



Mr.sc. Ernest Mihalek, dipl.ing.
Energetski institut "HRVOJE POŽAR"
Ulica grada Vukovara 37, Zagreb

31-06

UVODENJE NAPONA 400(230) V U NISKONAPONSKE MREŽE HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

SAŽETAK

Usklađivanje nazivnih napona niskonaponskih mreža s međunarodnim normama zahtijeva smišljeni način prijelaza s današnjeg nazivnog napona na napon 400(230) V. U referatu je dan osvrt na veličine optimalnih ekonomskih gubitaka napona u niskonaponskim mrežama, zatim tolerancije napona u prijelaznom periodu kao i prijedlog napona neopterećenog transformatora.

Ključne riječi: nominalni napon, niskonaponska mreža, gubici napona

400(230) V VOLTAGE IMPLEMENTATION TO LOW-VOLTAGE NETWORKS OF CROATIAN POWER UTILITY (HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA)

SUMMARY

The co-ordination of low-voltage network nominal voltage, according to international standards, demands a thoughtful way of changing from today's 380(220) V to the voltage 400(230) V. Some considerations of optimal economical voltage losses in low-voltage distribution networks, voltage tolerances in the period of transition, as well as the transformation rate for the new nominal voltage are given in the article.

Keywords: nominal voltage, low-voltage network, voltage losses

1. UVOD

Neposredno stojimo pred uvođenjem napona 400(230) V u naše niskonaponske mreže. Pitanja koja se s tim u vezi pojavljuju su ponajprije naponske tolerancije u tijeku prelaznog perioda kao i odabir omjera transformacije.

2. PRIKAZ NORME IEC-38

Naponi u elektroprivrednom sistemu su predmet normi. Nekoliko je razloga za potrebu normizacije napona, a prije svega dobivanje jedinstvenog napona za koji se proizvodi sva oprema i aparati a zatim i mogućnosti međusobne razmjene električne energije (kada su u pitanju prijenosni naponi).

Najznačajnija norma koju valja spomenuti na prvom mjestu je Publikacija 38/83 IEC - Normirani naponi, a obuhvaća izmjenični sustav nazivnih napona 100 V i 1000 V, uključivo i odgovarajuću opremu

U tablici 1. navedeni su normirani naponi trofaznog četverožičnog sistema i jednofaznog trožičnog sistema uključivo jednofazne krugove.

Niže vrijednosti u prvoj koloni su naponi prema neutralu a veće vrijednosti su naponi između faznih vodiča.

Naponi iznad 240 V/415 V su određeni posebno za primjenu u teškoj industriji i velikim komercijalnim ugovorima.

Tablica 1 Normirani naponi

Trofazni 4-žični ili 3-žični sistemi		Jednofazni 3-žični sistemi
Nominalni napon (V)		Nominalni napon (V)
-		120/240
220/380		-
230/400 1)		-
240/415		-
277/480 2)		-
660		-
1000		-

Napomene:

1) Vrijednosti 230/400 V budući su IEC normirani naponi i preporučeni u novim sustavima.

Redukcija ovog broja razmatrat će se kasnije.

2) Vrijednosti 500 V primjenjuju se u nekim zemljama trofaznog trožičnog sistema.

Nominalni naponi za jednofazna napajanja odabrat će se iz ove tablice i neće biti iznad 240 V. U normalnim uvjetima, preporuča se da napon u točki napajanja (na mjestu priključka u distributivnim mrežama) ne bi trebao odstupati od nominalnog napona više od $\pm 10\%$.

2.1. Uvođenje novog napona 400(230) V u javne NN mreže - s motrišta elektro-distribucije (lit.2)

Citiranje ovog članka za nas je vrlo poučno jer jasno govori o problemima i odlukama do vremena uvođenja novog napona u Njemačkoj.

Objavljivanjem normi DIN IEC 38, u svibnju 1987., je u SRNJ nazivni napon NN mreža postao 230/400 V umjesto ranijeg 220/380 V.

Traženo je da pogonski napon mreža ne bi smio, za vrijeme prelaznog perioda do godine 2003., prekoračiti granice 230/400V +6%/-10%, tj. područje između 244 V i 207 V na priključku potrošača. Budući da se time ne mijenja gornja granica pogonskog napona, dopuštena je i nadalje uporaba svih uređaja dimenzioniranih za 220 V do kraja njihova vijeka trajanja, bez opasnosti za sigurnost. Podizanjem donje granice napona namjerava se postići povoljnije uvjete pogona nekih uređaja.

Poslije 2003. iznosit će tolerancije napona $\pm 10 \%$, ako do tada ne dođe do njihova daljnjeg snižavanja.

Da bi pogon uređaja bio zadovoljavajući, nakon prijelaza na 230/400 V, naglašena je važnost da napon mreže na kućnom priključku u normalnim uvjetima ne bude ispod donje vrijednosti od $230 \text{ V} - 10 \% = 207 \text{ V}$.

