

Darko Lovrinčević
HEP ODS
darko.lovrincevic@hep.hr

Mladen Vuksanić
HEP ODS
mladen.vuksanic@hep.hr

PRISTUP PROFILIRANJU I MODELIRANJU STVARNIH NAPONA U MREŽI KAO PODLOGE ZA STRUJNO-NAPONSKE ANALIZE

SAŽETAK

U ovom radu je prikazana metoda obrade mjernih podataka iz SCADA sustava i sustava daljinskog očitavanja brojila (AMR/AMI sustav) za potrebe izrade proračuna strujno-naponskih okolnosti u promatranom dijelu elektroenergetskog sustava na koji se priključuje novi korisnik mreže.

Mjerni podaci se prvo sortiraju te se potom prije daljnje obrade izdvajaju pogrešno uzorkovani i drugi nereprezentativni podaci. Od promatranog skupa mjernih podataka izrađuju se karakteristični dijagrami napona u mreži korištenjem standardnih Microsoft Excel® funkcija.

Uzimajući u obzir vrstu analize koja se planira provoditi (karakteristike potrošnje odnosno proizvodnje korisnika mreže koji se želi priključiti na mrežu) prepoznata su i predložena dva načina korištenja karakterističnih dnevnih dijagrama napona.

Ključne riječi: obrada mjernih podataka, karakteristični dnevni dijagrami napona

AN APPROACH TO PROFILING AND MODELING OF ACTUAL GRID VOLTAGES AS A BASIS FOR CURRENT AND VOLTAGE ANALYSIS

SUMMARY

This paper presents the method of processing measurement data from the SCADA system and automated meter reading system (AMR/AMI) for further load-flow and voltage drop analysis in the observed part of power system where a new grid user is being connected.

The measurement data are first sorted after which wrongly sampled and other non-representative data are separated before further processing. Grid voltage characteristic diagrams are created from the observed set of measurement data using standard Microsoft Excel® functions.

Taking into account the type of analysis to be carried out (characteristics of consumption or production of the grid user who is to be connected to the grid), two ways of using characteristic daily voltage diagrams were recognized, proposed and discussed.

Key words: measurement data processing, characteristic daily voltage diagrams

1. UVOD

Određivanje postavki napona na sabirnicama transformatorske stanice VN/SN za potrebe proračuna strujno-naponskih okolnosti u slučaju povišenog napona na VN sabirnicama je bitan za izradu kvalitetnog modela promatranog dijela elektroenergetskog sustava u programskom paketu za analizu elektroenergetskih mreža.

Rezultati složenog proračuna se smatraju zadovoljavajućim ako su iznosi napona unutar granica propisanih Mrežnim pravilima distribucijskog sustava distribucijskog sustava (90 – 110% U_n) te ako su iznosi strujnih opterećenja za svaki element sustava (bilo koje dionice nadzemnog voda ili podzemnog kabela odnosno transformatora) manji od maksimalno dozvoljenih vrijednosti tj. manji od 100% nazivne struje.

