godinama povećava učestalost kvara ugrađene opreme, a otežana je nabava rezervnih dijelova, što posredno utječe na povećanje troškova održavanja elektro dijela. Dužina vremena prekoračenja nazivnog opterećenja obzirom na mogućnost znatnijeg smanjenja životne dobi transformatora još je jedan čimbenik koji utječe na odluku o provedbi revitalizacije. Uz podatak o dužini vremena prekoračenja nazivnog opterećenja obvezno treba razmotriti i perspektivu rasta opterećenja kako bi upotpunili ocjenu stanja s aspekta opterećenja. S godinama neminovno je propadanje građevinskog dijela trafostanice što je jedan od razloga koji dovodi do smanjenja sigurnosti opskrbe potrošača. Porast troškova godišnjeg održavanja građevinskog dijela siguran je znak potrebe za ocjenom ukupnog stanja trafostanice. Ocjena sigurnosti pogonskog osoblja koje vrši manipulacije u ovim postrojenjima, obzirom na porast sigurnosnih standarda, značajno utječe na odluku o provedbi revitalizacije. Pri donošenju odluke o provedbi revitalizacije sigurnost napajanja potrošača i tip potrošača koji se napaja iz predmetne trafostanice uvelike utječu na rezultate tehnno-ekonomske analize.

Uvjeti koji pogoduju provedbi revitalizacije :

- pogodnost lokacije za ugradnju daljinskog upravljanja,
- nužnost povećanja broja vodnih polja,
- pogodnost lokacije u pravno imovinskom smislu,
- nužnost povećanja snage preko nominalne snage trafostanice.

Na osnovu navedenog potrebno je izvršiti tehnno-ekonomsku analizu opravdanosti revitalizacije i definirati obim revitalizacije koja zadovoljava postavljene ciljeve.

Prema podacima iz master plana, danas od ukupnog broja TS 10(20)/0,4 kV u mreži Hrvatske koji iznosi 20390, ima 13140, dakle oko 64% trafostanica tipa tornjić.

5.1 Primjeri provedbe revitalizacije

Zračne transformatorske stanice na drvenim stupovima i na čelično rešetkastim prve generacije zbog starosti i mogućnosti prihvata transformatora samo do 50 kVA, spadaju u kategoriju za koju vrijedi da se revitalizacija provodi izgradnjom nove trafostanice. Prosječna starost, veličina građevinskog dijela i projektna zastupljenost u zračnim mrežama, čini trafostanice tipa "Tornjić" baznom osnovom za provedbu revitalizacije trafostanica u zračnim mrežama. Osim navedenoga, porastom opterećenja trafostanice tipa "Tornjić" postale su često spojna mjesta između zračne i kabela mreže koja se širila u gradićima i većim mjestima te je stoga bilo potrebno dodavati nova vodna polja. Najveća snaga transformacije za koju je trafostanica projektirana iznosi 250 kVA, a u početku su ugrađivani transformatori snage 30, odnosno 50 kVA. Stalnim povećanjem konzuma povećavale su se i snage transformatora sve do 250 kVA, međutim posljednjih godina pojavljuju se i tu prvi slučajevi preopterećenja, čime dolazi do potrebe izgradnje nove trafostanice, odnosno zamjene postojećeg transformatora, novim snage 400 kVA. U nastavku prikazana je analiza zahvata na postojećoj opremi u trafostanici tipa "Tornjić" za slučaj potrebe povećanja nazivne snage s 250 kVA na 400 kVA.

Posebno je potrebno obraditi rekonstrukciju "tornjića" radi prelaska na 20 kV.

Nakon ugradnje transformatora snage veće od projektirane za ovaj objekt potrebno je izvršiti kontrolu svih elemenata postrojenja na koje ta promjena ima utjecaja i izvesti potrebne radove da bi se sigurnost pogona i životni vijek doveli na potrebnu razinu.

5.2.1 Rekonstrukcija radi povećanja snage

Transformatorska stanica je izgrađena u obliku četverokutnog tornjića osnovice 2x2 m i visine 7 m. Na visini od 6,5 m na jednoj ili dvije strane priključeni su 10 (20) kV vodovi, koji se preko zateznog lanca dovode na provodne izolatore. Na trećoj strani tornjića i na istoj visini nalazi se konzola za priključak niskonaponskih vodova. Postolje transformatora nalazi se nasuprot ulaznim vratima ispod kojeg se nalazi rupa za otjecanje ulja putem posebne cijevi u drenažnu jamu izvan TS. Pod stanice uzdignut je 30 cm, iznad okolnog terena.

Srednjenaponska oprema je sva nazivnog napona 10 kV, a sastoji se od sabirnica izrađenih od okruglog bakra promjera 8 (10) mm, rastavljača u vodnim poljima, rastavljača u trafo polju te srednjenaponskih osigurača. Rukovanje rastavljačima vrši se izoliranom motkom ili polužnim pogonom.

Transformator se nalazi nasuprot ulaznim vratima, a njegovo hlađenje vrši se ventilacijom na osnovu prirodne cirkulacije zraka.

