

Marijan Topolovec
HEP ODS
Marijan.Topolovec@hep.hr

Vide Marković
HEP ODS, Elektra Zagreb
Vide.markovic@hep.hr

Ivan Galić
HEP ODS, Elektra Zagreb
Ivan.Galic3@hep.hr

ZNAČAJ REKONSTRUKCIJE TS 110/20KV 4TS27 RAKITJE S PRELASKOM NA REZONANTNO UZEMLJENJE NEUTRALNE TOČKE PRIPADNIH ENERGETSKIH TRANSFORMATORA ZA NAPOJNU DISTRIBUCIJSKU MREŽU

SAŽETAK

Rad opisuje postupak rekonstrukcije 110/20kV postrojenja 4TS27 Rakitje te fokus stavlja na napretke i poboljšanja u napojnoj 20kV mreži Terenske jedinice Samobor (DP Zagreb).

Rekonstrukcija je obuhvatila proširenje 20kV postrojenja KSMA 24 blokovima, nove zaštitne releje, izmještanje energetskih transformatora na drugu poziciju, ugradnju dviju Petersenovih prigušnica snage 3,2 MVar odnosno 5 MVar, te uređenje objekta postrojenja.

Kako je sama rekonstrukcija trajala dulji vremenski period, bilo je potrebno izvršiti pripremne radnje u smislu provizorija, za nesmetan i siguran pogon napojne 20 kV mreže.

Ključne riječi: Rekonstrukcija, provizorij, distribucijska mreža, relejna zaštita.

THE SIGNIFICANCE OF THE RECONSTRUCTION OF TS 110/20KV 4TS27 RAKITJE WITH THE TRANSITION TO RESONANT GROUNDING OF THE NEUTRAL POINT OF THE RELATED ENERGY TRANSFORMERS FOR THE POWER DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

The paper describes the reconstruction process of the 110/20kV plant 4TS27 Rakitje and focuses on progress and improvements in the 20kV supply network of the Field Unit Samobor (DP Zagreb).

The reconstruction included the expansion of the 20kV KSMA plant with 24 blocks, new protective relays, the relocation of power transformers to another position, the installation of two Petersen reactors with a power of 3.2 MVar and 5 MVar, respectively, and the arrangement of the plant facility.

As the reconstruction itself lasted for a longer period of time, it was necessary to carry out preparatory actions in terms of provisional measures, for the smooth and safe operation of the 20 kV supply network.

Key words: Reconstruction, provisional, distribution network, relay protection

1. UVOD

1.1. Terenska jedinica Samobor

Terenska jedinica Samobor pripada distribucijskom području Zagreb, a ukupno napaja 27.111 korisnika mreže putem dvije 110/20 kV transformatorske stanice i 349 transformatorskih stanica 20/0,4 kV. Rasplet 20kV distributivne mreže značajno je drugačiji od onog u gradu Zagrebu zbog geografske raznolikosti terena, odnosno kombinacije urbanog i ruralnog područja terenske jedinice.

Aktivnosti na prelasku sa 10 kV na 20 kV naponsku razinu dovršene su 2016. godine. 20 kV distributivna mreža ima ukupno 293,73 km vodova kabelskog tipa i 96,62 km zračnog tipa. Kabelski vodovi većinom napajaju urbani dio grada Samobora i Svete Nedelje, dok se nadzemni vodovi prostiru po obroncima Samoborskog i Žumberačkog gorja. Rasplet 20kV mreže je velikim dijelom prstenast sa pretežno kabelskim vodovima (SN izvodi spojeni su u rasklopnom mjestu pri čemu predstavljaju rezervu jedan drugome) što je karakteristično za urbani dio terenske jedinice, a dijelom radijalan sa većinom nadzemnim vodovima (SN izvodi izlaze radijalno iz trafostanice i nisu međusobno povezani) što je karakteristično za ruralni dio terenske jedinice.

