

## **PRIMENA ELEKTROPORCELANSKE MASE POVEĆANIH MEHANIČKIH KARATERISTIKA ZA IZRADU POTPORNH IZOLATORA**

B.Simendić, Visoka tehnička škola strukovnih studija Novi Sad  
S.Grujić, D.Jovanović, AD Elektroporcelan Novi Sad  
V.Simendić, Tehnološki fakultet Novi Sad

### **KRATAK SADRŽAJ;**

Elektrotehnički porcelan je jedan od najviše primenjenih keramičkih materijala i koristi se za proizvodnju izolatora visokog i niskog napona. Karakteristične osobine porcelanske mase, pri termičkom tretmanu, ogledaju se u postojanju širokog intervala sinterovanja i maloj osetljivosti na promenu sastava. Ova svojstva dozvoljavaju dobijanje visoko kvalitetnog proizvoda u industrijskim pećima, gde uvek postoje odgovarajuće oscilacije temperature. U cilju procesiranja elektroporcelana povećanih mehaničkih osobina, prema zahtevima standarda IEC C-130 za proizvodnju potpornih izolatora za rastavljače, u ovom radu je prikazana aluminatna elektroporcelanska masa, pripremljena od sirovina koje se koriste u redovnoj proizvodnji elektroporcelanskih izolatora AD „Elektroporcelan“ iz Novog Sada. Elektroporcelanska masa je pripremljena standardnim mokrim postupkom, pri čemu je u odnosu na standardnu masu, sadržaj glinice povećan na 30%. Potporni izolatori za rastavljače su oblikovani takođe mokrim postupkom, nakon čega su osušeni, glazirani braon glazurom i sinterovani u industrijskoj komornoj peći pri oksidaciono-redukcionim uslovima na 1250°C. Nakon završne obrade izolatori su ispitani mehanički, testom na savijanje, pri čemu su dobijene vrednosti bile za 40% veće u odnosu na izolatore koji se proizvode iz mase C-120.

**Ključne reči:** elektroporcelan, standard IEC C-130, sinterovanje, glinica, mehaničke osobine

### **APPLICATION OF ELECTROPORCELAIN BODY WITH IMPROVED MECHANICAL PROPERTIES FOR PRODUCTION OF POST INSULATORS**

#### **ABSTRACT;**

Electroporcelain is one of the most applied ceramic materials used for manufacturing insulators for high and low voltage. Characteristic properties of porcelain masses upon thermal treatment, are reflected in the existence of a wide interval of sintering and low sensitivity to changes in the composition. These properties allow to obtain high-quality products in industrial furnaces, where proper temperature fluctuations always exists. For the purpose of processing electroporcelain with increased mechanical properties, according to standard IEC-130 C for producing insulators for disconnectors, this paper presents the aluminate electroporcelain mass, prepared from raw materials used in regular production of electroporcelain insulators in AD "Elektroporcelan" from Novi Sad. Electroporcelain mass was prepared by standard wet process, where in relation to standard mass, the content of alumina was increased to 30%. Insulators for disconnectors were also formed by the wet process, after which they were dried, glazed with brown glaze and sintered in an industrial furnace chamber with oxido-reduction conditions at 1250 °C. After finishing, insulators were tested mechanically, using the bending test, and the obtained values were 40% higher than the insulators produced from the mass of C-120.

**Key words:** electroporcelain, standard IEC C-130, sintering, alumina, mechanical properties

## PRIMENA ELEKTROPORCELANSKE MASE POVEĆANIH MEHANIČKIH KARATERISTIKA ZA IZRADU POTPORNIH IZOLATORA

B.Simendić, Visoka tehnička škola strukovnih studija Novi Sad  
S.Grujić, AD Elektroporcelan Novi Sad  
D.Jovanović, AD Elektroporcelan Novi Sad  
V.Simendić, Tehnološki fakultet Novi Sad

### 1.UVOD:

Elektro-tehnički porcelan je jedan od najviše primenjenih keramičkih materijala, a koristi se za proizvodnju izolatora visokog i niskog napona. Značaj elektro-tehničkog porcelana u odnosu na druge keramičke materijale sve više raste, čemu svakako doprinose njegove izuzetno dobre mehaničke i dielektrične osobine.

