



## DALJINSKO UPRAVLJANJE I NADZOR RIKLOZERIMA RAZLIČITIH PROIZVOĐAČA U ZP ELEKTROKRAJINA

### REMOTE SUPERVISION AND CONTROL OF RECLOSERS MADE BY DIFFERENT MANUFACTURERS INSTALLED IN ZP ELEKTROKRAJINA

Boris KATAN, MH Elektroprivreda RS, ZP Elektrokrajina  
Milan KALABA, MH Elektroprivreda RS, ZP Elektrokrajina  
Nataša VEJNOVIĆ, MH Elektroprivreda RS, ZP Elektrokrajina

#### KRATAK SADRŽAJ

Na području Elektrokrajine, u posljednjih petnaest godina, ugrađivani su riklozeri različitih proizvođača sa različitim kontrolnim jedinicama (ABB (PCD 2000), Siemens (Argus 7SR224), Tavrida (RC5),...). Za sve ugrađene riklozere jedino zajedničko je da prilikom nabavke nije uzimana u obzir potreba za njihovim daljinskim upravljanjem. Zbog razlika u godinama proizvodnje, tipovima, proizvođaču, imaju različite komunikacione "interfejse" i protokole, nasumično isporučene od proizvođača. ABB PCD2000 posjeduje protokole Modbus RTU, DNP 3.0 i IEC 60870-5-101. Siemens 7SR224 posjeduje IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-103, Modbus RTU i DNP 3.0. Tavrida RC5 posjeduje IEC 60870-5-104, Modbus RTU i DNP 3.0. Zadatak je bio da se pronađe rješenje za povezivanje svih tipova riklozera u jedinstven sistem upravljanja. Na prvi pogled jednostavan zadatak, s obzirom na veliki broj dostupnih protokola na svakom riklozeru, međutim postojala su značajna ograničenja. Starost instalirane opreme zahtijevala je ekonomično rješenje koje će funkcionisati do kraja životnog vijeka riklozera. Izabrana tehnologija bi trebala biti uniformna za sve tipove, proizvođače i godišta. Specifičnost komunikacije je u tome, da je zbog udaljenosti ograničena na GSM mrežu, upitnog kvaliteta. Kao protokol, koji se nalazi u presjeku svi dostupnih protokola na riklozerima, izabran je Modbus RTU protokol prisutan na svim riklozerima. Komunikacioni prenosni put bio je već definisan GSM mrežom. Zbog komercijalno lakše dostupne opreme, jednostavnosti održavanja i nadzora izabran je TCP/IP protokol kao nosilac informacija. Ovakav izbor protokola zahtijevao je prelazak sa Modbus RTU protokola na Modbus TCP protokol, mapiranje Modbus signala koji su različiti od tipa do tipa riklozera. Izabrana tehnologija i protokoli omogućili su upotrebu uređaja koji su široko dostupni na tržištu i koji nisu specifični za namjenu. Za potpuni realizaciju potrebna su dva uređaja, konverter protokola ModbusRTU/ModbusTCP i router/modem za povezivanje na GSM mrežu. Zbog specifičnosti ModbusTCP protokola na strani SCADA sistema izvršena je ugradnja RTU-a samo za potrebe prikupljanja podataka sa riklozera. Na ovaj način postignuta je izolacija SCADA sistema od mogućih prekida komunikacije i drugih alarma koji bi mogli da zaguše SCADA sistem. Uvođenjem riklozera u SCADA-u omogućeno je pravovremeno informisanje o nastanku i tipu kvara, kraće trajanje zastoja kao manje gubljenje vremena ekipe prilikom traženja i otklanjanja kvarova jer su riklozeri većinom na udaljenim lokacijama.

