

## PRIMENA CEVASTIH STUBOVA OD ČELIKA ZA DISTRIBUTIVNE NADZEMNE VODOVE

Đ. Glišić  
V. Tomašević  
Elektrodistribucija – Beograd, Beograd

### UVOD

U Elektroprivredi Srbije se za distributivne nadzemne vodove isključivo preporučuje primena stubova od betona prema Tehničkoj preporuci br. 10.

Stubovi od betona se koriste do dužine 21 m i nazivne sile u vrhu stabla stuba do 2000 daN. Dužine stubova su ograničene zbog ograničene dužine postojećih kalupa i postupka izrade. Uz pretpostavku da su ispravno dimenzionisani i kvalitetno proizvedeni, bilo kao prednapregnuti ili kao klasično armirani, pokazuju veliku pouzdanost. Homogenizacija betona se vrši postupkom vibriranja i centrifugiranja. Nedostatak im je velika težina koja otežava transport i montažu čine se povećava cena izgradnje vodova.

U slučaju potrebe za većom dužinom stabla stuba postoji rešenje u izradi nadvišenog temelja čime se ono podiže za najviše 1 m uz znatne troškove.

U slučaju potrebe za većom silom u vrhu stuba kombinuju se stubovi sa dva ili tri stabla stuba od betona što povećava broj tipova konzola od betona i znatno poskupljuje nadzemni vod. Čak i ugradnjom stubova sa dva ili tri stabla stuba od betona najveća sila se povećava na 6 000 daN odnosno 8 000 daN. Međutim, stubovi sa dva ili tri stabla stuba od betona zauzimaju veći prostor kako površinski tako i zapreminski, a da se ne pominje vizuelno zagađenje.

Prevazilaženje ograničenih mogućnosti stubova od betona je primena cevastih stubova od čelika.

Cevasti stubovi od čelika su prvi put ugrađeni na mestima gde nisu mogli da se ugrade stubovi od betona. Uvažavajući prednost kao što su: transport i ugradnja stubova, u odnosu na stub od betona oni imaju izrazitu prednost. Velika prednost ovih stubova je i u transportu i ugradnji jer postoji mogućnost sastavljanja stabla iz više delova (naglavljivanjem npr.: fišek u fišek).

Međutim važno je ipak napomenuti da su u agresivnim sredinama osetljivi na koroziju, ali i to se danas prevazilazi sve kvalitetnijim sredstvima zaštite od korozije.

Mogućnost proširenja game stubova sa dužinama većim od 21 m i silama u vrhu većim od 2000 daN pod uslovom osne simetričnosti, cevasti stubovi od čelika mogu i treba da nađu primenu u izgradnji distributivnih nadzemnih vodova i da se usvoje kao standardizovano rešenje.

### POREĐENJE ČVRSTOĆA I ELASTIČNOSTI STUBOVA OD BETONA I CEVASTIH OD ČELIKA

Izbor materijala za stubove distributivnih nadzemnih vodova prvenstveno se zasniva na njihovim

mehaničkim karakteristikama: čvrstoće na zatezanje i elastičnosti na savijanje stuba.

### **Ponašanje materijala za stubove**

Armirani beton kao materijal za stubove pokazuje sklonost krtom lomu.

Čelik kao materijal za stubove pokazuje sklonost ka deformacijama bez krtog loma.

Odnos elastičnosti armiranog betona i čelika dat je u tabeli 1.

Tabela 1 Odnos elastičnosti armiranog betona i čelika

Materijal stuba	Odnosi elastičnosti
armirani beton	100%
čelik	315%

Cevasti stubovi od čelika, zahvaljujući vrhunskoj čvrstoći čelika, imaju vrlo tanke zidove.

Cevasti stubovi od čelika kao i stubovi od betona ako imaju jednake dužine i nazivne sile pri delovanju jednakih vrednosti sila u vrhu imaju slične vrednosti otklona.

### **Ponašanje stubova pri opterećenjima do nazivnih karakteristika**

Opterećenje stuba do nazivnih karakteristika nesme da dovede do loma stuba.

Inače, lom stuba preko koeficijenta sigurnosti je nazivna karakteristika stuba. Elastičnost stuba, za sada, ne spada u rang nazivnih karakteristika. Zato što prevelika elastičnost stuba može da dovede do opterećenja ostalih komponenata nadzemnog voda za koje one nisu dimenzionisane.

Tipična oštećenja stubova pri lomu data su u tabeli 2.

Tabela 2 Tipična oštećenja stubova pri lomu na savijanje

Stub	Tipična oštećenja stubova pri lomu
	na savijanje
od betona	lom potpun ili delimičan
cevasti od čelika	lom zbog deformacije

Kod stubova od prednapregnutog betona pri ekstremnom opterećenju na savijanje lomovi se dešavaju zbog oštećenja betona.