Široka primena porcelana kao elektro izolacionog materijala, objašnjava se ne samo njegovim relativno visokim dielektričnim karakteristikama, već i drugim činjenicama:

Kao polazne sirovine za proizvodnju ove vrste porcelana koriste se materijali široko rasprostranjeni u prirodi: gline i kaolini, kao "plastične" sirovine, kvarcni pesak i glinica kao punioci i feldspati kao topitelji. Karakteristične osobine porcelanske mase, pri termičkom tretmanu, sastoje se u postojanju širokog intervala sinterovanja i maloj osetljivosti na promenu sastava. Ova svojstva dozvoljavaju dobijanje visoko kvalitetnog proizvoda u industrijskim pećima, gde uvek postoje odgovarajuće oscilacije temperature.

U procesu proizvodnje elektro porcelana, uloga glinenih komponenti sastoji se u obezbeđenju neophodne plastičnosti za oblikovanje polazne porcelanske mase. Feldspati, kvarcni pesak i glinica doprinose smanjenju skupljanja i deformacije u stadijumu sušenja i za vreme termičkog tretmana suvog proizvoda. Kada se dostigne temperatura obrazovanja rastopa (~ 1100 0C) uloga feldspata i glinenih komponenti se menjaju. Naime, uloga feldspata u toku termičkog tretmana porcelanske mase sastoji se u obrazovanju staklaste faze, koja rastvara sastavne komponente porcelanske mase a služi i kao sredina u kojoj se obrazuju druge kristalne faze. Sposobnost feldspatnog rastopa da rastvara čestice kvarca i kaolina, pri tome zavisi od hemijskog sastava rastvorenih čestica i od svojstava samog rastopa, pre svega njegovog viskoziteta.

Aluminatna masa u proizvodnji elektro–izolacionog porcelana koristi glinicu kao punioc na nižim temperaturama, a na višim temperaturama se ugrađuje kao agregat u visoko viskoznu tečnu fazu. Glinična kristalna faza pri termičkom tretmanu porcelanske mase, u kontaktu sa već formiranim feldspatnim rastopom, obogaćuje staklastu fazu sa aluminijum-dioksidom. Rastvaranje alumine kao i rastvaranje kaolina, dovodi do povećanja viskozitetza staklaste faze i na taj način porcelanska masa dobija veću sposobnost suprotavljanja deformaciji u toku termičkog tretmana. Brzina rastvaranja aluminatne mase, pri tome zavisi pre svega od početne veličine čestica i od temperature termičkog tretmana.

Proces sinterovanja u prisustvu tečne faze je proces koji je najviše prisutan pri sinterovanju silikatnih keramičkih sistema. Tečnu fazu u keramičkim sistemim obično predstavljaju razni lako topivi staklasti rastopi. Istovremeno, viskozitet tečne faze mora biti takav da dovede do porasta gustine i ne izazove deformaciju materijala koji sinteruje, usled dejstva zemljine teže. Brzina odvijanja ova dva procesa, porast

gustine i deformacija je određena temperaturom sinterovanja i sastavom materijala, Kingery (1). Ako u razmatranje kinetike procesa sinterovanja u prisustvu tečne faze se uvede model čestica koje se nalaze u kontaktu, može se utvrditi da iznad površine sa malim negativnim radijusom krivine u oblasti kontakta, postoji negativan pritisak u odnosu na ravnu površinu Budnikow (2). Ovaj gradijent naprezanja dovodi do viskoznog tečenja materijala u oblasti pora. Ako se izvede analiza tog modela dolazi se do izraza za početnu brzinu rasta kontakta između čestica:

$$\frac{x}{r} = \sqrt{\frac{3\gamma}{2\eta r}} \cdot \sqrt{t} . \quad (a)$$

Iz jednačine (a) proizilazi da je početna brzina rasta kontakta između čestica proporcionalna sa kvadratnim korenom specifične površinske energije, a obrnuto proporcionalna sa viskozitetom staklaste faze i veličinom čestica koje sinteruju. Dakle da bi ubrzali proces sinterovanja, potrebno je obezbediti niži viskozitet staklaste faze i sitnije čestice polaznog praha, odnosno veću specifičnu površinsku energiju, Simendić (3,4).