**Ključne riječi:** riklozer, daljinsko upravljanje, SCADA, Modbus RTU

#### ABSTRACT

Elektrokrajina has, in last 15 years, installed reclosers by different manufacturers ABB (PCD 2000), Siemens (Argus 7SR224), Tavrida (RC5),... It is common for all installed reclosers that, during procurement, need for remote control hasn't been taken into account. They have different communication protocols and interfaces, randomly chosen by deliverer because of different manufacturer, age and type. ABB PCD2000 has protocol Modbus RTU, DNP 3.0 and IEC 60870-5-101, Siemens 7SR224 has IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-103, Modbus RTU and DNP 3.0. Tavrida RC5 has IEC 60870-5-104, Modbus RTU and DNP 3.0. Goal was to find solution for connecting all types of reclosers into unified control system. It seems as a simple task, since multiple protocols were available on each recloser, but there were significant restrictions. Age of installed equipment required economical solution which would function until equipment's end of life. Chosen technology must be uniform for all manufacturers, types and ages. Distances limited communication technology to only GSM with questionable quality. Common protocol for all reclosers is Modbus RTU. GSM was already chosen for

communication. Commercially easily available equipment, ease of maintenance and supervision guided us toward TCP/IP protocol as information carrier. Protocol choice required conversion from Modbus RTU to Modbus TCI/IP and mapping of signals which are different for each type of reclosers. Chosen protocol allowed use of readily available devices which are not only used for this purpose. Two devices are required for complete implementation: protocol converter ModbusRTU/ModbusTCI/IP and router/modem for GSM network. On SCADA's side, specification of Modbus TCP/IP protocol required use of one RTU for data acquisition only from reclosers. This allowed insulation of SCADA system from possible breaks in communication and other alarms which could congest SCADA system. By introducing reclosers into SCADA, it allowed getting timed information about occurrences and type of faults, shorter offline time and quicker and more efficient work from teams in field.

**Key words:** reclosers, remote control, SCADA, Modbus RTU

[boris.katan@elektrokrajina.com](mailto:boris.katan@elektrokrajina.com)

[milan.kalaba@elektrokrajina.com](mailto:milan.kalaba@elektrokrajina.com)

[natasa.vejnovic@elektrokrajina.com](mailto:natasa.vejnovic@elektrokrajina.com)

## 1. UVOD

U posljednjih petnaest godina, na distributivnom području Elektrokrajine, upotrebljavaju se prekidački uređaji sa ugradnjom na stub (u daljem tekstu riklozeri) opremljeni novim mikroprocesorskim zaštitama. Osnovna ideja ugradnje riklozera u mrežu Elektrokrajine bila je lokalno odvajanje dijelova mreže koja je u lošem stanju. Samim tim, naglasak je bio na potrebi za uređajem koji posjeduje prekidački element i pripadajući uređaj sa zaštitnim funkcijama (posebno zaštitom od zemljospoja sa automatskim ponovnim uključanjem). Na osnovu prethodnog, prilikom nabavke nije se uzimala u obzir potreba i mogućnost uređaja da se sa njim daljinski upravlja i prikupljaju podaci u realnom vremenu. Nabavljeni su riklozeri različitih proizvođača sa različitim kontrolnim jedinicama (Siemens, ABB, Tavrida,..). Za sve ugrađene riklozere jedino je zajedničko da prilikom nabavke nije uzimana u obzir potreba za njihovim daljinskim upravljanjem. Zbog razlika u godinama proizvodnje, tipovima, proizvođačima, ugrađeni riklozeri imaju različite komunikacione "interfejse" i protokole, nasumično isporučene od proizvođača.. Kako bi bio zaokružen sistem upravljanja distributivnom mrežom javila se potreba i za uključivanjem u sistem upravljanja riklozera koji su davno ugrađeni u mrežu. Zadatak je bio da se pronađe rješenje za povezivanje svih tipova rikozera u jedinstven sistem upravljanja na jednoobrazan način. Na prvi pogled jednostavan zadatak, s obzirom na veliki broj dostupnih protokola na svakom riklozeru, međutim postojala su značajna ograničenja (starost instalirane opreme, potreba da izabrana tehnologija bude uniformna, tehničko rješenje koje je ekonomski opravdano, ograničena dostupnost telekomunikacionih kanala).

## 2. MODELI RIKLOZERA

### 2.1. ABB

Nabavljeni su ABB-ovi riklozeri OVR sa kontrolnom jedinicom PCD 2000. Oni su stari 15ak godina i vidljivo je da su pravljani primarno za američko tržište. To se prvenstveno vidi na mogućnosti jednofaznog rada prekidača i izbora komunikacionih protokola. Kontrolna jedinica PCD 2000 je modularnog karaktera i postoje namjenske komunikacione kartice ali nisu nabavljane. Jedini interfejs koji se može koristiti za komunikaciju nalazi se na CPU ploči. To je žičani RS 232 i softverom se može dodijeliti protokol koji će koristiti sa nadređenim centrom. Treba obratiti pažnju da je port neizolovan. Na raspolaganju su Modbus ASCII (koristi ga softver), Modbus RTU, DNP 3.0 i IEC 60870-5-101.

