

UDK: 621.314.24:621.316.925(045)=163.41

DOI: 10.5937/bakar2401041M

NAUČNI RAD

Oblast: *Elektroenergetika*

*Primljen: 17.04.2024.*

*Prerađen: 10.05.2024.*

*Prihvaćen: 13.05.2024.*

**ZAŠTITA VN I SN VODOVA U ELEKTRODISTRIBUCIJI KRUŠEVAC  
SA POSEBNIM AKCENTOM NA MIKROPROCESORSKU  
RELEJNU ZAŠTITU**

**PROTECTION OF HV AND MV LINES IN ELECTRIC POWER  
DISTRIBUTION KRUŠEVAC WITH SPECIAL EMPHASIS ON  
MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION**

Nenad Marković<sup>1a</sup>, Uroš Jakšić<sup>2a</sup>, Vladimir Rilak<sup>3a</sup>, Strahinja Marković<sup>4a</sup>

<sup>1</sup>Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, Odsek Uroševac -  
Leposavić, 38218 Leposavić, Srbija

<sup>2</sup>Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, Odsek Zvečan,  
38218 Leposavić, Srbija

<sup>3</sup>Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Ogranak Kruševac, Srbija

<sup>4</sup>Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini,  
Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija

<sup>1a</sup> E-mail: nen.mark74@yahoo.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6960-1953>

<sup>2a</sup> E-mail: uros\_jaksic@yahoo.com, Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-1602-6657>

<sup>3a</sup> E-mail: vladimir.rilak@ods.rs, Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-2631-9181>

<sup>4a</sup> E-mail: stralemarkovic@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-7812-8781>

**Izvod**

*Cilj rada je predstavljanje načina implementiranja i upotrebe relejne zaštite sa posebnim akcentom na mikroprocesorsku relejnu zaštitu u Elektrodistribuciji Kruševac, a na osnovu prikazanih konkretnih primera podešenja i delovanja zaštitnih uređaja koji su prikupljeni iz prakse i rada na terenu.*

*U radu su korišćeni softverski paketi Test Universe za ispitivanje zaštite u TS „Kruševac 1“ na dalekovodu 1158B pravac prema „Kruševac 4“ na 110 kV mreži, kao i Sigra (Siemens) za analizu kvarova na mikroprocesorskim relejima SIEMENS, sa konkretnim primerom delovanja usmerene zemljospojne zaštite na 10 kV izvodu „Parunovac 9“ iz TS „Miloje Zakić“ u Kruševcu sa izolovanim zvezdištem u mreži 10 kV. Tokom ispitivanja na računaru je praćeno kretanje vrednosti struja i napona, vremena isključenja kao i karakteristike koje prikazuju rad svake zaštite.*

*Rad u praktičnom delu prikazuje detaljno povezivanje opreme za ispitivanje funkcija mikroprocesorskog zaštitnog releja dalekovoda 110 kV. Za konkretan dalekovod dati su parametri, slike uređaja i kompletne ispitne opreme kao i zvanične ispitne liste sa stvarnim vrednostima isključenja. Prednost savremenih mikroprocesorskih releja se ogleda u tome da su sve funkcije objedinjene u jednu kompaktnu kutiju koje međusobno komuniciraju posebnim protokolima i time olakšavaju rad korisnicima.*

**Ključne reči:** relejna zaštita, Omicron, softverski paket Test Universe i Sigra, mikroprocesorski relej, dalekovod

### Abstract

*The aim of the paper is to present the method of implementing and using relay protection with a special emphasis on microprocessor relay protection in Electric power distribution Kruševac, and based on the presented concrete examples of settings and operation of protective devices that were collected from practice and paper in the field.*

*The software packages Test Universe were used in the paper for testing protection in TS „Kruševac 1“ on the 1158B transmission line in the direction of „Kruševac 4“ on the 110 kV network, as well as Test Universe software package for testing protection in TS „Kruševac 1“ on the 1158B transmission line in the direction of „Kruševac 4“ on the 110 kV network. During the test, movement of the current and voltage values, disconnection times, as well as characteristics that show operation of each protection were monitored on the computer.*

*The paper in the practical part shows the detailed connection of the equipment for testing the functions of the microprocessor protection relay of the 110 kV transmission line. For a specific transmission line, parameters, images of devices and complete test equipment, as well as official test lists with actual tripping values are provided. Advantage of modern microprocessor relays reflects in the fact that all functions are combined in one compact box that communicate with each other using special protocols and thus facilitate the work of users.*

**Keywords:** relay protection, Omicron, software package Test Universe and Sigra, microprocessors relay, transmission line

## 1. UVOD

Električna energija predstavlja osnovni vid energije i preduslov je razvoja privrede svake zemlje. Elektroenergetski sistem je projektovan tako da proizvede električnu energiju u dovoljnim količinama, da zadovolji sadašnje i procenjene buduće potrebe korisnika na određenom području, da je prenosi do područja u kojima će se koristiti i potom distribuirati unutar tog područja. Da bi se obezbedio maksimalan povraćaj velikog ulaganja u opremu koja je potrebna za formiranje elektroenergetskog sistema i da bi korisnici bili zadovoljni pouzdanom uslugom, ceo sistem mora da bude neprekidno u funkciji bez većih kvarova [1].

U distributivnim preduzećima je sve više potrebna sigurna isporuka električne energije potrošačima i u tu svrhu se zahteva mreža sa što manjim brojem kvarova i ispada opreme [2]. Jednu od uloga u sprovođenju ovih zahteva ima relejna zaštita.

Zadatak relejne zaštite u elektroenergetskim postrojenjima je prvenstveno trajno nadziranje karakterističnih električnih ili drugih veličina štice objekta. U slučaju kvara ili opasnog pogonskog stanja potrebno je da relejna zaštita automatski preduzme sve potrebne mere da se kvar izbegne ili da se isti svedu na minimum i da se o tome obavesti pogonsko osoblje. Ispunjenje svih uslova

koji se postavljaju pred relejnu zaštitu nije uvek moguće ispuniti i zato se često prave određeni kompromisi [3].

Uloga sistema relejne zaštite je pravovremeno otkrivanje stanja u elektroenergetskim sistemima pri kojima su prekoračene granične vrednosti pogonskih veličina i postojanje rizika od širenja poremećaja (kvarovi, smetnje) na veće područje i eliminisanje takvog stanja uz što manje posledice za elektroenergetski sistem u celini [4].

