

Dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split
Goran Plazibat, ing.
Dragan Mučić, dipl. ing.
Eduard Škec, dipl. ing.
Saša Dujmić, ing.
Nino Božić, dipl. ing.
HEP Distribucija d.o.o., DP Elektrodalmacija Split

UVODENJE NAPONA 230/400 V – METODOLOGIJA I OPERATIVNA ISKUSTVA U DP ELEKTRODALMACIJA

SAŽETAK

U cilju osiguranja potrebnih preduvjeta za uvođenje novonormiranih napona distribucijske niskonaponske električne mreže, u DP Elektrodalmacija je tijekom 2002. godine izvršeno niz aktivnosti koji su djelomično opisani u ovom članku. Uvođenje novonormiranih napona zahtjeva utvrđivanje naponskih profila u distribucijskoj mreži u cjelini (od pojnih točaka, tj. trafostanica 110/x kV do krajnjih potrošačkih točaka/priklučaka u niskonaponskoj mreži), što je direktno vezano za problem regulacije napona kao vrlo bitan a često zanemarivan dio distribucijskog upravljačkog sustava. Zbog toga su provedene aktivnosti u 2002. godini imale su za dodatni cilj stvoriti i dobre metodološke osnove za jedan sveobuhvatniji pristup ovom problemu.

Ključne riječi: Distribucijska mreža, regulacija napona, mjerjenje, simulacija

INITIATION OF NEW VOLTAGE STANDARD 230/400 - METHODOLOGY AND PRACTICAL EXPERIENCES IN DP ELEKTRODALMACIJA

ABSTRACT

Due to insurance of necessary conditions for introduction of new standard voltage for low voltage distribution networks, the range of activities was performed during the year 2002 in DP Elektrodalmacija, which are partly described in this paper. The introduction of new voltage standard needs an estimation of voltage profile of overall distribution network (from feeding points - i.e. transformer stations 110/x kV up to final loads in low voltage network), which is directly connected to voltage regulation problem as a very important but often neglected part of distribution management system. That was the reason why the activities performed during 2002 had an additional target: to make a good methodological basis for a more comprehensive approach to this problem.

Key words: Distribution network, voltage regulation, measurement, simulation

1. UVOD

U cilju osiguranja potrebnih preduvjeta za uvođenje novonormiranih napona (članak 4. i 5. Pravilnika o normiranim naponima za distribucijske niskonaponske električne mreže – NN br. 28/00; pravilnik je dan u cijelosti u prilogu 1), u DP Elektrodalmacija tijekom 2002. godine radna grupa za primjenu norme HRN.IEC:38 izvršila je niz aktivnosti čiji je sažetak dan u ovom članku. Osnovne podloge na osnovu kojih su aktivnosti izvedene su:

- zaključci i odgovarajući radni materijali stožerne skupine za novonormirane napone,
- program uvođenja novonormiranog napona za DP ED Split

Budući da uvođenje novonormiranih napona zahtjeva utvrđivanje naponskih profila u distribucijskoj mreži u cijelini (od pojnih točaka, tj. trafostanica 110/x KV do krajnjih potrošačkih točaka/priključaka u niskonaponskoj mreži), a uvažavajući činjenicu da je regulacija napona bitan a vrlo često zanemarivan dio distribucijskog upravljačkog sustava, provedene aktivnosti u 2002. godini imale su za cilj stvoriti i dobre metodološke osnove za pristup ovom problemu.

Aktivnosti su izvedene kombinacijom mjerena i odgovarajuće obrade mjernih podataka, te programske simulacije i analize naponskih prilika u srednjenačkoj mreži DP Elektrodalmacija u cijelini, zaključno sa 10 KV-tim sabirnicama svih TS x/10 KV. Preliminarne analize izvršene su i za pojedine 10 KV-tne mreže u cijelini, zaključno sa sabirnicama niskog napona TS x/0.4 KV.