### 2.2. SIEMENS

Siemens-ovi riklozeri su opremljeni sa kontrolnom jedinicom ARGUS 7SR224. Nabavljeni su pre 10-ak godina ali je vidljivo da su noviji proizvod, na detaljima kao što su softver i načini priključivanja na računar. I tada, prilikom nabavke nije se obraćala pažnja na mogućnosti komunikacije, tako da nije odabran nikakav poseban protokol ni interfejs. Ova kontrolna jedinica ima više interfejse i to:

- COM 2: USB na prednjem panelu koji služi za povezivanje sa računarom i podešen je na IEC 60870-5-103
- COM 1: električni RS 485 koji podržava protokole IEC 60870-5-103, DNP-3, Modbus RTU i IEC 60870-5-101
- COM 3: električni RS 485 koji podržava protokole IEC 60870-5-103, DNP-3, Modbus RTU i IEC 60870-5-101

### 2.3. TAVRIDA

Tavridini riklozeri su nabavljani dva puta, nekoliko komada pre više od 15-ak godina i pre 4-5 godina. Stariji primjerci nisu planirani za daljinsku komandu jer je od nekoliko nabavljenih ispravno tek 1-3. Noviji modeli su vidno moderniji i imaju više mogućnosti. Ni ovaj put komunikacija nije bila prioritet u nabavci. Upravljanje riklozerom može bit izvedeno kroz SCADA sistem preko telekomunikacionog interfejsa (TCI) ili kroz namjenski Tavrida-in softver preko TELARM dispečer interfejsa (TDI). TCI koristi RS 232 port i protokole DNP 3.0 i Modbus RTU. Sa opcionim Ethernet portom moguće je koristiti i IEC 60870-5-104. TDI koristi drugi RS 232 port. Neki od ovih riklozera već su daljinski upravljani kroz Tavridin TDI tako da njihovo ubacivanje u Scada sistem nije bio prioritet.

### 3. KOMUNIKACIONI PODSISTEM

Kako bi pomenute riklozere uključili u sistem daljinskog upravljanja i nadzora bilo je potrebno izabrati jedinstvenu komunikacionu tehnologiju. Ograničenja koja su uticala na izbor tehnologije bila su sledeća:

- Lokacija riklozera (često planinska i nepristupačna područja)
- Promjena mjesta postavljanja riklozera prilikom rekonstrukcije mreže
- Problem napajanja komunikacionog modema
- Dalekovodi bez zemljovodnog užeta

Postojeći digitalni radio sistem koji se već koristi u sistemu daljinskog upravljanja i nadzora nije bilo moguće iskoristiti bez značajnijih ulaganja. Zbog lokacija riklozera na različitim dijelovima distributivnog područja Elektrokrajine bilo je potrebno proširiti radio mrežu sa velikim brojem repetitora, koji bi najčešće morali biti postavljeni na nepristupačne visinske kote gdje se onda javlja i problem njihovog napajanja.

Cijena radio repetitora, radio modema koji bi se instalirali na lokaciji riklozera kao i potrebne dozvole za radio emitovanje isključile su mogućnost upotrebe digitalnog radija kao tehnologije.

Udaljenost riklozera isključila je primjenu optičkog kabla, čije bi postavljanje bilo preskupo ako bi se koristilo samo za upravljanje riklozerima. Takođe, upotreba optike ne bi imala smisla pošto bi prilikom rekonstrukcije mreže riklozer promijenio svoju lokaciju.

Na kraju je prihvaćena upotreba mobilne GSM mreže kao glavnog komunikacionog sistema. GSM je široko dostupna, poprilično pouzdana a investicija u odnosu na cijenu riklozera je prihvatljiva. Instalacija je jednostavna i ne zahtjeva dodatne dozvole.

