

SPECIJALISTIČKI RAD

PETAR VUCA

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNOMATEMATIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA FIZIKU

Природно-математички факултет
Радна заједница заједничких послова
НОВ САД

Пријемник:	24 -09- 1987		
Орг. јед.	Број	Прилог	Средност
93	350/9		

Након које се извршио испит најављујем Dr. DRAGOSLAVU PETROVIĆU
да је као ректор ову магистарску диплому и подсећајем даје узимајући
додатне податке.

Такође ћејмо да подадимо податке око свог специјалистичког рада.

SPECIJALISTIČKI RAD

ISPITIVANJE FINALNOG PRODUKTA ELEKTROPORCELANSKE
MASE NA BAZI POVEĆANOG SADRŽAJA GLINICE (Al_2O_3)

Specijalistički rad radjen je под руководством
Prof. Dr DRAGOSLAVA PETROVIĆA

Kikinda, 1987. године

Najiskrenije se zahvaljujem Dr DRAGOSLAVU PETROVIĆU,
mentor svojim savetima i sugestijama pomogao pri izradi Specifične.

Takodje želim da zahvalim asistentu LUKIĆ SVETLANI i Dipl.ing. POŠARAC DRAGICI na pomoći oko izrade Specijalističkog rada.

SADRŽAJ

UVOD

strana

EKSPERIMENTALNE FIZIČKE METODE OD ZNAČAJA ZA INDUSTRIJU PORCELANA	1.
1. TERMOGRAVIMETRIJA	1.
1.1. Metode koje su zasnovane na merenju promene mase	1.
1.2. Faktori koji utiču na TG krive	4.
2. RENDGENSKA METODA	5.
2.1. Geometrijska karakteristika difraktometra	6.
2.2. Priprema uzorka	8.
2.3. Kvalitativna analiza	8.
2.4. Kvantitativna analiza	9.
2.5. Određivanje kvantitativnog sadržaja kristalne smeše	11.
3. DIELEKTRICI	12.
3.1. Polarizacija dielektrika	12.
3.2. Vrste polarizacije	13.
3.3. Dielektrična čvrstoća	14.
3.4. Postupak ispitivanja	15.
4. FIZIČKE OSOBINE IZOLATORA	16.
4.1. Mehaničke osobine	16.
4.2. Ostale fizičke osobine	18.
4.3. Elektronska mikroskopija	20.
5. EKSPERIMENTALNI DEO	22.
5.1. Termogravimetrija	22.
5.2. Rendgenska analiza	26.
6. ODREĐIVANJE ZAPREMINSKE MASE UZORKA	43.
6.1. Čvrstoća na savijanje	43.
6.2. Elektroprobojnost	46.

ZAKLJUČAK

LITERATURA

EXPERIMENTALNE METODE IZ ZNAČAJA

UVOD

TERMOGRAFIJA

Pored toga što predstavlja klasičan materijal keramika je baš u ovo vreme izuzetno aktuelna, ne samo zbog najšire primene u gradjevinarstvu i industriji, nego i u nizu oblasti gde se doskora nije mogla uopšte očekivati njihova perspektiva.

Savremeni postupci sinterovanja stvorili su od keramike jedan od najatraktivnijih novih materijala čija perspektiva može da donese revolucionarne promene čak i u područjima superprovodnosti i kosmonautike.

Cilj ovih ispitivanja je daleko skromniji. Težilo se da se kompleksnim savremenim fizičkim metodama ispituju mogućnosti karakterizacije elektroporce-lanske keramike. Verifikacija ovih metoda vezana je za problem odnosa mehaničkih karakteristika i strukture finalnog kompozita standardnih sirovina uz obogaćivanje sa komponentom glinice.

Problematika je vezana za redovnu proizvodnju fabrike porcelana "Rade Končar" iz Novog Sada i treba da predstavlja skroman doprinos u kompletiranju metodike vezane za kontrolu ulaznih sirovina i finalnih produkata.

U osnovi tretirana su tri sistema.

Prvi označen sa "M" predstavlja standardnu komercijalnu polaznu keramičku smešu.

U drugom sistemu označenim sa "G" u toku pripreme polaznog kompozita izvršeno je obogaćivanje sa 15 - 20% glinice.

Treći sistem označen sa "N" analogan je prethodnom s tim što je obogaćen sa sadržajem od 30 - 45% glinice.

Temperaturna razlika među ovim trećim sistemom učestvuje u dobru rezultatu zagrevanja sировке i niskotemperaturne mase u kružno konstruisanoj peći da je zavojnička u potpunosti dostignuta. Ova ovaj način pečenja je bio određen i u skladu s poslednjim rezultatima eksperimenta, ali ovu metodu ne koriste keramograzi.

EKSPERIMENTALNE FIZIČKE METODE OD ZNAČAJA ZA INDUSTRIJU PORCELANA

I. TERMOGRAVIMETRIJA

Kada se neki materijal zagreva on na određenoj temperaturi trpi određene fizičke ili hemijske promene. Ove promene se manifestuju na više načina: promena zapremine, promena agregatnog stanja, promena mase, ili promena unutrašnje energije.

Sve ove promene se mogu registrovati odgovarajućim instrumentima i na osnovu njihovih karakteristika možemo dobiti bitne podatke o ispitivanom uzorku. Analize sa ovakvim karakteristikama nazivamo zajedničkim imenom **termoanalitička ispitivanja**.

1.1. Metode koje su zasnovane na merenju promene mase

Ako neki uzorak zagrevamo, sa porastom temperature može doći do takvih hemijskih reakcija koji će promeniti masu uzorka (toplote dekompozicije, gubljenje vode, sublimacija, isparavanje, oksidacije).

Za ispitivanje ovih procesa koristimo termogravimetriju (TG).

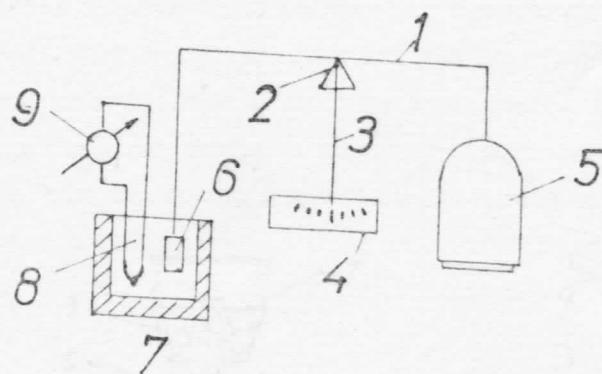
Kod jednostavnih termogravimetrijskih postupaka, gubitak mase usled zagrevanja se meri, odnosno registruje neposredno, što se može učiniti na dva načina: statički ili dinamički.

Statički metod se retko danas koristi.

Dinamički postupci

Termogravimetrijska merenja možemo znatno ubrzati ako registrovanje zagrevanja uzorka i nastale promene mase vršimo kontinuirano bez da je ravnoteža u potpunosti dostignuta. Da se ovo ostvari potrebno je imati odgovarajući uredjaj s kojim će se obezbediti neprekidnost ispitivanja. U ovu svrhu se koriste termovage.

Principijelna šema ovakvog uredjaja je data na Sl.1.



1. Poluga vase, 2. "klin" vase, 3. kazaljka, 4. skala,
5. tas, 6. držač uzorka, 7. peć, 8. termopar, 9. mali voltmeter.

Slika 1.