Oprema usvojena za otkrivanje takvih mogućih kvarova i smetnji naziva se „zaštitna oprema ili zaštitni relej“ a sistem koji koristi takvu opremu naziva se „sistemom zaštite“.

Zaštitni relej je uređaj koji daje instrukcije za isključivanje neispravnog dela sistema. Ova akcija osigurava da se preostali sistem i dalje napaja električnom energijom i da štiti sistem od daljeg oštećenja usled kvara. Dakle, upotreba zaštitnih uređaja je potrebna u električnim sistemima od kojih se očekuje da generišu, prenose i distribuiraju električnu energiju sa najmanje prekida i vremena obnavljanja. Može se konstatovati da je upotreba zaštitne opreme veoma važna za minimiziranje efekata kvarova, koji inače mogu uništiti ceo elektroenergetski sistem [1,5].

U radu je predstavljen način provere funkcionisanja relejne zaštite dalekovoda 110 kV u stanju van pogona, tj. kada je dalekovod isključen. Merenjem i poređenjem proradnih simuliranih vrednosti struja i napona kvara, vremena isključenja i očekivanih parametara utvrđuje se ispravnost zaštitnih funkcija u postrojenju. Korišćena je moderna oprema Elektro distribucije Srbije koja omogućava da se na jednostavan način simuliraju i analiziraju razne vrste kvarova.

Iako je u zadnjih par decenija literatura u vezi relejne zaštite postala dostupna i obimna, naročito u elektronskom obliku, uočava se da mali deo literature opisuje konkretne slučajeve ispitivanja i provere zaštitnih funkcija, naročito na naponskim nivoima 110 kV i više. Zato je cilj ovog rada da prikaže konkretne zadatke, opremu i način ispitivanja uređaja za relejnu zaštitu u Elektro distribuciji Srbije.

## **2. VRSTE ZAŠTITA KORIŠĆENE ZA ANALIZU VN I SN VODOVA**

U ovom delu je dat kratak osvrt na vrste zaštite koje su korišćene u ovom radu.

Poduzna diferencijalna zaštita se ugrađuje na „kratke“ vazdušne vodove i 110 kV kablove ili na vodove gde je teško ostvariti zadovoljavajuću

selektivnost zaštite. Prednost korišćenja podužne diferencijalne zaštite voda je u tome što je algoritam neosetljiv na parametre voda (tačne vrednosti impedanse) kao i na topologiju mreže (međuinuktivnost paralelnih vodova). Vodovi 110 kV koji su kraći od 10 km smatraju se „kratkim vodovima“ i saglasno tome vrši se izbor zaštita [6].

Distantna zaštita je univerzalna i najčešće korišćena funkcija za zaštitu visokonaponskih dalekovoda od kratkog spoja. Može se, naravno, koristiti i za zaštitu drugih objekata (transformatora, generatora, prigušnica), no najvažnija je primena kao zaštita dalekovoda. S obzirom da distantna zaštita ne mora nužno biti ugrađena neposredno uz štice objekat, važna karakteristika iste je mogućnost daljinskog rezervnog šticećenja drugih elemenata mreže (susedni dalekovodi, sabirnički sastavi, energetske transformatori, kompenzacijske prigušnice, generatori).

Distantna zaštita se realizuje u distantnom releju (elektromehanički, statički) ili kao distantna funkcija u savremenom zaštitnom uređaju koji su po konstrukciji mikroprocesorski a po obimu i složenosti funkcionalnosti se dele na numeričke i na IED (Intelligent Electronic Device) [7].

Zaštita od prevelike struje (prekostrujna zaštita) je najraniji sistem zaštite koji se razvijao. U starim postrojenjima gde postoje elektromehanički i statički distantni releji na nadzemnim vodovima 400 kV, 220 kV i 110 kV uglavnom ne postoji rezervna prekostrujna zaštita. Tek sa pojavom mikroprocesorskih uređaja počinje primena prekostrujne funkcije kao rezervne i dopunske zaštite vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV. U prvoj fazi primene distantnih mikroprocesorskih uređaja koji su u sebi sadržali i jedan stepen prekostrujne funkcije u elektroenergetskom sistemu dolazi do primene prekostrujne zaštite kao rezervne zaštite vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV [3].

Usmerena zemljospojna zaštita služi za detektovanje kvarova sa zemljom preko velikog otpora koji bi mogli da se nađu izvan opsega distantne zaštite. U elektroenergetskom sistemu Republike Srbije, ova vrsta zaštite obavezno se ugrađuje kao dopunska i rezervna zaštita nadzemnih vodova i to na naponskim nivoima 400 kV, 220 kV i 110 kV. Usmerena zemljospojna zaštita je blokirana ako je pobuđena distantna zaštita ili je u toku beznaponska pauza - ciklus APU funkcije. Organ smera usmerene zemljospojne zaštite radi na bazi vrednosti homopolarne snage  $P_0$ , odnosno proizvoda nulte struje  $I_0$  i nultog napona  $U_0$  koja se javlja na mestu ugradnje releja pri kvarovima u mreži. Za pravilno podešenje usmerenog organa zemljospojne zaštite potrebni su podaci o veličini struje i napona nultog redosleda na mestu ugradnje releja pri zemljospoju na

kraju voda (susednom postrojenju) u minimalnom režimu elektroenergetskog sistema [8].

Mikroprocesorska zaštita je vrsta relejne zaštite koja se koristi poslednjih 20-tak godina i čija je primena u današnje vreme nezaobilazna. Njen nastanak se vezuje za otkiće poluprovodne tehnike.

Razvijanjem računarske tehnike došlo je i do ubrzanog razvoja mikrokontrolera (PLC-programmable logic controller), odnosno zaštite kao vrste PLC-a. Reč „programabilni“ se odnosi na glavnu mogućnost ovog uređaja a to je prilagođenje zahtevima korisnika [3].

PLC kao jedinica se sastoji od:

- procesora za izvršavanje upravljačkih akcija na polju podataka koje daju ulazni i izlazni moduli;
- uređaja za programiranje, gde se PLC kontrolna logika prvo razvija a zatim prenosi na U/I module;
- ulazni i izlazni moduli. Mediji za razmenu podataka između terenskih uređaja i procesora, takođe služe i kao alat za kontrolu.