Mjerenja su izvedena po grupama objekata distributivne mreže podijeljenim po pojnim točkama 110/x KV. Svako mjerenje je izvedeno u prosjeku kroz 7 dana, i to istovremeno na svim odabranim mjernim mjestima od pojne točke 110 KV do sabirnica 10KV svih TS x/10 KV. Mjereni su naponi sabirnica i fazne struje svih transformatora, s FESB Data Logger-ima namijenjenima za prihvrat akvizicijskih podataka s mjernih pretvarača (ulazne struje i naponi 5A i 100V, izlazni signal 10mA). Obradeni rezultati mjerena (naponi, struje, radne i jalove snage) uspoređivani su, u varijantama registriranog minimalnog i maksimalnog opterećenja mreže, s rezultatima simulacije u programskom paketu PowerCAD. Na taj način je izvršena obostrana provjera. S jedne strane pouzdanosti odnosno grešaka mjerena, a s druge strane provjera formiranog modela odnosno točnosti rada programa. Dobiveni rezultati poslužili su za potrebne programske simulacije na osnovu kojih su utvrđeni preliminarni parametri za regulaciju napona u distribucijskoj mreži DP Elektrodalmacija na razini TS 110/x KV odnosno x/10 KV. U tijeku je druga faza koja uključuje odabir položaja regulacijske preklopke svih TS 10/0.4 KV i reviziju rezultata prve faze, čime će se utvrditi i potreba za rekonstrukcijom/dogradnjom srednjenačke distribucijske mreže s obzirom na kriterij dopustivih naponskih prilika u redovnom pogonu mreže.

2. MJERENJA I OBRADA PODATAKA

Mjerenja su izvršena po grupama vezanim za jednu ili nekoliko pojnih točaka na 110 KV koja u normalnom pogonu napajaju promatranu srednjenačku mrežu. Istovremena mjerena su izvršena u pojnim točkama, te svim pripadajućim postrojenjima 35/10 KV, na sljedeći način:

A) Vremena:

- kontinuirano mjerenje 7 dana
- 10-minutno usrednjavanje svih mjernih veličina

B) Mjerene veličine:

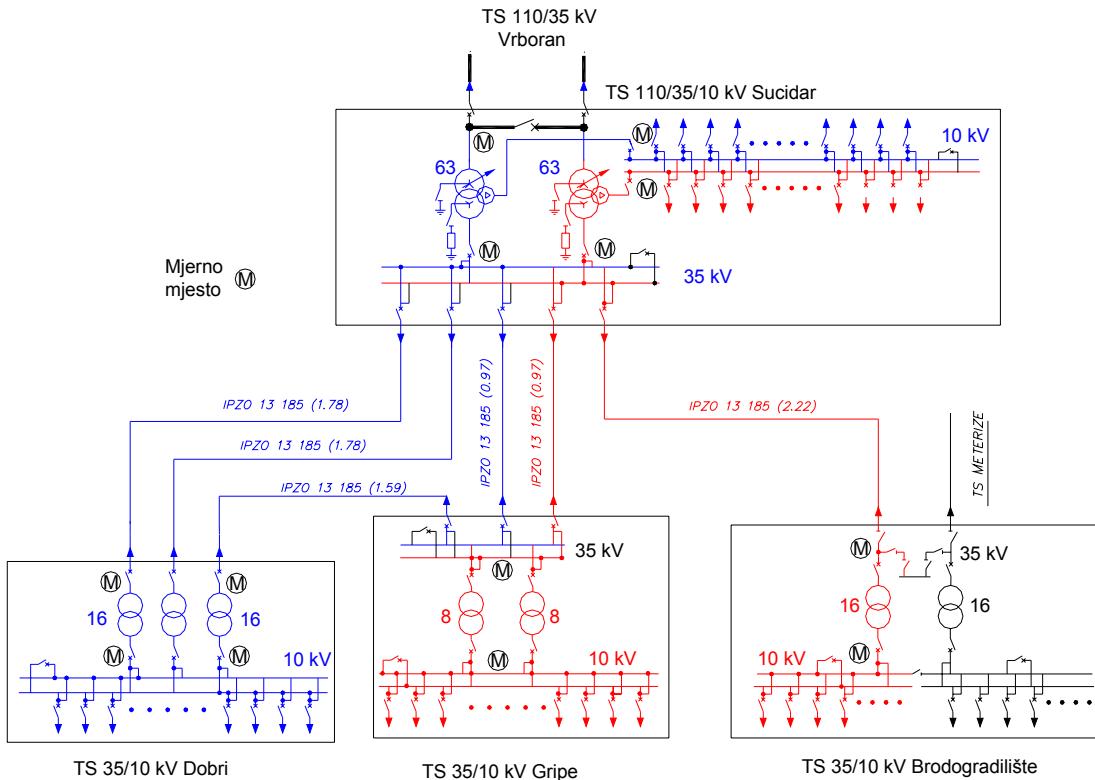
- tri fazna napona na svakom mjernom mjestu
- tri fazne struje na svakom mjernom mjestu
- odgovarajuće radne, jalove snage, te faktor snage računati na osnovu izmjerenih napona i struja