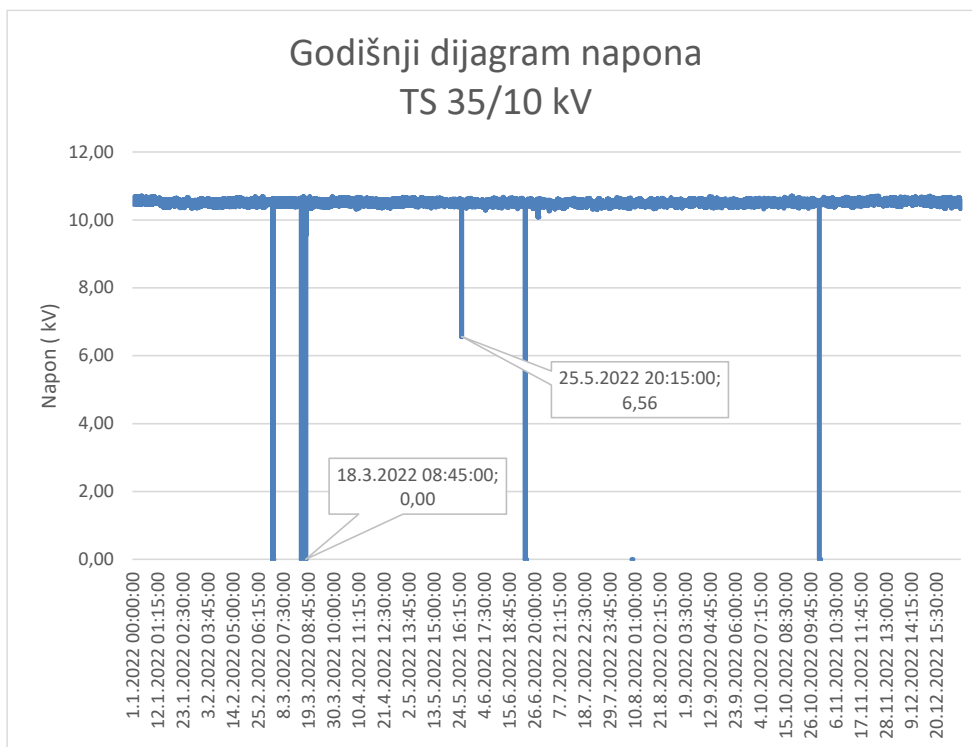
Radom su predložena dva načina izrade karakterističnih dnevnih dijagrama napona koji se mogu koristiti za određivanje postavki napona na SN sabirnicama transformatorske stanice VN/SN, te će biti komentirane pretpostavke, prednosti i nedostaci za svaki od modela.

2. MJERNI PODATCI

Mjerni podaci se preuzimaju iz odgovarajućih sustava za mjerenja i nadzor u distribucijskoj mreži poput sustava daljinskog vođenja mreže (SCADA sustav), sustava daljinskog očitavanja brojila (AMR/AMI sustav) te mjerenja na sučelju mreža HOPS-a i HEP ODS-a. Time se mjereni podaci smatraju kvalitetnim, kontroliranim te time primjerenim za uporabu u proračunima mreže.

2.1. Pretpostavke za korištenje mjernih podataka

Prije korištenja preuzetih mjernih podataka u daljnjoj analizi potrebna je provjera preuzetih veličina iz mjernih sustava kako bi se eventualna pogrešna mjerenja i nereprezentativne veličine izbacila iz analize. Slikom 1. grafički su prikazana mjerenja na jednom sabirnicama iz kojih je jasno vidljivo koji dio mjerenih veličina spada u onaj dio nereprezentativnih i da ih je potrebno isključiti iz analize.



Slika 1 Godišnji dijagram napona

U nastavku je opis nekoliko načela po kojima se provodi opisano čišćenje podataka.

Za analizu se uzima uzorak mjerenja u jednogodišnjem razdoblju kroz petnaestominutne prosjeke ulaznih veličina, dakle od 01.01.2022. u 00:00 do 31.12.2022. u 23:45, u kojem je razdoblju maksimalno mogući broj ispravnih uzoraka 35.040 (po četiri mjerene veličine u satu po 24 sata u danu te po 365 dana u godini). Za određene analize mogući su i drugačiji vremenski intervali za mjerne podatke, i kraći i dulji, no stav je autora da kroz razdoblje od godinu dana mogu reprezentativne vrijednosti za sva karakteristična stanja u danu, kroz godinu i sl.

Mjerenja zabilježena za vrijeme trajanja kvara te planiranih radova na postrojenju odnosno bilo kojeg zastoja na tom elementu ili bilo kojeg uklopnog stanja različitog od redovnog uklopnog stanja ne smatraju se referentnima za modeliranje pogonskih stanja te ih je potrebno izuzeti iz daljnjih analiza.

