

**Dr Radojle Radetić**

**PRIRUČNIK ZA ODRŽAVANJE  
VISOKONAPONSKE OPREME**

*- Drugo izdanje -*

# **PRIRUČNIK ZA ODRŽAVANJE VISOKONAPONSKE OPREME**

**Dr Radojle Radetić, dipl. inž. el.**

Recenzenti:

Dr Miloš Milanković, dipl. inž. el.

Slavica Rebrić, dipl. inž. el.

Milorad Colić, dipl. inž. el.

Kompjuterska obrada teksta

Dr Radojle Radetić

ISBN 978-86-80134-50-5

## ***Važne napomene***

1. Autor je nastojao da materija u ovoj knjizi bude izložena tačno i jasno. I pored velikih napora da izbegne greške, on ne može garantovati da ih još uvek nema. Autor na to upozorava čitaoce i ne snosi nikakvu odgovornost za eventualne posledice.
2. Praktičan rad u VN postrojenjima, može biti opasan po život. Zato je neophodno pridržavati se odgovarajućih mera zaštite propisanih za ovakav rad.
3. Autor zadržava sva prava eventualnih izmena, bez obaveze prethodnog obaveštenja.
4. Bilo kakvo umnožavanje, preštampavanje i kopiranje celine ili pojedinih delova ove knjige, nije dozvoljeno bez prethodne dozvole autora.
5. Ovaj priručnik je namenjen za internu primenu u EMS.

## 1. PREDGOVOR

Održavanje visokonaponskih postrojenja je stručan, odgovoran, naporan i opasan posao. Od radnika održavanja se očekuje odlično poznavanje posla koji rade, postrojenja u celini, kao i opasnosti koje u njemu postoje. Samo tako se može raditi u okruženju u kome je na udaljenosti od svega nekoliko metara visoki napon – stotine kilovolti. To je napon koji se oseća na koži, a indukcija “udara“ pri svakom dodiru metala. Uslovi za rad su još teži kada dođe do kvara, jer se oni češće događaju pri ekstremnim vremenskim uslovima. Tada se radi praznikom, vikendom, danju i noću, u surovim uslovima, jakom suncu, hladnoći, vetru, kiši, snegu ...

Održavanje postrojenja je struka koja se razvija decenijama. Temelj struke čine znanje stečeno u školi, a zakoni i tehnički normativi, standardi, tehnička regulativa itd. definišu okvire u kojima se radi. Kada se ovome doda i dugogodišnji rad, govori se o iskustvu. Tehnička regulativa, iskusni inženjeri, tehničari i monter i su temeljna vrednost firme, i deo su njenog bogatstva. Predmet ovog priručnika je samo jedan deo tog znanja i iskustva, koji se odnosi na održavanje visokonaponske opreme.

Materija u ovom priručniku prikazana je kroz 14 tematskih celina i dodatak.

Prvo poglavlje posvećeno je opštim pitanjima održavanja počev od osnovnih elemenata pokazatelja pouzdanosti, preko svrhe i vrsta održavanja, do planiranja i drugih tema vezanih za ovaj proces, kao i kvarovima i njihovim najčešćim uzrocima.

Poglavlja 2 do 4 obrađuju teme počev od tehničke regulative, pojma, uloge i strukture elektroenergetskog sistema, koje se dalje sužavaju do nivoa visokonaponskih postrojenja, njegovih delova, razmatranje pojedinih konfiguracija postrojenja, kao i sistema uzemljenja u postrojenju.

Poglavlja 5 do 10 bave se visokonaponskom opremom (VNO) i čine težište ovog priručnika. VNO je obrađena sa aspekta principa rada, funkcije u visokonaponskom postrojenju (VNP) sa posebnim naglaskom na dijagnostici i njenom održavanju. U ovim poglavljima pojedinačno su obrađeni svi najvažniji elementi VNO.

Poglavlje 11 posvećeno je sopstvenoj potrošnji jer je ona sastavni deo svakog postrojenja. Time je zaokružena jedna logična celina koja se odnosi na održavanje visokonaponskih objekata (trafostanica i razvodnih postrojenja) u celini.

Poglavlje 12 bavi se organizacijom izvođenja radova i uslovima za bezbedan rad u postrojenjima. Obavljanje radova u visokonaponskom postrojenju sa sobom nosi određene opasnosti i neophodno je odlično poznavanje rada i sa aspekta bezbednosti i zdravlja na radu. Svakako važan aspekt rada je i zaštita životne sredine i svaka od ovih tema je bar dotaknuta.

Poglavlja 13 i 14 su opšta i bave se požarom i povredama u postrojenju.

U dodatku (15) je dat prikaz elementarnih pojmova iz osnova elektrotehnike, podaci o materijalima, kratak pregled energetskih provodnika i kablova, opteretivost faznih provodnika i pregled najčešće korišćenih skraćenica.

Materija u priručniku je obrađena na sažet i razumljiv način kako bi se približila radnicima u oblasti održavanja visokonaponske opreme (VNO).