U cilju smanjenja gabarita elektrodistributivnih postrojenja, kod projektanata su sve više prisutni zahtevi za ugradnju izolatora sa povećanim mehaničkim osobinama, a koje odgovaraju standardu IEC 672-3/ C-130. Za proizvodnju elektroporcelanskih masa povećanih mehaničkih zahteva pored standardnih sirovina koristi se glinica  $Al_2O_3$ . Na nižim temperaturama, prilikom oblikovanja izolatora glinica ima ulogu punioca, a na višim temperaturama prilikom termičke obrade, glinica ima ulogu agregata u visoko tečnoj staklastoj matrici Schackelford (5). Upravo prisustvo glinice u visoko temperaturnoj staklastoj fazi predstavlja fenomen odgovoran za formiranje visokih mehaničkih osobina sinterovanog elektroporcelana. Za pripremu elektroporcelanskih masa korišćena je glinica različite mikrostrukture, plastične gline, češki kaolini i feldspat povećanog sadržaja natrijuma.

## 2.PROCES PROIZVODNJE ELEKTROPORCELANA:

### Izrada mase:

U fabrici Ad Elektroporcelan Novi Sad proizvode se dve vrste mase u skladu sa standardom IEC 672-3/ C-110 i C-120. Za proizvodnju gore navedenih masa koriste se domaće i uvozne sirovine. Od domaćih sirovina koristi se kvarcni pesak, gline i feldspat, a od uvoznih takođe feldspat, glina, kaolini i glinica. Zbog ograničenih proizvodnih kapaciteta i konvencionalnog načina pripreme mase, posebna pažnja se obraća na ulaznu kontrolu sirovina. Skladištenje sirovina je u prihvatnom magacinu gde se uzimaju uzorci za detaljnu ulaznu kontrolu. Ispitane sirovine se prebacuju u glavni magacin gde se još jedanput ispituju da bi se mogla dati odgovarajuća receptura za izradu mase. Merenje sirovina u skladu sa recepturom se vrši uz pomoću vaga baždarenih od strane ovlašćenih institucija. Proizvodnja mase se izvodi mokrim mlevenjem u mlinovima sa kuglama. Posle mlevenja mase, procesna kontrola potvrđuje kvalitet i daje dozvolu za pražnjenje bubnjeva. Porcelanska suspenzija se transportuje pumpama preko sita i permanentnih magneta u centralne bazene gde se dozira i povratna masa. Masa iz centralnog bazena, proverena od strane laboratorije, transportuje se uz pomoć pumpi visokog pritiska u ramske filter prese gde se vrši filtracija. Uslovi filtracije (vreme) zavise od vrste mase i načina oblikovanja koji će se primeniti. Na sl.1, su prikazani poluproizvodi nakon procesa filtracije i nakon procesa ekstrudiranja elektroporcelanske mase na vakuum presi.



a.)



b.)

*Sl.1.Prikaz, a.)filter pogača nakon filtracije i b.) oblica nakon ekstruzije na vakuum presi*

### **Oblikovanje:**

Posle filtracije, filter pogače koje su odležale određeno vreme, se prerađuju ili se direktno koriste za izradu oblica. Homogenizovana masa se primenjuje za izvlačenje oblica na vakuum presama VPP 250,350,500 i 750 mm proizvođača NETZSCH. U zavisnosti od vrste mase i dimenzija oblica, definišu se alati, način i brzina hranjenja i vlaga mase. Maksimalni prečnik šupljih oblica je 750 mm, a oblica punog jezgra 360 mm. Svaka oblica je označena pravcem izvlačenja i rednim brojem. Sušenje oblica do propisane vlage može biti prirodno u proizvodnoj hali ili elektrotoporno.



a.)



b.)