C) Mjerna mjesta (shematski prikazana na slici 1 za primjer mreže napajane iz TS Sućidar 110/35/10 KV za koju su dani i ostali primjeri u ovom članku):

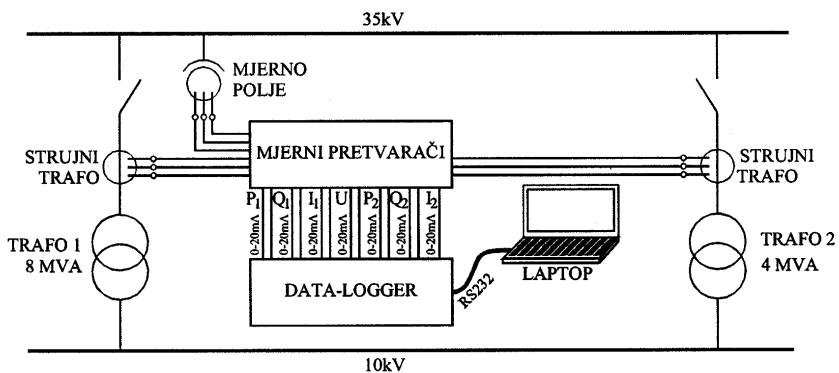
- 110, 35, 10 KV-te sabirnice (za napone)
- transformatorska polja 110/x KV, 35(30)/10 KV (za struje odnosno snage)

D) Mjerna oprema (shematski prikaz na slici 2):

- mjerni pretvarači Iskramek serija MI i Končarevi mjerni pretvarači serije RXUA/ RXUG; korišteni mjerni pretvarači su baždareni prije početka mjerena
- uređaj za akviziciju podataka FESB Data Logger, namijenjen za prihvrat akvizicijskih podataka s mjernih pretvarača (ulazne struje i naponi 5A i 100V, izlazni signal 10mA)
- programska podrška za rad s Data Logger-om (očitanje rezultata mjerena i prijenos na PC, grafički prikaz i spremanje rezultata mjerena)