U obrnutom slučaju bi, strahuju npr. proizvođači uređaja s motorima, motori nazivnog napona 230 V imali poteškoća pri pokretanju. Zbog toga je Njemačka elektrotehnička komisija (DKE) zamolila elektrodistribuciju da u prijelaznom periodu održi naponske tolerancije između 244 V i 207 V. Time bi uređaji dimenzionirani za 230 V (funkcija kojih bi ispod 207 V na kućnom priključku bila ugrožena) mogli biti vrlo brzo iznijeti na tržište. Proizvođači uređaja (aparata) očekuju informaciju od VDEW do kada se može računati da napon u normalnom pogonu neće biti ispod 207 V. Iz razumljivih razloga taj se rok nije mogao točno predvidjeti.

Za orijentaciju iznesena je procjena broja kućnih priključaka na kojima, u pravilu, nije trebao napon biti niži od 207 V.

god. 1988.	90 %
god. 1990.	97 %
god. 1992.	oko 100 %

Prijašnja pokusna mjerenja momentalnih vrijednosti napona su pokazala da je napon u mreži obično bliži 230 nego 220 V. Niži napon od 207 V Njemačka ima u pravilu samo na radijalnim ograncima u vrijeme vršnih opterećenja i to ne u blizini stanica gdje se nalazi većina potrošača.

Budući da pogonski napon kod većine potrošača još uvijek nije blizu 230 V, predloženo je da ga se, prema prilikama, dovede na 230 V malim povišenjem napona u SN mreži s regulacijom na transformatorima pod teretom ili adekvatnim podešenjem regulacije transformatora X/0.4 kV.

Nakon stupanja na snagu standarda DIN IEC 38, uputio je VDEW dopis ZVEI-u u kojem se tražilo od proizvođača sijalica da u buduću pri njihovom dimenzioniranju uzmu u obzir stvarni pogonski napon. Sijalice će zbog toga biti dimenzionirane na napon 238 V s mogućnošću primjene u rasponu napona od 230 do 245 V.

Posljedice promjene nazivnog napona na tolerancije električnog brojila obradila je jedna mješovita radna grupa sa predstavnicima Fizičko-tehničkog saveznog zavoda. Zaključeno je da se sva postojeća brojila za 220 V mogu i dalje upotrebljavati, dok je pogonski napon u granicama od 230 V (+6% -10%). Ako nova brojila imaju dopuštenje proizvođača za nazivni napon 230 V, onda mogu normalno imati naponske tolerancije od $\pm 10\%$.

3. EKONOMSKA VELIČINA GUBITAKA NAPONA NA NN VODOVIMA

Za naše potrebe pogledajmo najprije optimalne ekonomske veličine gubitaka (padova) napona u NN mrežama.

Pod optimalnim ekonomskim gubitkom napona smatra se razlika napona na početku i na kraju voda opterećenog ekonomskim opterećenjem. Pri tom vod mora biti pravilno tehnički uređen. Ekonomsko opterećenje dobivamo ako opterećenim vodom teče struja ekonomske gustoće:

$$G_{ek} = \frac{I_{max}}{S_{ek}} \quad (\text{A/mm}^2)$$

gdje je:

$$I_{max} = \text{maksimalna jakost struje (A)}$$

$$S_{ek} = I_{max} \sqrt{\frac{3 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot F_g}{C_s \cdot a}} \quad (\text{mm}^2)$$

Tu je:

- ε = faktor težišta opterećenja na vodu (za kontinuirano opterećenje $\varepsilon = 0.33$)
- ρ = specifični otpor ($\rho = 0.028 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ za aluminijske vodiče)
- a = faktor godišnjih troškova investicija (ovisno o vrsti voda)
- $F_g = t_s g + T_p t_e$ (Din/god), faktor cijene električne snage i energije,
- C_s = faktor porasta cijene voda iz izraza: $C = C_0 + C_s S$ (Din/km)

PRORAČUN ILI IZBOR POJEDINIH FAKTORA

Faktor F_g i C_s su izračunati i uneseni u slijedeću tablicu

Tablica 2

Tip voda	F_g (Kn/k Wgod)	C_s (Kn/km mm ²)	F_g / C_s	Faktor korekcije zbog porasta	G_{ek} (A/ mm ²)
SKS	517	513.5	1	0.9	1.42
Al (goli)	496	200	2. 48	0.9	1.28
PPOO- A	612	819	0. 75	0.9	1.87

Obzirom da u izraz za gubitak napona na vodu ulazi i njegova duljina, uzet ćemo je u obzir izrazom za kritičnu duljinu kod NN - mreže prema zahtjevima dosega zaštite.

Doseg zaštite ili kritična duljina voda (l_{krit}) u niskonaponskoj mreži je ona duljina voda kod koje je struja minimalnog jednopolnog kratkog spoja još uvijek dovoljne jakosti da pregori nadležni osigurač. U preglednoj tablici 3 dane su računske kritične duljine za proračun optimalnih gubitaka napona na niskonaponskim vodovima.