### **3. UREĐAJ ZA ISPITIVANJE ZAŠTITE**

Omicron CMC 356, slika 1, je uređaj za testiranje svih generacija i tipova zaštitnih releja [9]. Njegovi naponski, strujni i binarni ulazi i izlazi sa velikim dinamičkim opsegom, čine jedinicu sposobnom za testiranje čak i elektromehaničkih uređaja sa velikim opterećenjem.

Omicron je u ovom radu posebno opisan kao uređaj bez koga ne bismo mogli da ispitamo zaštitu. Uređaj se prvo povezuje sa računarom preko softvera „Test universe“. Neke od osnovnih funkcija softvera „Test universe“ su:

- kontrolisanje test signala;
- procesuiranje podataka merenja;
- kreiranje izveštaja;
- generisanje unosa podataka.

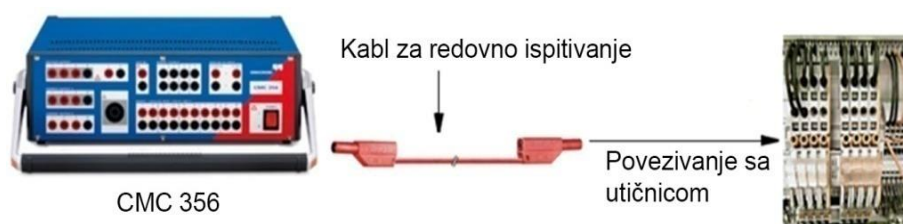
Osnovni princip rada ovog uređaja je da se poveže sa mikroprocesorskom zaštitom preko ispitne utičnice ili direktno na kleme. Tada se injektiraju struje i naponi na analogne inpute u zavisnosti od vrste zaštite.



Sl. 1. Omicron CMC 356

Zatim se uređaj povezuje sa objektom testiranja (zaštitom). Kod ovih veza postoji mnogo načina kako je to moguće realizovati. Jednu od realizacija je moguće ostvariti preko tipiziranih kablova koji se dobijaju uz uređaj koje je potrebno samo spojiti na pravom mestu u zaštiti. Drugi način je realizacija preko papučica i bananica ili preko ispitnih klema. Sve ovo je manje bitno u odnosu na to gde treba povezati, a u te svrhe se koriste šeme povezivanja.

Grafički način povezivanja uređaja je predstavljen na slici 2.



Sl. 2. Povezivanje uređaja pomoću ispitnih klema

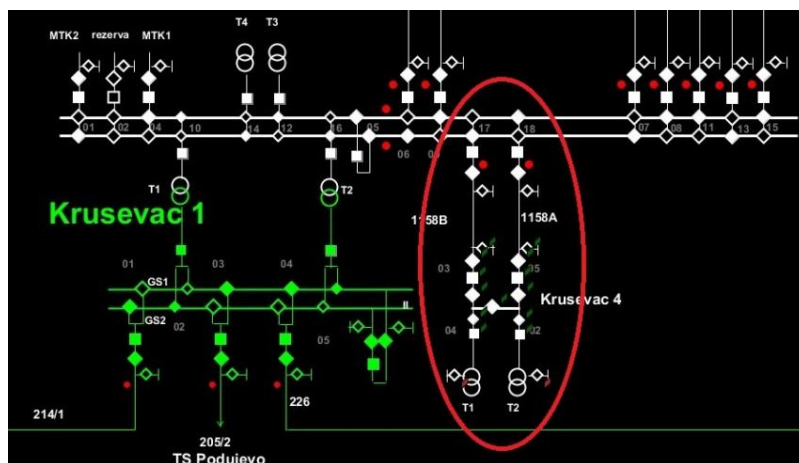
Ulazni signali u uređaju se prate sa vremenskom rezolucijom od 100  $\mu$ s i zatim obrađuju u CPU. Binarni ulazi se konfigurišu iz modula za konfiguraciju softvera „Test Universe“. Kada se to uradi, može se navesti da li su kontakti potencijalno osetljivi ili ne. Kada su kontakti potencijalno osetljivi, očekivani nominalni napon i prag podizanja mogu se nezavisno kontrolisati za svaki binarni ulaz. Binarnih izlaza ima manje, na raspolaganju su četiri binarna izlaza kao bespotencijalni relejni kontakti.

Ovde moramo naglasiti da je cilj ispitivanja da se proveri da li zaštita, koja je implementirana u ovaj PLC radi na adekvatan način; da li je smer dobar i da li su zadata vremena reagovanja zaštite odgovarajuća.

#### 4. ISPITIVANJE RELEJA PODUŽNE DIFERENCIJALNE ZAŠTITE U TS „KRUŠEVAC 4“ U DV POLJU 1158B - DOVOD 110 KV IZ TS „KRUŠEVAC 1“ (SA FUNKCIJOM DISTANTNE ZAŠTITE)

U nastavku ovog rada date su slike opreme [10] koja se nalazi u transformatorskoj stanici (TS) 220/110/35 kV „Kruševac 1“ i to na pravcu dalekovoda 1158B (i 1158A) do TS „Kruševac 4“ i koja je poslužila za ispitivanje zaštite.