*Sl.2.Prikaz, a.)oblica vertikalno postavljeneh na stugu i b.) oblikovanih izolatora na strugu*

Pune oblice, sa vlagom u skladu sa tehnološkim propisom, se oblikuju na vertikalnim kopir strugovima (oblice maksimalnih dimenzija ( $\varnothing 360 \times 2500$ ) sa šablonom i noževima od tvrdog metala pod propisanim uslovima rada (sl.2.).

Oblikovani izolatori se odlažu na specijalne regale i transportuju na sušenje (sl.3.).

## Sušenje:

Proces sušenja se odvija u komornim sušarama. Zbog proizvodnje izolatora koji treba da imaju dobre električne, termičke i mehaničke osobine, komorne sušare su tako dizajnirane da omogućuju promenu režima sušenja u zavisnosti od oblika izolatora i vrste mase. Komorne sušare vrše zagrevanje uz pomoć električnih grejača i snabdevene su horizontalnom i vertikalnom cirkulacijom i recirkulacijom vazduha za sušenje sa brzinom cirkulacije od 0.5 do 3 m /s.

Zagrevanje je automatsko ili poluautomatsko i regulacija relativne vlage je ručna. Provera propisanog režima je automatska uz pomoć termoparova sa šestoboјnim pisačem i vizuelna sa standardnim psihrometrom (termometri sa suvom i vlažnom kuglom). Za svaku sušaru je propisan temperaturni režim, režim relativne vlage i brzina cirkulacije vazduha. Na slici 3., prikazani su izolatori koji ulaze i koji izlaze iz procesa sušenja.



a)



b.)

Sl. 3. Prikaz, a) procesa punjenja izolatora u komornoj sušari b) osušenih linijskih potpornih izolatora

## Glaziranje:

Glaziranje svih tipova izolatora se vrši potapanjem. Moguće boje su: braon RAL 8017, siva MUNSELL i bela. Glazurna suspenzija se priprema u posebnom mlinu. Kontrolu pripreme izolatora za glaziranje vrši kontrola kvaliteta. Sledeći korak u proizvodnom procesu je pečenje.

## Pečenje:

Pečenje izolatora se izvodi u komornim pećima koje koriste prirodni gas. Fabrika ima dva tipa komornih peći: FIB i BICKLEY, automatske peći. Peći su postavljene na dva mesta kao finalna faza postojećih linija za izradu izolatora. Na sl.4., je prikazan vagon sa izolatorima pripremljenim za proces pečenja.



*Sl.4. Prikaz izolatora pripremljenih za proces pečenja na vagonu peći*

Režimi pečenja, isto kao i sistem punjenja peći, zavise od asortimana izolatora. Proces pečenja se vrši po odgovarajuće postavljenim režimima temperature i atmosfere koji su u saglasnosti sa kapacitetom peći i kvalitetom koji se zahteva od porcelana. Pečenje je u oksidacionoj i redukcionoj atmosferi sa temperaturom do 1300 °C. Pored automatske kontrole temperature i atmosferskih uslova na pisaču, rukovaoci na pećima vrše vizuelnu proveru svakog sata i to beleže na posebnom dijagramu. Na dijagram unose i vrstu i broj izolatora koji se peku. Posle završetka procesa pečenja procesna kontrola registruje kvalitet pečenja. U isto vreme kontrola kvaliteta vrši vizuelan pregled i merenje dimenzija obeležavajući izolatore koji mogu biti finalisani, odnosno brušeni ili montirani.

#### **Završna obrada:**

Završna obrada se sastoji iz faze sečenja izolatora i faze montaže. Faza sečenja se odvija na uređaju za sečenja sa dijamantskim brusom . Faza montaže se izvodi na alatima (sl 5a.), na kojima se na izolatore , koji su pripremljeni postupkom sečenja specijalnim vezivima montiraju metalne priрубnice. Kao vezivna sredstava koristi se sumporno i vezivo na bazi portland cementa. Nakon završenog procesa montaže izolatori se mehanički ispituju na uređaju prikazanom na sl.5b.



a)

