

Dr.sc. Domagoj Peharda, dipl.ing.
Končar-Inženjering za energetiku i transport d.d.
domagoj.peharda@koncar-ket.hr

Tomislav Stupić, dipl.ing.
Končar-Inženjering za energetiku i transport d.d.
tomislav.stupic@koncar-ket.hr

IMPLEMENTACIJA NAPREDNIH PRORAČUNA ELEKTROENERGETSKE MREŽE U DCV ELEKTRA ZAGREB I ELEKTROSLAVONIJA OSIJEK

SAŽETAK

Nadogradnjom SCADA/DMS sustava Network Manager s verzije 2.3 na verziju 6.4 proširene su funkcionalnosti DMS sustava. Svi proračuni DMS-a prošireni su s novim funkcijama. Funkcija prilagodbe opterećenja sada ima mogućnost za WLS estimaciju stanja kakva postoji u sustavima za vođenje prijenosnih mreža. Funkcija tokova snaga je proširena s naprednim mogućnostima za rad generatora, te su napravljena poboljšanja u načinu rukovanja i izvještavanju. Dodana je funkcionalnost snimanja slučajeva s vrlo intuitivnim korisničkim sučeljem. Funkcija dinamičkog bojanja mreže povezana je s DMS proračunima tako da je sada moguće prikazivati observabilna područja, bojanje opterećenja te bojanja otvorenih grana. Dodana je funkcija dinamičkog bojanja kontura gdje se bojom na zemljopisnoj karti prikazuju područja visokog ili niskog napona u odnosu na nominalne vrijednosti.

Ključne riječi: SCADA, DMS, estimator, tokovi snaga, kratki spoj.

IMPLEMENTATION OF ADVANCED DMS POWER SYSTEM CALCULATIONS IN DSO ELEKTRA ZAGREB AND DSO ELEKTROSLAVONIJA OSIJEK

SUMMARY

DMS system functionality is enhanced by upgrade of the Network Manager SCADA/DMS system from version 2.3 to version 6.4. All DMS calculations are improved with new functionalities. The load calibration function added the WLS state estimator which is standard in transmission networks. Load flow function added advanced generator modelling capabilities and improvement in handling and reporting. Save case functionality is added and has a very intuitive interface. Dynamic network coloring is connected with DMS calculations enabling observable area coloring, load coloring and end branch coloring. New functionality, dynamic contour coloring function, can color areas with high and low voltage in reference to the nominal values.

Key words: SCADA, DMS, estimator, power flow, short circuit.

1. UVOD

Nadogradnjom SCADA/DMS sustava u distribucijskim centrima vođenja Elektra Zagreb i Elektroslavonija Osijek s Network Manager (NM) verzije 2.3 na verziju 6.4 pored nadogradnje SCADA sustava i funkcija, nadograđene su i proširene funkcionalnosti DMS sustava koji se koristi za izvođenje proračuna i energetske analize distribucijske elektroenergetske mreže u stvarnom i studijskom vremenu. Proces nadogradnje NM sustava uključivao je migraciju postojećeg SCADA/DMS modela mreže sa starog na novi NM sustav. Migrirani model mreže sa svim podacima o elementima distribucijske mreže pojedinog distribucijskog područja ispravno se koristi u radu naprednih DMS proračuna novog NM sustava. Novi NM DMS 6.4 sustav uključuje funkcionalnost DMS proračuna starog NM 2.3 sustava s poboljšanim funkcionalnostima, te novim funkcionalnostima DMS proračuna NM 6.4 sustava koje će biti navedene i opisane u ovom radu.

2. NOVE FUNKCIONALNOSTI PRORAČUNA

2.1. Funkcija prilagodbe opterećenja / estimacije stanja

DMS funkcija prilagodbe opterećenja osnova je za sve ostale energetske analize distribucijske elektroenergetske mreže NM sustava. Ova DMS funkcija u osnovi svog rada zadužena je za energetske uravnoteženje distribucijskog elektroenergetskog sustava kako bi on bio realno postavljen za potrebe ostalih DMS proračuna. Kao ulazni podaci DMS funkcije prilagodbe opterećenja koristi se statički model mreže s energetskim podacima o svim elementima mreže te snimak trenutnih mjerenja i stanja indikacija iz SCADA sustava. Nad ulaznim skupom podataka funkcija prilagodbe opterećenja radi proračun stanja mreže (estimacija stanja), ispravlja kriva mjerenja te nadomješta podatke koji nisu unijeti ili koji su unijeti krivo od strane korisnika. Rezultat funkcije je najvjerojatnije energetske stanje mreže s izračunatim vrijednostima napona i kutova za sva čvorišta mreže odnosno tokova snaga nad granama mreže.