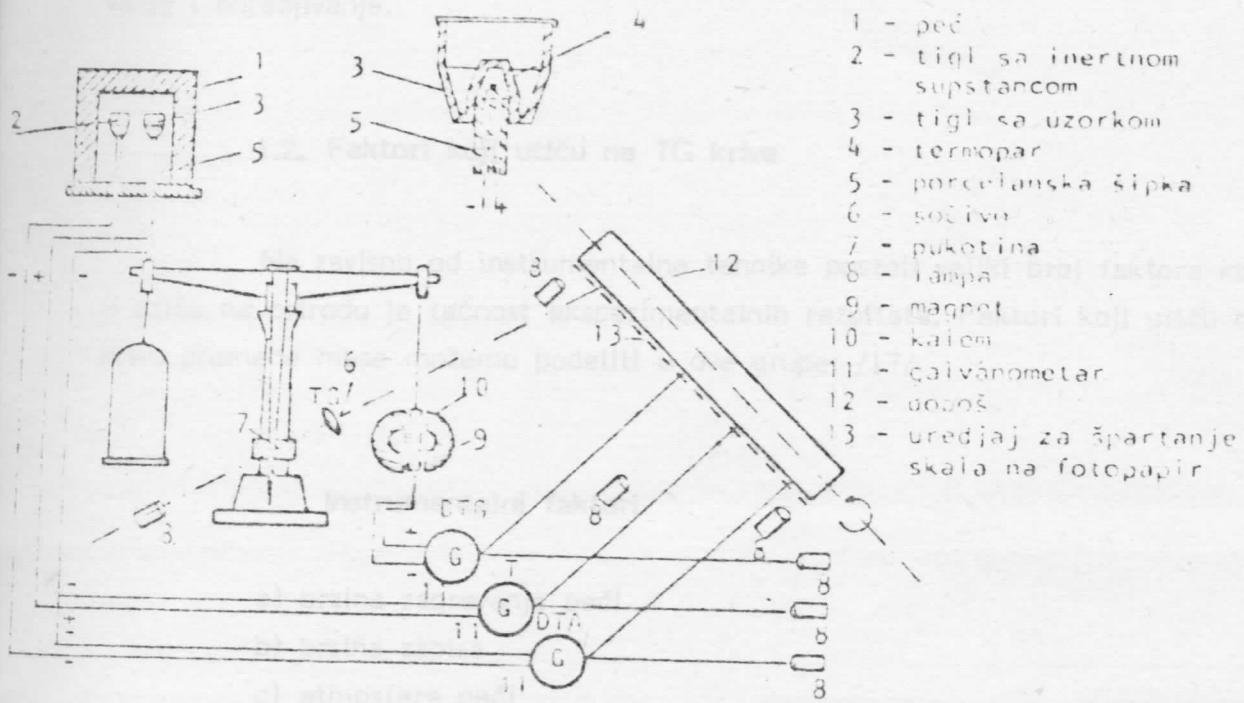
Na jedan krak termovage je obešen vatrostalan tigl sa ispitivanim uzorkom u njemu. Tigl zagrevamo pomoću električne peći tako da se temperatura sa vremenom jednakom brzinom povećava. Temperatura peći se neprekidno meri pomoću termopara. U određenim vremenskim razmacima ili temperaturskim intervalima očitamo masu uzorka i ako ove vrednosti predstavimo u funkciju temperature dobićemo termogravimetrijsku (TG) krivu. Rezultati merenja se mogu zabeležiti na nekoliko načina: tačkastim zapisom, fotoaparatom, fotoelektronskim putem ili putem pisača. Najbolje rešenje uredjaja je kada neposredno beleže i brzinu gubitka mase. Ovu metodu prvi je primenuo de Keyser (1953) /13/.

Kada se očita promena položaja galvanometra i merimo temperaturu peći u određenim intervalima i ove podatke grafički predstavimo, dobićemo prvi izvod TG krive, što u stvari predstavlja brzinu promene mase. Ova se kriva zove DERIVACIONA TERMOGRAVIMETRIJSKA (DTG).

Kriva koja po obliku odgovara derivacionoj termogravimetrijskoj je kriva koja se dobija pomoću diferencijalne termogravimetrijske metode. Prednost derivativne TG metode je da se TG i njoj pripadajuća DTG kriva mogu snimiti zajedno sa jednim merenjem pomoću DERIVATOGRAFA.

Principijelna šema derivatograma je data na Sl.2.

veličinu prenove derlostograma se ne isporučuje sa učionicama, i prenove se dobije na način da se izpoljeva činjenica da u jednom postotku mase uključuju se tri termoanalitičke krive razlog minerala (ugotovljenih) i da se takođe dobije derlostogram u kojem se vidijo tehnički pojave, koje su u učionici pod istim imenima, da se učinkovito uči tehnika uporabe.



Slika 2.

Na levi krak je postavljen nosač uzorka (6) koji se pruža u peć (5), a u drugi držač uzorka (7) u peći je smeštena referentna supstanca. Ovaj deo uređaja služi za snimanje krivih pomoću galvanometra (10) koji je vezan na termoparove koji ulaze u tiglove odozdo. Nosač uzorka i uzorak svojom masom opterećuju levi krak terazija. Prilikom promene mase kazaljka će se pomjeriti levo ili desno od ravnotežnog položaja. Jedna strana koristi se beleženje promene mase prosvetljavanjem skale, a druga strana za dobijanje DTG krive pomoću magneta koji je obešen o desni krak i uranja u unutrašnjost kalema (4) koji ima veliki broj namotaja. Uredaj radi potpuno automatski tako da se na fotopapiru ili pisaču direktno dobijaju odgovarajuće krive. Pre snimanja vrši se automatsko eksponiranje skala koje odgovaraju određenoj osetljivosti i brzini podizanja temperature.

Velika prednost derivatograma se ne iscrpljuje sa udobnošću i ekonomičnošću koji pruža i što se ispoljava činjenica da u jednom postupku snimanja dobijamo sve tri termoanalitičke krive nekog minerala (supstance). Važna je činjenica da krive dobijene derivatogramom beleže termičke pojave supstance koje su se odigrale pod istim uslovima, što omogućava njihovo upoređivanje i odredjivanje.

1.2. Faktori koji utiču na TG krive

Ne zavisno od instrumentalne tehnike postoji veliki broj faktora koji utiču na prirodu je tačnost eksperimentalnih rezultata. Faktori koji utiču na krivu promene mase možemo podeliti u dve grupe: /17/

Instrumentalni faktori

- a) brzina zagrevanja peći
- b) brzina zapisu
- c) atmosfera peći
- d) geometrija nosača uzorka i peći
- e) osetljivost uređaja za zapis

Karakteristika uzorka

- a) količina uzorka
- b) rastvorljivost tokom reakcije razvijenih gasova u uzorku
- c) veličina čestica (zrna)
- d) toplota reakcije
- e) pakovanje uzorka
- f) priroda uzorka
- g) toplotna provodljivost

2. RENDGENSKA METODA

Za istraživanje strukturalnih osobina kristala koristi se difrakcija talasa koji interaguju sa atomima i čije su talasne dužine uporedljive sa međuravanskim rastojanjem u kristalu, odnosno **X zraci**.

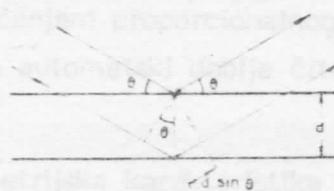
X - zraci

Energija jednog fotonu **X-zraka** je povezana sa njegovom talasnom dužinom λ i energija $E = \frac{h C}{\lambda}$

Kada je talasna dužina zračenja uporedljiva ili manja od konstante rešetke, može se naći jedan ili više difraktovanih snopova u pravcima sasvim različitim od pravca upadnog snopa. /5/

W.L.Bragg je dao jednostavno objašnjenje za uglove koji su zapaženi pri difrakciji zraka na kristalu. /5/

Predpostavimo da posmatramo upadno **X** zračenje i jedan od difraktovanih zraka kao na Sl.3.



Slika 3.

Prema Bragovoj interpretaciji difrakcije u kristalu je uvek moguće pronaći seriju atomskih ravni koja u odnosu na ova dva zraka je postavljena pod istim uglom θ . Prema Bragu, Laueovi uslovi difrakcije na trodimenzionalnoj kristalnoj rešeci mogu biti interpretirani selektivnom "refleksijom" **X** zraka sa atomskih ravni u kristalu.

Posmatramo jedan niz paralelnih atomskih ravni, medjusobno udaljenih za d . Neka je upadni zrak u ravni crteža. Razlika u putevima zraka reflektovanih od susednih ravni je $2 d \sin \theta$, gde je θ ugao od ravni do upadnog zraka.

Konstruktivna interferencija zračenja, reflektovanog od uzastopnih ravni, se dešava kad je razlika puteva jednaka celobrojnom umnošku talasne dužine λ .

$$2 d \sin\theta = n \lambda \quad (1)$$

Ovo je Braggiov zakon.

Braggov zakon je posledica periodičnosti prostorne rešetke.

Refleksija po Braggu se može javiti samo za neke talasne dužine.

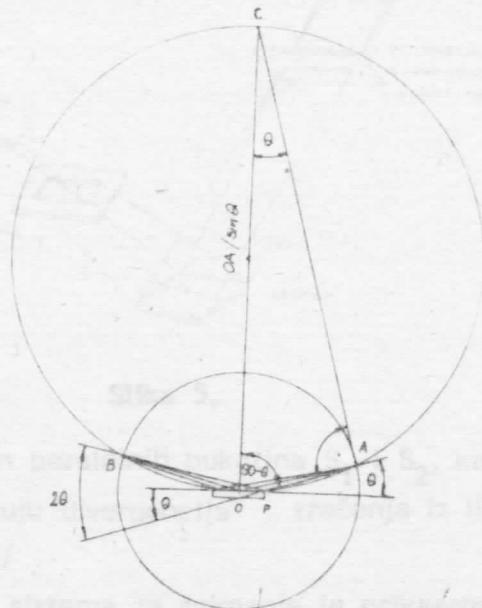
Kod metode kristalnog praha upadno monohromatsko zračenje pada na uzorak od finog kristalnog praha ili sitnozrnasti polikristalični uzorak. Difraktovani zraci izlaze iz pojedinih kristala, čije su kristalografske ravni tako orijentisane da sa upadnim snopom čine ugao Θ , koji zadovoljava Braggovu jednačinu.

Kamera Deboj-Šerera omogućuje da se intenzitet difraktovanog zračenja procenjuje na osnovu zacrnjenja osetljive emulzije nanesene na film /13/.

Direktnija i efikasnija metoda koja koristi GAJGEROV DETEKTOR ili SCINTILACIONI brojač kod difraktometra za prah, preko ionizacije koji izazivaju fotoni rasejanog X-zračenja. Ona omogućuje direktno skaniranje relativnih intenziteta. Korišćenjem proporcionalnog ili scintilacionog brojača moguće je da se preko pisača automatski dobije čitav spektar u željenom uglovnom intervalu.