Prethodno je spomenuto da se uzimaju u obzir samo one mjerene vrijednosti koje odgovaraju redovnom pogonu u normalnom uklopnom stanju te stoga, a kako bi se na primjeren način izbacilo sve prijelazne ili veličine iz poremećenog stanja pogona, inicijalno se svi naponi izvan intervala od 0,8 nazivnog napona do 1,2 nazivnog napona smatraju nereprezentativnim mjerenim podacima i izbacuju. Potom je poželjno provjeriti prema pogonskim zapisima je li u nekim dijelovima promatranog razdoblja mreža radila izvan normalnog pogonskog stanja, a posebno se isto preporuča ukoliko se u nekom razdoblju primijete neuobičajene mjerene vrijednosti

Radi lakšeg rada i kasnije obrade mjerenih veličina, sve ulazne mjerene vrijednosti se napona se zaokružuju na dvije decimale, a čime se zadržava zadovoljavajuća točnost samog podatka.

U (Tablica 1 **Error! Reference source not found.**) je dan primjer obrade mjernih podataka u kojoj su sivom bojom naznačeni nereprezentativni podatci koji su ispuštenih iz daljnjih analiza. Naponi su zaokruženi na dvije decimale.

Tablica 1 Obrada mjernih podataka - primjer

Datum-vrijeme	vrijednost	Vrijeme	Napon
1.1.2022 00:00:00	10,70500	00:00	10,71
1.1.2022 00:15:00	10,71027	00:15	10,71
1.1.2022 00:30:00		00:30	0,00
1.1.2022 00:45:00	10,75000	00:45	10,75
1.1.2022 01:00:00	10,71729	01:00	10,72
1.1.2022 01:15:00	10,72245	01:15	10,72
1.1.2022 01:30:00	12,80000	01:30	12,80
1.1.2022 01:45:00	7,20000	01:45	7,20
1.1.2022 02:00:00	10,72456	02:00	10,72

3. ANALIZA MJERNIH PODATAKA

3.1. Odabir mjesta analize

Za potrebe analize odabrane su dva mjesta priključenja novih korisnika mreže. Prvi slučaj (A) je slučaj kada se korisnik mreže priključuje na sabirnice 10 kV u TS 110/10(20) kV s reguliranim naponom (ARN) na transformatoru 110/10 kV snage 20 MVA, $I_{k3}^* = 10,4$ kA (110 kV). Drugi slučaj (B) je slučaj kada se korisnik mreže priključuje na sabirnice 10 kV u TS 35/10 kV bez reguliranog napona na 10 kV strani, transformator 35/10 kV je snage 4 MVA, $I_{k3}^* = 2,6$ kA (35 kV).

U prvom slučaju možemo smatrati da je mreža kruta a drugom slučaju da mreža nije kruta jer je TS 35/10 kV udaljena 18 km od pojne TS 110/35 kV.

3.2. Odabir metode analize

Prva (Metoda 1) metoda analizira sve mjerne podatke u promatranom razdoblju te na temelju tih podataka određuje karakteristične dnevne dijagrame napona iz kojih se određuju postavke napona na SN sabirnicama TR VN/SN.

Druga (Metoda 2) metoda analizira pojavnost određenog skupa mjernih podataka u promatranom razdoblju, izlučuje mjerne podatke u promatranom razdoblju koji su javljaju u malom broju uzoraka te na temelju preostalih mjernih podataka određuje postavke napona na SN sabirnicama TR VN/SN.

3.3. Odabir perioda analize

U smislu profiliranja analiziranih podataka, namjera je mjerene veličine obraditi te potom i prikazati na najsvrsishodniji način. U ovom će se slučaju pretpostaviti da se priprema analiza za daljnje proračune pri priključenju novog postrojenja fotonaponske elektrane na mrežu pri čemu je zbog izrazite karakteristike proizvodnje ovisno o dobu dana, primjereno veličine profilirati na vremenskom intervalu od jednog dana.

U profilu jednog karakterističnog dana, korištenjem standardnih Excel® funkcija, izračunate su maksimalne, prosječne i minimalne vrijednosti napona temeljem ispravnih uzoraka za svaki od 96 vremenskih odsječaka u jednom danu.