Funkcija prilagodbe opterećenja u NM DMS verziji 6.4 pored standardnih podfunkcija iz NM verzije 2.3 sadrži i novu podfunkciju za procjenu stanja distribucijske mreže (*eng. State estimator*) koja određuje iznose napona i kuta za svaki čvor u mreži na temelju ulaznog seta mjerenja tokova snaga na granama, iznosa opterećenja na teretima, iznosa proizvodnje u generatorima ili spojevima s prijenosnom ili drugim distribucijskim mrežama, te iznosa mjerenih napona na sabirnicama. Ova podfunkcija je primjenjiva nad radijalnim i uzamčanim distribucijskim mrežama te daje rješenja za slučaj nezgodnog i neobzervabilnog dijela mreže te nema ograničenja u pogledu topologije mreže, veličine mreže i naponskih nivoa. Podfunkcija estimacije stanja sadrži funkcionalnost detekcije neispravnih mjerenja koja su dio ulaznog skupa podataka te izbacivanje istih iz proračuna ukoliko ista uvelike odstupaju od procijenjenih vrijednosti odnosno njihovu zamjenu s pseudo izračunatim mjerenjima.

Funkcija prilagodbe opterećenja izvršava se slijedno aktivacijom uključenih, slijedećih podfunkcija:

1. Statička kalibracija tereta.

Ova podfunkcija računa osnovnu vrijednost radne i jalove snage na teretima za kasnije korištenje od strane podfunkcije Topološke kalibracije tereta. Podfunkcija koristi statičke informacije kao što su profili tereta, broj korisnika u pojedinom teretu, tipične vrijednosti tereta po sezonama i tipske vrijednosti tereta.

2. Izračun električne topologije mreže.

Ova podfunkcija gradi električnu topologiju mreže prema statusima prekidača, rezultat izračuna je node-branch model mreže koji se kasnije koristi u iterativnim proračunima.

3. Identifikacija grubih grešaka (Plausability Check).

Ova podfunkcija identificira nenormalna mjerenja. Mjerenja koja ulaze u jedno električno čvorište provjeravaju se prema Kirchoffovom zakonu, detektiraju se neprirodni gubici na granama kod mjerenja s obje strane grana. Naponska mjerenja su provjerena u odnosu na naponsko stanje mreže (stanje pod naponom ili bez napona), te u ovisnosti o naponskom nivou (raspon u per unit).

4. Proračun observabilnog dijela mreže i identifikacija pogrešnih mjerenja.

U ovom se koraku izračunava estimacija stanja na observabilnom dijelu mreže. Koristi se proračun observabilnosti i WLS proračun estimacije stanje. Proračun estimacije stanja daje popis pogrešnih mjerenja (suppressed measurements).

5. Topološka kalibracija tereta.

Ova podfunkcija izračunava pseudo mjerenja za radnu i jalovu snagu nemjerenih tereta u neobservabilnoj mreži. Uzima u obzir trenutnu topologiju (koji su tereti pod naponom), rezultate statičke kalibracije tereta, rezultate na rubnim čvorištima observabilnog dijela mreže (border nodes), mjerenja radne i jalove snage. Također koristi mjerenja injekcije struje i vodova, te osnovni faktor snage.

6. Ukupno rješenje.

Zadnji korak u kojem se izračunava zajedničko rješenje observabilnog i neobservabilnog dijela mreže. Spajaju se rezultati topološke kalibracije tereta i observabilnog dijela mreže te se generira ukupno rješenje za cijeli model. U postupku objedinjavanja rješenja također se koristi WLS algoritam za minimizaciju greške.

7. Presentacija rezultata na jednodopolnim shemama i DMS izvještajima.

Funkcija prilagodbe opterećenja predaje podatke o observabilnom dijelu mreže u funkciju dinamičkog bojanja mreže. Observabilan dio mreže je onaj dio mreže za koji postoji dovoljno mjerenja iz SCADA sustava da je moguće izračunati iznos i kut napona na čvorištu, te da su za observabilne grane oba krajnja čvorišta observabilna. Konačni rezultati proračuna prilagodbe opterećenja prikazuju se na jednodopolnim i mrežnim shemama na ekranskim prikazima NM sustava te na DMS izvještajima. Dodatno, rezultati ove funkcije koriste se kao ulazni podaci ostalih DMS funkcija.