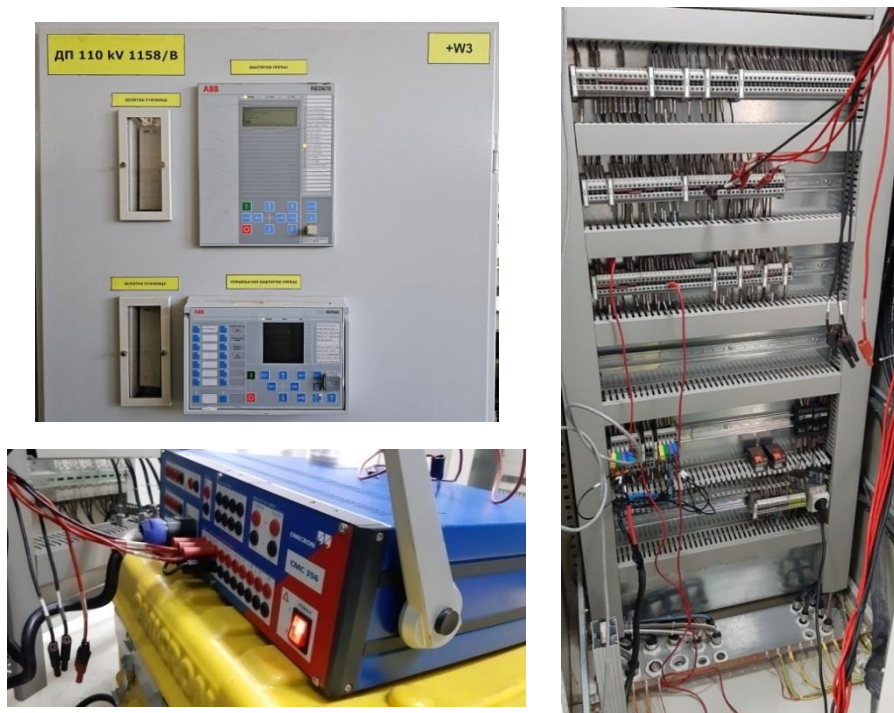
Na slici 3 su prikazana dva paralelna voda 110 kV koji napajaju TS „Kruševac 4“, čija je instalisana snaga 2x115 MVA.



Sl. 3. SCADA sistem - jednopolna šema dalekovoda 1158B (i 1158A)

Ispitivanje releja podužne diferencijalne zaštite je vršeno na dalekovodu 1158B (postupak je isti i za dalekovod 1158A, samo su različiti rezultati istraživanja).

Prvo se pristupilo povezivanju razvodnog ormana u kome se nalazi zaštita i upravljačka jedinica dalekovoda 1158B i Omicron uređaja. Zatim se iz projekta izvedenog stanja, tačnije iz „šeme delovanja“ nalaze kleme do kojih stižu struje/naponi sa sekundara strujnog/naponskog mernog transformatora i odakle odlaze ka izvršnim relejima. Sa tih klem je pomoću „papučica“ („bananica“) povezan analogni input instrumenta čime je obavljeno povezivanje trougla računar-OMICRON-zaštita, slika 4.



Sl. 4. Povezivanje razvodnog ormara DV polja 1158B i Omicron uređaja

Vrste zaštite koje su ispitivane ovom prilikom su sledeće:

- prekostrujna zaštita;
- rezervna prekostrujna i zemljospoljna zaštita;
- usmerena zemljospoljna zaštita;
- distantna zaštita;
- nesimetrija struja;
- teleprotekcija za distantnu zaštitu;
- automatsko ponovno uključenje (APU);
- uključenje na kvar (SOTF);
- lokator kvara (fault locator).

Na slici 5 je prikazana tipična ispitna lista koja se koristi pri svim redovnim kontrolama pre podešenja i proveru relejne zaštite u Elektrodistribuciji Srbije (diferencijalna, distantna, prekostrujna i usmerena zemljospoljna zaštita).

Pri redovnim revizijama transformatorskih stanica i opreme, sačinjava se lista nalik listi na slici 5. Pre svega se oprema koja se ispituje pregleda vizuelno. Ako se ne uoče nikakvi nedostaci prelazi se na funkcionalno ispitivanje.



**2. PODEŠENJE OSNOVNE ZAŠTITE**

**2.1. PODEŠENJA DIFERENCIJALNE ZAŠTITE**

	$\Delta I$	t (s)
Podešenje podužne dif. zaštite $\Delta I$	0.2 In	0

**2.2. PODEŠENJA DISTANTNE ZAŠTITE**

STEPEN	$R_{FPE}(\Omega)$	$R_{FPP}(\Omega)$	$R_f(\Omega)$	$X_{f1}(\Omega)$	$R_{f0}(\Omega)$	$X_{f0}(\Omega)$	SMER	VREME (s)
	I stepen	4.00	1.00	0.29	0.94	0.72		
II stepen	5.00	15.00	1.21	3.94	3.03	13.13	napred	0.4
III stepen	50.00	25.00	6.77	22.00	16.92	73.33	napred	0.8
IV stepen	10.00	5.00	0.81	2.64	2.03	8.80	nazad	3.2

Napomena: Podešenja su data u primarnim vrednostima

**2.3. PODEŠENJE PREKOSTRUJNE ZAŠTITE**

	I	t (s)
Prekostrujna zaštitna funkcija I>	1.8 In	0.6
Prekostrujna zaštitna funkcija nulte komponente I <sub>0</sub> >	0.4 In	0.6

**NAPOMENA:** Prekostrujna zaštita je aktivna sa ispadom automata naponskih kola.

**2.4. PODEŠENJE USMERENE ZEMLJOSPOJNE ZAŠTITE**

Tip karakteristike	Normalno inverzna
Podešenje min napona polarizacije UpolMin	$3U_0=5V$
Podešenje strujne nulte komponente $3I_0>$	$3I_0=0.2A=20\%I_n$
Smer delovanja zaštite ( $3U_0$ referentni napon)	napred
Vremenski umnožak (time multiplier) – k1	0.67 s
Minimalno vreme delovanja - t1min	2.1 s

**Sl. 5.** Podešenja zaštite distantnog releja [11]

Ispitna lista je koncipirana tako da se provere sve vrste zaštita koje su implementirane na dalekovodu.

Nakon vizuelnog ispitivanja prelazi se na najznačaniji vid zaštite dalekovoda, distantnu zaštitu.

Na slici 6 su prikazani osnovni parametri dalekovoda 110 kV (električni parametri: otpornost, ugao dalekovoda, koeficijent zemljospoja) i opreme koja se nalazi u dalekovodnom polju (prenosni odnosi naponskog mernog transformatora i strujnog mernog transformatora, očekivana sopstvena vremena

isključenja prekidača, i dr.). Ovde su podešeni i parametri tolerancije - koliko je prihvatljivo da zaštitni uređaj deluje pre ili kasnije od podešenog vremena ili struje/napona.