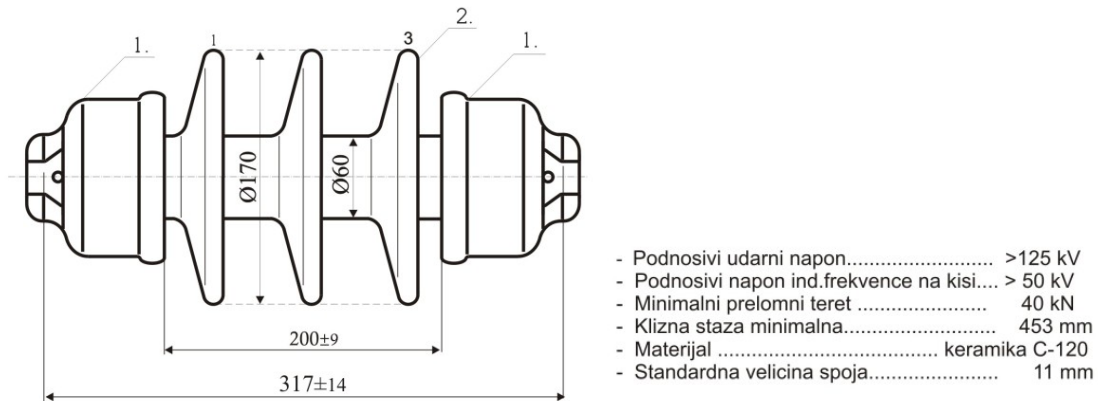


b.)

*Sl.5.Završna izrada izolatora a.) i mehaničko ispitivanje izolatora b.)*

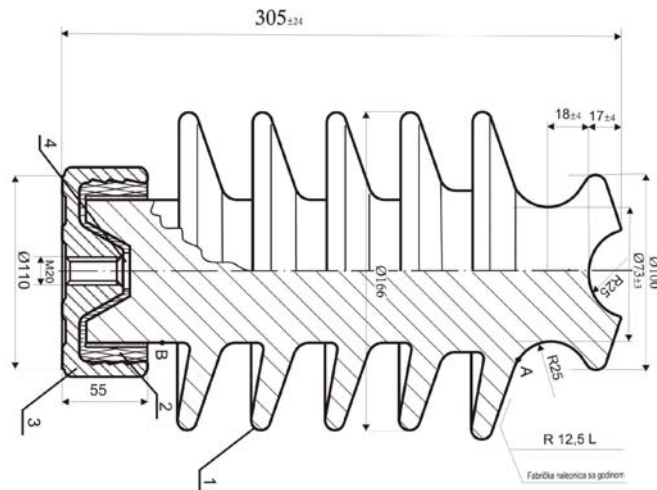
### 3.REZULTATI ISPITIVANJA MEHANIČKIH OSOBINA POTPORNIH IZOLATORA

U radu su prikazani neki rezultati (tabela 1.) dobijeni nakon mehaničkih ispitivanja tri tipa potpornih izolatora prikazanih na sl.6, sl.7, i sl.8., u mehaničkoj laboratoriji AD Elektroporcelan Novi Sad. Na sl.6., je prikazan štapni izolator , koji se koristi za elektrodistributivne vodove ,sa pratećim zahtevanim električnim i mehaničkim karakteristikama. Za izradu izolatora je korišćena standardna elektroporcelanska masa prema zahtevima standard IEC C-120 i masa povećanih mehaničkih karakteristika prema standardima IEC C-130. koju karakteriše povećani sadržaj glinice i prmena feldspata sa povećanim sadržajem Na<sub>2</sub>O (4).



Sl.6. Štapni izolator sa električnim i mehaničkim karakteristikama

Na sl.7., je prikazan linijski potporni izolator, koji se takođe koristi za elektrodistributivne vodove.Njega takođe prate zahtevane električne i mehaničke karakteristike.