2.2. Funkcija tokova snaga

Ova DMS funkcija koristi izlazne rezultate funkcije opisan u prethodnom poglavlju kao ulazne vrijednosti i izvršava se isključivo u sprezi s tom funkcijom. Rezultati proračuna tokova snaga se mogu pregledati kroz datoteke DMS izvještaja, na jednodopolnim i mrežnim ekranskim prikazima elektroenergetske mreže ili u "prozoru rezultata proračuna" na prikazanom elementu mreže uz zahtjev korisnika. Funkcija proračuna tokova snaga izvršava se u realnom vremenu ili u modu planiranja.

U modu planiranja je moguće u poseban memorijski prostor (baza podataka za učenje) učitati kompletno stanje mreže sa svim vrijednostima parametara i izračunatim prilagođenim teretima. U modu realnog vremena promjenom topologije automatski se pokreće prilagodba opterećenja i proračun tokova snaga kako bi se energetske vrijednosti uskladile s novo nastalim stanjem. U moda planiranja jednom definirani tereti u realnom vremenu koriste se kao fiksne vrijednosti i promjenom uklopnih stanja ili mjerenja pokrećemo proračune tokova snaga i dobivamo uvid u moguće situacije u mreži, strujno-naponske prilike, te na osnovu tih rezultata obavimo i proračune kratkog spoja i slično.

Rezultati proračuna funkcije tokova snaga uspoređuju se s predefiniranim graničnim vrijednostima energetskih elemenata. Ukoliko je nakon izvršenja proračuna otkriveno prekoračenje zadanih ograničenja, generira se alarm. Svi alarmi i prekoračenja su prikazani na jednostavan i lako razumljiv način. Sve grane koje su preopterećene i svi čvorovi mreže za koje su prekoračena naponska ograničenja su, na ekranskom prikazu odabrane jednodopolne sheme mreže, naglašeni i označeni posebnom bojom. Operater ima mogućnost da, po vlastitoj želji, određeni skup rezultata proračuna pohrani za kasnije proučavanje.

Proračun toka snaga može biti izvršen za:

- jedan napojni vod, za grupu napojnih vodova ili proizvoljno određenu izoliranu mrežu,
- radijalno ili mrežasto konfiguriran dio ili cijelu distribucijsku mrežu.

Odabir planirane situacije za proračun tokova snaga u studijskom modu zahtijeva minimalno učešće operatera. Prije početka proračuna operater određuje početnu situaciju u mreži. Početna situacija u mreži može biti trenutno stanje mreže ili prijašnje spremljeno stanje mreže. Ukoliko operater nije u potpunosti zadovoljan početnom situacijom, može unijeti novu situaciju i promijeniti postojeće podatke (npr. stanje pojedinih elemenata u mreži) te nakon toga napraviti proračun tokova snaga.

U DMS sustavu implementirane su pogonske krivulje generatora u svrhu kontroliranja njihovih ograničenja u odnosu na izračunate vrijednosti radne i jalove snage. Ukoliko je proračunata vrijednost

prekoračila ograničenja tada se čvorište s konstantnim naponom pretvara u čvorište s konstantnim teretom s prilagođenom jalovom snagom na granici ograničenja.

U svrhu računanja položaja regulacijskih preklopki za transformatore koji imaju automatsku regulaciju napona i regulacijsku prigušnicu i kondenzatorsku bateriju koristi se poboljšani LFC algoritam s vanjskom petljom proračuna tokova snaga. U vanjskoj se petlji iterativno proračunavaju novi položaji preklopke i nova uklopna stanja regulacijskih prigušnica i kondenzatorskih baterija. Vanjska petlja se zaustavlja ukoliko su dosegnuti podešeni naponi ili ako je dosegnut maksimalan broj iteracija. Poboljšanje LFC algoritma se sastoji u tome da se regulacijska točka u kojoj se promatra postavna vrijednost reguliranog napona uvijek tretira kao udaljena točka, te nije potrebno ručno razlikovati lokalnu i udaljenu sabirnicu.

Proračun tokova snaga šalje opterećenja tereta u funkciju dinamičko bojanje mreže u svrhu bojanja tereta prema omjeru izračunatog opterećenja i maksimalnog opterećenja.