1.2. Priprema i pogon mreže tokom provizornog napajanja

Kao priprema mreže za dulji period rekonstrukcije bez N-1 kriterija tehničke sigurnosti na 110kV naponskoj razini izvršeno je prespajanje dva 20kV vodova tipa XHE 49-A 3x(1x185/25) u dubini mreže i promijenjen raspored 20kV vodova po sabirnicama u 4TS27 Rakitje, čime se omogućilo prespajanje cijelog 20kV omrežja 4TS27 Rakitje na postrojenje 4TS17 Podsused (2x 40MVA) smješteno u Sjedištu DP-a Zagreb.

Time je postignut kriterij tehničke sigurnosti (N-1) na 20kV.

Također, bilo je potrebno osigurati provizorno napajanje 110kV pa se en. transformator –T2 premjestio na svoju konačnu poziciju i napojio preko 110 kV voda iz 4TS 102 Samobor (direktna veza, blok spoj), gdje se nalazio i 110 kV prekidač a prijenos signala zaštite omogućen je bio preko optičkog kabela i uređaja DZ9.

U slijedećim etapama premješten je i en. transformator –T1 i uspostavljene su provizorne veze okolnih 110 kV vodova i tako su stvoreni uvjeti za demontažu 110 kV postrojenja i daljnu rekonstrukciju građevinskog i električnog dijela 110 kV postrojenja. Nakon završenih građevinskih i elektromontažnih radova na 110 kV postrojenju en. transformatori –T1 i –T2 spojeni su na nove 110 kV sabirnice i pušteni u pogon svaki sa svojeg polja.

2. REKONSTRUKCIJA POSTROJENJA

2.1. Nadležnost HOPS-a

Rekonstrukcija postrojenja u nadležnosti HOPS-a u TS 110/20kV Rakitje obuhvatila je zamjenu kompletne primarne i sekundarne opreme, zajedno sa pomoćnim sustavima u 18 polja 110 kV, izgrađene su nove 110 kV sabirnice, relejne kućice i prometnice u postrojenju, a 110 kV postrojenje uvedeno je u sustav daljinskog vođenja HOPS-a. Osim toga izgrađena je nova zgrada za potrebe specijalističkih odjela PrP-a Zagreb i izvršena je adaptacija postojeće pogonske zgrade.

2.2. Obuhvat rekonstrukcije primarnih elemenata postrojenja ODS-a

Nakon značajnih građevinskih radova unutar 20 kV postrojenja zatvaranjem otvora između dvije etaže pristupilo se zamjeni primarne i sekundarne opreme. Nekadašnje 30/10 kV postrojenje transformirano je u postrojenje s dvije etaže. 20 kV rasklopní blokovi nalaze se u prizemlju a upravljačka prostorija s računalom, ormarima zaštite, video nadzorom te AC i DC razvodom na katu. Prvi 20 kV blokovi plinom SF6 izolirani sklopni moduli tip KSMA-24 "Končar AP" (=J1 do =J26) pušteni su u pogon

2003. g. a nakon građevinske prilagodbe zgrade 2020. g. ugradili su se i pustili u pogon ostatak 20 kV postrojenja (=J27 do =J48).

U sklopu rekonstrukcije 110 kV postrojenja koje je počelo 2021. g. premješteni su energetski transformatori s pozicije stražnje strane 110 kV postrojenja na poziciju kod samog ulaza u postrojenje. Time su napravljeni novi temelji za transformatore, prigušnice i maloohmske otpornike, sabirne uljne jame i novi kabelski kanal do zgrade 20 kV postrojenja HEP ODS-a. Izvršena je zamjena svih NN signalnih i upravljačkih kabela kao i srednjenaponskih priključnih kabela i odvodnika prenapona u oba transformatorska kabelska priključka. Spoj srednjenaponskih kabela na sekundar transformatora izveden je preko novo izgrađene čelične konstrukcije. Između en. transformatora smješten je vatrootporni zid.

Zvezdište srednjenaponske mreže 20 kV bilo je uzemljeno preko maloohmskih otpornika. Nakon ove rekonstrukcije uzemljeno je preko malohomskog otpornika za ograničavanje struje kratkog spoja na 300 A / 5s i u paraleli s njim dodane su automatske prigušnice za kompenzaciju struje kvara nazivne snage 3,2 MVar (kasnije zamijenjenih za 5MVar) smještenih s svake strane en. transformatora kao i jednopolne rastavne sklopke za svaku prigušnicu i otpornik.