Mogu se odabrati i druga razdoblja analize (mjesečna, sezonska) ovisno o potrebama analize uvjeta za priključenje na elektroenergetsku mrežu.

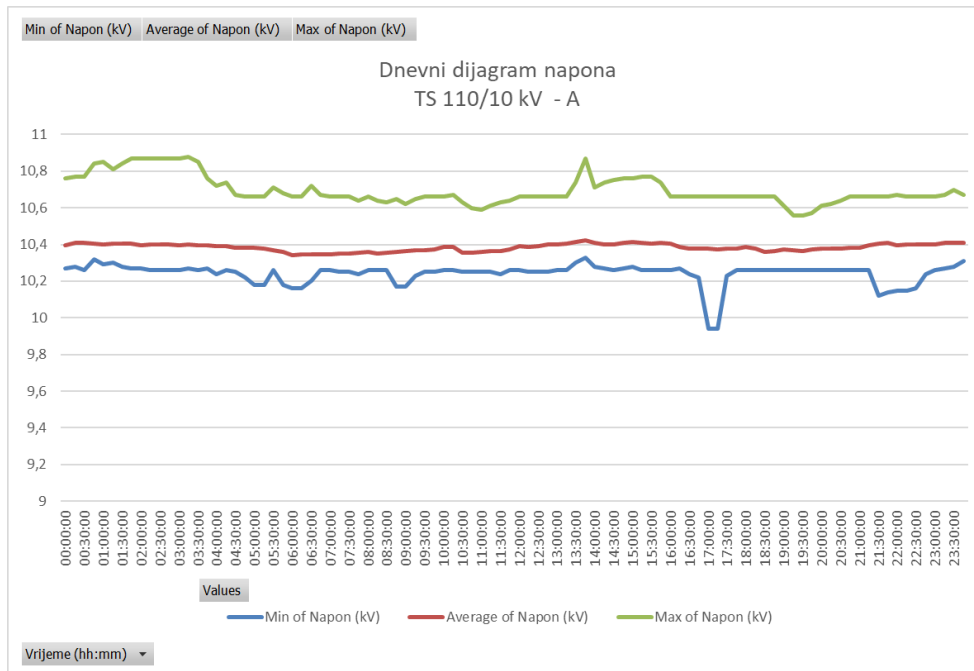
Rezultati analize su bolji što je veći broj ispravnih uzoraka. Za potrebe ovog rada promatran je period od godinu dana (1.1.2022- 31.12.2022. godine).

3.4. Metoda 1 analize mjernih podataka

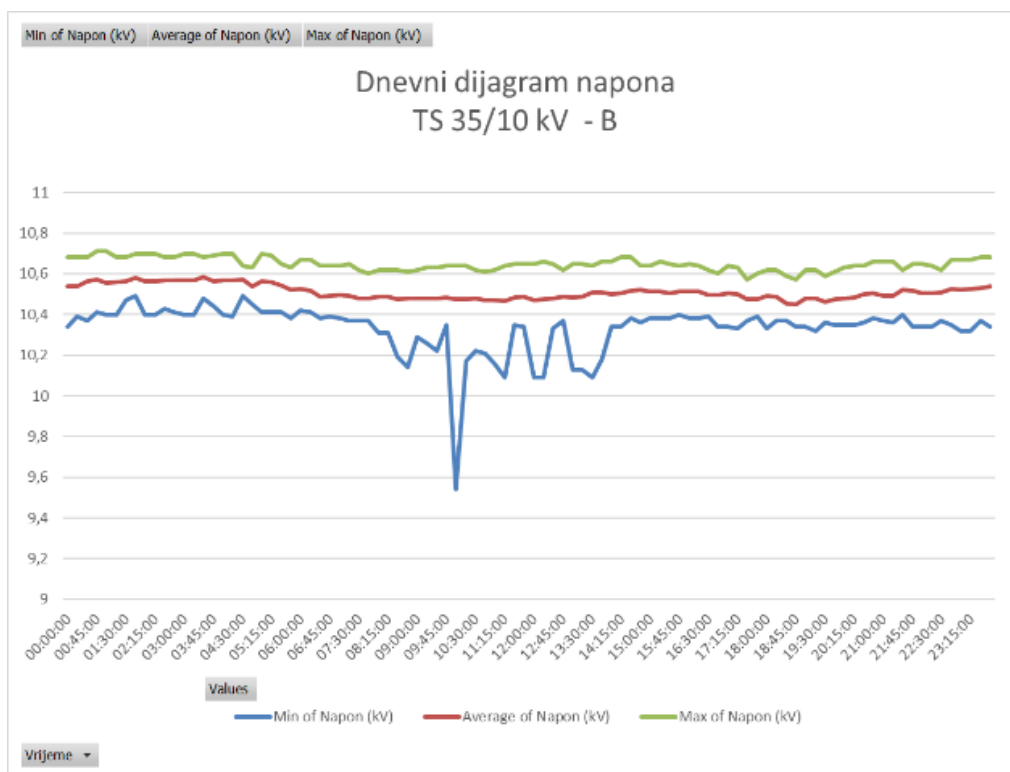
Ova metoda uzima sve prethodno obrađene mjerene podatke.