Optimalni gubitak napona dobit ćemo prema izrazu za gubitak napona na vodu, uvrstivši sve potrebne veličine:

$$\Delta u_{opt} = \frac{k \cdot P_{ek} \cdot l_{krit} \cdot K}{10 \cdot U^2}, \quad (\%)$$

gdje je:

- $k = 0.5$ faktor kontinuiranog teret na NN vodu,
- $P_{ek} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$ (kW), $\cos \varphi = 0.9$,
- l_{krit} = doseg zaštite (km),
- $K = r + x \tan \varphi$ - jedinična konstanta voda (Ω/km),
- $U = 0.38$ kV - nominalni napon

Rezultati proračuna optimalnih gubitaka napona, ovisno o tipu voda dati su na slijedećoj tablici:

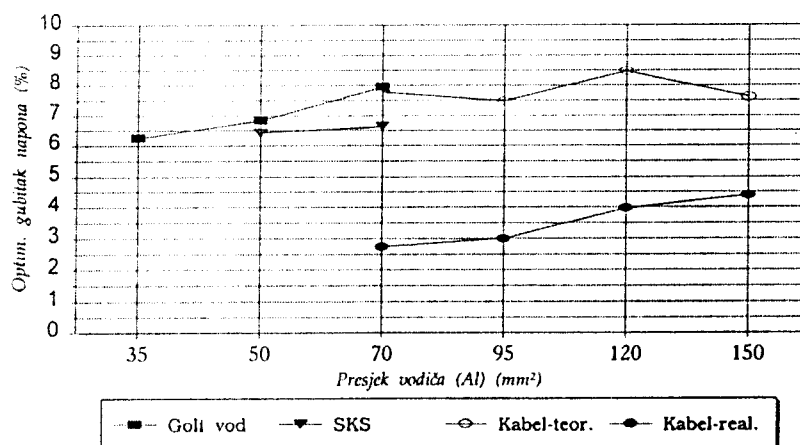
Tablica 3 Pregled vrijednosti za proračun optimalnog gubitka napona na NN vodovima

TIP VODA	Goli vod (Al)			SKS		PVC kabel (Al)			
Presjek vodiča (mm ²)	35	50	70	50	70	70	95	120	150
Cij. el. snage (Kn/kW*god)	740	740	740	740	740	740	740	740	740
Cijena el. energ. (Kn/kWh)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Faktor F _g (Kn/kW*god)	*496	496	496	517	517	612	612	612	612
Faktor C _s (Kn/km*mm ²)	200	200	200	513	513	819	819	819	819
Omjer F _g /C _s	2.48	2.48	2.48	1.01	1.01	0.75	0.75	0.75	0.75
Faktor god. troškova "a"	0.14	0.14	0.14	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09
Ekonom. gust. struje (A/mm ²)	1.28	1.28	1.28	1.42	1.42	1.87	1.87	1.87	1.87
(isto iz literature) (A/mm ²)	1.30	1.30	1.30	1.40	1.40	1.90	1.90	1.90	1.90
Ekonom. jak. struje (A)	45	64	89	71	99	131	177	224	250*
Ekonomsko optereć. (kW)	26	38	53	42	59	77	105	133	148
Nadležni osigurač (A)	63	80	100	100	125	160	200	250	250
Ohmski otpor (Ohm/km)	0.83	0.58	0.44	0.64	0.44	0.52	0.34	0.30	0.24
Induktivni otpor (Ohm/km)	0.32	0.30	0.29	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
$r + x \operatorname{tg} \varphi$ (Ohm/km)	0.99	0.73	0.58	0.68	0.48	0.57	0.38	0.34	0.29
Kritič. duljina l_{krit} (km)**	0.69	0.72	0.75	0.65	0.68	0.51	0.54	0.54	0.52
Optim. gub. napona (%)	6.26	6.84	7.95	6.43	6.65	7.77	7.49	8.48	7.62

Napomena: * - ograničenje zbog veličine osigurača

** - provjereno programom za proračun NN mreža

Rezultati proračuna optimalnog gubitka napona na niskonaponskim vodovima prikazani su i grafički (slika 1.). Za razliku od tablice, na dijagramu je prikazana i razlika teoretskih i realnih optimalnih gubitaka napona kod kabela. Naime, u gradskim mrežama koju uglavnom čine kabelski vodovi, vrlo je velika gustoća opterećenja, pa kabele nikad nemaju "prirodnu" ili "teoretsku" kritičnu duljinu, tj. strujna se granica opterećenja dostiže kod višestruko manjih ("realnih") duljina. Time optimalni gubitak napona u stvarnosti nikad ne može biti dosegnut, pa je zato nazvan "realnim".