Zamjena sekundarne oprema započela je s ugradnjom novih ormara zaštite (+U2) en. transformatora –T1 i –T2 u nadležnosti HEP ODS-a, čime se zamijenila stara mehanička relejna zaštita u sklopu postrojenja HOPS-a. Ormari zaštite (+U1) s HOPS-ove strane naknadno su ugrađeni tijekom rekonstrukcije 110 kV postrojenja i time je kompletno završena zamjena relejne zaštite en. transformatora. Uz ormare zaštite ugrađen je novi ormar daljinskog vođenja (+XO) i ormar izmjenjivača i DC/DC pretvarača (=N+NY1). Na samom kraju ugrađen je novi DC razvod 110 V i akumulatorska baterija za potrebe HEP ODS-a, dok AC razvod nije mijenjan jer postojeći razvod koji je pripao ODS-u od HOPS-bio je novijeg datuma. Postavljeno je novo računalo s SCADA sustavom kaje je povezano s opremom preko ethernet preklopnika (protokol IEC 61850).



Slika1.: Izgled 110kV rasklopnog postrojenja nakon rekonstrukcije

2.3. OBUHVAT REKOSTRUKCIJE SEKUNDARNIH ELEMENATA POSTROJENA

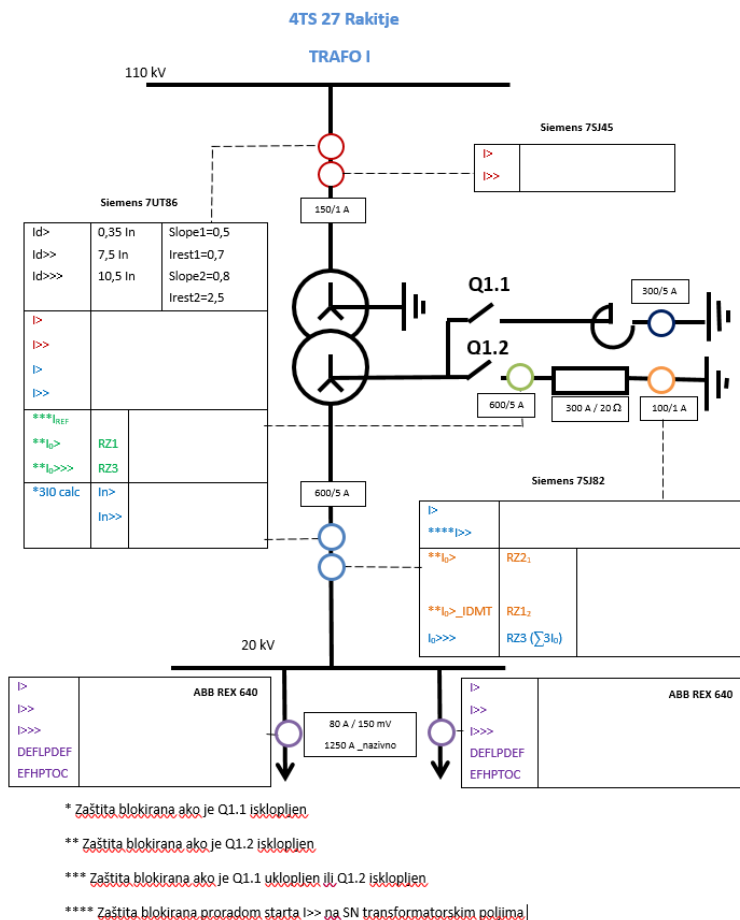
2.3.1. Zaštita 110kV

Sustav relejne zaštite transformatorskih polja na 110kV dijelu postrojenja u nadležnosti HEP ODS-a ugrađen u ormar sekundarne opreme sastoji se od više različitih multifunkcionalnih zaštitnih releja:

- Diferencijalni relej SIPROTEC 7UT86
- Nadstrujni relej SIPROTEC 7SJ82
- Nadstrujni relej sa neovisnim napajanjem Siemens 7SJ45
- Relej za regulaciju napona REG-D
- Relej za regulaciju induktiviteta prigušnice REG-DP

Elektronički uređaji za relejnu zaštitu osim klasičnih višestupanjskih diferencijalnih i nadstrujnih zaštita imaju još i slijedeće funkcije:

- Signalizacija primarnih zaštita transformatora, regulacijske sklopke i prigušnice
- Signalizacija stanja sklopnih aparata
- Signalizacija strujnih i naponskih mjerenja te ostalih potrebnih informacija prema SCADA-i
- Daljinsko upravljanje sklopnim aparatima
- Daljinsko upravljanje regulacijskom sklopkom i regulatorom induktiviteta prigušnice
- Ostale napredne funkcije



Slika 2.: Shema sustava relejne zaštite zajedno sa strujnim mjernim transformatorima i aparatima

2.3.2. Strujni i naponski mjerni transformatori u SN dijelu postrojenja

U sredjenaponskom dijelu postrojenja 4TS27 Rakitje ugrađeni su senzorski strujni mjerni transformatori tipa KECA 80 D85 i naponski mjerni transformatori tipa KEVA 24 C23, kao što je prikazano na slikama 3 i 4.. Uz to u vodnim poljima ugrađeni su dodatno i klasični strujni obuhvatni transformatori tipa SMT – 0,72 nazivne snage 1,25 VA i prijenosnog omjera 100/1 ili 200/1 ovisno o karakteristikama šticeenog objekta. Dodatno su provedeni i naponi otvorenog trokuta do analognih ulaza terminala polja tako da su na zaštitnim relejima ostvareni svi preduvjeti za korištenje mjerenih i kalkuliranih vrijednosti mjernih veličina napona i struje.

Ugrađeni senzorski strujni i naponski mjerni transformatori temelje se na principu Rogowski svitka gdje se za razliku od konvencionalnih transformatora eliminira feromagnetska jezgra i samim time rješava problem zasićenja jezgre. Izlazni signal je naponska veličina izražena u mV. Veza prema terminalu polja sastoji se od spojnih BNC konektora I RJ45 konektora , za što su u konačnici na releju potrebna samo 3 kombinirana RJ45 ulaza.



Slika 3.: Senzori u 20kV polju transformatora



Slika 4.: Senzori u 20kV vodnom polju

Odabirom ovakvog rješenja kao najveće prednosti su se pokazali:

- brza i jednostavna ugradnja
- visoka preciznost i točnost mjerenja
- fleksibilnost svitka prilagodljivog različitim debljinama šticeenog kabela
- male dimenzije i mala težina
- povećana sigurnost zbog malih vrijednosti izlaznog napona
- eliminacija većeg broja nepotrebnih spojnih kablova prema ormaru sekundarne opreme

Kao rezerva provedeni su i naponi otvorenog trokuta po SN postrojenju. Na Spojnim poljima ugrađeni su pomoćni releji za proslijeđivanje napona otvorenog trokuta na drugi dio postrojenja u ovisnosti o uklopnim stanjima tropoložajnih sklopki i prekidača u transformatorskim poljima.

2.3.3. Terminal polja REX640

U transformatorskim i vodnim poljima SN dijela postrojenja ugrađeni su ABB releji tipa REX640. Uz naponske i strujne RJ45 ulaze postoje još i klasični ulazi za napon otvorenog trokuta i struju sa obuhvatnog strujnog mjernog transformatora. Sa 23 binarna ulaza te 26 binarnih izlaza pokriva sve tehničke zahtjeve projekta rekonstrukcije SN postrojenja [1].

Komunikacija prema staničnom računalu ostvarena je preko IEC 61850 protokola. Uz to omogućena je i horizontalna komunikacija između releja preko GOOSE protokola.