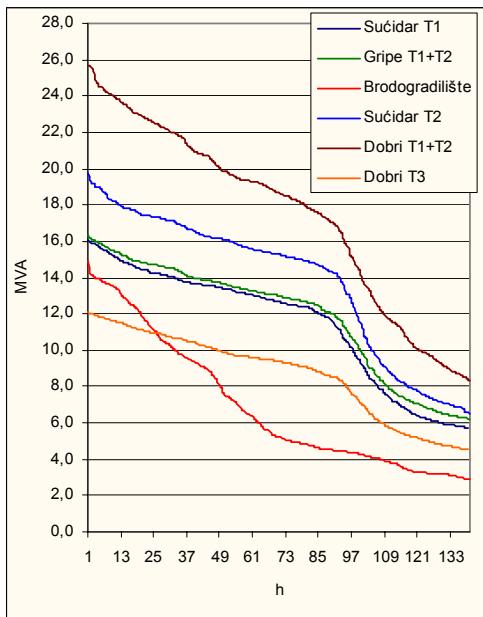
Slika 1: Mjerna mjesto



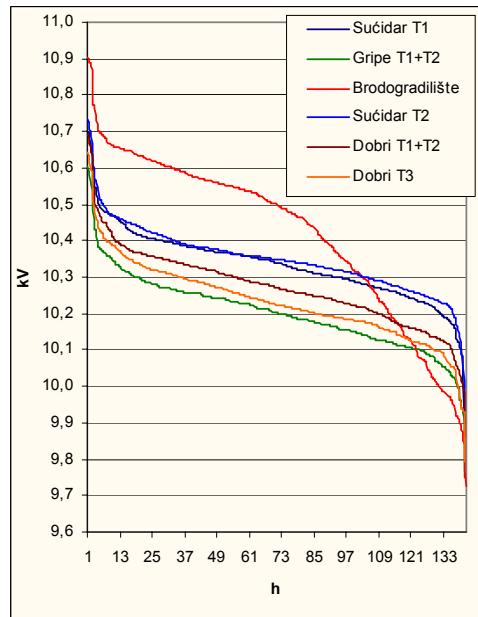
Slika 2: Mjerna oprema i shema mjerenja

Obrada rezultata mjerena je u dvije faze. Osnovna faza obuhvaća pripremu i obradu izmjerena veličina, tj. kompletnih podataka (U, I, P, Q) za vrijeme i nakon izvršenog mjerena, te arhiviranje podataka u MS EXCEL formatu. Druga faza podrazumijeva obradu podataka sa ciljem izvlačenja najbitnijih pokazatelja rada promatrane mreže, kao što su npr:

- tjedni dijagram radne, jalove i prividne snage (kronološka krivulja i krivulja trajanja – primjer prikazan na slici 3),
 - tjedni dijagrami napona 10 kV-tnih sabirnica (kronološka krivulja i krivulja trajanja – primjer prikazan na slici 4)
 - tabelarni prikaz karakterističnih pokazatelja naponskih prilika (primjer u tablici 1)
 - usporedni dijagram naponskih prilika na 110, 35 i 10 kV,
 - usporedni prikaz napona 10 kV, 35 kV, prividne snage i faktora snage svih TS x/10 kV itd.
- Uz mjerne podatke, za naknadnu obradu nužni su i neki dodatni podaci, kao npr.
- naponi 110 kV-te pojne točke (registrirani za vrijeme mjerena u odgovarajućem CDU Prp-a Split),
 - način regulacije TS 110/x (ručno ili automatski) i odgovarajući referentni napon,
 - položaj regulacijske preklopke transformatora 35(30)/10 kV i sl.



Slika 3: Krivulje trajanja prividne snage na 10 kV



Slika 4: Krivulje trajanja napona 10 kV

Tablica 1: 10 kV-tni naponi na TS x/10 kV

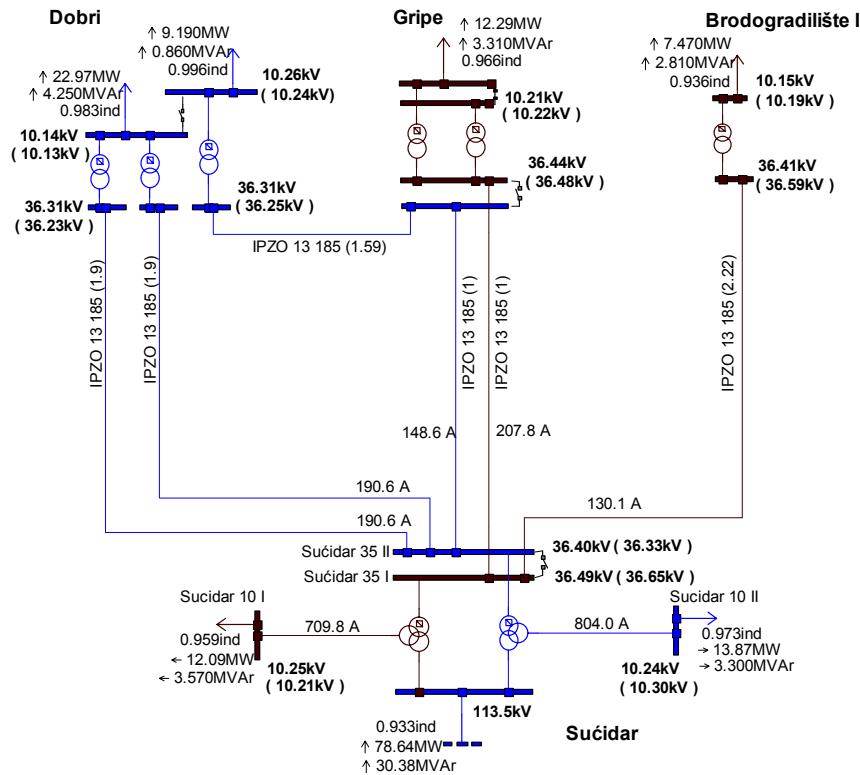
	Sućidat T1	Sućidat T2	Dobri T1+T2	Dobri T3	Gripe T1+T2	Brodograd.
U _{max} (kV)	10,7	10,7	10,7	10,6	10,6	10,9
U _{min} (kV)	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,7
U _{sr} (kV)	10,3	10,3	10,3	10,2	10,2	10,4
ΔU _{max-sr} (%)	3,5	3,7	4,1	4,0	3,9	4,6
ΔU _{sr-min} (%)	4,2	4,0	4,0	4,3	4,5	6,7
ΔU _{max-min} (%)	7,7	7,7	8,1	8,3	8,4	11,3