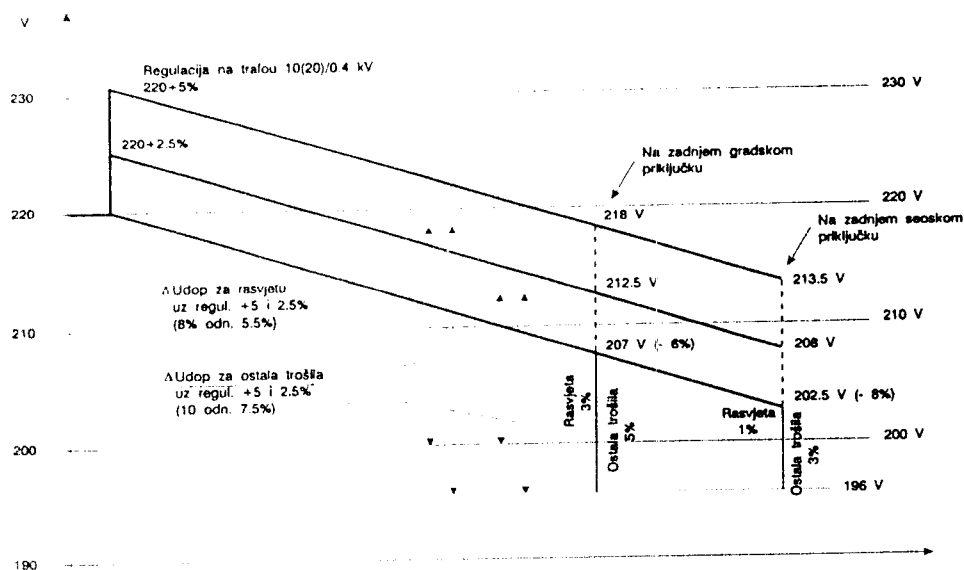
Slika 1. Optimalni gubici napona na NN vodovima

Rezultati pokazuju da veličina ekonomski optimalnog gubitka napona uglavnom korelira s troškovima voda. Objašnjenje takvog tijeka gubitka napona je da se, čim je vod skuplji - optimalni gubici energije pomiču prema većim vrijednostima (Kelvinovo pravilo), odnosno većim gubicima snage, pa dakle i gubicima napona.

Prema tome, na jeftinijim vodovima (npr. goli nadzemni vodovi), optimalni gubici napona su prirodno manji nego na skupljim vodovima (samonosivi kabelski snopovi i pogotovo podzemni kabeli) i iznose oko 6 do 7%, naravno ako su zadovoljeni zahtjevi kritičnih duljina vodova tj. tehnički zahtjevi zaštite. Svakako, kritične duljine vodova nisu jednoznačne pa u tom smislu ni optimalni gubitak napona nije jednoznačna veličina za pojedini vod. Razlog je u tome što se zaštita može s nekim uređajima podesiti na drugačiju kritičnu duljinu (npr. zaštita pomoću automatskih zaštitnih osigurača ili umetanjem sekundarnog osigurača u vod).

3. RASPONI NAPONA KOD DANAŠNJEG NOMINALNOG NAPONA

Kod promatranja dopuštenih gubitaka napona mora se misliti, osim na gubitke napona na NN vodovima, i na gubitke napona kod potrošača, odnosno veličinu napona na priključku njegovih trošila. Na temelju takvog razmišljanja moguće je u mreži, zaključno do priključnog mjesta potrošača, dopustiti veće gubitke napona ako je vjerojatno da će gubici napona u instalacijama potrošača biti prosječno manji. Takav odnos gubitaka napona prikazuje dijagram na slici 2. za pogonske prilike kakve bi smjele biti s današnjim nominalnim naponom 380(220) V.



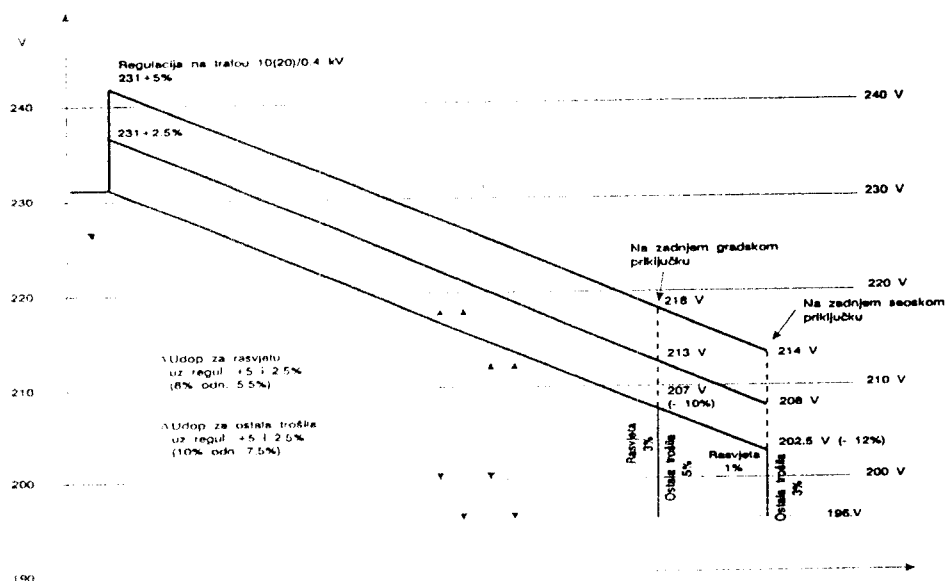
Slika 2. Gubici napona na NN vodu i instalaciji potrošača uz $U_n=220$ V