**Krusevac4 E3 Ispitivanje distantnih zona:**

**Test Object - Device Settings**

**Substation/Bay:**  
 Substation: TS 110/35 Krusevac 4      Substation address: Krusevac  
 Bay: DV 1158B Krusevac1      Bay address: E3

**Device:**  
 Name/description: RED670      Manufacturer: ABB  
 Device type: 1MRK004810-CC      Device address: Krusevac  
 Serial/model number: T1405185  
 Additional info 1:  
 Additional info 2:

**Nominal Values:**  
 f nom: 50.00 Hz      Number of phases: 3  
 V nom (secondary): 100.0 V      V primary: 110.0 kV  
 I nom (secondary): 1.000 A      I primary: 600.0 A

**Residual Voltage/Current Factors:**  
 VLN / VN: 1.000      IN / I nom: 1.000

**Limits:**  
 V max: 100.0 V      I max: 3.000 A

**Debounce/Degitch Filters:**  
 Debounce time: 3.000 ms      Deglitch time: 0.000 s

**Overload Detection:**  
 Suppression time: 50.00 ms

**Test Object - Other RIO Functions**

**CB Configuration**

Description	Name	Value
CB trip time	CB trip time	50.00 ms
CB close time	CB close time	100.00 ms
Times for 52a, 52b in percent of CB time	52a, 52b % of CB	20.00 %

**Test Object - Distance Settings**

**System parameters:**  
 Line length: 1.220 Ω      Line angle: 72.87 °  
 PT connection: at busbar      CT starpoint: Dir. line  
 Impedance correction: no  
 1A/I nom:  
 Impedances in primary: yes  
 values:

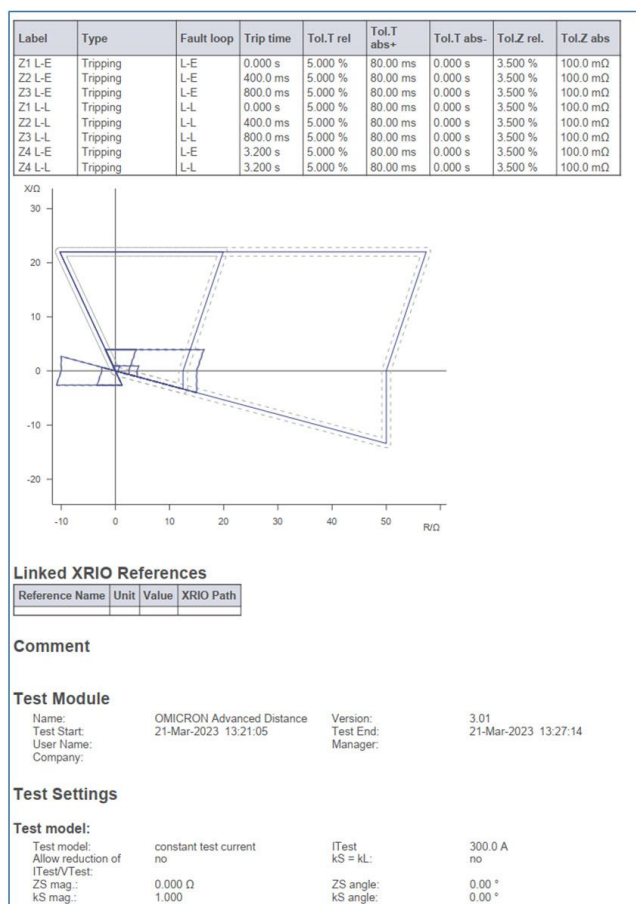
**Tolerances:**  
 Tol. T rel.: 5.000 %  
 Tol. T abs. +: 80.00 ms      Tol. T abs. -: 0.000 s  
 Tol. Z rel.: 3.500 %      Tol. Z abs.: 100.0 mΩ

**Sl. 6. Parametri dalekovoda**

U nastavku su na slici 7 prikazane zone distantne zaštite u  $R-X$  dijagramu (jedna tačka u dijagramu odgovara jednom paru vrednosti:  $Z = f(R, X)$ ). Ovako je podešen relej i treba da se ispita da li pri zadavanju kvarova uređajem za ispitivanje relejne zaštite relej isključuje kako je podešen.

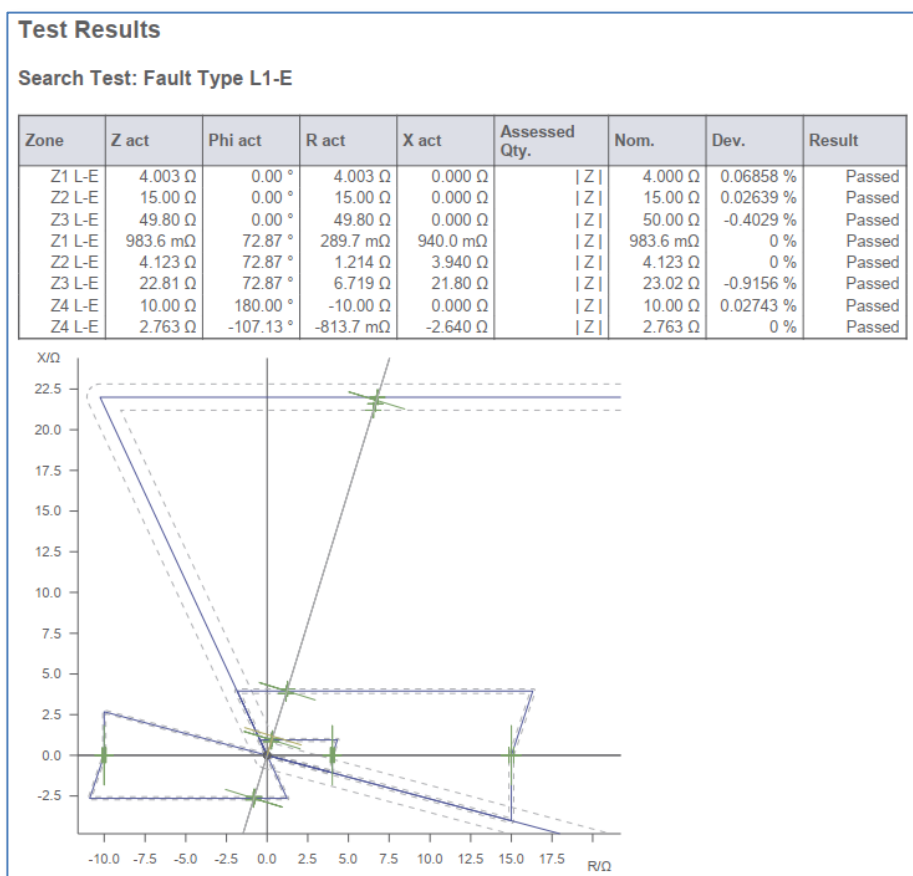
U zavisnosti od tipa kvara i otpornosti, tj. impedanse kvara  $Z$  koja zavisi od dužine do mesta kvara (faza-zemlja, faza-faza, postojanje električnog luka, i dr.) relej će „videti“ u kojoj zoni se kvar nalazi - to trapezi na dijagramu na slici 7 pokazuju. Ovakav tip karakteristike se zove poligonalna karakteristika distantne zaštite i delovaće u skladu sa parametrima (prvu zonu distantna zaštita isključuje odmah - zbog toga je vreme u tabeli jednako nuli, drugu zonu isključuje za 400 ms, a treću zonu za 800 ms; što je kvar dalji dozvoljava se duže vreme isključenja, jer se ostavlja prostor da deluje neka druga distantna zaštita u susednim postrojenjima koja je bliža kvaru). Na kraju je poslednja zona koja će isključiti kvar posle 3,2 s, ali je to rezerva rezerve ako nijedna druga zaštita ne isključi daleki kvar.