Kod stubova od klasično armiranog betona pri ekstremnom opterećenju na savijanje lomovi se ne dešavaju iako se dešava oštećenje betona i deformacija armature od čelika u zoni pritiska.

Kod cevastih stubova od čelika pri ekstremnom opterećenju na savijanja lomovi se dešavaju zbog deformacije, što može da se spreči ugradnjom odgovarajućeg elementa za ukrućenje.

## **POREĐENJE TRAJNOSTI STUBOVA OD BETONA I CEVASTIH OD ČELIKA**

### **Stubovi od betona**

Iskustva zemalja koje koriste veliki broj stubova od betona su da se u eksploataciji pojavljuju brojna oštećenja koja su uočena u postupku provere nosivosti.

### **Oštećenja**

Glavni uzroci oštećenja spoljašnje površine stubova od betona su:

- unutrašnji mehanički poremećaji koji su nastali zbog: utezanja preseka, higroskopnosti i termičkih šokova nastalih u procesu zamrzavanja,

- hemijski uticaji na površinu betona od uticaja okoline.

Kod stubova od betona zaštitu armature od korozije čini velika količina alkalnih komponenata u betonu. Međutim ugljen dioksid ( $\text{CO}_2$ ) koji se nalazi u vazduhu prodire u beton i sa alkalnim komponentama čini kalcijum karbonat (proces karbonizacije), a armatura od čelika koja se nalazi u takvom karbonatu nije zaštićena od korozije i ona korodira.



Cevasti stub od čelika u ulozi ugaono zateznog uporišta jednosistemskog 35 kV nadzemnog voda sa zaštitnim užetom

### Oblici oštećenja i njihov uticaj na nosivost stuba

Mrežasto ili zrakasto oblikovane prsline ne predstavljaju oštećenja.

Poprečne prsline nastale kao posledica savijanja ne smanjuju nosivost.

Oštećenja spoljašnje površine stuba prouzrokuju koroziju armature. Oštećenje armature smanjuje nosivost stuba.

Odnos tipova oštećenja stubova od betona dat je u tabeli 3.

Tabela 3 Odnos tipova oštećenja stubova od betona

Tip oštećenja	Odnos tipova oštećenja stubova od betona
Poprečne prsline	15%
Podužne prsline	
prsline na spojnicama kalupa	46%
ostale prsline	50%
Oštećene površine	16%
Oštećenje armature	4%
Napomena: Od ukupnog broja pregledanih stubova od betona 11% je imalo vrlo velika oštećenja, a 8% su izgubili stabilnost i bili su zamenjeni ili popravljani.	

## Popravak oštećenja

Za otklanjanje oštećenja postoje određeni postupci, a jedan od postupaka je postupak po SAG - u, kojim se stubu vraćaju nazivne karakteristike, a prednost ovog postupka je u sledećem:

- smanjenje uticaja vlage na unutrašnjost stuba provetravanjem unutrašnjosti stuba, čime se istovremeno izjednačavaju spoljašnji i unutrašnji uslovi,
- zaštita spoljašnje površine epoksidnom smolom armirana staklenom tkaninom, čime se obnavljaju površine i zatvaraju pukotine, a istovremeno se na toj površini beton izoluje od atmosferskog uticaja,
- zaštita spoljašnje površine epoksidnom smolom (premazom), čime se obnavljaju površine i zatvaraju pukotine, a istovremeno se na toj površini beton izoluje od atmosferskog uticaja.

Da bi se oštećenom stubu vratile nazivne karakteristike potrebno je da se osim jednog sloja staklenih vlakana ugradi više slojeva staklenih vlakana što može da se odredi računarskim programom koji je razvijen na Univerzitetu Essen.



Cevasti stub od čelika u ulozi nosećeg uporišta za jednosistemski 10 kV nadzemni vod pripremljen za dalju montažu (izolatora i provodnika)

## Proizvodnja i dimenzionisanje stubova od betona

Zaključci koji se odnose na proizvodnju i dimenzionisanje stubova od betona su sledeći:

- debljina spoljašnjeg zaštitnog sloja betona treba da je veća od 25 mm ,

- postojanje provetravanja unutrašnjosti stuba.

### Cevasti stubovi od čelika

Iskustva zemalja koje koriste veliki broj cevastih stubova od čelika govore o velikoj dugotrajnosti stubova zaštićenih cinkovanjem toplim postupkom.

### Zaštita od korozije

Cevasti stubovi od čelika se štite od korozije cinkovanjem toplim postupkom sa minimalnom površinskom masom cinka od  $610 \text{ g/m}^2$  čemu odgovara minimalna debljina sloja cinka od  $80 \mu\text{m}$ .

### Vek trajanja sloja cinka

Brzina propadanja sloja cinka data je u tabeli 4.