3. MODELIRANJE MREŽE, PROGRAMSKA SIMULACIJA I USPOREDBA MJERENIH I RAČUNATIH VELIČINA

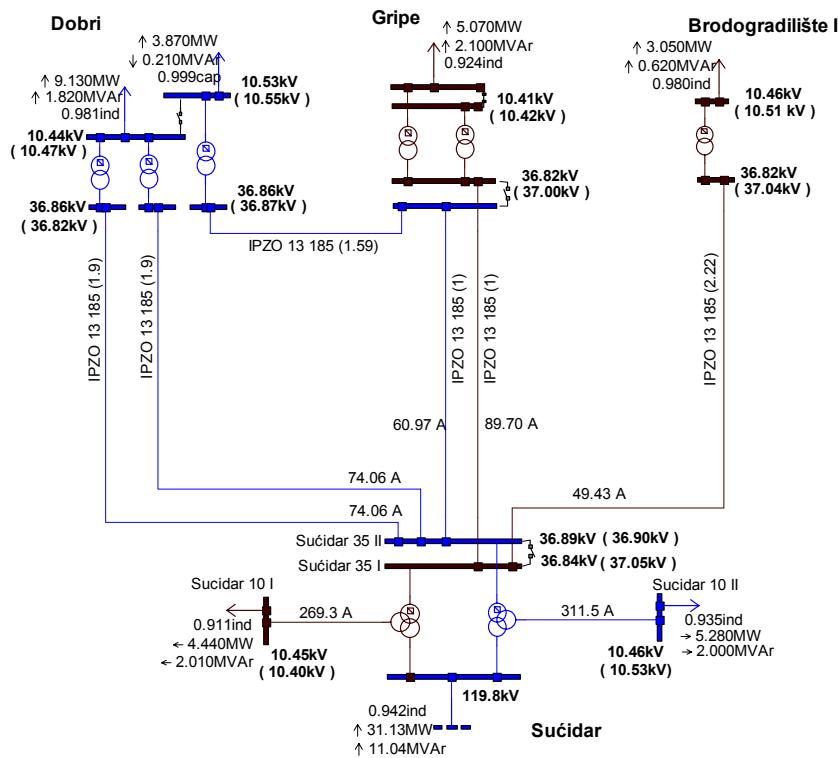
Za potrebe naknadnih analiza simulacije pogonskih stanja mreže za vrijeme vršnih i minimalnih godišnjih (sezonskih) opterećenja, izvršeno je i modeliranje svih srednjenačinskih mreža u programskom paketu PowerCAD 4.1. Kontrola izvršenih mjerena i programskega modela mreže izvršena je na slijedeći način:

- uklopno stanje mreže odgovara stvarnom stanju za vrijeme mjerena
- opterećenje na 10 kV-tnim sabirnicama preuzeto je iz rezultata mjerena
- 110 kV-tni napon i položaj regulacijskih preklopki na transformatorima 110/x kV dobiven je iz sustava daljinskog vođenja Prijenosnog područja Split, a u TS s ručnom regulacijom preuzet je iz bilješki dežurnog operatera
- za svaku grupu mjerena izvršena je usporedba mjereneh veličina s programskom simulacijom (proračun tokova snaga i naponskih prilika) za vrijeme minimalnog i maksimalnog opterećenja mreže u razdoblju mjerena
- eventualno veće neslaganje u izmjerenim i izračunatim podacima indiciralo je grešku u formiranom modelu i/ili mjeranjima, što je naknadnim provjerama svedeno u normalne okvire: gotovo svi rezultati mjerena mogu se uzeti s max. greškom do 1%

Primjer usporedbi napona u mreži (mjerena i proračuni) za odabrani trenutak minimalnog odnosno maksimalnog opterećenja mreže dan je na slikama 5 i 6 odnosno tablici 2. Primjeri su, kao i prethodni, dani za slučaj mreže napajane iz TS Sućidat 110/35/10 kV, a prikazane su izmjerene vrijednosti napona (uz sabirnice, u zagradama) i izračunate vrijednosti napona (uz sabirnice, van zagrada).