2.3. Snimanje slučajeva

Nakon svakog automatskog ili ručnog pokretanja DMS funkcija radi se snimanje spremljenog slučaja sa svim ulaznim i izlaznim rezultatima proračuna DMS funkcija koji se kasnije može koristiti za naknadne analize distribucijske mreže u studijskoj bazi podataka. Preko korisničkog sučelja korisnik može konfigurirati pokretanje funkcije snimanja slučajeva na željeni način, na primjer da se spremaju podaci svakih 5, 15 ili više minuta te da se pohranjuju na predefinirana mjesta na SCADA/DMS poslužiteljima. Također, preko istog korisničkog sučelja korisnik može restaurirati željeni skup podataka u studijskoj bazi podataka te raditi daljnje analize i proračune tokova snaga ili kratkih spojeva.

2.4. Funkcija kratkog spoja

Funkcija proračuna kratkog spoja u automatskom modu rada radi proračun trolnih kratkih spojeva nad cijelim modelom mreže prema IEC 60909 standardu. Pored automatskog rada funkciju je moguće pokrenuti i na ručni zahtjev odabirom elementa (sabirnica) na kojoj se želi napraviti proračun kratkih spojeva. U ovom slučaju moguće je odabrati slijedeće vrste proračuna kratkih spojeva:

- Proračun trolnog kratkog spoja,
- Proračun dvopolnog kratkog spoja,
- Proračun dvopolnog kratkog spoja s utjecajem zemlje,
- Proračun jednopolnog kratkog spoja s utjecajem zemlje.

Rezultati proračuna kratkih spojeva u vidu iznosa struje kratkog spoja na mjestu kratkog spoja i okolnih doprinosa mogu se vidjeti na svim ekranskim prikazima jednopolnih i mrežnih shema. Dodatno detaljni rezultati proračuna svih vrsta kratkih spojeva mogu se vidjeti u tabličnoj formi DMS izvještaja.

2.5. Dinamičko bojanje mreže

Funkcija dinamičkog bojanja mreže prisutna je i u prijašnjim verzijama NM sustava, no u novoj verziji NM 6.4 SCADA/DMS sustava dodani su novi načini bojanja u sprezi s DMS funkcijama: bojanje observabilnosti, bojanje opterećenja, praćenje profila, te bojanje voda u praznom hodu.

Za svaki prozor na prikazu može se odabrati različiti tip dinamičkog bojanja mreže. Načine dinamičkog bojanja mreže u sustavu dijelimo na globalni i lokalni.

Globalni tip dinamičkog bojanja prikazan je istim bojama na svim radnim stanicama pri čemu su raspoložive sljedeće opcije dinamičkog bojanja:

- Bojanje prema stanju elemenata: pod naponom, bez napona, uzemljeno, nepoznato;
- Bojanje prema napajanim dijelovima mreže: isto su obojani dijelovi koji su jedinstvena energetska cjelina. Pojedine cjeline su odvojene otvorenim sklopnim uređajima;
- Bojanje prema pripadnosti određenom dijelu mreže: korisnik sam prilikom pripreme podataka određuje dijelove mreže prema svojim kriterijima, koji se mogu posebno označavati na prikazu;