S druge strane prijelaz na IEC normirani napon 400(230) V omogućuje, uz analogna razmatranja, i veće tolerancije napona. Na slici 3. dan je analogni prikaz gubitaka napona na niskonaponskom vodu nakon uvođenja ovog napona.

4. OSVRT NA OSTALE UVJETE KVALITETE NAPONA U NN MREŽI

Kvaliteta napajanja potrošača u niskonaponskoj mreži ovisi ponajprije o "čvrstoći" same mreže. Zadržavanje gubitaka napona u čim užim granicama povećava otpornost mreže na utjecaje kolebanja napona zbog rada jakih aparata (npr. aparati za zavarivanje) i pojave viših harmonika zbor rada ispravljača i sl. U tom smislu mora se ograničavati ili skratiti duljinu niskonaponskih vodova ili povećati njihov presjek vodiča.

Dopuštene granice maksimalno dopuštenih varijacija napona dane su u normi IEC 555-3 ili "krivuljom flikera" CENELCOM-a. Veličina dopuštenih varijacija napona opada s frekvencijom varijacija u sekundi.



Slika 3. Gubici napona na NNvodu i instalaciji potrošača uz $U_n=230\text{ V}$

Tako je npr. dopuštena relativna veličina varijacije napona:

- kod 0.1 varijacije u sekundi - $\Delta U/U\% = 1.5\%$
- kod 0.5 varijacija u sekundi - $\Delta U/U\% = 0.8\%$
- kod 5 varijacija u sekundi - $\Delta U/U\% = 0.55\%$
- kod 10 varijacija u sekundi - $\Delta U/U\% = 0.3\%$ (najniža vrijednost)
- kod >10 varijacija u sekundi - $\Delta U/U\%$ ponovno raste

Smanjivanje pojava kolebanja napona u mreži osigurava se i određivanjem dopuštenih snaga trošila u mreži. Pri tom se mora pretpostaviti i neku prosječnu učestalost kolebanja, pa se pri učestalosti impulsa od 2.5/min. tj. 5 pojava sklapanja u minuti, dobiva se za NN mrežu ove dopuštene snage:

- za uređaje ili dijelove uređaja 1f 220 V 2000 W
- za uređaje ili dijelove uređaja 2f 380 V 7000 W
- za uređaje ili dijelove uređaja 3f 380 V 10000 W

Kritične duljine niskonaponske mreže obzirom na kriterij kolebanja napona trebalo bi prema kriterijima IEC računati za relativno kolebanje napona:

- 2% za dopušteno kolebanje 1 do 3 sklapanja u minuti
- 1.5% za dopušteno kolebanje 3 do 10 sklapanja u minuti.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Kod izbora nazivnog napona u niskonaponskim javnim mrežama potrebno je razmotriti više aspekata međusobnog utjecaja veličine gubitka napona, gubitaka električne snage i energije, zatim naglih padova napona u mreži zbog ukapčanja i sl.

Dopuštanje većeg gubitka napona u NN mrežama dovodi do povećanja gubitaka snage i energije

Smanjenje gubitaka snage i napona proporcionalno je omjeru kvadrata starog i novog pogonskog napona, tj.:

$$\Delta P_g = \left(\frac{U_{stari}}{U_{novi}} \right)^2$$

Prijelaz na novi napon 230/400 V koji je 5 % viši od dosadašnjeg, daje šansu da se gubici električne energije i snage, dakle i gubici napona, nastave smanjivati i samo ovim zahvatom smanje za oko 10 %.

Povoljno bi bilo da se zbog uključivanja većih trošila ili rada impulsno upravljanih uređaja uvede dodatna tolerancija napona. To znači da se povremeno mora dopustiti i veći gubitak napona od propisanog, što je u nekim inozemnim elektroprivredama već uobičajeno. Iznos te tolerancije je u okvirima 1.5 do 2 %.

Također se u dosadašnjim propisima nije spominjalo vrijednosti gubitaka napona dopuštenih u izvanrednim i hitnim okolnostima.

Na osnovi ovakvog razmatranja dan je primjer prijedloga dopuštenih gubitaka napona na priključku i na aparatu, dakle, uzevši u obzir gubitak napona i u priključku potrošača (vidjeti sliku 5 na kraju).