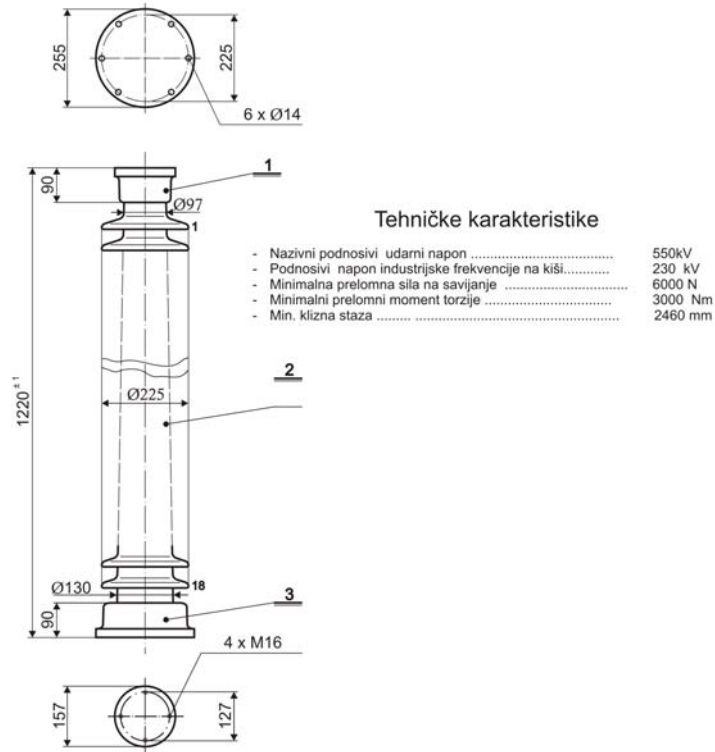


#### Napomena:

- podnosni udarni napon.....125 kV
- podnosivi napon industrijske frekvencije na kiši..... 50kV
- duzina klizne staze (od A do B).....530mm
- min. prelomna sila na savijanje..... 8000N

Sl.7. Linijski potporni izolator sa električnim i mehaničkim karakteristikama

Na sl.8. je prikazan potporni izolator za rastavljače sa zahtevanim električnim i mehaničkim karakteristikama.



a

Sl.8 Potporni izolator za rastavljače sa tehničkim karakteristikama

U tabeli 1., su prikazani rezultati ispitivanja mehaničkih osobina potpornih izolatora izrađenih od mase C-130, a u tabeli 2., su prikazani rezultati ispitivanja mehaničkih osobina izolatora izrađenih od standardne elektroporcelanske mase C-120.

TABELA 1. Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina izolatora izrađenih od mase C-130

| Oznaka izolatora  | Zahtevana prelomna sila F [N] | Postignuta prelomna sila F [N] | krak l [mm] | Prečnik izolatora na mestu loma D [mm] | Specifično opterećenje $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ] |           |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|--|--|-----------|
|                   |                               |                                |             |  | savijanje  | istezanje |
| P-2219            | 40000                         | 61500                          | 317         | 60                                     |  | 21,7      |
| P-2275 (LSP 24 L) | 12500                         | 17000                          | 305         | 92                                     | 66   |           |
| P-2333            | 6000                          | 11000                          | 1220        | 130                                    | 61   |           |



TABELA 2. Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina izolatora izrađenih od standardne mase C-120

| Oznaka izolatora  | Zahtevana prelomna sila F [N] | Postignuta prelomna sila F [N] | krak l [mm] | Prečnik izolatora na mestu loma D [mm] | Specifično opterećenje $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ] |           |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|--|--|-----------|
|                   |                               |                                |             |  | savijanje  | istezanje |
| P-2219            | 40000                         | 42 000                         | 317         | 60                                     |  | 14,8      |
| P-2275 (LSP 24 L) | 12500                         | 13 000                         | 305         | 92                                     | 50,9   |           |
| P-2333            | 6000                          | 8 000                          | 1220        | 130                                    | 44   |           |

#### 4. DISKUSIJA REZULTATA

U cilju smanjenja gabarita elektrodistributivnih postrojenja, u proizvodnom pogonu AD Elektroporcelan izvršena su ispitivanja mehaničkih karakteristika potpornih izolatora dobijenih iz mase sa povećanim mehaničkim karakteristikama koje odgovaraju standardu IEC 672-3/ C-130. Izradi izolatora su prethodile izrade laboratorijskih masa sa povećanim mehaničkim zahtevima, čije su karakteristike prikazane u prethodnim radovima (3,4). Ispitivanja su izvršena na 3 tipa izolatora.