Slika 5: Usporedba naponskih prilika (mjerениh i računatih) za vrijeme maksimalnog opterećenja



Slika 6: Usporedba naponskih prilika (mjereni i računati) za vrijeme minimalnog opterećenja

Tablica 2: Usporedba naponskih prilika (mjerениh i računatih)

Sabirnice	Maksimalno opterećenje			Minimalno opterećenje		
	Mjereni napon (kV)	Simulirani napon (kV)	Razlika (%)	Mjereni napon (kV)	Simulirani napon (kV)	Razlika (%)
Sućidar 35 (1)	36,65	36,49	0,44	37,05	36,84	0,57
Sućidar 35 (2)	36,33	36,40	-0,19	36,90	36,89	0,03
Sućidar 10 (1)	10,21	10,25	-0,39	10,40	10,45	-0,48
Sućidar 10 (2)	10,30	10,24	0,58	10,53	10,46	0,66
Dobri 35 (1)	36,23	36,31	-0,22	36,82	36,86	-0,11
Dobri 35 (2)	36,25	36,31	-0,17	36,87	36,86	0,03
Dobri 10 (1)	10,13	10,14	-0,10	10,47	10,44	0,29
Dobri 10 (2)	10,24	10,26	-0,20	10,55	10,53	0,19
Gripe 35	36,48	36,44	0,11	37,00	36,82	0,49
Gripe 10	10,22	10,21	0,10	10,42	10,41	0,10
Brodogradilište 35	36,59	36,41	0,49	37,04	36,82	0,59
Brodogradilište 10	10,19	10,15	0,39	10,51	10,46	0,48
Prosjek – po absolutnim vrijednostima (%)	0,28				0,33	
Standardna devijacija (%)	0,17				0,23	

Simulirane vrijednosti napona u odnosu na izmjerene pokazale su izuzetno dobro poklapanje, sa prosječnom absolutnom pogreškom od 0,3%. Takvi rezultati već kod prve obrađene grupe mjerena potvrdili su s jedne strane vjerodostojnost rezultata proračuna pomoći korištenog programskega paketa, a s druge strane točnost mjerjenja. Dakako, slična analiza provedena je i na svakoj slijedećoj grupi mjerena, pomoći čega su otkrivane i manje greške u mjerjenjima i odgovarajućim modelima.

4. PRORAČUN NAPONSKIH PRILIKA U MREŽI I POTREBNE MJERE ZA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA

Na osnovu izvršenih mjerena, te utvrđenog slaganja s odgovarajućim modelom obrađivane mreže, izvršen je niz proračuna tokova snaga i naponskih prilika za pretpostavljeno minimalno i maksimalno opterećenje, na osnovu čega su iterativno proizašle inicijalne vrijednosti slijedećih parametara bitnih za regulaciju napona do razine 10 kV-tne mreže, a koje bi rezultirali najpovoljnijem rasponu naponskih prilika u mreži:

- referentni napon na SN sabirnicama TS 110/x kV prema kojemu se vrši automatska regulacija napona (nezavisna od opterećenja)
- fiksni položaj regulacijske preklopke svih TS x/10 kV

Predložene vrijednosti ne mogu se uzeti za konačne, već ih se mora naknadno korigirati nakon mjerena i simulacije naponskih prilika u dubini mreže (zaključno sa NN sabirnicama TS 10/0.4 kV). Na osnovu izvršenih mjerena i programskih simulacija za neke konkretnе slučajevе dan je prijedlog dodatnih specifičnih aktivnosti za dovođenje naponskih prilika u zadovoljavajuće okvire.