Oznaka L-E označava kvar faza-zemlja, a L-L kvar faza-faza.



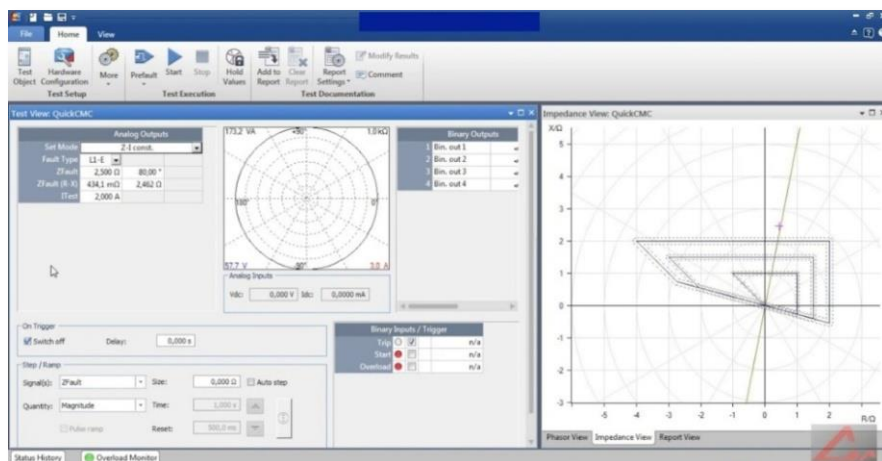
Sl. 7. Podešenje distantne zaštite

Na slici 8 je prikazan rezultat ispitivanja distantne zaštite za tip kvara faza 1 prema zemlji (to bi u našem slučaju bio kvar faze „0“ prema zemlji). Uređaj je u search režimu rada i traži granice između zona distantne zaštite i proverava za koliko vremena zaštita deluje ako je kvar na početku prve zone, granici prve i druge zone, druge i treće zone, itd. Ova vremena se ne vide direktno u ovoj tabeli, ali čim je ispisan naziv „result = passed“ to znači da je vreme delovanja u granicama očekivanog.

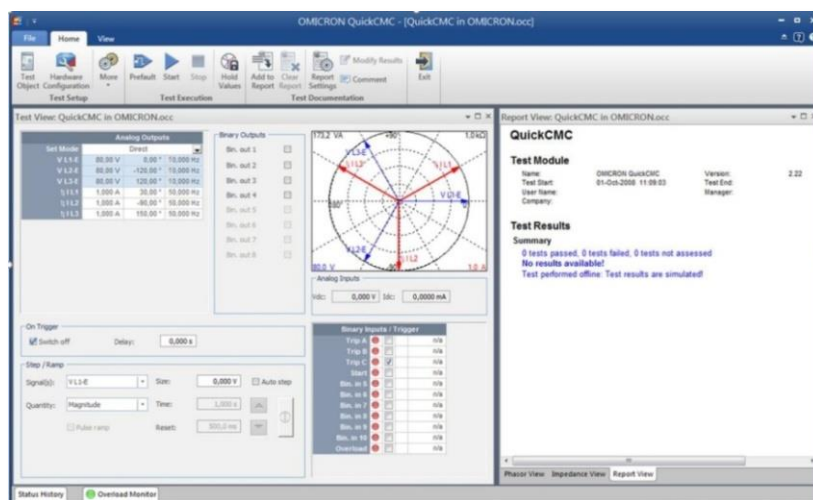


**Sl. 8.** Provera lokatora kvara

Za distantnu zaštitu je važno napomenuti da se za njen rad i delovanje koristi i struja i napon, da bi mogao da se odredi u kojoj je zoni kvar, koliko je daleko, da li se nalazi „ispred“ ili „iza“ zaštite (ukoliko nema napona onda se distantna zaštita blokira) [3,12]. Tokom ispitivanja na računaru se prati kretanje vrednosti, vremena isključenja, kao i karakteristike koje prikazuju rad svake zaštite. Neke od tih karakteristika su prikazane u nastavku (slika 9 i slika 10).