2.1. Geometrijska karakteristika DIFRAKTOMETRA

Postavka uredjaja je takva da se detektorski krug skaniranja nalazi u vertikalnoj ravni Sl.4. /13/.



Slika 4.

U tački A se nalazi linijski fokus rendgenske cevi, a normalno na ravan crteža kroz tačku O prolazi zajednička osa obrtanja uzorka i brojača. Raspoloženje AO, odnosno OB je poluprečnik detektorskog kruga skaniranja. Centar ispitivanog uzorka je u tački O.

Iz postavki Bragovog uslova difrakcije na kristalu uzorak je pod upadnim uglom θ , a meri se na dvostruko većem uglu 2θ , u odnosu na inicijalni zrak.

Zato je neophodno da se pri skaniranju obezbedi da svako obrtanje uzorka prati obrtanje brojača za dvostruko veći ugao.

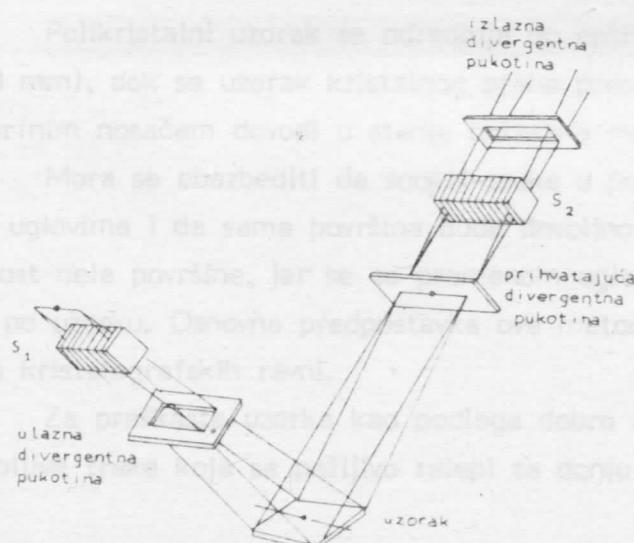
Uzorak ima značajne dimenzije, pa je centralno pitanje da je fokusiranje u tački B, gde se u datom momentu nalazi uzorak.

Da se ovo idealno obezbedi potrebno je da uzorak bude odgovarajuće zakrivljen (po isprekidanom kružu Sl.5.)

Poluprečnik krivine je $\frac{OC}{2}$, odnosno $AO/2 \sin \alpha$

Tokom snimanja oblik uzorka bi se morao permanentno menjati, s obzirom da zavisi od upadnog ugla. Uzorci mogu biti i planparalelne "tablete", jer se pokazalo da aproksimativno izvesno defokusiranje iz navedenog razloga nema praktičnog značaja.

Da bi se fokusiranje povećalo, sistemi slitova se stavljuju na diferencijaciju (razdvajanje) upadnog i difraktovanog snopa Sl.5)

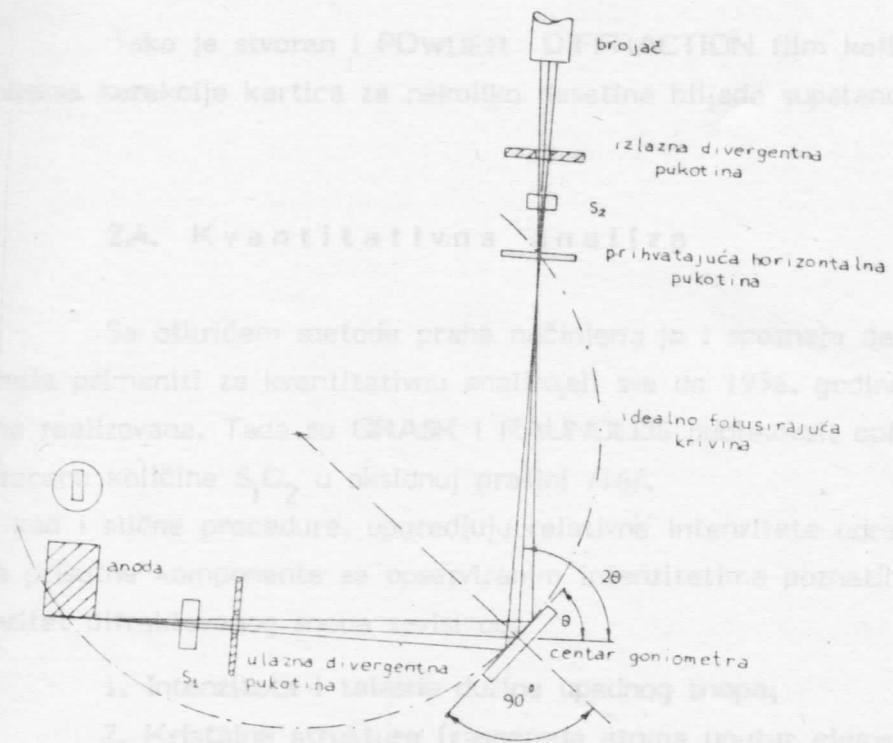


Slika 5.

Sistem paralelnih pukotina S_1 i S_2 , koje se nazivaju pukotinama SOLLERA, smanjuju divergenciju zračenja iz linijskog fokusa izvora u vertikalnim ravnima. /13/

Šema sistema za snimanje je prikazana na Sl.6.

2. Difrakcija zračkova za sve posmatrane materijale



Slika 6.

5. Aparatacija X-zraka od storne kružnice:

2.2. Priprema uzorka

Polikristalni uzorak se određuje do optimalno predviđenih dimenzija ($20 \times 10 \text{ mm}$), dok se uzorak kristalnog praha presovanjem, mešanjem sa pogodnim amorfnim nosačem dovodi u stanje potrebne mehaničke čvrstoće /13/.

Mora se obezbediti da snop X-zraka u potpunosti difraktuje na svim upadnim uglovima i da sama površina bude dovoljno glatka. Treba obezbediti homogenost cele površine, jer se sa promenom ugla Θ donekle šeta i snop X-zraka po uzorku. Osnovna pretpostavka ove metode leži u statističkom rasporedu svih kristalografskih ravnih.

Za praškaste uzorke kao podloga dobro može poslužiti i najobičnije parče lepljive trake koja se pažljivo zalepi za donju stranu metalnog držača.

2.3. Kvalitativna analiza

HULL je 1919 godine prvi primenio difrakciju X-zraka za identifikaciju nepoznatih jedinjenja /16/. Pošto je difrakciona slika odredjena rasporedom atoma u materijalu, ona je poput "otiska prstiju", tako da ne postoje dva materijala koji će dati iste slike. Ovo je dalo ideju da bi bilo poželjno imati "bibli-

oteku" snimaka praškova za sve poznate materijale

Tako je stvoren i POWDER DIFFRACTION film koji se sastoji iz indeksa korekcije kartica za nekoliko desetina hiljada supstanci. /17/

2.4. Kvantitativna analiza

Sa otkrićem metode praha načinjena je i spoznaja da se ova metoda može primeniti za kvantitativnu analizu ali sve do 1936. godine, ona nije praktično realizovana. Tada su GRASK i RAUNOLDS publikovali opis postupka rada za procenu količine S_iO_2 u oksidnoj prašini /16/.

Ova, kao i slične procedure, uporedjuju relativne intenzitete određenih refleksa svake prisutne komponente sa opserviranim intenzitetima poznatih smeša.

Intenzitet difraktovanog snopa zavisi od:

1. Intenziteta i talasne dužine upadnog snopa;
2. Kristalne strukture (rasporeda atoma unutar elementarne ćelije
3. Zapremina difraktujućeg kristala;
4. Difrakcionog ugla;
5. Apsorpcija X-zraka od atoma kristala;
6. Eksperimentalne postavke.

Kako se za sve reflekse koristi isti upadni snop, za metode praha možemo napisati sledeću relaciju za zavisnost između intenziteta difraktovanog snopa i gore navedenih činilaca

$$I_{hkl} = I_0 \frac{C_j}{\mu} / F_{hkl}^2 / V L_p \quad (2)$$

gde je I_0 intenzitet upadnog snopa;

C - eksperimentalna konstanta koja ima istu vrednost za sve filmom zabeležene reflekse,

j - multiplicitet reflektujućih ravnih,

μ - linearni koeficijent apsorpcije,

F_{hkl} - strukturni faktor, V ukupna zapremina kristala koji difraktuje u L_p je LORENC - polarizacioni faktor. /16/

Ako zanemarimo odstupanja u apsorpciji, jednačinu (2), možemo napisati kao

$$I_{hkl} = C'_{hkl} / F_{hkl}^2 / V \quad (3)$$

Zato što su $I_{0j}C$ i μ konstantni za sve reflekse na jednom filmu.