GSM modemi sa TCP/IP protokolom su široko dostupni i imaju prihvatljivu cijenu a ujedno nam dozvoljavaju veliku fleksibilnost pri izboru lokacije. Manu predstavljaju troškovi eksploatacije tj. pretplate i prenosa podataka. Međutim, upotreba mobilne mreže daleko je od idealnog rješenja. Često je na lokacijama gdje su postavljeni riklozeri pokrivenost signalom loša. Manu predstavljaju i troškovi eksploatacije tj. pretplate i prenosa podataka. Drugi problem je činjenica da TCP/IP protokol nije serijski i da prenos preko mobilne mreže unosi kašnjenja koja mogu predstavljati problem pri radu SCADA sistema. Potrebno je obratiti pažnju na napajanje i potrošnju modema jer se on mora napajati sa riklozera. Riklozeri imaju namjenski izlaz da bi po potrebi mogli gasiti telekomunikacijske uređaje kad nema mrežnog napajanja, u cilju sprečavanja dubokog pražnjenja baterija.

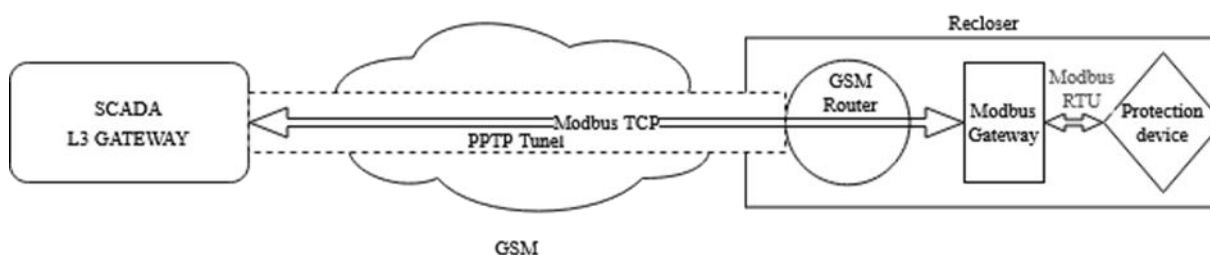
### 4. ODABIR PROTOKOLA

Pošto je ideja bila da se napravi univerzalno rješenje, odabrani protokol morao je biti prisutan na sva tri modela. To su protokoli DNP 3.0 i Modbus RTU. DNP 3.0 protokol je namjenski protokol za relejne zaštite ali način njegovog slanja preko GSM modema i TCP/IP protokola nije jednostavan. Pošto DNP dominira u Sjevernoj Americi a slabo se koristi u Evropi, konverteri tog tipa nisu dostupni na našem tržištu i a ako bi se nabavljali cijena bi bila prevelika..

Drugi protokol koji je presječni za sve tipove i proizvođače ugrađenih riklozera je serijski protokol MODBUS RTU. Povezivanje SCADA centra sa riklozerom korišćenjem GSM mreže i MODBUS RTU serijskog protokola zahtijevao bi upotrebu GSM serijskog modema. Serijski GSM modemi su uglavnom namjenski industrijski uređaji sa osnovnim setom opcija koje je moguće konfigurisati, a poseban nedostatak vezan je mrežnu sigurnost. Na osnovu navedenih problema izabran je MODBUS TCP protokol za komunikaciju između centra upravljanja i udaljene lokacije, dok bi su u lokalu vršila konverzija serijskog protokola MODBUS RTU u mrežni protokol MODBUS TCP. MODBUS konvertori su široko dostupni industrijski uređaji različitih mogućnosti i kvaliteta. U

ovom slučaju izabran je PLANET IMG 2100T „Modbus gateway“ kao uređaj nižeg cjenovnog ranga ali zadovoljavajućih osnovnih karakteristika (podrška za RS232 i RS 485, FastEthernet, široki temperaturni opseg - 40 +75, opseg napajanja +9 +48 VDC). Upotreba ovakvog uređaja prevazilazila je realne potrebe sistema (podešavanje rutiranja MODBUS RTU, filtriranje po dolaznoj IP adresi, ...). Prelaskom na IP mrežu otvorila se mogućnost izbora najrazličitijih GSM modema/rutera, kako industrijskih tako i potrošačkih. Kao rješenje izabran je Mikrotik SXT LTE ruter koji je baziran na RouterOS operativnom sistemu. Mikrotik SXT LTE ruter ne pripada industrijskim uređajima ali ima veoma visoku pouzdanost, širok temperaturni opseg kao i odgovarajući opseg napona napajanja. Osnovna prednost izbora rutera je operativni sistem RouterOS, koji ima implementiranu većinu protokola za VPN, firewall, kao i ostale napradne mreže funkcionalnosti.