Za oba primjera sačinjeni su dnevni dijagrami napona na način da je za svaki vremenski odsječak od 15 minuta (00:00 do 23:45) izračunata minimalna, prosječna i maksimalna vrijednost napona

Korištenjem standardnih Excel® funkcija sačinjene su tablice i dijagram sa prikazom broja pojavljivanja pojedinih uzoraka i za primjer A i za primjer B što je analogno prikazano na slikama 2. i 3.



Slika 2 Dnevni dijagram TS 110/10 kV - slučaj A



Slika 3 Dnevni dijagram TS 35/10 kV - slučaj B

Tablicom 2. daje se rekapitulacija prosječnih i graničnih veličina za oba primjera koje se potom ovisno o vrsti analize mogu dalje koristiti u proračunima. Isto tako je na slikama vidljivo da bi bila poželjna dodatna analiza za minimalne vrijednosti oko 17:00 u slučaju A te oko 10:00 u slučaju B radi li se o potencijalno uklopnim stanjima koja ne odgovaraju normalnom stanju.

Tablica 2 Karakteristične vrijednosti napona za strujno-naponske analize

Statistička veličina	A	B
Maksimum (kV)	10,88	10,71
Prosjek (kV)	10,38	10,51
Minimum (kV)	9,94	9,54

Vrijednost napona na SN sabirnicama TS VN/SN je promjenjiva u različitim proračunima za isto granično pogonsko stanje (ovisi o iznosu napona u 110 kV mreži, postavnoj vrijednosti napona (ARN) na SN sabirnicama i opterećenju TR VN/SN

U slučaju maksimalne potrošnja u minimumu proizvodnje napon na sabirnicama transformatorske stanice VN/SN se može postaviti kao minimalni napon iz Tablica 1, odnosno maksimalni napon za slučaj minimalna potrošnja u maksimumu proizvodnje.