Tabela 4 Brzina propadanja sloja cinka\*

Oznaka	Kategorija spoljašnjeg prostora	Brzina propadanja sloja cinka	
		od	do
		$\frac{\mu\text{m}}{\text{godina}}$	
C 2	seosko područje u unutrašnjosti dalje od obale mora ( $> 10 \text{ m}$ )	0,1	0,7
C 3	gradsko područje u unutrašnjosti dalje od obale mora ( $> 10 \text{ m}$ )	0,7	2,0
C 4	industrijsko područje u unutrašnjosti dalje od obale mora ( $> 10 \text{ m}$ )	2,0	4,0
C 5	područje sa velikom vlažnošću i područje uz obalu mora ( $< 10 \text{ m}$ )	4,0	8,0

Obnavljanje osnovne zaštite od korozije cevastih stubova od čelika nanete cinkovanjem toplim postupkom obavlja se kada je debljina sloja cinka manja ili jednaka  $20 \mu\text{m}$ .

Vek trajanja osnovne zaštite cevastih stubova od čelika od korozije nanete cinkovanjem toplim postupkom je dat u tabeli 5.

Tabela 5 Vek trajanja osnovne zaštite cevastih stubova od čelika od korozije nanete cinkovanjem toplim postupkom

Oznaka	Kategorija spoljašnjeg prostora	Vek trajanja osnovne zaštite cevastih stubova od čelika od korozije nanete cinkovanjem toplim postupkom	
		od	do
		godina	
C 2	seosko područje u unutrašnjosti dalje od obale mora ( $> 10 \text{ m}$ )	600	86
C 3	gradsko područje u unutrašnjosti dalje od obale mora ( $> 10 \text{ m}$ )	86	30
C 4	industrijsko područje u unutrašnjosti dalje od obale mora ( $> 10 \text{ m}$ )	30	15
C 5	područje sa velikom vlažnošću i područje uz obalu mora ( $< 10 \text{ m}$ )	15	7,5

## Obnavljanje osnovne zaštite od korozije

Obnavljanje osnovne zaštite od korozije cevastih stubova od čelika od korozije nanete cinkovanjem toplim postupkom pre svega bi morala da se obavi ponovnim nanošenjem cinka toplim postupkom. Međutim moguća je i zaštite od korozije takozvanom dupleks zaštite odnosno cinkovanjem toplim postupkom sa zaštitnim premazom koji je moguće naneti i odmah posle ugradnje stuba.

## Dodatna zaštita od korozije

Kako je cevasti stub od čelika najosetljiviji je na prelazu zemlja - vazduh u zoni  $\pm 30$  cm , zato je potrebno da se prilikom ugradnje stub u toj zoni zaštiti premazom bitumena.

## ZAKLJUČCI

Na osnovu osobina cevastih stubova od čelika prikazanih u ovom radu, koji pokazuju da su najmanje ravnopravni u odnosu na stubove od betona, iako u mnogim osobinama imaju izrazitu prednost u odnosu na stubove od betona, predlažu se sledeći zaključci:

- ❖ Preporučuje se bezuslovna primena cevastih stubova od čelika za distributivne nadzemne vodove.
- ❖ Potrebna je hitna izrada Tehničke preporuke na nivou Elektroprivrede za primenu cevastih stubovi od čelika za distributivne nadzemne vodove.

## LITERATURA

- [1] Swanson Analysis System Inc, Houston (Pennsylvania) Engineering Analysis System - Users Manual
- [2] E.Bartram, E.Brandt  
Torsionsverhalten von Betonmasten für Mittelspannungsfreileitungen Energiewirtschaftliche Tagesfragen 1977, Heft 5
- [3] A.Freitag, E.Brandt  
Dynamische Beanspruchungen von Mittelspannungsfreileitungen beim Abwurf von Eislasten Elektrizitätswirtschaft 1981, Heft 19
- [4] E.Brandt, H.J.Fiss  
Findings and Conclusions from Snow Disasters and Their Effects on the Construction of Medium-Voltage Overhead Lines CIRED 1985 Report No. 3.01
- [5] R.Finsterwalder, L.Dangel, E.Brandt, H.P.Desch  
Eine kompakte 110kV Freileitung mit konischen Stahlvollandmasten für die Versorgung des Kleinen Walsertales Elektrizitätswirtschaft 1986, Heft 6
- [6] W.Griese, H.Müller  
Betonmastsanierung - Behebung von Schäden und Wiederherstellung der Tragsicherheiten Elektrizitätswirtschaft 1987, Heft 21
- [7] E.Brandt, H.Pohlmann, S.Fuchs, H.J.Fiss, H.Müller, W.Booz, G.Thierauf  
Structural stability and reliability of various designs of medium-voltage overhead line constructions 1989, CIRED