Jedinačina (2) izražava činjenicu da intenzitet difraktovanog snopa zavisi ne samo od količine obasjavanog uzorka već i od kristalne strukture pošto zavisi od F_{hkl} . Tako je moguće za smešu dva različita kristala odabrati specifičan refleks svake komponente i posle procene vrednosti C'_{hkl} napraviti odnos.

$$\frac{A(I/C)_{hkl}}{B(I/C')_{hkl}} = \frac{A(F^z_{hkl} V)}{B(F^z_{hkl} V)} \quad (4)$$

Na osnovu jednačine (4) je jasno da odnos nije proporcionalan samo zapreminu A i B zato što je $A F^z_{hkl} \neq B F^z_{hkl}$

Ako znamo strukturne faktore iz opserviranih intenziteta direktno možemo odrediti procentualnu zapreminu jedinjenja koje je prisutno u smeši. Za jednostavnu dvokomponentnu smešu, ovo je moguće odrediti.

Za dato jedinjenje prema jednačini (2) ako je F^z_{hkl} konstanta, odnosno razmatramo samo reflekse za iste ravni (hkl), intenzitet je direktno srazmeran za reflekse sa iste ravni (hkl) i intenzitet je direktno srazmeran zapremini kristala.

Procentualna zapremina V_A' , date komponente A se može izraziti kao odnos izmedju zapremine V_A i ukupne zapremine V_T :

$$V_A' = \frac{V_A}{V_T} \quad (5)$$

U slučaju da supstance imaju slične koeficijente apsorpcije npr. polymorfne modifikacije iz jednačine (3) se direktno može odrediti procentualna zapremina supstance A u smeši:

$$I_{hkl} = V_T (C' F^z)_{hkl} V_A' \quad (6)$$

Iz jednačine (6) se vidi da je intenzitet date refleksije (hkl) linearno zavisan od procentualne zapremine kristala u smeši. Stoga je moguće pripremiti smeš u kome su poznate količine komponenata i koristiti njihove snimke kao standarde s tim da se mora održavati uniformnost u pripremi uzorka.

2.5. Određivanje kvantitativnog sadržaja

kristalne smeše

Sa porastom koncentracije neke kristalne komponente u kristalnoj smeši raste i površina odgovarajućih difrakcionih pikova.

Na osnovu odgovarajućih površina pikova možemo vršiti procenu kvantitativnih sadržaja pojedinih jedinjenja.

Korektno sproveden postupak omogućuje samo orijentacionu procenu sadržaja, pa se ova metoda ne odlikuje visokom tačnošću. /13/

Za vršenje ovakvih merenja neophodno je raspolagati sa standardima komponenti koje se određuju. Standardi moraju biti verifikovane koncentracije. Promena površine difrakcionih pikova u širokim intervalima ni aproksimativno nije linearna, te je radi poredjenja potrebno imati standard sa koncentracijom aktuelne komponente, sasvim bliske vrednostima koncentracije u ispitivanom uzorku.

Praktično je uvek potrebno raspolagati sa više unapred pripremljenih standarda različite koncentracije i to u odgovarajućem nosaču.

Za poredjenje bi idealno bilo raspolagati sa identičnom standardnom smešom, što kod složenijih sistema nije moguće. Zato je uobičajeno da se kao nosač standarda koristi osnovna dominantna komponenta, što u prvoj aproksimaciji daje dobre rezultate. Referentna snimanja standarda se vrše pod identičnim uslovima režima rada generatora zračenja i difraktometarskog sistema kao i pri snimanju ispitivanih uzoraka.

Treba nastojati da se i u pripremi uzorka ponovi isti postupak i obezbedi identične dimenzije tableta i slična zrnatost kod svih merenja.

Korektni postupak zahteva da se procena koncentracije izvrši na bazi površine svakog difrakcionog maksimuma (pika) pa se konačan rezultat prikaže posle sredjivanja dobijenih vrednosti.

Izračunavanje površine odabranog difrakcionog maksimuma, za različite koncentracije omogućuje izradu kalibracione krive.

3. DIELEKTRICI

Dielektrici su materijali u kojima mogu trajno da postoje elektrostatička polja. Ovakvi materijali praktično ne provode struju pri priključenju električnog napona.

Dielektrici se u praksi često nazivaju elektroizolacionim materijalima. Prema izgradnji molekula dielektrici se dele na dipolne (polarne) i neutralne. Dipolni molekuli nekog dielektrika karakterišu se postojanjem stavnog dipolnog momenta (μ), a jačina polarnosti nekog molekula karakteriše se veličinom njenog dipolnog momenta.

Dipolni moment polarnih molekula kod dielektrika jednak je proizvodu zbiru svih pozitivnih (ili negativnih) nanelektrisanja, koji ulaze u sastav molekula i rastojanja izmedju centara težišta svih pozitivnih i svih negativnih nanelektrisanja. U odsustvu spoljašnjeg električnog polja, dipolni moment polarnog molekula različit je od nule. Zato se kaže da dielektrični materijal koji imaju polarne molekule, imaju sopstveni električni dipolni moment.

3.1. POLARIZACIJA DIELEKTRIKA

Povezanost polarizacije i dielektrične konstante

Kad se na dielektrik preko metalnih obloga priključi električni napon i dielektrik izloži dejstvu električnog polja, nanelektrisanja u dielektriku se pomeraju u smeru sila koje na njih deluju i to u toliko jače, ukoliko je veća jačina polja. Po prestanku dejstva polja nanelektrisanja se vraćaju u prvobitno stanje. Kod polarnih dielektrika dejstvom električnog polja proizvodi se odgovarajuća orijentacija dipolnih molekula u smeru polja. /21/

Pod polarizacijom dielektrika podrazumeva se pojava da se pri dejstvu električnog polja nanelektrisanja u dielektriku urede (svrstaju) na određen način.

Kod polarizacije nastaje pomeranje vezanih nanelektrisanja (u molekulu) koji se mogu pomerati van molekula. Pomeraj pri polarizaciji je "elastično" pomeranje, te po prestanku dejstva polja nanelektrisanje teži da se vrati u prvobitni položaj. Kod homogenih materijala polarizacija praktično nastaje u svim molekulima dielektrika. Jačina električnog polja E u ma kojoj tački u dielektriku povezana je sa električnim pomerajem D u datoј tački pomoću izraza

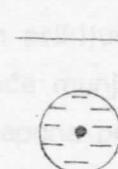
$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

čestih materijala.

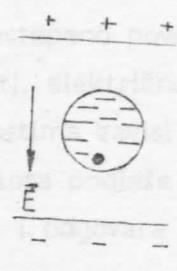
3.2. Vrste polarizacije

Tipične vrste polarizacije dielektrika su: elektronska, jonska i dipolna.

Elektronska polarizacija je pomeranje elektronskih orbita u odnosu na jezgro atoma Sl.7. (21)



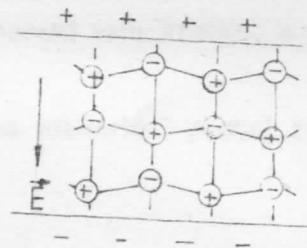
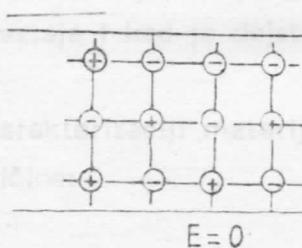
$$E=0$$



Slika 7.

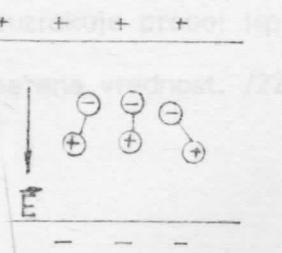
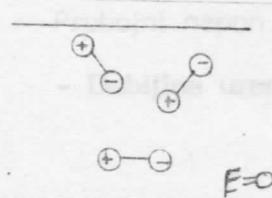
Pri priključenju spoljnog električnog polja elektronska polarizacija se odvija u vrlo kratkom vremenu, praktično trenutno reda (10^{-15} s.)

Jonska polarizacija (kod jonskih dielektrika) je pomeranje jona jednog u odnosu na drugi u molekulu Sl.8.



Slika 8.

Ovo se obavlja u vremenu (10^{-13} s.). Jonska i elektronska polarizacija su "elastičnog" karaktera. Dipolna (orientaciona) polarizacija sastoji se u orientaciji dipolnih molekula materije Sl.9.



Slika 9.

Ova polarizacija obavlja se u različitim vremenskim trajanjima za molekule različitih materijala.

3.3. Dielektrična čvrstoća

Dielektrična čvrstoća je osobina koju ima izolator (dielektrik) da se suprotstavi električnom proboru. Kad se neki izolator stavi izmedju elektroda i na njih priključi električni napon, koji postepeno povećavamo, za izvestan napon nastaje munjeviti probaj kroz izolator, tj. električno pražnjenje. Vrednost probognog napona pod jednakim ostalim okolnostima zavisi od prirode izolatora. Pod dejstvom električnog polja struktura izolatora podleže izvesnoj deformaciji (elastična deformacija). Kada je polje prejako i odgovara probognom naponu, nastaje električni probaj. /22/

Kroz izolator protiče struja i kondenzator se prazni. Električni probaj kod izolatora može da nastupi i pri znatno manjem naponu, ako je izolator izložen dejству napona za duže vreme.