Ovaj priručnik je nastavak rada započetog kroz Priručnik za rukovaoca TS/RP. Poslovi montera TS/RP i rukovaoca TS/RP slični su samo u tome što se radi u istom okruženju. Rukovaoci nadgledaju TS/RP i rukuju opremom, a monter i održavaju i

popravljaju. Zbog toga postoje delovi teksta i fotografije koji se ponavljaju. Razlika ipak postoji i sastoji se u pristupu pojedinim temama prema ciljnoj grupi kojoj je namenjeno – rukovaocima postrojenja ili monterima održavanja TS. Posao rukovaoca je više statičan, zahteva smirenost, strpljivost i prisebnost – karakteristike za koje treba veliko životno i radno iskustvo. Posao montera je fizički naporniji i primereniji je mlađim ljudima. Dobra kombinacija je kada monter posle desetak ili dvadeset godina postane rukovalac. Idealna kombinacija je ako je pre toga radnik prošao i održavanje dalekovoda i tako upoznao sve najvažnije segmente prenosne mreže.

Sa ova dva priručnika zaokružuje se celina koja obuhvata nadzor, rukovanje opremom i njeno održavanje. Na taj način oni postaju osnovna literatura za obuku radnika koji se bave ovim poslovima u visokonaponskim postrojenjima.

Priručnik za održavanje VNO može da bude korisna knjiga i drugima koji imaju bilo kakvog dodira sa VNO. On će sigurno biti korisna literatura za sve inženjere i tehničare elektro-energetike.

Ovom prilikom želim da se zahvalim svima koji su pomogli u izradi ovog priručnika. Već u početnoj fazi, rad na priručniku je podržan od strane Radne grupe za visokonaponsku opremu u EMS i na tome sam zahvalan svojim kolegama.

Zahvalnost dugujem radnicima službe koju vodim, Službe za trafostanice u Pogonu prenosa Bor. Deo ovog posla naučio sam od svojih najiskusnijih radnika, inženjera Branislava Vukića, tehničara Miodraga Mitrovića, Toška Apostolovića i drugih.

Zahvaljujem se i ostalim kolegama koji su mi pomogli u radu. Tu ističem kolegu Zorana Nikolića (Obrenovac) na pažljivom čitanju celog teksta i velikom broju uočenih i otklonjenih štamparskih i drugih grešaka, kao i kolegu Ivana Milićevića za informacije oko projekta EMS EAM.

Zahvalnost upućujem i recenzentima na konstruktivnim predlozima, primedbama i sugestijama kojima je poboljšan kvalitet Priručnika. Njihovo pozitivno mišljenje o Priručniku pomoglo je u njegovom štampanju.

Zahvaljujem se i svojoj firmi Elektromreži Srbije koja je svojim sredstvima omogućila štampanje prvog izdanja ove knjige.

Ovaj priručnik posvećujem svojim kolegama inženjerima koji su u dugom nizu godina uspostavljali i gradili sistem održavanja visokonaponske opreme u EMS i koji su mi u ovom poslu bili uzori, kao što su: Aca Samardžić, Milan Bizumić, Čedomir Ponoćko, Goran Raletić, Branislav Prodanović, Aleksandar Popović i drugi. Takođe posvećujem je i onim vrednim inženjerima, tehničarima i monterima koji su na terenu odrađivali najveći deo poslova održavanja visokonaponske opreme. Bila mi je čast što sam u jednom periodu svoga rada bio deo tog tima.

Tražnja za ovim priručnikom od kolega podstakla me je na izdavanje ovog – drugog izdanja priručnika. U odnosu na prvo, u ovom izdanju otklonjene su uočene štamparske greške i nije bilo nikakvih drugih većih intervencija na tekstu.

Bor, septembar 2023. godine

Dr Radojle Radetić, dipl. inž. el.

## 2. SADRŽAJ

<b>PREDGOVOR .....</b>	<b>3</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>5</b>
<b>1. ODRŽAVANJE .....</b>	<b>9</b>
1.1. Uvod .....	9
1.2. Pouzdanost tehničkog sistema .....	10
1.3. Rad tehničkog sistema .....	14
1.4. Svrha održavanja tehničkog sistema .....	15
1.5. Vrste održavanja (korektivno, preventivno) .....	16
1.6. Proces održavanja tehničkog sistema .....	18
1.7. Proces održavanja u EMS .....	22
1.8. Planiranja održavanja u EMS .....	24
1.9. Upravljanje imovinom - asset management .....	25
1.10. Softverska aplikacija SAP EAM u EMS .....	27
1.11. Uzroci i vrste kvarova u prenosnoj mreži .....	28
<b>2. TEHNIČKA REGULATIVA .....</b>	<b>32</b>
2.1. Pravilnik o tehničkim normativima za elektro-energetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V .....	33
2.2. Pravilnik o tehničkim normativima za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja i vodova .....	36
2.3. Interna tehnička regulativa EMS .....	37
2.4. Ostala tehnička regulativa .....	39
<b>3. ELEKTROENERGETSKI SISTEM .....</b>	<b>40</b>
3.1. Potrebe za električnom energijom .....	40
3.2. Potrošnja električne energije .....	40
3.3. Proizvodnja električne energije .....	40
3.4. Regulacija frekvencije i napona .....	41
3.5. Elektroenergetski sistem – osnovni pojmovi .....	42
3.6. Osnovni podaci o proizvodnji električne energije u Srbiji .....	43
3.7. Osnovni podaci o prenosu električne energije u Srbiji .....	43
3.8. Osnovni podaci o potrošnji električne energije u Srbiji .....	43
<b>4. VISOKONAPONSKA POSTROJENJA .....</b>	<b>44</b>
4.1. Elektroenergetski objekti .....	44
4.2. Naponi u postrojenjima .....	45
4.3. Struje u postrojenjima .....	47
4.4. Konceptije i konfiguracije postrojenja .....	49
4.5. Uzemljenje u postrojenjima .....	52
<b>5. VNO – SABIRNICE I IZOLATORI .....</b>	<b>59</b>
5.1. Sabirnice .....	59
5.2. Izolatori .....	61