Uočljivo je, osim toga, da često u propisima i standardima za veličine dopuštenih gubitaka napona u svijetu, za ukupni kriterij gubitka napona "igraju" dvije veličine:

- relativni gubitak napona (%) i
- apsolutna vrijednost napona na priključku i na aparatu kod potrošača.

Svi relativni gubici napona, naime, izračunati su u odnosu na nominalni napon, što znači da je moguće ostvariti i viši relativni gubitak napona ako se garantira da napon ne će biti ispod određene apsolutne vrijednosti. To je moguće ako se uzme u obzir trajno stanje regulacije napona u SN i NN mreži i nominalne napone transformatora.

Posebno je važno pitanje koliko je naša distribucija spremna prihvatiti novi napon ili postepeni prijelaz na novi napon. U mrežama hrvatske distribucije danas ima mnogo transformatora s prijenosnim odnosom 10(20)/0.4(0.23) kV. Istovremeno to ne znači da su te mreže već prešle na napon po IEC 38 jer se spomenutim veličinama napona (u praznom hodu!) kompenziraju samo gubici napona u SN mreži i transformatorima pod teretom, a napon mreže i dalje ostaje 380(220) V.

Zato bi ubuduće napon praznog hoda transformatora morao biti npr. 420(242) V što zadovoljava uvjet u prijelaznom periodu da je $420 \text{ V} < 400 \text{ V} + 6\% = 424 \text{ V}$. Veličina i omjer napona transformacije treba biti u skladu s tolerancijama prema IEC 38 u prijelaznom periodu jer bi inače viši nominalni napon na sekundaru doveo do pojave previsokog napona u vrijeme smanjenih opterećenja u tijeku dana. Napon treba držati pod kontrolom, budući su neka trošila na jako osjetljiva ako je povišen.

Prema međunarodnoj normi IEC 38/1983. (novelacija 1988.), predlaže se postepeni prijelaz na 400(230) V u mrežama tijekom 20 (15) godina (do 2003.god.). Normalno je da se i Hrvatska

pridružuje ovoj tendenciji ali rok prijelaza trebat će se produljiti u odnosu na ostali svijet. U ovom radu se računa sa završetkom prijelaza do 2010. godine jer proces mora teći zajedno s izmjenama i rekonstrukcijama u mreži, a svakako i uvođenjem transformatora s novim prijenosnim odnosom (kojih danas ima oko 25000).

Osim spomenutog, ima problema sa sanacijama i rekonstrukcijama i u srednjenaponskoj mreži - pa to treba rješavati paralelno.

Obzirom na smjernice koje je pokazao proračun optimalnih gubitaka napona, kao i ostale čimbenike koji su u radu spomenuti, moglo bi se za naše mreže preporučiti da u tijeku prijelaza na novi razdjelni napon 400(230) V, za *dopušteni gubitak napona na priključku* treba, ovisno o vrsti mreže, dopustiti različite tolerancije gubitaka napona (u odnosu na IEC 38 - vidjeti tablicu 4.). S druge strane povećanje gubitaka snage i energije u mreži povećava njezinu osjetljivost na kolebanja napona, što govori protivno povećanju. Zbog toga, povećani gubici napona mogu biti dopušteni, u principu, samo u mrežama s novim pogonskim naponom 400(230) V, kao što predlaže IEC. Iznimku, po ovom prijedlogu, čine prigradske i seoske mreže ali samo na račun manjih gubitaka napona u instalacijama potrošača.

Prema standardu IEC, koji treba služiti kao vodilja, minimalni napon u prijelaznom periodu treba iznositi najmanje 207 V, što je 6% od današnjeg nazivnog napona (220 V) i 10% od novog napona (230 V). Tendencija je da se postupno ljestvica dopuštenih gubitaka napona pomiče prema višim vrijednostima do kraja prijelaznog perioda (vidjeti sliku 4).

Prema proračunu optimalnih gubitaka napona i svim razmatranjima, moguće je predložiti skalu koordinacije napona u našim niskonaponskim mrežama. Sve vrijednosti napona neka vrijede za 95% potrošača, tj. 5% potrošača smijelo bi biti izvan ove granice. Ovaj - statistički - način promatranja prilika u mreži također bi se moglo ubuduće usvojiti.

Sve u svemu bi se prijelaz moglo predložiti na način kako slijedi iz slijedeće tablice:

Tablica 4 Dopušteni rasponi napona u postojećim NN mrežama u prelaznom periodu do 2010.god. , $U_{nom}=380(220)$ V

Vrst niskonaponske mreže	Dopušteni gubici napona			
	na mjestu isporuke		u instalaciji	
	potrošača			
	gornji	donji	rasvjeta	ostali uređaji
Gradske kabel. mreže	+5%	-6%	-3% (uk. 9%)	-5% (uk. 11%)
	399/231 V	357/207 V	346/200 V	338/196 V
Prigradske i seoske mreže	+5%	-8%	-1%(uk.9%)	-3%(uk.11%)
	399/231 V	350/202 V	346/200 V	338/196 V

Vrijednosti gubitaka napona kojima se teži prema kraju prelaznog perioda navedene su u dvije slijedeće tablice (prema U_{nom}):

Tablica 5 Ciljni rasponi napona u NN mrežama tijekom prelaznog perioda do 2010.god.