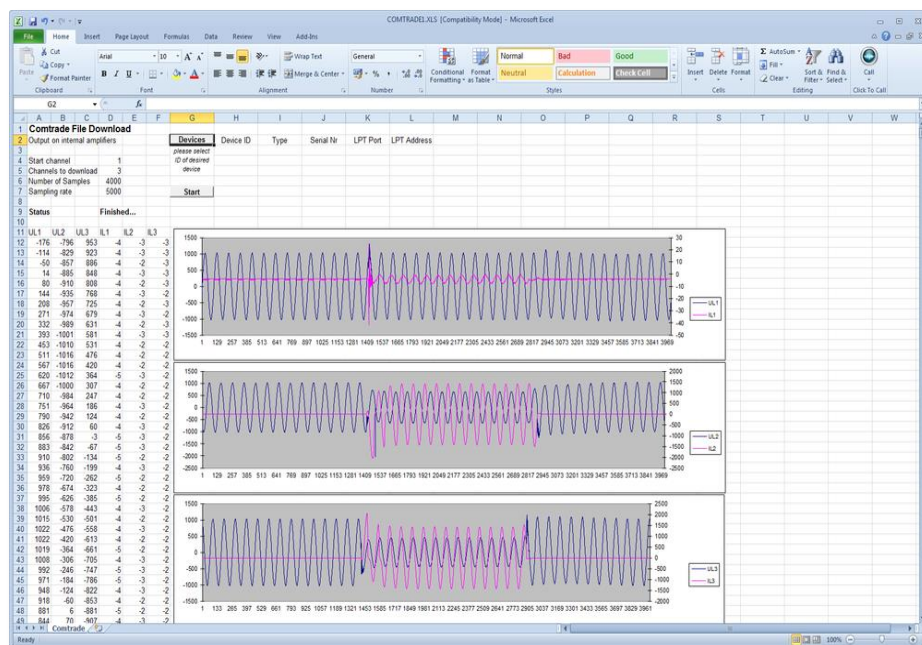


Sl. 9. Ispitivanje distantne zaštite – QuickCMC



Sl. 10. Ispitivanje prekostrujne zaštite - QuickCMC

Na kraju je predstavljena jedna lista kvara, slika 11, gde se može videti šta se dešavalo sa strujama, a šta sa naponima pri dvofaznom kratkom spoju.



SI. 11. Lista kvara

Iz priloženih listi se vidi da zaštita radi u tačno određenim opsezima, ispunjava sve kriterijume, na osnovu čega se može doneti zaključak da relejna zaštita, signalizacija i APU rade ispravno.

## 5. ANALIZA KVARA NA MIKROPROCESORSKOM RELEJU SA KONKRETNIM PRIMEROM DELOVANJA USMERENE ZEMLJOSPOJNE ZAŠTITE NA 10 KV IZVODU „PARUNOVAC 9“ IZ TS „MILOJE ZAKIĆ“

U toku 2020. godine izvršena je modernizacija TS 35/10 kV „Miloje Zakić“ u Kruševcu. Umesto starih i dotrajalih zaštitnih releja elektromehaničkog tipa, ugrađenih još 1964. godine, ugrađeni su mikroprocesorski zaštitni releji tipa SIEMENS Siprotec 7SJ82 i nakon toga trafostanica je uvedena u sistem daljinskog nadzora i upravljanja. Ovom modernizacijom je u velikoj meri povećana pouzdanost rada trafostanice, a samim uvođenjem u sistem daljinskog nadzora i upravljanja skraćena su vremena prekida i lokalizacije kvarova na vodovima 35 i 10 kV. Daljinskim pristupom do nekog od zaštitnih releja ili kao u ovom slučaju, izlaskom na lice mesta i pristupom releju putem prenosnog

računara, moguće je vršiti analize pogonskih događaja uz pomoć softverskog paketa Sigra (Siemens) za analizu kvarova na mikroprocesorskim relejima SIEMENS.

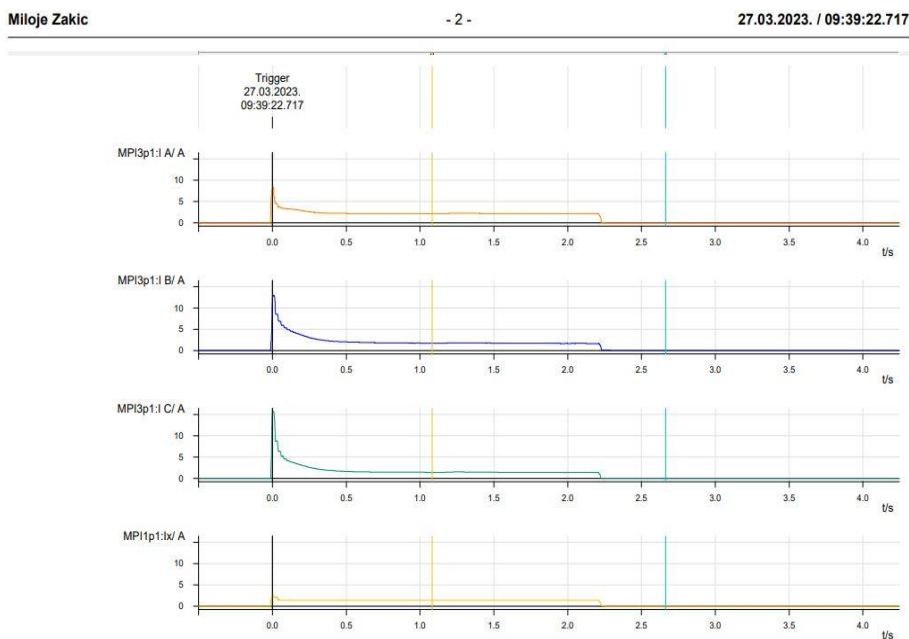
Dana 27.03.2023. godine je reagovala zemljospojna zaštita na jednom od 10 kV izvoda pa je u daljem tekstu obrađena analiza kvara [13]. Na slici 12 je prikazana izvodna ćelija „Parunovac 9“ sa zaštitnim relejom u momentu analize događaja putem prenosnog računara i navedenog softverskog paketa. Kao što se može videti, relej je vrlo lak za korišćenje i ima prikaz jednopolne šeme izvodne ćelije na svom displeju, sa položajima rasklopne opreme i mernim vrednostima.



SI. 12. Izvodna ćelija i zaštitni relej SIEMENS - analiza događaja

Usled nastanka kvara, u ovom slučaju zemljospoja, u jednoj fazi dolazi do poremećaja simetrije u strujama u fazama A, B i C što je prikazano na slici 13. S obzirom da se radi o mreži sa izolovanim zvezdištem, struje kvara nisu velike, već su reda veličine 3-5 A (primarno), pa sa dijagrama struja nije moguće precizno zaključiti u kojoj od faza je došlo do nastanka zemljospoja, ali je na

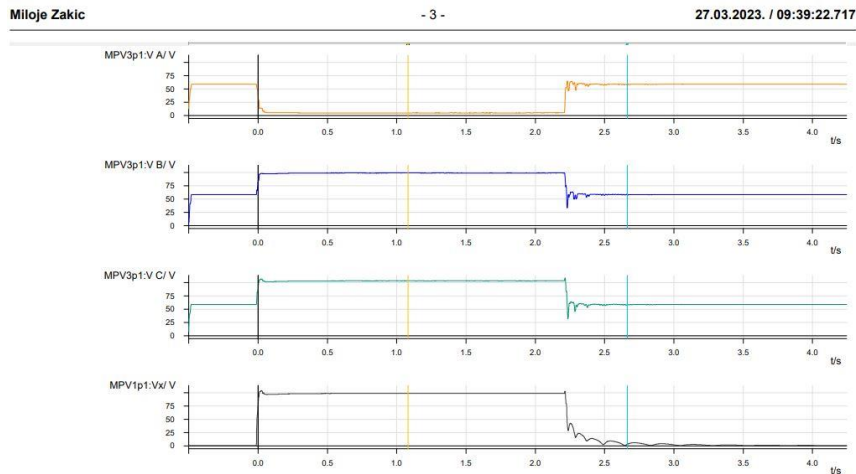
dnu dijagrama evidentna pojava struje  $I_0$ , što jasno govori da je došlo do nastanka zemljospoja.