Ovo se objašnjava, time što se usled gubitaka razvija toplota i povećava temperatura izolatora sa vremenom, koja na kraju dovode izolator do razaranja. Razaranje se manifestuje bilo topljenjem, bilo pregrevanjem, bilo ugljenisanjem. Probaj nastaje i kad je dejstvo napona vremenski vrlo kratko, a napon dovoljno visok.

Prema karakterizaciji materijala u odnosu na električni probaj značajne su sledeće veličine:

- **Dielektrična čvrstoća** nekog izolacionog materijala pod propisanim uslovima ispitivanja je odnos efektivne vrednosti sinusoidnog napona na kojoj nastaje probaj prema rastojanju dveju elektroda na koje je ispitani napon priključen. Izražava se u $\frac{KV}{mm}$. /22/

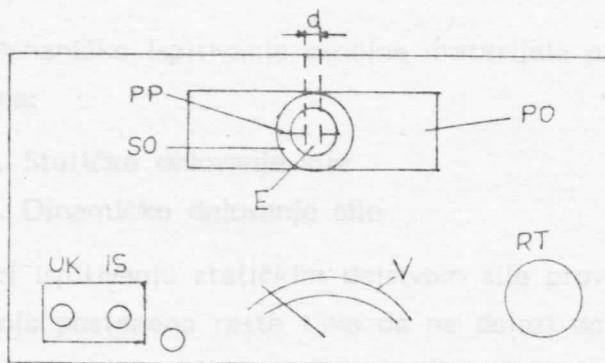
- **Probaj** je probognje pražnjenje u čvrstom dielektriku. /22/

Probogni napon je napon koji prouzrokuje probaj ispitivanog materijala.

- **Debljina uzorka** je srednja izmerena vrednost. /22/.

3.4. Postupak ispitivanja

Uredjaj za ispitivanje elektroprobojnosti prikazan je na Sl.10.



Slika 10.

Pre početka rada uredjaj treba da je zatvoren zatvaračem "PO" i praznu porcelansku posudu "PP", koja je vidljiva kroz staklo okna "SO" na zatvaraču. Pre svakog ispitivanja regulator "RT" transformatora mora se postaviti u nulti levi položaj /23/:

Porast napona U_e pri obrtanju regulatora "RT" očitava se na instrumentu "V" pri čemu U_{ekr} dobijamo po obrazcu:

$$U_{ekr} = 0,2 \cdot \varphi \quad (8)$$

gde je φ vrednost napona koju pokazuje instrument "V" u momentu probaja. Vrednost kritičnog polja dobija se iz relacije

$$E_{kr} = \frac{U_{ekr}}{d} \quad (9)$$

gde je U_{ekr} izmereni probojni napon, a d debljina dielektrika između elektroda "E". Pri merenju se primećuje ravnomerno povećanje napona U_e (regulatorom "RT" od 0) brzinom od $0,5 - 1,5 \frac{KV}{s}$.

4. FIZIČKE OSOBINE IZOLATORA

4.1. Mehaničke osobine

Bitne mehaničke osobine u industriji porcelana jesu:

- čvrstoća pri kidanju, pritisku, savijanju i udaru,
- modul elastičnosti,
- tvrdoća po Mosu.

Mehaničko ispitivanje osobina materijala prema načinu delovanja sile deli se na:

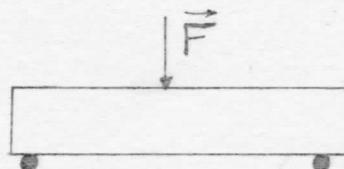
1. Statičko delovanje sile
2. Dinamičko delovanje sile

Pri ispitivanju statičkim dejstvom sile provereni uzorak se opterećuje silom koja postepeno raste tako da ne dolazi do udara prilikom ispitivanja. Pri ispitivanju dinamičkim dejstvom sile, podrazumeva se ispitivanje kod kojih se sila menja po određenom zakonu veći broj puta u jedinici vremena. U zavisnosti od naprezanja ova ispitivanja se dele na: **ispitivanja zatezanjem, sabijanjem, izvijanjem, savijanjem, smicanjem i uvijanjem.**

Za karakterizaciju mehaničkih osobina u tehnologiji keramike koristi se čvrstoća na savijanje.

Čvrstoća savijanja predstavlja naprezanje koje proizvodi moment savijanja (M) maksimalnog opterećenja (F), pod kojim se probno telo slomije, izračunato u odnosu na prvobitan presek (A).

Za uzorak okruglog preseka savojna čvrstoća se dobija na sledeći način:
Posmatrajmo sliku 11.



Slika 11.

$I_x = \frac{\pi}{64} d^4$ Moment spoljnih sila je $M_x = \frac{G \cdot I_x}{y}$ gde je G - napon savijanja,
 d - prečnik epruvete

y - udaljenost horizontalnog isečka uzorka širine dy od težišne x ose

Napon savijanja je jednak $G = \frac{M_x \cdot y}{I_x}$, pa zamenom vrednosti za M_x , I_x , y dobijamo izraz za napon savijanja za uzorce kružnog preseka.

$$\sigma = \frac{\frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{64} d^4} = \frac{8 F l}{\pi d^3}$$

Za uzorke okruglog preseka napon savijanja je dato izrazom

$$\sigma_s = 2,54 \frac{F l}{d^3} \quad (10)$$

F - sila koja dovodi do loma

l - rastojanje izmedju oslonca

d - prečnik epruvete

Za određivanje čvrstoće keramičkih proizvoda kriće se prese različitih konstrukcionih rešenja.

Postoje univerzalne mašine za kompleksnu karakterizaciju (svojnu čvrstoću, čvrstoću na kidanje) keramičkih proizvoda pod dejstvom mehaničkih spoljašnjih sila.

Jedna takva mašina prikazana je na Sl.12. pomoću koje se određuje svojna čvrstoća.

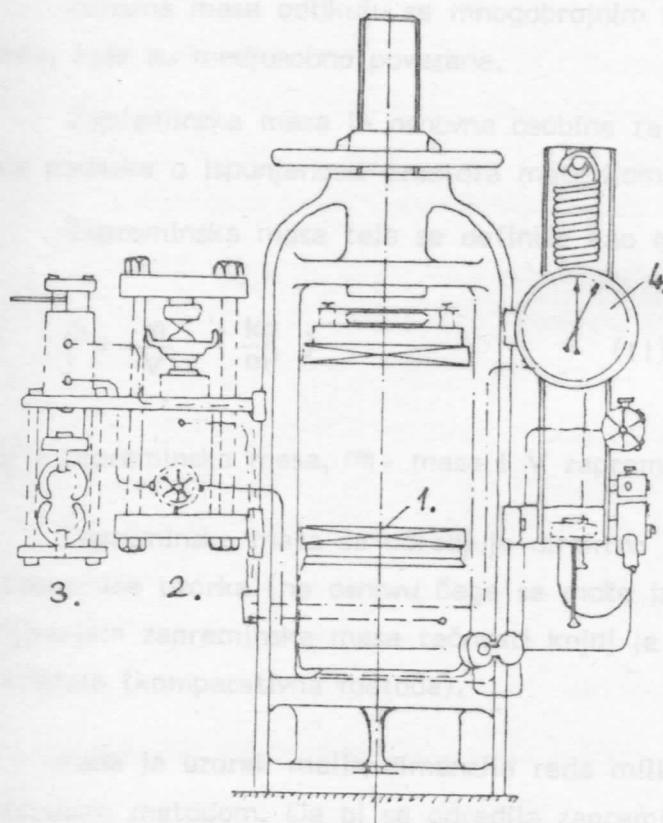
1. deo za postavljanje uzorka i pravac sile u koncentracionim silama.
2. deo za postavljanje rezolera.
3. deo za postavljanje rezolera.
4. instrument za mítavanje opterećenja i registriranje maksimalne sile pri razvlačenju keruke.

4.2. Ostale fizičke mašine

Fizičke mašine izmjerava su posebnog značaja u elektrotehnici (industriji) za zagrevanje mass, magnetizam i toplinsku energiju.

Zagrevajuća snaga izrađuju se oblikom između dvaju mass i u svakoj zagrevajućoj vožnji može varirati od 4°C /4/.

Medju izolatorima, nezdrivo keramičkim, rezistori su oni svičaju mass.



Slika 12.

1. ploča za postavljanje uzorka i prenos sile pri ispitivanju pritisne čvrstoće;
2. deo za postavljanje uzorka i prenos dejstva koncentrisane sile;
3. deo za postavljanje uzoraka;
4. instrument za očitavanje opterećenja i registrovanja maksimalne sile pri razaranju uzorka.

4.2. Ostale fizičke osobine

Fizičke osobine izolatora od posebnog značaja u elektroporcelanskoj industriji su: zapreminska masa, higroskopnost i toplotne osobine.

Zapreminska masa izražava se odnosom izmedju njegove mase i mase iste zapremine vode pri temperaturi od 4°C . /1/

Medju izolatorima, naročito keramičkim, razlikuju se guste (jdre) i porozne mase.

A.3. ELEKTRONIKA MIKROSKOPA

Porozne mase odlikuju se mnogobrojnim mikroskopskim malim šupljinama, koje su medjusobno povezane.