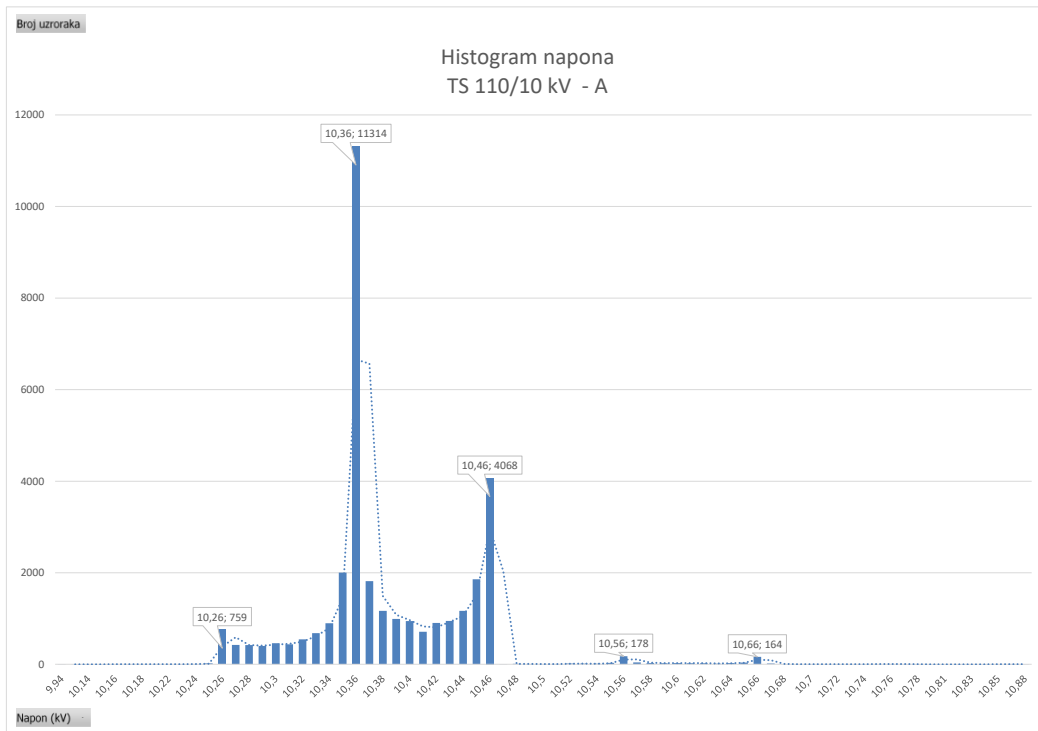
Ovo su rubni slučajevi. Dovoljno je da se jednom u promatranom razdoblju (dan, mjesec, sezona ili kao u ovom slučaju godina) pojavi neki ekstrem, on će biti zabilježen i kao takav potencijalno predložen kao postavna vrijednosti napona na SN sabirnicama za strujno-naponske analize.

Dio ovih dilema može se otkloniti primjenom metode 2. opisane u nastavku.

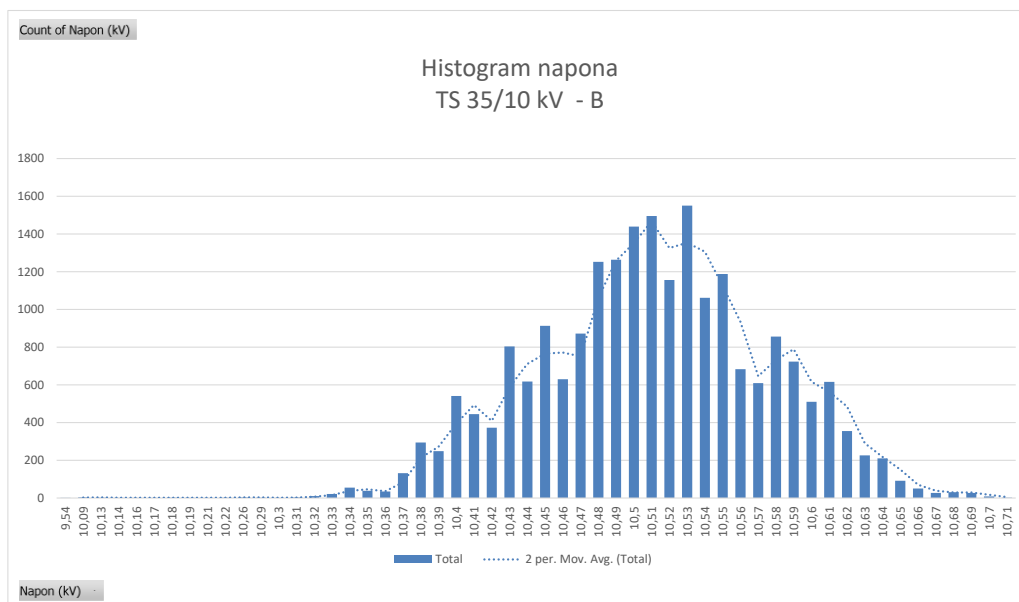
3.5. Metoda 2 analize mjernih podataka

Slično kao i u prvoj metodi, za daljnju analizu, izmjerene vrijednosti napona su zaokružene na dvije decimale i tako se dalje primjenjuju. Za razliku od metode 1, u ovom slučaju namjera je za zadani verificirani