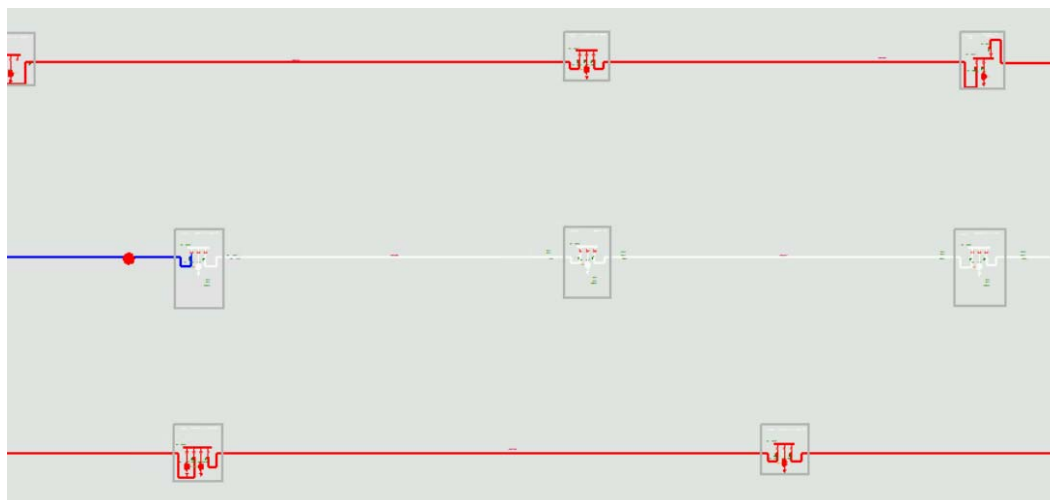
- Bojanje čvorova: pojedini čvor je skup sve opreme povezane električki u jednu cjelinu, a odvojeni su vodovima, transformatorima ili otvorenim sklopnim uređajima;
- Bojanje prema izvoru napajanja: dio mreže boja se prema dijelu koji je označen kao izvor napajanja (TS, transformator, izlazno vodno polje i sl.);
- Bojanje prema naponskoj razini: jedna naponska razina ima istu boju;
- Bojanje dijelova mreže prema postavljenim oznakama u mreži;
- Bojanje prema podsustavu: tijekom unosa podataka određuju se elementi koji pripadaju pojedinom podsustavu, npr. podsustavu sabirnica iste naponske razine u transformatorskoj stanici po čemu je određena nadležnost dispečera.

Lokalni tip dinamičkog bojanja prikazuje posebnom bojom dio mreže prema izboru operatera. Raspoložive su sljedeće opcije lokalnog dinamičkog bojanja:

- Bojanje povezanih dijelova;
- Bojanje prema izvoru napajanja;
- Bojanje prema pridruženim opterećenjima;
- Bojanje prema glavnom izvoru napajanja.

2.5.1. Bojanje observabilne mreže

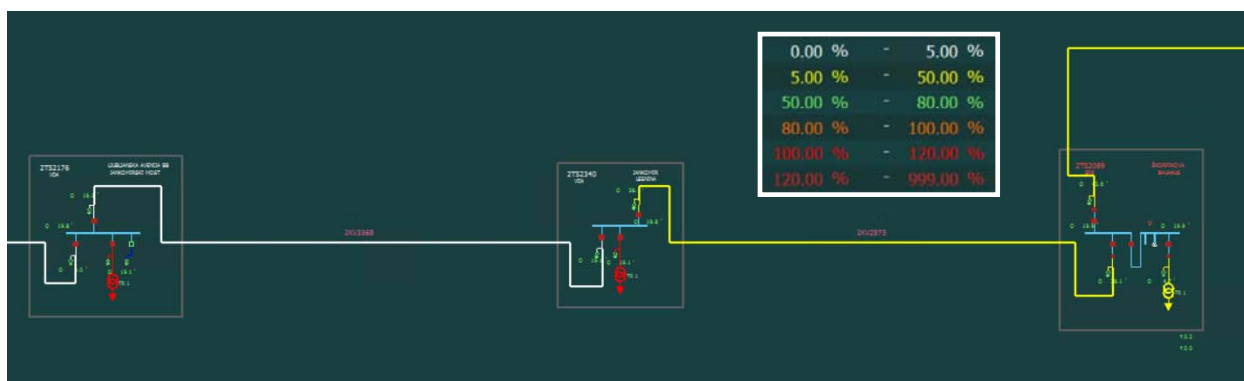
Observabilan dio mreže je onaj dio mreže za koji postoji dovoljno mjerenja iz sustava da je moguće izračunati iznos i kut napona na čvorištu, te da su za observabilne grane oba krajnja čvorišta observabilna. Podaci o tome koji dio mreže je observabilan se dohvaća iz proračuna funkcije prilagodbe tereta. U slučaju da je proračun završio uspješno unutar perioda validiteta proračuna moguće je izabrati prikaz lokalnog tipa dinamičkog bojanja gdje se jednom bojom prikazuje observabilna mreža, a drugom bojom neobservabilna mreža pod naponom. Primjer bojanja observabilne i neobservabilne mreže prikazana je na slici 1. Crvenom bojom je prikazano observabilno područje, bijelom bojom neobservabilno područje, dok je plavom bojom prikazana oprema koja nije pod naponom.