Zapreminska masa je osnovna osobina za izvesne keramičke mase, koje daje podatke o ispunjenosti prostora materijom.

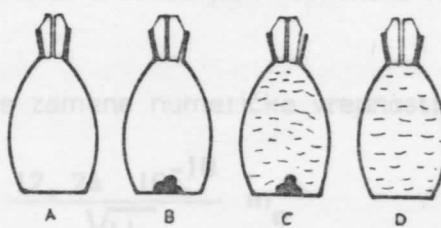
Zapreminska masa tela se definiše kao masa jedinice zapremine

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (11)$$

gde je ρ - zapreminska masa, m - masa i V zapremina tela.

Zapreminska masa se određuje direktno ili indirektno, određivanjem mase i zapreme u uzorka (na osnovu čega se može izračunati zapreminska masa) ili određivanjem zapremske mase tečnosti kojoj je identična sa zapreminskom masom kristala (komparativna metoda).

Kada je uzorak malih dimenzija reda milimetra najlakše se određuje piknometarskom metodom. Da bi se odredila zapreminska masa uzorka treba da se izvrše četiri merenja mase: prvo praznog piknometra (A), posle ovoga piknometar sa kristalnim uzorkom u njemu kome određujemo zapremsku masu (B), zatim piknometar sa kristalnim uzorkom u njemu i tečnošću poznate zapremske mase ρ_0 (C) i poslednje, merenjem piknometra napunjenoj tečnošću bez kristalnog uzorka (D). Slika 13. /1/



Slika 13.

Masu uzorka određujemo razlikom masi B i A, a zapreminu V određujemo:

$$V = \frac{(D-A) - (C-B)}{\rho_0} \quad (12)$$

ρ_0 - je zapreminska masa destilovane vode.

Konačni lik može da se formira na fotografikalnoj ploči ili na fluoroskopu.

4.3. ELEKTRONSKA MIKROSKOPIJA

Za proučavanje pojava i procesa u oblasti izuzetno malih dimenzija ($<1\text{ }\mu\text{m}$), za čije je razjašnjenje neophodno daleko veće uvećanje no što pruža optički mikroskop, koristi se elektronska mikroskopija. U upotrebi su dva tipa elektronskih mikroskopa: **transmisioni** i **skanirajući** (TEM i SEM).

Stvaranje slike u SEM mikroskopu, posledica je rasejavanja elektrona na uzorku na koji pada elektronski snop. Granica uvećanja mikroskopa određena je talasnom dužinom korišćenog elektromagnetskog zračenja.

Kako je korespondirana talasna dužina elektrona može biti oko 10.000 puta manja od talasne dužine vidljive svetlosti, granica uvećanja posmatranog predmeta elektronski mikroskop dostiže do 200.000 puta.

Da bi se razumeo princip SEM elektronskog mikroskopa, moramo najpre da vidimo kako je sa elektronom povezana koncepcija talasne dužine i kako snop elektrona može da se fokusira pomoću elektronskog sočiva.

Poznato je da se elektronu može korespondirati talasna dužina koja je u vezi sa količinom kretanja date relacijom

$$\frac{mv}{\lambda} = \frac{h}{\lambda} \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

gde je λ talasna dužina elektrona.

Gde je brzina v stečena ubrzanjem elektrona kroz razliku potencijala u "elektronskoj pušci".

Kad se zamene numeričke vrednosti konstanti dobijemo da je

$$\lambda = \frac{12,24 \cdot 10^{-10}}{\sqrt{U}} \text{ m}_e$$

Sa naponima reda kV talasne dužine elektrona su reda veličine talasnih dužina X-zraka.

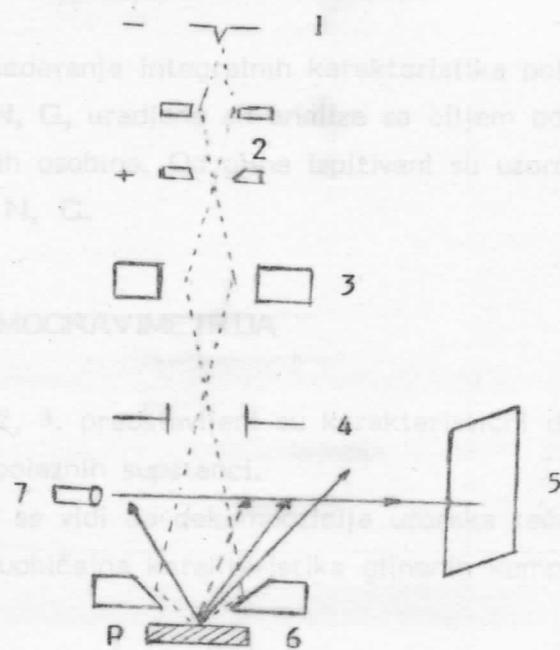
Elektronski snop može da bude fokusiran bilo magnetnim bilo električnim poljem odgovarajuće konfiguracije i u elektronskim mikroskopima se koriste obe metode.

Izvor elektrona u elektronskom mikroskopu je zagrejano vlakno. Elektroni emitovani sa vlakna ubrzavaju se elektronskom puškom i padaju na predmet koji se ispituje.

Konačni lik može da se formira na fotografskoj ploči ili na fluores-

centnom zaklonu, na taj način što se sihrono sa glavnim snopom elektrona pogodja materijal generiše još jedan snop elektrona koji se upućuje na ekran. U zavisnosti od broja sekundarnih elektrona izbijenih iz materijala glavnim elektronskom snopom biće regulisan intenzitet elektronskog snopa koji dospeva na ekran. Na taj način se na ekranu formira odgovarajuća slika onog dela uzorka koji je pogodjen glavnim snopom.

Šema elektronskog mikroskopa prikazana je na Sl.14.



Sl. 14.

1-katoda, 2-anoda, 3-elektromagnetsko sačivo (objektiv),
4-kondenzator, 5-ekran, 6-uzorak, 7-izvor elektronskog snopa

Korišćenjem elektronske mikroskopije moguća je identifikacija minerala fine disperznosti i izučavanja procesa rasta ili raspadanja kristala, procesa koji se odigravaju na granicama, strukture keramičkog crepa i sličnih pojava.

Ispod fluorescentnog ekrana može se postaviti kaseta na fotografskim pločama na kojima se dobija krajnja slika objekta.

5. EKSPERIMENTALNI DEO

U toku eksperimentalnog rada za proizvodnju sastava elektro-izolačionih masa kao polaznih sirovina korišćeni su sirovinski materijali sa povećanom glinicom (Al_2O_3) koji bi se upotrebjavali u standardnoj proizvodnji visoko naponskog elektroporcelana u fabriци elektroporcelana "Rade Končar" Novi Sad.

Radi sagledavanja integralnih karakteristika polaznih sirovina koje smo označili sa **M**, **N**, **G**, uradjene su analize sa ciljem određivanja mineraloškog sastava i fizičkih osobina. Od glina ispitivani su uzorci (sirovinski materijali) sa oznakom **M**, **N**, **G**.

5.1. TERMOGRAVIMETRIJA

Na Sl.1, 2, 3. predstavljeni su karakteristični dijagrami termičkog ispitivanja **M**, **N**, **G** polaznih supstanci.

Iz DTA i DTG krivih se vidi da dekompozicija uzorka teče kroz jedan endotermi proces, što je uobičajna karakteristika glinenih kompozita u ovom temperaturnom intervalu.

Endotermi proces dešava se na $540^{\circ}C$ i da je u ovom intervalu otpuštanje OH grupe, dva molekula vode.

Imamo gubitak mase 9,0 mg, odnosno 4,5%, na početnu masu 200 mg.

Vrednost kaolinita u svakoj polaznoj supstanci dobili smo pomoću jednačine:

$$M_{H_2O} : P = M_k : X$$

M_{H_2O} - molekulска маса воде, M_k - molekulска маса каолинита

P - je gubitak mase u polaznoj supstanci

Snimanje uzorka je uradjeno pod istim uslovima:

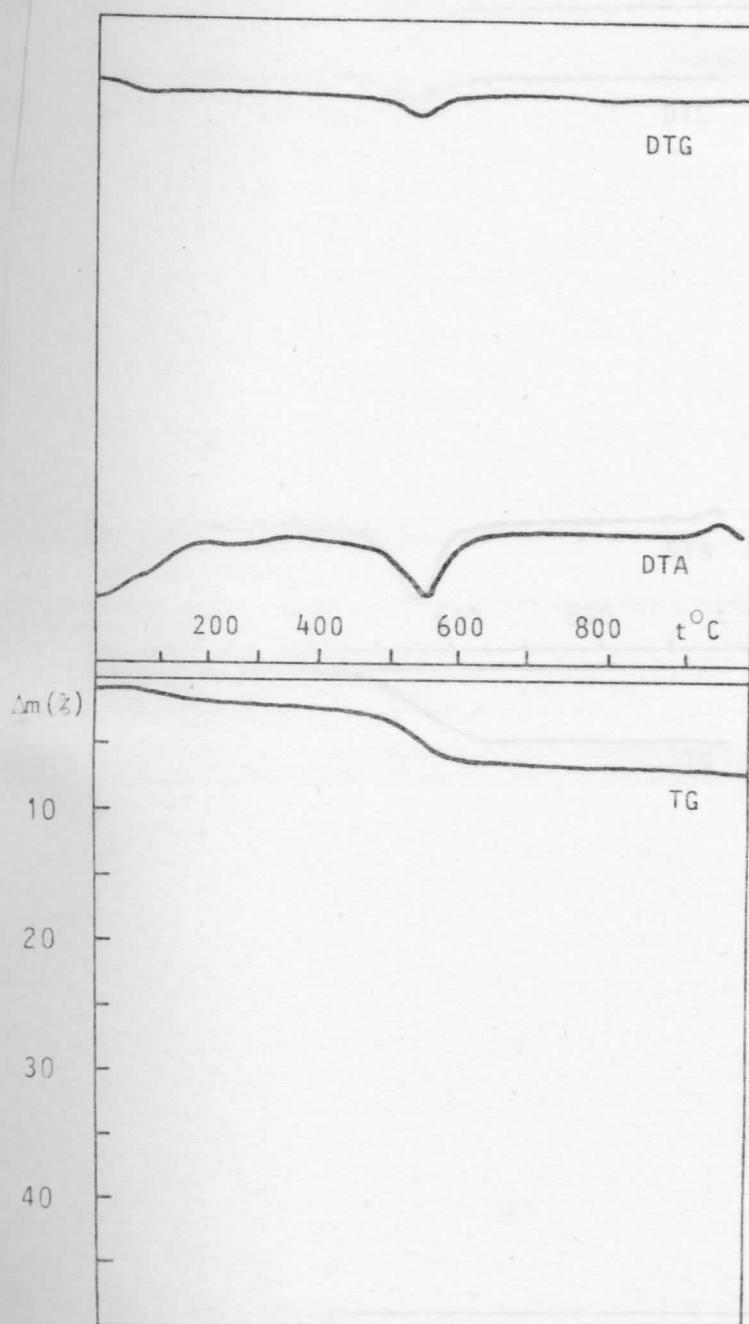
$$m_0 = 400 \text{ mg.}$$

$$TG = 200 \text{ mg.}$$

$$T = 1000^{\circ} C, 100 \text{ min.}$$

$$DTA = \frac{1}{10}; DTG = \frac{1}{10}$$

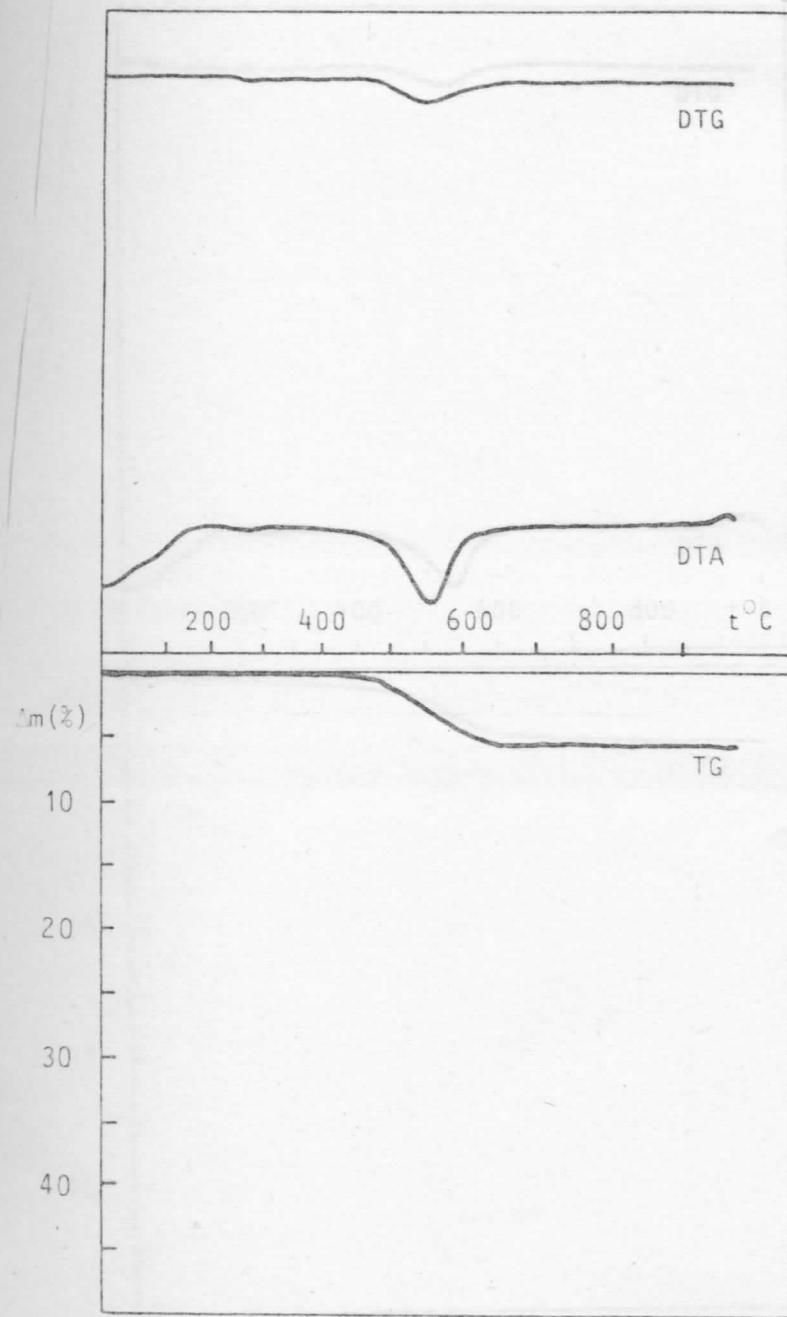
Uzorak "N" sadrži 29% kaolinita.



Slika 1.

DTA i DTG kriva uzorka "N"

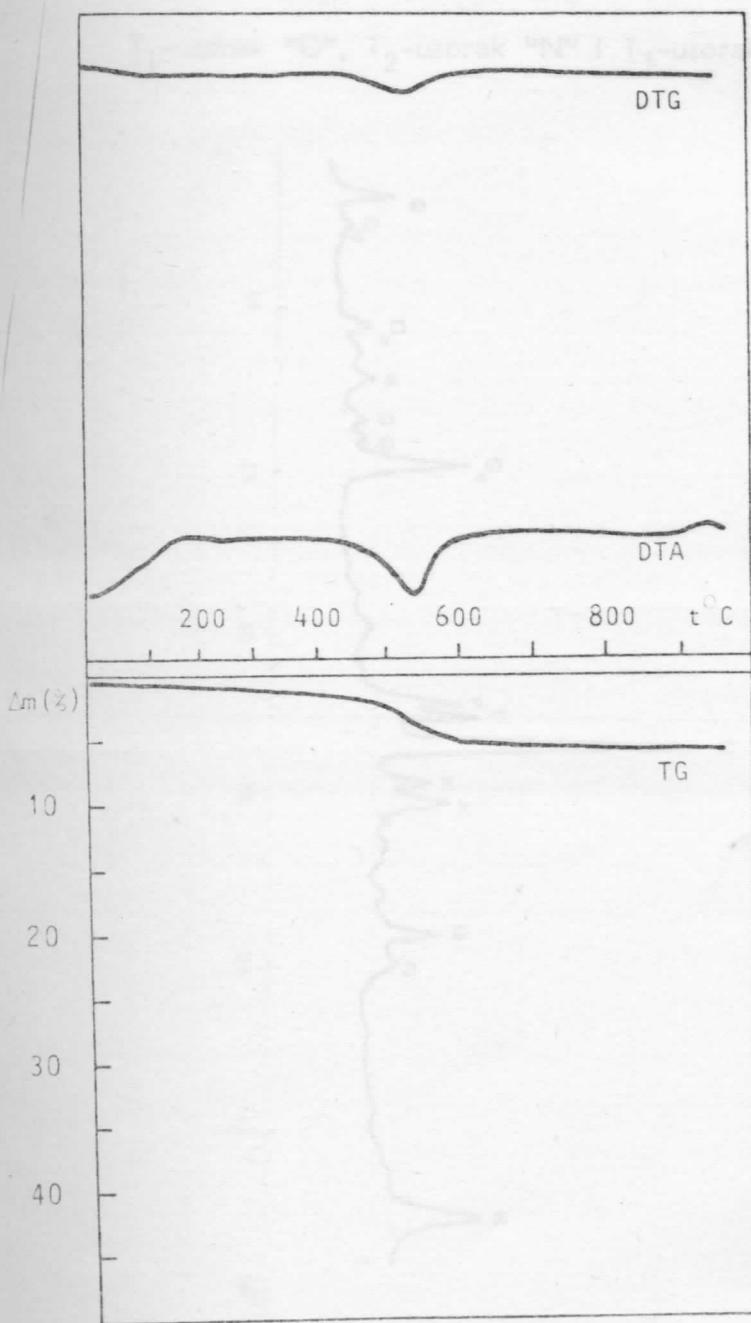
Uzorak "M" sadrži 27% kaolinita.



Slika 2.