Štapni izolatori su mehanički ispitani na istezanje i dobijeni rezultati pokazuju povećanje specifičnog opterećenja na istezanje kod izolatora urađenih od mase C-130 od 47 %.

Linijski potporni izolatori su mehanički ispitani na savijanje a rezultati su pokazali povećanje jačine na savijanje kod izolatora izrađenih od mase C-130 od 30 %.

Potporni izolatori za rastavljače koji su urađeni od mase C-130, pokazuju povećanje jačine na savijanje od 39 %.

Prikazani rezultati ispitivanja ukazuju na značajno povećanje mehaničkih osobina izolatora koji su urađeni od mase C-130, što je bio i cilj ovog rada. Ovo značajno povećanje mehaničkih karakteristika izolatora koji sadrže C-130 masu, omogućuje izradu izolatora manjih gabarita. Smanjenje gabarita pre svega treba da se odrazi na smanjenje prečnika jezgra izolatora, što omogućuje izradu izolatora manjih težina ali i izradu oblika manjeg prečnika. Smanjenje prečnika izolatora treba da prati i smanjenje prečnika prirubnica i time i njihovih težina, što treba da se odrazi na smanjenje ukupne težine postrojenja Hecht(6).

#### 5. ZAKLJUČCI

1. U cilju smanjenja gabarita elektrodistributivnih postrojenja, u proizvodnom pogonu AD Elektroporcelan izvršena su ispitivanja mehaničkih karakteristika potpornih izolatora dobijenih iz mase sa povećanim mehaničkim karakteristikama koje odgovaraju standardu IEC 672-3/ C-130.
2. Za proizvodnju izolatora su primenjeni standardni proizvodni uslovi, sa termičkim tretmanom na 1250 °C.
3. Za elektroporcelansku masu su primenjene standardne sirovine, pri čemu je udeo glinice povećan na 30 %, uz korišćenje feldspata sa povećanim sadržajem Na<sub>2</sub>O.
4. Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina štapnih izolatora su pokazala da se korišćenjem elektroporcelanske mase povećanog sadržaja glinice u odnosu na standardnu masu moguće povećanje mehaničkih osobina na istezanje za 47 %
5. Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina linijskih izolatora su pokazala da se korišćenjem elektroporcelanske mase povećanog sadržaja glinice u odnosu na standardnu masu moguće povećanje mehaničkih osobina na savijanje za 30 %
6. Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina potpornih, izolatora su pokazala da se korišćenjem elektroporcelanske mase povećanog sadržaja glinice u odnosu na standardnu masu moguće povećanje mehaničkih osobina na savijanje za 39 %.

7. Primenom elektroporcelanske mase sa povećanim sadržajem glinice koju prate povećane mehaničke karakteristika izolatora, moguće je proizvesti potporne izolatore manjih preseka jezgara i samim time i manjih težina.

## 6.LITERATURA

1. Kingery W.D. Interduction to Ceramics, John While and Sons, New York 1976, s-20
2. Budnikov P.P., Gevorkyan H.O., Obžig farfora, Stroidelat, Moskva, 1972, s-78
3. Simendić B., Majkić S., Primena elektroporcelanske mase povećanih mehaničkih zahteva za proizvodnju izolatora za elektrodistributivna postrojenja , Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije i Crne Gore sa regionalnim učešćem – CIREC 2008, Vrnjačka Banja 2008, s-4
4. Simendić B., Grujić S., Simendić V., Uticaj mikrostrukture glinice na povećanje mehaničkih karakteristika elektroporcelanske mase,, Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije i Crne Gore sa regionalnim učešćem – CIREC 2010, Vrnjačka Banja 2008,
5. Shackelford J., Intorduction to Materials Science for Engineers, John While and Sons, New York, 1999, s-82
6. Hecht A., Die Elektrokeramik, Springer Verlag , Berlin, 1976, s-21