<b>6. VNO – RASTAVLJAČI .....</b>	<b>63</b>
6.1. Namena rastavljača .....	63
6.2. Prekidanje struje .....	64
6.3. Vrste i konstrukcija rastavljača .....	65
6.4. Pogon rastavljača .....	66
6.5. Osnovne karakteristike rastavljača .....	67
6.6. Noževi za uzemljenje - zemljospojnik .....	69
6.7. Blokade .....	69
6.8. Nadzor i održavanje rastavljača .....	69
<b>7. VNO – PREKIDAČI .....</b>	<b>72</b>
7.1. Namena i vrste prekidača .....	72
7.2. Osnovne karakteristike i normalni radni uslovi prekidača .....	75
7.3. Malouljni prekidači .....	76
7.4. Prekidači tipa SF <sub>6</sub> .....	78
7.5. Nadzor i održavanje prekidača .....	83
7.6. Dijagnostičke metode za praćenje stanja prekidača .....	85
7.7. Rukovanje gasom SF <sub>6</sub> .....	94
<b>8. VNO – MERNI TRANSFORMATORI .....</b>	<b>95</b>
8.1. Opšte .....	95
8.2. Strujni transformatori .....	97
8.3. Naponski transformatori .....	100
8.4. Kapacitivni naponski transformatori .....	101
8.5. Kombinovani merni transformatori i nove tendencije .....	103
8.6. Nadzor i održavanje MT .....	104
8.7. Dijagnostičke metode za praćenje stanja mernih transformatora ....	105
<b>9. VNO – ENERGETSKI TRANSFORMATORI .....</b>	<b>107</b>
9.1. Vrste transformatora .....	107
9.2. Konstrukcija transformatora .....	108
9.3. Karakteristike energetskih transformatora .....	110
9.4. Oprema energetskih transformatora .....	113
9.5. Praćenje stanja – monitoring energetskih transformatora .....	121
9.6. Održavanje energetskih transformatora .....	123
9.7. Dijagnostika stanja energetskih transformatora .....	127
<b>10. VNO – ODVODNICI PRENAPONA .....</b>	<b>145</b>
10.1. Vrsta prenapona .....	145
10.2. Elementi za zaštitu od prenapona: varničari i odvodnici .....	146
10.3. Izbor odvodnika .....	150
10.4. Nadzor i održavanje odvodnika prenapona .....	151
<b>11. SOPSTVENA POTROŠNJA .....</b>	<b>153</b>
11.1. Konceptcija sopstvene potrošnje .....	153
11.2. Nadzor i održavanje elemenata sopstvene potrošnje .....	165

<b>12. IZVOĐENJE RADOVA U TS/RP EMS .....</b>	<b>168</b>
12.1. PR-300: 2016, Pravilnik o održavanju elektroenergetskih objekata JP “Elektromreža Srbije“ .....	168
12.2. TU-EX-04 Uputstvo za organizaciju izvođenja radova na EE objektima Elektromreže Srbije .....	168
12.3. Pravilnik o bezbednosti i zdravlju na radu (BZR) .....	171
12.4. Ostali aspekti rada na elektroenergetskim objektima .....	174
<b>13. POŽAR U POSTROJENJU I GAŠENJE .....</b>	<b>175</b>
13.1. Nastanak požara i akcije na njegovom gašenju .....	175
13.2. Aparati za gašenje požara .....	175
<b>14. POVREDE U POSTROJENJU I PRUŽANJE PRVE POMOĆI.....</b>	<b>177</b>
14.1. Dejstvo električne struje na čoveka .....	177
14.2. Pružanje prve pomoći .....	178
14.3. Postupci u slučaju smrtnih ishoda.....	178
<b>15. DODATAK .....</b>	<b>179</b>
15.1. Osnovni pojmovi elektrotehnike.....	179
15.2. Podaci o materijalima .....	188
15.3. Izolovani provodnici i kablovi.....	191
15.4. Dozvoljene struje faznih provodnika dalekovoda .....	193
15.5. Skraćenice.....	195
<b>LITERATURA.....</b>	<b>196</b>