7 inčni zaslon na dodir olakšava upravljanje relejem, pojednostavljuje promjenu parametara zaštite, te zorno prikazuje stanje svih relevantnih podataka štićenog objekta. Na slici 5 prikazan je ekran releja REX640 montiran na vrata poslužnog ormarića vodnog polja.

Funkcije omogućene na zaštitnom releju su slijedeće:

- isklon prekidača proradom aktiviranih zaštitnih funkcija
- signalizacija prorade određenog stupnja zaštite, stanja položaja sklopnih aparata, ostala signalizacija
- prikaz i slanje podataka o fazorima mjerenih veličina struje i napona
- daljinsko upravljanje sklopnim uređajima kao i funkcijski uvjetovano djelovanje na isklon prekidača
- pristupanje zapisima strujnih i naponskih prilika za vrijeme kvarova

Aktivirane zaštitne funkcije na relejima kabelaških vodnih polja su 3 stupnja nadstrujne zaštite, zemljospojna neusmjerena zaštita, zemljospojna usmjerena zaštita te nova multifrekventna admitancijska zaštita.



Slika 5.: Zaštitni relej vodnog polja 20kv, ABB RX640

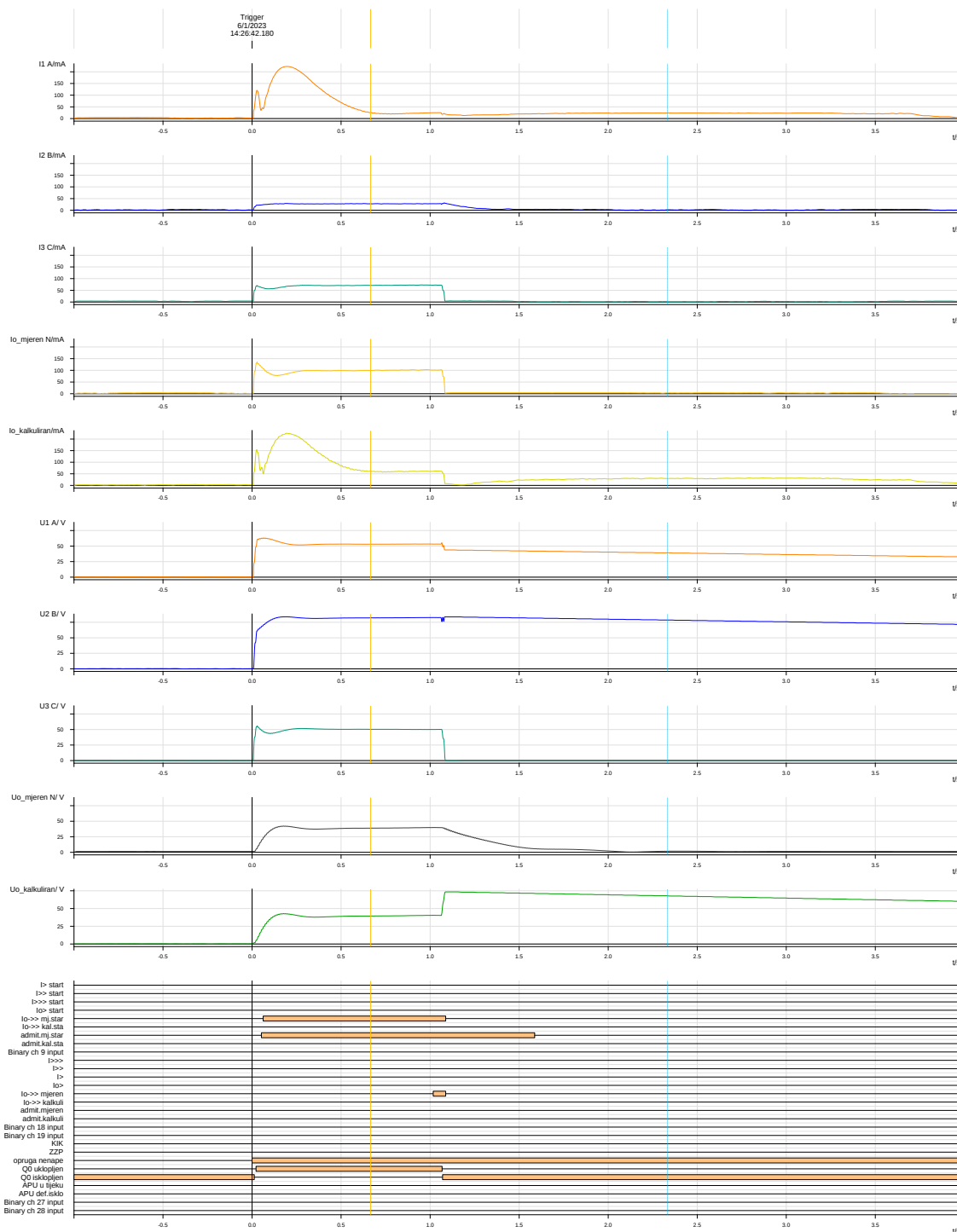
2.3.4. Multifrekventna admitancijska zaštita MFADPSDE