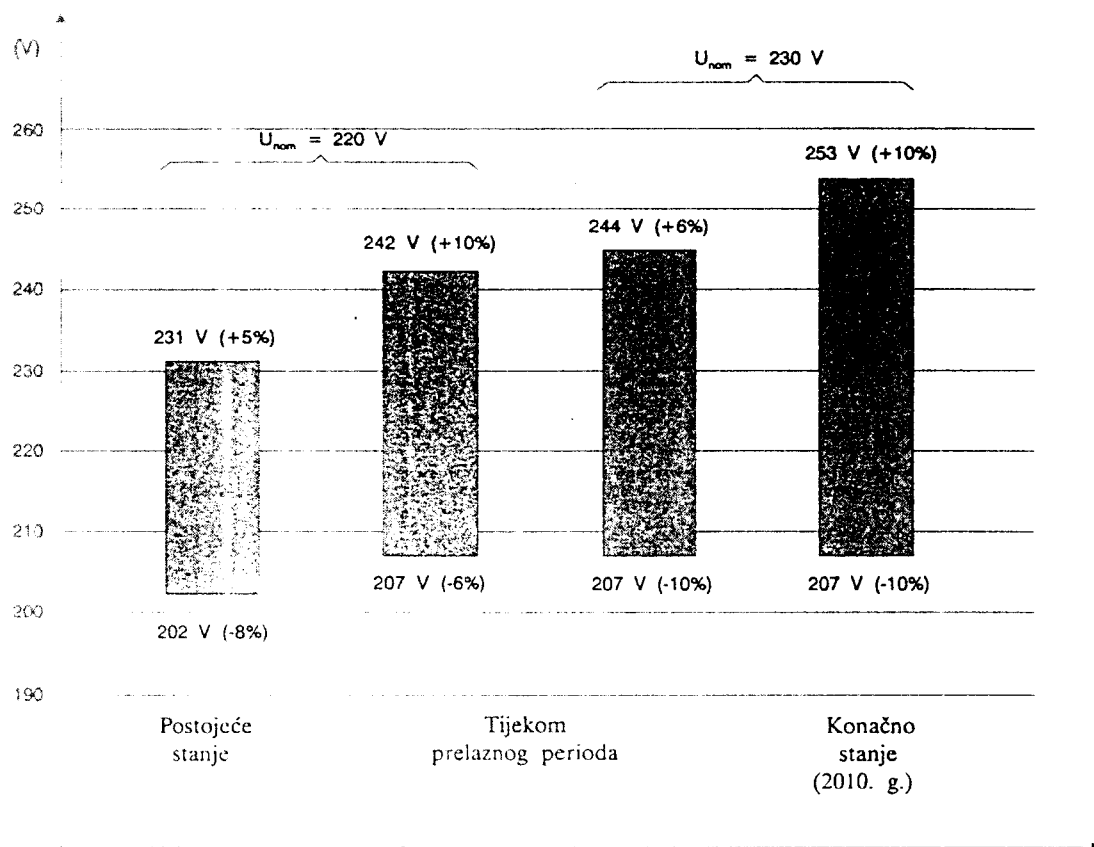
Vrst niskonaponske mreže	Dopušteni gubici napona			
	na mjestu isporuke		u instalaciji potrošača	
	gornji	donji	rasvjeta	ostali uređaji
Gradske mreže				
380(220) V	+10%	-6%	-3% (uk. 9%)	-5% (uk. 11%)
	418/242 V	357/207 V	346/200 V	338/196 V
400(230) V	+6%	-10%	-3% (uk. 13%)	-5% (uk. 15%)
	424/244 V	360/207 V	348/200 V	340/196 V
Prigradske i seoske mreže				
380(220) V	+10%	-8%	-1% (uk. 9%)	-3% (uk. 11%)
	418/242 V	350/202 V	346/200 V	338/196 V
400(230) V	+6%	-12%	-1% (uk. 13%)	-3% (uk. 15%)
	424/244 V	352/202 V	348/200 V	340/196 V

Na kraju prelaznog perioda i nakon njega granice napona se proširuju još i na gornjem kraju tako da konačno imamo slijedeće:

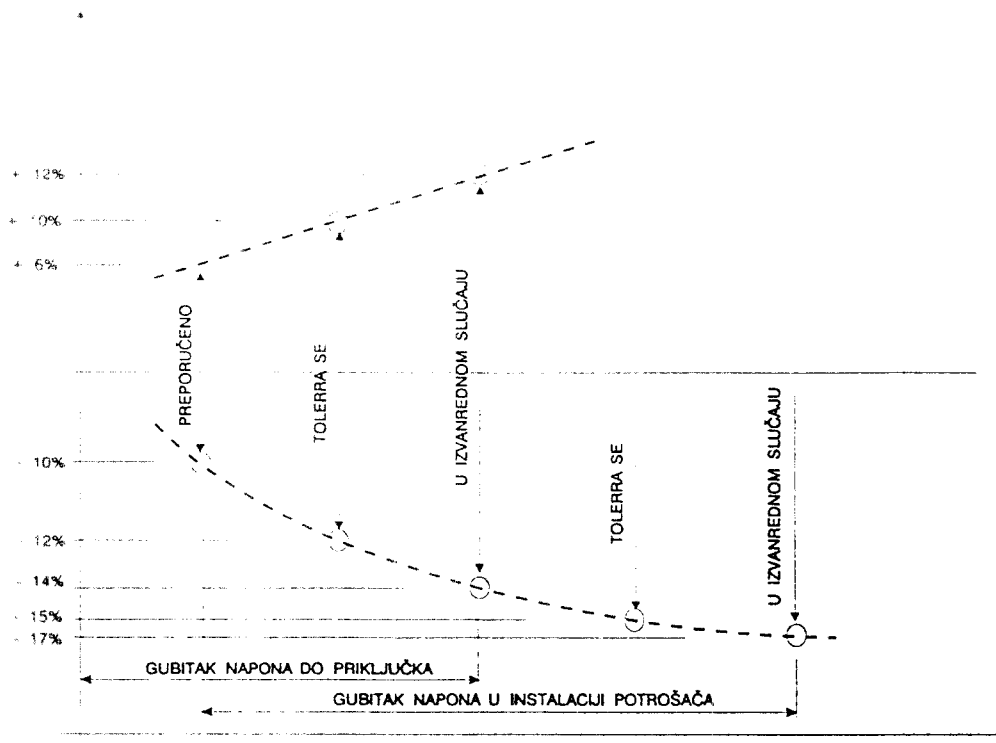
Tablica 6 Dopušteni rasponi napona u NN mrežama na kraju prelaznog perioda i nakon 2010.god., $U_{nom}=400(230)$ V

Vrst niskonaponske mreže	Dopušteni gubici napona			
	na mjestu isporuke		u instalaciji	
	potrošača			
	gornji	donji	rasvjeta	ostali uređaji
Gradske mreže				
400(230) V	+10%	-10%	-3% (uk. 13%)	-5% (uk. 15%)
	440/253 V	360/207 V	348/200 V	340/196 V
Prigradske i seoske mreže				
400(230) V	+10%	-12%	-1%(uk. 13%)	-3%(uk. 15%)
	440/253 V	352/203 V	348/200 V	340/196 V

Prema navedenim tablicama načinjen je grafički prikaz koji će na očigledniji način opisati dani prijedlog prijelaza na novi nominalni napon - slika 4., dok je na slici 5. dan prijedlog tolerancija napona ovisno o situaciji u mreži (po uzoru na ANSI standard).



Slika 4. Nazivni fazni naponi i tolerancije napona u hrvatskim javnim niskonaponskim mrežama u tijeku prelaznog perioda



Slika 5. Prijedlog tolerancija napona prema situaciji u mreži

LITERATURA:

- (1) IEC standard voltages, Publication 38, Sixth ed. 1983.
- (2) W. Hardt: Einführung des neuen Nennspannungswertes 230/400 V für die Öffentlichen Niederspannungsnetze - eine Situationsbeschreibung aus der Sicht der EVU, Elektrizitätswirtschaft, H6/1988.
- (3) Turan Gönen: Electric power distribution system engineering, MacGraw-Hill, 1986.
- (4) Netzverluste, VDEW, 1978.
- (5) J. Neveščanin: Posljedice uvođenja novog većeg nazivnog niskog napona i pitanje koordinacije optimalnih iznosa pada napona u uvjetima primjene novog JUS N.A.2001/88. u elektrodistribucijskim kab. mrežama NN, XII sipm. o energ. kabelima, Novi Sad, 1990.
- (6) E. Mihalek i sur.: Upute za projektiranje distributivnih niskonaponskih mreža, Institut za elektroprivredu, Zgb, 1989.
- (7) E. Mihalek: Mogućnost i posljedice priključivanja velikih trošila na NN mrežu s preporukom za zaštitu i zakonsku regulativu, studija, Institut za elektroprivredu, Zgb, 1985.
- (8) E. Mihalek: Proračun i ocjena ometajućih utjecaja brzih i sporih kolebanja napona u NN i SN mreži. studija, Institut za elektroprivredu, Zgb, 1990.
- (9) E. Mihalek: Koordinacija gubitaka napona u niskonaponskim mrežama, studija, Institut za elektroprivredu, Zgb, 1991.