Sl. 13. Dijagram struja usled kvara

Međutim, analizom dijagrama napona u fazama A, B i C, kao i napona  $U_0$ , slika 14, jasno se zaključuje da je do zemljospoja došlo u fazi A, gde se vrednost napona usled nastanka kvara približila nuli. Za to vreme naponi u fazama B i C su sa vrednosti faznog napona skočile na vrednost međufaznog napona, sve do momenta reagovanja zaštitnog uređaja i isključenja prekidača snage na izvodu koji je pod kvarom. Nakon isključenja prekidača naponi u svim fazama se vraćaju na vrednost faznog napona (6 kV), napon otvorenog trougla  $U_0$  se vraća na vrednost nula.





SI. 14. Dijagram napona usled kvara

## 6. ZAKLJUČAK

U savremeno doba elektroenergetika se sve više bavi unapređivanjem postojećih elemenata elektroenergetskog sistema i problemom njihove zaštite, nadzora i održavanja. S obzirom na to da postoji trend porasta potrošnje, samim tim je i potreba za proizvodnjom električne energije veća. To dovodi do povećane upotrebe mikroprocesorskih zaštita koje mogu u slučaju kvara ili opasnog pogonskog stanja automatski preduzeti sve potrebne mere da se kvar izbegne ili svede na minimum ako je isti već nastao.

Modernizaciju elektroenergetskih objekata ovakvim i sličnim uređajima u današnje vreme mora da prati i „modernizacija“ kadra, odnosno konstatno praćenje novih tehnologija i sprovođenje potrebnih obuka kako bi zaposleni inženjeri i tehničari bili u toku sa podešenjem i održavanjem opreme, a dispečeri i elektromonteri sa upravljanjem novougrađenom opremom. Takođe, modernizacijom elektroenergetskih objekata svih naponskih nivoa na ovaj način, direktno se utiče na smanjenje gubitaka kroz smanjenje neisporučene energije za vreme kvara i povećanja zadovoljstva kupaca. Kada su vodovi štice modernim i pouzdanim mikroprocesorskim relejima, manje je prekida (nema lažnih prorada starih releja), prekidi su kraći, a usled brže i bolje lokalizacije deonice pod kvarom, direktno se utiče.

Na osnovu napred navedenog može se zaključiti da se korišćenjem mikroprocesorskih releja postiže naprednija zaštita koja ima proširene mogućnosti u odnosu na tradicionalne metode, jer omogućava primenu različitih inteligentnih funkcija unutar jednog sistema zaštite.

Pošto su dostupna istraživanja na terenu na ovu temu veoma oskudna, jer se publikovani radovi uglavnom bave teorijskim razmatranjima, u tu svrhu bi u budućim radovima bilo interesantno prikazati i kako je izvršeno podešenje konkretnih zaštita razmatranih u ovom radu. Takođe, u cilju izvršenja koordinacije zaštite, buduća istraživanja bi se mogla usmeriti i na analizi prenosnih, distributivnih i industrijskih mreža primenom nekog od specijalizovanih softverskih paketa (kao što su ETAP ili DIGSILENT).

## LITERATURA

- [1] L. Hewitson, M. Brown, B. Ramesh, Practical Power Systems Protection, Elsevier, IDC Technologies, 2004, ISBN: 0 7506 6397 9.
- [2] D. Bekut, Relejna zaštita, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009, ISBN: 978-86-7892-169-8.
- [3] M. Đurić, Z. Stojanović, Relejna zaštita, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 2021, ISBN: 978-86-7466-893-1.
- [4] D. Brajović, D. Stanić, Ispitivanje mikroprocesorske relejne zaštite u trafostanici 35/10 kV/kV „POŽAREVAC 4“, Studijski istraživački rad, Fakultet tehničkih nauka, Čačak, 2021.
- [5] V. Gurevich, Power Supply Devices and Systems of Relay Protection, Taylor & Francis Group - LLC, 2014, ISBN: 978-1-4665-8379-5.
- [6] M. Đurić, Visokonaponska postrojenja, Beopres štampa, Beograd, 2009.
- [7] M. Đurić, Z. Stojanović, Relejna zaštita, KIZ Centar, Beograd, 2014, ISBN: 978-86-81287-68-2.
- [8] T. Rajić, Z. Stojanović, Poduzna diferencijalna zaštita vodova sa primenom automatskog ponovnog uključanja, INFOTEH, Jahorina, Vol. 14, mart 2015, str. 180-185.
- [9] Omicron Testing Solutions for Protection and Measurement Systems Product Catalog,  
[https://www.supremetechnology.com.au/MainImages/Product\\_Manuals/OMICRON\\_CMx\\_Standard\\_Accessories\\_Datasheet.pdf](https://www.supremetechnology.com.au/MainImages/Product_Manuals/OMICRON_CMx_Standard_Accessories_Datasheet.pdf)
- [10] R. Radetić, Priručnik za održavanje visokonaponske opreme, Bor, 2017, ISBN: 978-86-80134-50-5.
- [11] Plan podešenja zaštita JP EMS od 12.01.2023.
- [12] S. Bjelić, N. Marković, Tehnika relejne zaštite, Visoka tehnička škola strukovnih studija iz Uroševca sa privremenim sedištem u Leposaviću, Kvarak, Kraljevo, 2017, ISBN: 978-86-86847-23-2.
- [13] Elektrodistribucija Srbije, Izveštaji o ispitivanju zaštite u TS Kruševac 4, polje E3 (1158B) od 21.03.2023.