Multifrekventna admitancijska zaštita (MFADPSDE) je posebno dizajnirana funkcija relejne zaštite bazirana na principu mjerenja viših harmonika mjernih veličina struje i napona te primjene CPS (Cumulative Phasor Summing) algoritma [2].

Ovakvom metodom se poboljšava detekcija jednopolnih kratkih spojeva preko velikih otpora kao i ponavljajućih jednopolnih kratkih spojeva osobito u rezonantno uzemljenim mrežama. Kvalitetno postavljena zaštita ovog tipa pokazuje se dobrim rješenjem čak i u situacijama kada je nultočka transformatora izolirana.

Uz ostale aktivirane zaštite na relejima, multifrekventna admitancijska zaštita pruža dodatnu sigurnost kod otkrivanja kvarova u ovakvim mrežama.

Na slici 6 prikazan je jedan od zapisa kvara uzrokovanog jednopolnim kratkim spojem u dubini mreže zabilježenog u zaštitnom releju REX 640. Zabilježeni su zapisi strujnih i naponskih uvjeta po fazama te kalkilirane i mjerene vrijednosti nultih napona i struja. Uz to vidljivi su startevi zaštita od jednopolnog kratkog spoja (DEFLPDEF i MFADPSDE) gdje je algoritam multifrekventne admitancijske zaštite brže prepoznao kvar i pravovremeno ga otklonio djelovanjem na isklon prekidača.



Slika 6.: Zapis kvara uzrokovanog jednopolnim kratkim spojem u dubini mreže

4. ZAKLJUČAK

Zajednička rekostrukcija HOPS-a i ODS-a donijela je brojne novitete i poboljšanja u postrojenju TS110/20kV Rakitje. Sva poboljšanja rađena su kako bi dobili mogućnost bržeg i sigurnijeg upravljanje te kako bi krajnjim korisnicima mreže omogućili što kvalitetniju uslugu.

Povećanjem broja 20kV polja omogućen je prihvrat novih korisnika mreže i napravljena priprema za odziv na širenje poslovnih zona Samobora i Svete Nedelje.

Pozitivna iskustva sa Petersenovom prigušnicom u trafostanici TS110/20kV Samobor rezultirala su njezinom ugradnjom i u TS110/20kV Rakitje, što će svakako imati pozitivnog učinka na učestale prolazne kvarove 20kV omrežja.

5. LITERATURA

- [1] ABB, "REX 640 Technical manual", <https://techdoc.relays.protection-control.abb/r/REX640-Technical-Manual/PCL4/en-US/REX640-Technical-Manual>, [Accessed: Feb-2025]
- [2] A.Wahlroos, J.Altonen , "Application of novel multi-frequency neutral admittance method into earth-fault protection in compensated MV-networks", 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014)
- [3] Marijan Topolovec, "UTJECAJ KRATKOTRAJNIH PREKIDA NAPAJANJA NA POUZDANOST NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM", HO CIRED, 7.(13.) savjetovanje, Šibenik, 17.-20.svibnja 2020.
- [4] Interne fotografije radnika HEP ODS-a.
- [5] Interne fotografije radnika HOPS-a.