Niskonaponska oprema sastoji se od bakrenih sabirnica profila 50x10 mm, transformatorskih osigurača nazivne struje 400 A, te osigurača odgovarajuće nazivne struje u odvodima. U sastavu niskonaponske ploče, nalazi se i ploča javne rasvjete.

Tijekom eksploatacije izvršavane su neke izmjene u opremi, kao na primjer: povećanje broja polja, zamjena golih vodiča izoliranima, zamjena dijela (ili kompletne) zračne mreže – kabelskom, premještanje ploče javne rasvjete u poseban ormar.

Vrlo teško je poopćiti stanje u svim tornjićima tako da je prije same rekonstrukcije, potrebno izraditi tehničko rješenje za svaki konkretan slučaj. Pri tom je potrebno izvršiti računsku kontrolu svih elemenata koji imaju direktnu vezu sa transformatorom, radi povećanja struje u normalnom pogonu. U pravilu sabirnice zadovoljavaju, dok ne zadovoljava sljedeća oprema:

- rastavljač u transformatorskom polju
- nužnost povećanja snage preko nominalne snage trafostanice
- spojni vodovi između transformatora i sabirnica
- reducir na provodnom izolatoru transformatora
- osigurači na sekundarnoj strani transformatora

Navedenu opremu potrebno je zamijeniti sljedećom:

- učinski rastavljač ; $U_n=24$ kV, $I_n=100$ A, $I_1=630$ A
- niskonaponski prekidač ; $I_n= 1250$ A ili rastavna sklopka

Transformator snage 400 kVA koji se ugrađuje mora biti izabran tako da njegovi ukupni gubici zadovoljavaju uvjete dobivene u proračunu hlađenja.

Ovako rekonstruirana trafostanica u potpunosti će zadovoljiti sve tehničke uvjete .

Prilikom ovakve rekonstrukcije preporučuje se i ploču javne rasvjete premjestiti u poseban ormar izvan TS.

5.2.2 Rekonstrukcija radi prelaska na napon 20 kV

Poseban slučaj rekonstrukcije tornjića je rekonstrukcija radi prelaska na napon 20 kV. Ovdje će se samo nabrojiti potrebne radnje.

U slučaju prelaska jednog područja na napon 20 kV potrebno je u svim trafostanicama izvršiti odgovarajuću rekonstrukciju. Kod "tornjića" se radi o sljedećem:

a) U pripremnim radovima za prelazak na 20 kV potrebno je zamijeniti

- rastavljače u vodnim poljima sa rastavljačima nazivnog napona 20 kV
- rastavljač sa osiguračima u trafo polju sa rastavljačem nazivnog napona 20 kV
- provodni izolatori mogu se zadržati daljnjih deset godina

b) Neposredno pred prelazak na 20 kV potrebno je zamijeniti odvodnike prenapona

c) U trenutku prelaska na 20 kV prebacuje se preklopka na transformatoru

6. ZAKLJUČAK

Obnova (revitalizacija) nadzemne distribucijske mreže očito je izuzetno složena i sveobuhvatna aktivnost koja osim tehničkog ima i vrlo značajni gospodarski aspekt.

Autori referata smatraju da je potrebno definirati cjelovitu politiku obnove koja bi obuhvatila sve bitne činitelje i odredila temeljne kriterije iste. Uvidom u dužine nadzemne mreže i velik broj stupova kojima je istekao ili je vijek trajanja pri kraju, stanje postojećih 10(20)/0.4 kV te ogromnu kapitalnu

vrjednost tih elektroenergetskih objekata, obnova (revitalizacija) se nameće kao nezaobilazan faktor u strategiji distribucijske djelatnosti.

Literatura:

- 1) P. Pavlović: "Neki kriteriji za obnovu dalekovoda", I savjetovanje HK CIGRE, Zagreb 1993.g.
- 2) P. Helman, L. Gustinčić: "Zaštita od korozije čeličnorešetkastih stupova dalekovoda", I savjetovanje HK CIGRE, Zagreb 1993.g.
- 3) I.W. Balfour, T.E.G. McDowall: "Refurbishment of wood pole distribution lines in North Scotland", International Conference Revitalizing T & D Systems, London 1987.g.
- 4) Robert F.Nelson: "Reliability - Centered Power Line Management - Inspection Process Measurement Techniques and Data Management Considerations" IEEE PG: London 1996.g.
- 5) "Tehnički uvjeti za izradu i impregnaciju drvenih stupova za nadzemne elektroenergetske vodove", (Bilten HEP br. 48, 1995.g.)
- 6) D. Đurđević, J. Svirčević: "Primjena svjetlovodnih vlakana na distribucijskim nadzemnim vodovima" HK CIGRE, Trogir 1996.g.
- 7) Razvitak elektroenergetskog sustava Hrvatske do 2030 g. Energetski institut "H. Požar", Zagreb 1998.g.
- 8) The economic choice of conductor size, R. G. Parr, RGE, No 10. 1989.