(reprezentativan) skup mjerenih podataka razmotriti koliko se koje vrijednosti pojavljuju tj. na neki način želi se kvantificirati dobivene mjerene veličine. Korištenjem standardnih Excel® funkcija sačinjene su tablice i napravljeni dijagrami s prikazom broja pojavljivanja pojedinih uzoraka za oba promatrana slučaja.



Slika 4 Histogram TS 110/10 kV - slučaj A



Slika 5 Histogram TS 35/10 kV - slučaj B

Tablicama u nastavku obrađena je statistička analiza dobivenih mjerenja te su u istima iskazane ključne veličine za analizu.

Tablica 3a. i 3b. Statistička analiza uzoraka – slučaj A i slučaj B

Slučaj A (transformator 110/10 kV)

Broj uzoraka	33784
Prosjek (μ)	10,38
Standardna devijacija (σ)	0,06235049

Slučaj B (transformator 35/10 kV)

Broj uzoraka	21486
Prosjek (μ)	10,51
Standardna devijacija (σ)	0,065645264

Statistička veličina	Napon (kV)	Broj uzoraka	Udio (%)
$\mu-3\sigma$	10,20	15	0,04%
$\mu-2\sigma$	10,26	36	0,11%
$\mu-\sigma$	10,32	3446	10,20%
μ	10,38	17887	52,95%
$\mu+\sigma$	10,45	5673	16,79%
$\mu+2\sigma$	10,51	5961	17,64%
$\mu+3\sigma$	10,57	306	0,91%
Ostalo		460	1,36%

Statistička veličina	Napon (kV)	Broj uzoraka	Udio (%)
$\mu-3\sigma$	10,31	27	0,13%
$\mu-2\sigma$	10,38	290	1,35%
$\mu-\sigma$	10,44	3323	15,47%
μ	10,51	6370	29,65%
$\mu+\sigma$	10,57	7744	36,04%
$\mu+2\sigma$	10,64	3496	16,27%
$\mu+3\sigma$	10,71	234	1,09%
Ostalo		2	0,01%

3.5.1. Analiza slučaj A

Razvidno je da se u slučaju TS 110/10 kV pojavljuju nekoliko napona s najvećim brojem uzoraka u području od 10,26 kV do 10,46 kV (dominantni naponi). Isto tako vidljivo je da se pojavljuju i manje grupacije napona na vrijednostima oko 10,56 kV i 10,66 kV. Može se zaključiti da su te izdvojene manje grupacije mjerenja u slučajevima kada automatska regulacija napona na transformatoru prema postavkama na regulatoru promijeni položaj regulacijske preklopke te stoga može znatno utjecati na iznos napona na SN sabirnicama.

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da u slučaju kada imamo transformator s ugrađenom automatskom regulacijom (ARN) možemo pretpostaviti da će se naponi pojavljivati u području u zoni osjetljivosti regulatora automatske regulacije napona koja je $\pm 1,5\%$ Un sve dok regulator ne dođe do krajnjih položaja.

Isto tako je vidljivo da se bez dublje analize postavki regulatora na transformatoru i cjelokupnih strujno naponskih prilika na tom dijelu mreže ne može komotno pristupiti profiliranju kao što je u slučaju B.