Slika 1. Bojanje observabilne mreže

2.5.2. Bojanje prema opterećenju

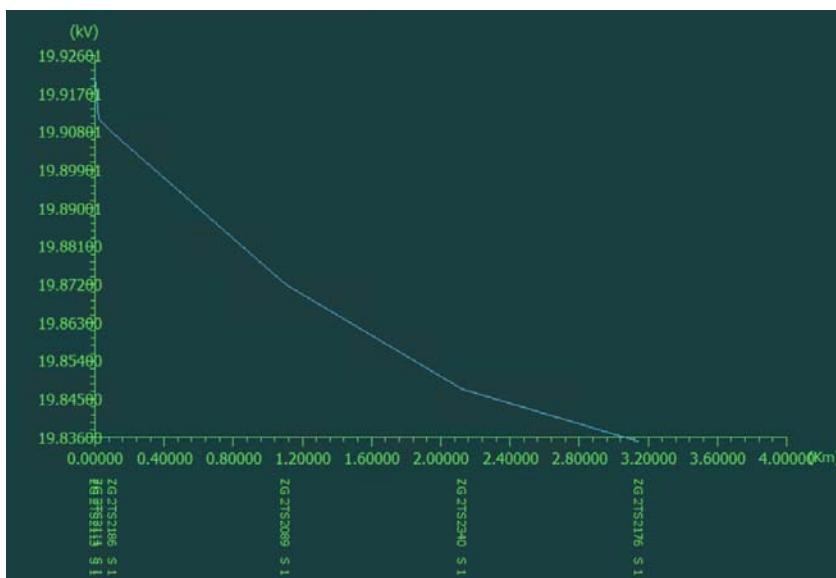
Bojanje prema opterećenju dohvaća podatke opterećenja elemenata iz funkcije proračuna tokova snaga. Izračunava se postotak opterećenja pojedinog elementa na osnovu izračunatog opterećenja i maksimalnog iznosa opterećenja za taj element. Element se boja prema ljestvici bojanja sukladno postotku opterećenja. Primjer bojanja prema opterećenju prikazan je na slici 2.



Slika 2. Bojanje prema opterećenju s pripadnom legendom

2.5.3. Praćenje profila

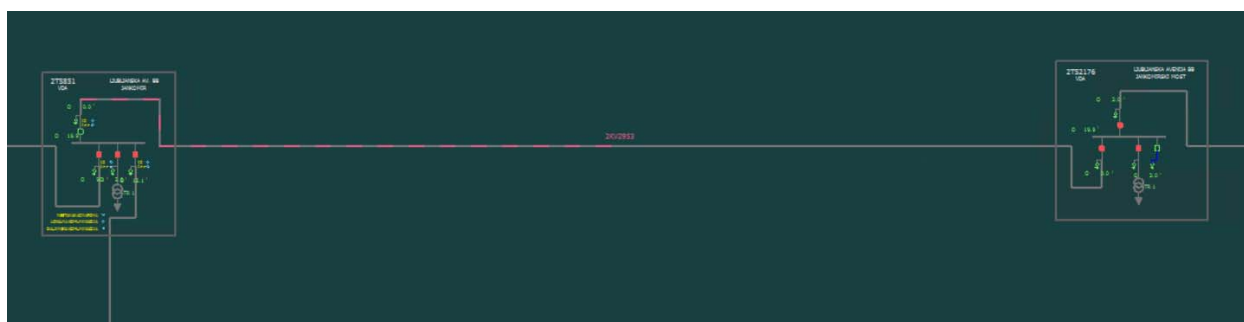
Praćenje profila je graf gdje se na x osi nalaze dužine vodova na izabranom putu, a na y osi se nalaze izračunate vrijednosti iz funkcije proračuna tokova snaga. Na x osi su označena točke gdje se nalaze sabirnice duž izabranog puta s njihovim nazivima. Na y osi je moguće postaviti prikaz izračunatih vrijednosti napona, struja, radne i jalove snage u per unit ili stvarnim vrijednostima na izabranom putu. Primjer praćenja profila za slučaj prikaza napona na radijalnom dijelu voda između šest 20 kV SN stanica prikazan je na slici 3.



Slika 3. Praćenje profila napona

2.5.4. Bojanje otvorenih krajeva

Koristeći dva načina prikaza, bojanje područja i otvorenih krajeva, te bojanje naponskih razina i otvorenih krajeva moguće je prikazati vodove u praznom hodu tako da ukoliko postoji vod koji je pod naponom, no na jednom kraju nije spojen s čvorištem pod naponom, ta polovica voda se prikazuje crtkanom bojom. Primjer bojanja otvorenih grana prikazan je na slici 4.