Konačno rješenje obuhvatalo je upotrebu MODBUS TCP i TCP/IP protokola za WAN povezivanje kroz GSM mreže sa udaljenim lokacijama. Iako je u GSM mreži korišten privatni opseg IP adresa i L3 VPN, sva komunikacija je dodatno zaštićena PPTP VPN tunelom. Na samom riklozeru vršena je dekapulacija paketa i konverzija u MODBUS RTU protokol. Serijska veza na fizičkom nivou realizovana je RS232 serijskim standardom.



## 5. SCADA

Izbor Modbus protokola i GSM mreže kao komunikacionog kanala nisu idealno rješenje za vezu između udaljenog centra (Scada sistema) i krajnjih lokacija (riklozera). GSM mreža sama po sebi ne predstavlja najpouzdaniji prenosni put dok je Modbus protokol više namjenjen za upotrebu u industrijskim sistemima, gdje udaljenosti nisu velike i gdje su komunikacioni putevi pouzdani.

Sam način komunikacije po Modbus protokolu, gdje Scada sistem u fiksnim vremenskim intervalima vrši prozivku udaljene stanice predstavlja otežavajuću okolnost. Dovoljno je da krajnja stanica ne odgovori na jedan zahtjev za prozivku, Scada sistem generiše informaciju o prekidu komunikacije sa udaljenom tačkom. Prozivka riklozera grupisana u dvije grupe u zavisnosti od intervala prozivke, prva grupa su statusi i alarmi koji se prozivaju sa periodom od deset sekundi i manje značajna mjerenja sa periodom od 30 sekundi. Vjerovatnoća pojave neuspješnog odgovora na prozivku je velika. Treba naglasiti da se u tok 24 časa dešava 8640 prozivki gdje bi samo mali dio neuspješnih prozivki izazvao nepotrebno zatrpavanje alarmnih lista na dispečerskim stanicama, a ne bi narušio kvalitet nadziranih informacija. Iz tog razloga, instaliran je RTU koji vrši samo prozivku riklozera po Modbus protokolu, čija je glavna uloga da izvrši izolaciju Scada sistema od problema vezanih za način rada Modbus protokola. RTU, koji ima ulogu koncentratora, povezan je sa Scada sistemom protokolom IEC60870-5-104 i na njemu se vrši mapiranje Modbus registara u tipove signala definisane protokolom IEC60870-5-104.

## 6. PROBLEMATIKA PRI IMPLEMENTACIJI

Modbus protokol sam po sebi ne definiše tipove signale striktno kao namjenski protokoli DNP3, IEC101 i IEC104. Samim ti svakom proizvođaču ostavljena je sloboda da mapira signale alarma, statusa i komandi na svoj način. Neki proizvođači su to implementirali na trivijalan način dok su drugi koristili značajno komplikovaniju strukturu podataka.

Implementacija mjerenih veličina:

ABB je mjerene vrijednosti mapirao na sljedeći način. U zavisnosti od mjerene vrijednosti podatak može biti bajtni – 8 bit-a (sa predznakom i bez), kratki – 16 bit-a (sa predznakom i bez), dugi – 32 bit-a (sa predznakom i bez). Konkretno, vrijednost mjerene struje koristi 16 bit-ni podatak, definisan kao bipolarni (sa predznakom) sa ofsetom i dužinom od 12 bit-a i faktorom skaliranja 10. Pošto korisiti 2 bajta, koristi i poravnanje registra, i to LSB (least significant bit – namjanje bitan bit). Siemens je koristio drugi pristup mapiranju. Mjerena vrijednost mapirana je u dva susjedna registra kao cjelobrojni podatak od 32 bita sa fiksnim decimalnim zarezom (tri cifre). Time se realna vrijednost predstavlja pomoću cijelobrojne. Negativne vrijednosti se prikazuju kao komplement

dvojke. Konkretno, vrijednost struje je izvedena kao dva registra (30064 i 30065), ukupno 32 bit-a, cjelobrojni broj (integer) sa fiksnom decimalnim zarezom (. Na primjer, 123,456 A se prikazuje šalje kao 123456.