3.5.2. Analiza slučaj B

Na temelju provedene analiza za slučaj TS 35/10 kV bez reguliranog napona na sekundarnoj strani transformatora, a što je brzo uočljivo iz slike 6., može se zaključiti da se uzorci pojavljuju prateći normalnu Gaussovu razdiobu. Za očekivati je bilo da će se prosječna vrijednost napona ($\mu=10,51$ kV) pojaviti u najvećem broju slučajeva. Najveći dio uzoraka se nalazi u području $\mu-3\sigma$ (10,31 kV) do $\mu+3\sigma$ (10,71 kV)

Cijela krivulja je pomaknuta malo u desno, odnosno veći dio uzoraka se nalazi iznad prosjeka (μ). Što to znači? To može značiti da opterećenja nisu ravnomjerno opterećena tijekom promatranog razdoblja no to može biti i posljedica utjecaja priključenih proizvođača koji svojim utjecajem povisuju napon.

No svakako prikazuje primjer u kojemu je raspodjela napona u vremenu prema normalnoj razdiobi što se može koristiti za bržu obradu podataka i definiranje graničnih veličine za daljnje analize uz granične vrijednosti na 2σ ili 3σ ovisno o željenoj dosljednosti, ali i promjeni paradigme od determinističkog prema probabilističkom pristupu analizi mreže.

4. ZAKLJUČAK

U radu su obrađene dvije metode obrade mjernih podataka za potrebe odabira karakterističnih vrijednosti napona na sabirnicama transformatorske stanice VN/SN ili SN/SN za potrebe proračuna strujno-naponskih okolnosti kod priključka novih korisnika mreže.

Prva metoda je komforna metoda koja analizira sve mjerne podatke i na temelju ekstremnih vrijednosti određuje karakteristične vrijednosti napona.

Druga metoda je nekomforna metoda. Ova metoda analiza stvarne uzroke i broj pojavljivanja mjernih podataka, te ne temelju statističkih analiza odvajaju reprezentativne mjerne podatke od onih koji su nereprezentativni.

Obje metode imaju svoje prednosti i nedostatke. S prvom metodom ne možemo pogriješiti jer su zabilježene rubne vrijednosti (min /max) napona. Ova metoda može poslužiti kao okvir u kojem tražimo karakteristične vrijednosti napona.

Druga metoda je primjerenija za slučaj B jer dosljedno prati normalnu raspodjelu mjerenih veličina što u slučaju A nije tako. U prvom slučaju (transformator s ugrađenom ARN) karakteristične vrijednosti napona se pojavljuju u zoni osjetljivosti regulatora automatske regulacije napona. U drugom slučaju karakteristične vrijednosti napona ($\mu-3\sigma$ i $\mu+3\sigma$) se pojavljuju prateći normalnu Gaussovu razdiobu. Zaključno u vezi druge metode, a što je vidljivo i iz prikaza mjerenih veličina za slučaj A, može se smatrati dobrim rješenjem neki drugi način probabilističkog pristupa definiranju veličina umjesto normalne razdiobe za proračun jer se vrlo mali broj uzoraka (mjerenih veličina) pojavljuje u vrlo malom broju na velikim diskretnim pomacima od glavne grupacije mjerenja.

Obje metode se mogu koristiti za određivanje postavki napona na sabirnicama transformatorske stanice VN/SN za potrebe proračuna strujno-naponskih okolnosti u slučaju povišenog napona na VN sabirnicama kada regulator napona dođe do krajnjih rubnih položaja ili kad zbog utjecaja postojećih korisnika mreže napon dođe do rubnih vrijednosti u trafostanici u kojoj nema mogućnosti ARN. Prva metoda može biti okvir u kojem istražujemo karakteristične vrijednosti napona, a drugom metodom se mogu u konačnosti odrediti karakteristične vrijednosti napona.

5. LITERATURA

- [1] Mrežna pravila distribucijskog sustava (Mrežna pravila distribucijskog sustava (NN 74/18, 52/20)
- [2] Mrežna pravila distribucijskog sustava (NN 74/18, 52/20)
- [3] Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu (Internetska stranica: <https://www.hep.hr/ods/zakoni-i-propisi-138/138>)
- [4] Smjernice za izradu složenog proračuna na srednjem naponu (SpSN) u okviru EOTRP, HEP ODS, travanj 2021., interni dokument