Za primjer mreže koji je ilustrirao prethodna poglavlja analiza je izvršena na slijedeći način:

- Veće varijacije 10 kV-tnih napona u promatranoj mreži posljedica su prvenstveno ručne regulacije napona u TS 110/35/10 kV Sućidar i to u relativno kratkom vremenskom razdoblju (prema rezultatima mjerena oko 10% u odnosu na ukupno vrijeme mjerena).
- Pod pretpostavkom ugradnje automatskih regulatora napona kojima bi se 35 kV-tni napon održavao na referentnoj vrijednosti od 36.5 kV, uslijed diskretnog koraka regulacije (1.5% po stupnju), 35 kV-tni napon bi se trebao kretati u rasponu 36.2-36.8 kV. Ukoliko se na strani sigurnosti navedeni raspon pretpostavi od 36 do 37 kV, izvršeni su proračuni naponskih prilika i tokova snaga u promatranoj mreži kojima su utvrđene moguće varijacije 10 kV-tnih napona na transformatorima x/10 kV.
- Za proračun pri minimalnom i maksimalnom opterećenju mreže pretpostavljena je potrošnja odgovarajućih trafostanica koja odgovara minimumu odnosno maksimumu registriranom u 2001. godini prema izvještaju Dispečerske službe DP ElektroDalmacija.
- Za proračun pri minimalnom opterećenju pretpostavljen je napon (regulirani) u iznosu od 37 kV u TS Sućidar kao najlošija varijanta.

- Za proračun pri maksimalnom opterećenju pretpostavljen je napon (regulirani) u iznosu od 36 kV u TS Sućidar (kao najlošija varijanta).
- Pri minimalnom opterećenju 10 kV-tni naponi u TS x/10 kV kreću se u granicama 10.46 - 10.57 kV, što osigurava zadovoljavajuće naponske prilike (po pitanju previsokih napona) na početku niskonaponske mreže prve najbliže TS 10/0.4 kV.
- Pri maksimalnom opterećenju najniži 10 kV-tni napon u TS x/10 kV iznosi 9.94 kV (TS 35/10 kV Dobri), a budući da se radi o gradskoj kabelskoj mreži, pretpostavljeno je da je dovoljan za održavanje zadovoljavajućih naponskih prilika u 10 kV-tnoj mreži. Konkretna potvrda je dobivena simulacijom na kompletном modelu distributivne mreže do sabirnica NN.
- Zaključno, konstatirano je da bi u slučaju ugradnje automatskih regulatora napona u TS 110/35/10 kV Sućidar, naponske prilike u promatranoj mreži (do 10 kV-tog nivoa) u potpunosti zadovoljavale potrebne uvjete nužne za primjenu novonormiranih napona u niskonaponskoj mreži. Isto vrijedi i u sadašnjem stanju (ručna regulacija), pod uvjetom da dežurni operater uspijeva regulirati napon u TS Sućidar u granicama 36-37 kV (što prema rezultatima mjerjenja ipak nije slučaj).

Općenito, provedene aktivnosti u 2002. godini pokazali su slijedeće bitne zaključke:

1. Transformatori 110/x kV, kao prvi nivo regulacije napona u distribucijskoj mreži, predstavljaju i najznačajniji nivo koji zbog mogućnosti promjene prijenosnog omjera pod naponom omogućava održavanje stabilnog napona ($\pm 2\text{-}3\%$ u odnosu na postavljeni referentni napon) na početku srednjenaponske mreže bez obzira na naponske prilike u prijenosnoj mreži, te iznos i karakter opterećenja distributivne mreže. Glavni uočeni problemi na ovoj razini čije rješavanje uvjetuje kvalitetu naponskih prilika u dubini mreže su:
 - Neki transformatori 110/x kV nemaju mogućnost automatske regulacije, već se ona radi ručno, što nekada dovodi do većih odstupanja napona već na početku srednjenaponske mreže (i do $\pm 10\%$ u odnosu na postavljeni referentni napon). Za ove transformatore bi u što kraćem vremenskom razdoblju trebalo u dogovoru s HEP Prijenosom rješiti automatsku regulaciju prijenosnog omjera.
 - Mjerena i analize su pokazale da u nekim TS 110/x kV automatska regulacija nije radila zbog kvara. Dugoročno kvalitetno rješenje ovog problema moguće je na način da se osigura »vidljivost« napona 35-kV svih TS 110/35 kV od strane distribucijskih dispečerskih centara. Kratkoročno se problem može rješiti boljom koordinacijom s HEP Prijenosom (boljim nadzorom) i redovitim kontrolama (mjerjenjem) od strane distribucije.
2. Transformatori 35/10 kV, kao drugi nivo regulacije napona u distribucijskoj mreži, omogućavaju dodatnu korekciju naponskih prilika na početku 10 kV-tne mreže, ali s velikim ograničenjima budući da se redovito radi o vrlo gruboj regulaciji ($\pm 2 \times 2.5\%$) i to u beznaponskom stanju, što zahtijeva fiksani položaj regulacijske preklopke bez obzira na razinu opterećenja mreže. U kombinaciji s prethodnom razinom, ovakva regulacija praktički u svim slučajevima daje mogućnost održavanja relativno stabilnih naponskih prilika na početku 10 kV-tne mreže. Osnovni problem koji treba rješiti na ovom nivou je neispravnost regulacijskih preklopki kod nekih transformatora 35/10 kV, zbog čega se ne može računati na mogućnost promjene položaja regulacijske preklopke.
3. Osnovni parametri prethodne dvije razine regulacije napona (referentni napon transformatora 110/x kV, položaj regulacijske preklopke transformatora 35(30)/10 kV) općenito se ne mogu konačno definirati bez odgovarajuće analize – programske simulacije kompletne 10 kV-tne mreže, ako se uglavnom pokazuje da su mogućnosti poboljšanja na osnovu ovakve analize vrlo skromne.
4. Rezultati mjerena i naknadne energetske analize, te programska simulacija temeljena na rezultatima mjerena mogu vrlo korisno poslužiti i za ostale namjene (razne tehničke i energetske analize, podloge za razvoj i rekonstrukciju mreže, proračun gubitaka u mreži, optimiranje uklopnog stanja u redovnim i izvanrednim okolnostima, kompenzaciju reaktivne snage itd.).
5. Nastavak rada na programu uvođenja novonormiranih napona za slijedeće razdoblje (1-2 godine) podrazumijeva slijedeće korake:
 - Kompletiranje mjerena, programske simulacije i analize za sve pogone do razine 0.4 kV-tnih sabirnica TS 10/0.4
 - Ponavljanje prethodnih mjerena po potrebi, te izvođenje dodatnih (prvenstveno naponske prilike na krajevima izvoda 10 kV)
 - Aktivno uključenje pogona, prvenstveno kroz sakupljanje i ažuriranje tehničkih parametara srednjenaponske mreže
 - Definiranje svih elemenata regulacije napona do razine 0.4 kV-tnih sabirnica TS 10/0.4, uključujući prijedlog potrebne dogradnje za dijelove srednjenaponske mreže gdje se u postojećem stanju ne mogu postići zadovoljavajući naponski profili.

- Mjerenje, programske simulacije i analiza niskonaponskih mreža, što bi trebalo izvoditi na razini pogona.
- Definirati i osigurati nedostajuću mjernu opremu
- Razraditi način izbora profila distributivne mreže na kojim će se izvršiti mjerenja i odrediti prioritete.
- Intenzivirati aktivnosti koje nisu isključivo vezane za program uvođenja novonormiranih napona, ali bi bile od velike pomoći (unapređenje tehničkog informacijskog sustava i odgovarajućih baza podataka, ažuriranje tehničkih parametara kompletne distribucijske mreže, koordinacija s ostalim aktivnostima na području planiranja razvoja i izgradnje mreže itd.)

5. ZAKLJUČAK

Sigurnost napajanja i kvaliteta napona najbitniji su tehnički parametri rada distribucijske mreže. Iako s vremenom problem kvalitete napona sve više dobiva na važnosti, interesantno je da se nerijetko zaboravlja na njegovu osnovnu komponentu: iznos i spore varijacije osnovnog harmonika. U tom smislu i napore vezane za problem regulacije napona zbog uvođenja novonormiranih napona 400/230 V nužno je povezati s izgradnjom jednog sustavnog pristupa problemu regulacije napona u distribucijskim mrežama. U praksi bez suvremenog centra vođenja distribucijske mreže i odgovarajućeg distribucijskog upravljačkog sustava, regulacija napona ipak se može vrlo uspješno provoditi redovitim mjeranjima i off-line analizama kojima će se upozoriti na probleme i predložiti rješenja.

LITERATURA:

1. Podloge za postupak uvođenja napona 400/230 V u NN mreže HEP-a, EI Hrvoje Požar, studeni 1999.
2. Programski paket PowerCAD – upute za rad, Fractal d.o.o., siječanj 2002.
3. Dokumentacija mjerenja DP ElektroDalmacija, siječanj 2002 – rujan 2002.

PITANJA ZA DISKUSIJU:

- Praktična iskustva u pripremama za uvođenje novonormiranih napona
- Točnost mjerenja i programske modela