Uočljivo je da treba dobro protumačiti uputstva i praktično provjeriti na koji način se interpretiraju mjerene vrijednosti kako bi se na RTU izvršilo pravilno definisanje signala i mapiranje na protokol IEC104

Implementacija komandi:

I ovdje je uočljivo da je svaki proizvođač implementirao komande na različit način.

ABB je posvetio više pažnje pri realizaciji komande prekidačem kao i komandi vezanih za reset alarma. Za bilo kakvu komandu potrebno je poslati 5 registara. Svaka komanda praćena je slanjem šifre u dva registra. Za definiciju komande koristi se jedan registar gdje vrijednost svakog bita definiše na koji element se komanda odnosi. Kako bi se izvršila potvrda ispravnosti matrice komande, četvrti registar je kopija registra komande. Peti registar predstavlja naredbu izvršenja („execute“) i bitno je da ova registar bude poslat kao posljednji u nizu iako se njegova adresa nalazi ispred adresa ostala četiri registra. Tu se javio problem vezan za konkretnu implementaciju. Korišteni RTU ima interni model podataka baziran na protokolu IEC 60870-5-104 pa se konverzija ostalih protokola nativno vrši u ovaj protokol. Da bi se realizovala ovako složena Modbus sekvence neophodno je bilo koristiti CFC logiku. Zbog specifičnosti realizacije protokola u RTU, dijelovi sekvence komande koji se ne mijenjaju, kao što je šifra i sekvenca izvrši, nisu mogli biti poslani ponovo nakon prvog slanja. Da bi se to prevazišlo logika je dopunjena slanjem definisanih registara sa svim vrijednostima podešenim na nulu.

Siemens je koristio značajno jednostavniji pristup bez dodatnih provjera ispravnosti komande i autorizacije pristupa. Za komandu prekidačem koristi se jedan bit („Modbus coil“) gdje se setovanjem jedinice vrši uključanje, a setovanjem nule isključenje prekidača. U ovom slučaju mogućnost promjene kontrole nadležnosti (lokalni –daljinski) nije uključena kako bi se smanjio rizik od slučajne greške pri komandovanju. Tavrada koristi princip koji se ne razlikuje od pristupa Siemensa, tako da neće biti detaljnije analiziran.

## 7. ZAKLJUČAK

Kroz 15 godina primjene riklozera u Elektrokrajini dokazala se potreba za daljinskom komandom i nadzorom. Sa primjenom SCADA sistema u ostalim energetske objektima, bilo je pitanje vremena kad će se zahtijevati i daljinsko upravljanje riklozera u SCADA sistemu. Zastarjelost opreme i ne uzimanje u obzir potreba za daljinskim upravljanjem prilikom nabavke otežalo je realizaciju ovog zadatka. Izbor Modbus RTU protokola i prelazak na Modbus TCP protokol omogućio je prenos osnovnog broja signala sa svakog riklozera uz zaštitu podataka koju bi teško bilo izvesti primjenom namjenskih modema sa protokol konvertorima. Preneseni signali i komande omogućili su osnovno praćenje mjerenih vrijednosti, informacija o alarmima kao i komandu nad prekidačem riklozera. Kako su riklozera instalirani na dijelovima mreže u udaljenim lokacijama i iza kojih se nalazi mali broj potrošača, dobijeni podaci u potpunosti zadovoljavaju postavljene kriterijume. Skraćeno je vrijeme lokalizacije kvarova kao i angažovanja radne snage za izvođenje radova i manipulacija. Uočljivo je da ovo rješenje može biti primjenjivo i na novije riklozere ali je preporučljivo da oni ipak imaju mogućnost korištenja nekog novijeg protokola (IEC 61850) koji omogućava transfer preko TCP/IP. Korišćenje GSM komunikacije pokazalo se kao jedino opravdano rješenje uzimajući u obzir cijenu investicije i efekte koji se dobijaju daljinskim nadzorom riklozera. U budućnosti, prilikom nabavke riklozera, pored sagledavanja karakteristika prekidačkog i zaštitnog elementa, neophodno je posebnu pažnju posvetiti izboru protokola za nadzor i tehnologije za komunikaciju, jer svaka naknadna nadogradnja košta značajno više.