Slika 4. Bojanje otvorenih krajeva

2.6. Dinamičko bojanje kontura

Cilj inteligentne vizualizacije elektroenergetskog sustava (*eng. Dynamic Contour Coloring – DCC*) odnosno funkcije dinamičkog bojanja kontura je da spriječi preniske napone, a time povećava kvalitetu isporučene energije. Vizualizacija stanja mreže prati odstupanja napona ili drugih veličina od željenog stanja na pojedinim mjestima unutar mreže koristeći poseban način prikaza. Ova tehnika ne boji samo točke s vrijednostima već i okolni prostor.

DCC funkcija je dio vizualizacije i služi se izračunatim vrijednostima i mjerenjima na određenim točkama unutar sustava postavljene najčešće na zemljopisnu sliku. Na osnovu tih vrijednosti formira se vizualizacija kao dinamička slika u obliku topološke strukture. Izmjerene vrijednosti označavaju lokalne ekstreme na karti, a područja između njih prikazana su kao težinski prosjek vrijednosti izmjerenih na okolnim lokacijama. Različite boje odnosno nijanse pojedine točke predstavljaju odstupanje izmjerene vrijednosti od normale za tu točku. Vizualizacija DCC-a, prikazana zajedno sa slikom distribucijske mreže, daje izravan pregled stanja napona i drugih stanja u stanicama na mreži. Prilikom prikaza vizualizacija je stupnjevito prozirna tako da je u područjima s normalnim vrijednostima posve prozirna dok je na mjestima ekstremnih vrijednosti posve neprozirna. U NM sustavu vizualizacija stanja mreže konfigurirana je da radi na osnovi odstupanja izračunatih vrijednosti napona od nominalnih vrijednosti napona.

Moguće je konfigurirati slijedeće parametre: boje za više i niže vrijednosti od nominalne, raspon postotaka koji se smatra normalnim stanjem, raspon postotaka za vrlo visoke/niske vrijednosti, broj nijansi boja, te algoritam proračuna.

Mogućnosti DCC funkcije su slijedeće:

- Iscrtavanje više različitih tipova vizualizacije stanja mreže na istoj slici, no u svakom trenutku samo jedan tip.
- Uključivanje i isključivanje vizualizacije pomoću izbornika.
- Korištenje procijenjenih vrijednosti ako ne postoje mjerenja.
- U studijskom načinu rada koriste se vrijednosti iz studijske baze podataka.
- Parametriranje svih aspekata vizualizacije.
- Proizvoljan izbor i smještaj procesnih vrijednosti.
- Procesne vrijednosti za vizualizaciju ne moraju biti u vidljivom sloju.

Primjer DCC bojanja kontura napona na preglednom ekranskom prikazu distribucijske mreže Elektre Zagreb prikazan je na slici 5.



Slika 5. Primjer dinamičkog bojanja kontura napona Elektre Zagreb

3. ZAKLJUČAK

Nadogradnjom SCADA/DMS sustava na novu verziju operatori distribucijskog sustava Elektra Zagreb i Elektroslavonija Osijek dobili su moderan sustav za nadzor, vođenje i energetske analize nadležne distribucijske mreže. Poboľjšani DMS sustav sa svojim nadograđenim funkcijama za analizu mreže omogućuje planiranje i razvoj buduće distribucijske mreže te analizu trenutne mreže i smanjivanje

njezinih gubitaka u svakodnevnom radu. Za ispravan rad sa svim DMS funkcijama, potrebno je kontinuirano poboljšavati model mreže, pravilno ga ažurirati s ispravnim podacima pripadnih energetskih elemenata, te ispravno voditi uklopno stanje nenadzirane srednjonaponske distribucijske mreže (10 i 20 kV), u čemu uvelike pomažu poboljšanja u novoj verziji SCADA/DMS sustava.

4. LITERATURA

- [1] B. Njavro, B. Krstulja, "NMS u velikim dispečerskim centrima," HRO Cigré 7. simpozij o sustavu vođenja EES-a, Cavtat, 5.-8. studenog 2006.
- [2] B. Njavro, T. Stupić, B. Krstulja, "Energetska analiza distribucijske mreže u sustavima daljinskog vođenja," HO CIRED 1. savjetovanje, Šibenik, 18.-21. svibnja 2008.