DTA i DTG uzorka "M"

Uzorak "G" sadrži 21% kaolinita.



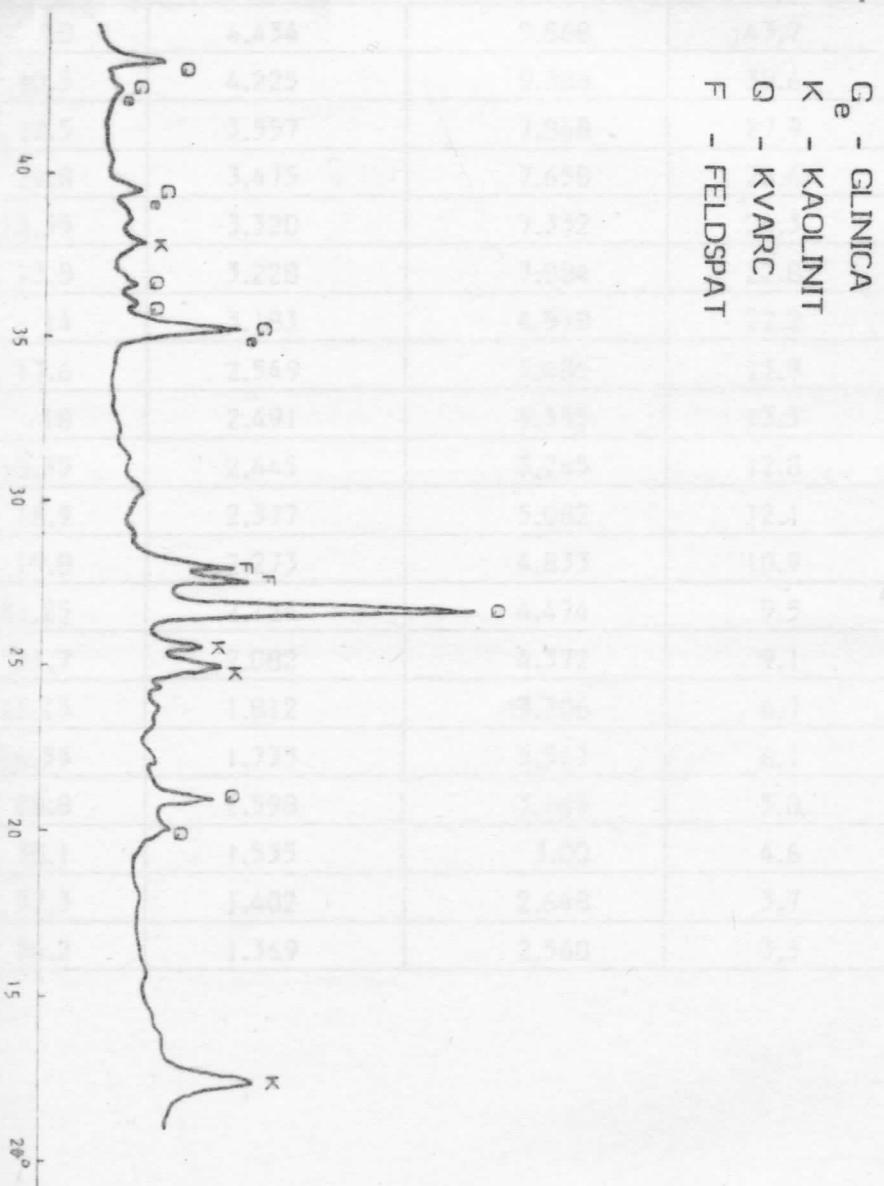
Slika 3.

DTA i DTG uzorka "G"

5.2. Rendgenska analiza

Na slici 4,5,6 su rendgenogrami ispitivanih polaznih supstanci i sa njih odredili uglove (2θ) da bi izračunali medjuravansko rastojanje (d) pomoću jednačine (1). Dobijeni rezultati su prikazani u tabelama:

T_1 -uzorak "G", T_2 -uzorak "N" i T_3 -uzorak "M".



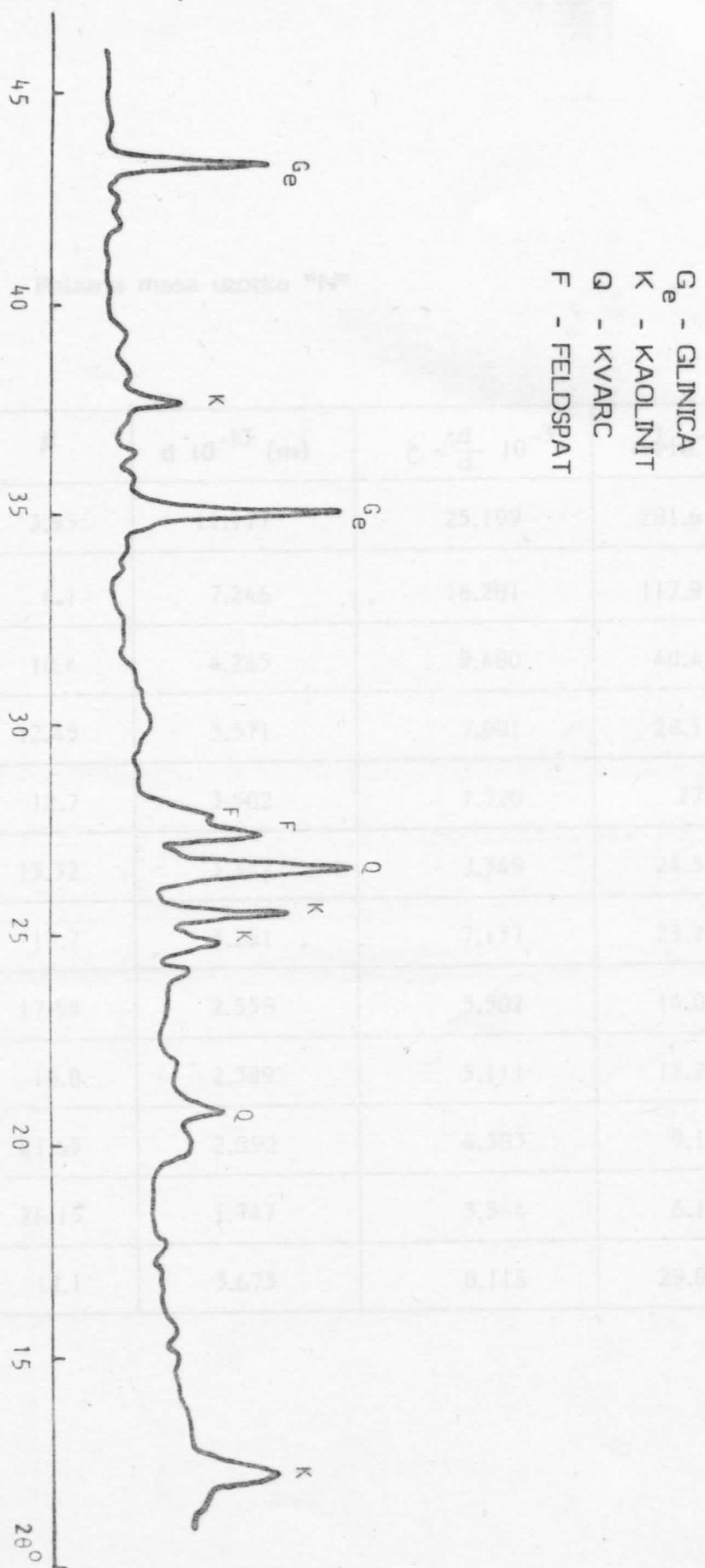
Slika 4.

Rendgenogram polazne supstance uzorka "G"

Polazna masa uzorka "G"

Tabela T₁

Red. broj	2 Ø	Ø	d 10 ⁻¹⁰ (m)	$\mathcal{E} = \frac{\Delta d}{d} 10^{-3}$	$\Delta d 10^{-13}(m)$
1.	8	4	11.038	24.883	274.6
2.	12.3	6.15	7.187	16.148	116.0
3.	20	10	4.434	9.868	43.7
4.	21	10.5	4.225	9.388	39.6
5.	25	12.5	3.557	7.848	27.9
6.	25.6	12.8	3.475	7.658	26.6
7.	26.7	13.35	3.320	7.332	24.3
8.	27.6	13.8	3.228	7.084	22.8
9.	28	14	3.183	6.978	22.2
10.	35.2	17.6	2.549	5.485	13.9
11.	36	18	2.491	5.355	13.3
12.	36.7	18.35	2.445	5.245	12.8
13.	37.8	18.9	2.377	5.082	12.1
14.	39.6	19.8	2.273	4.833	10.9
15.	42.5	21.25	2.124	4.474	9.5
16.	43.4	21.7	2.082	4.372	9.1
17.	50.3	25.15	1.812	3.706	6.7
18.	52.7	26.35	1.735	3.513	6.1
19.	57.6	28.8	1.598	3.165	5.0
20.	60.2	30.1	1.535	3.00	4.6
21.	66.6	33.3	1.402	2.648	3.7
22.	68.4	34.2	1.369	2.560	3.5



Slika 5.

Rendgenogram polazne supstance uzorka "N"

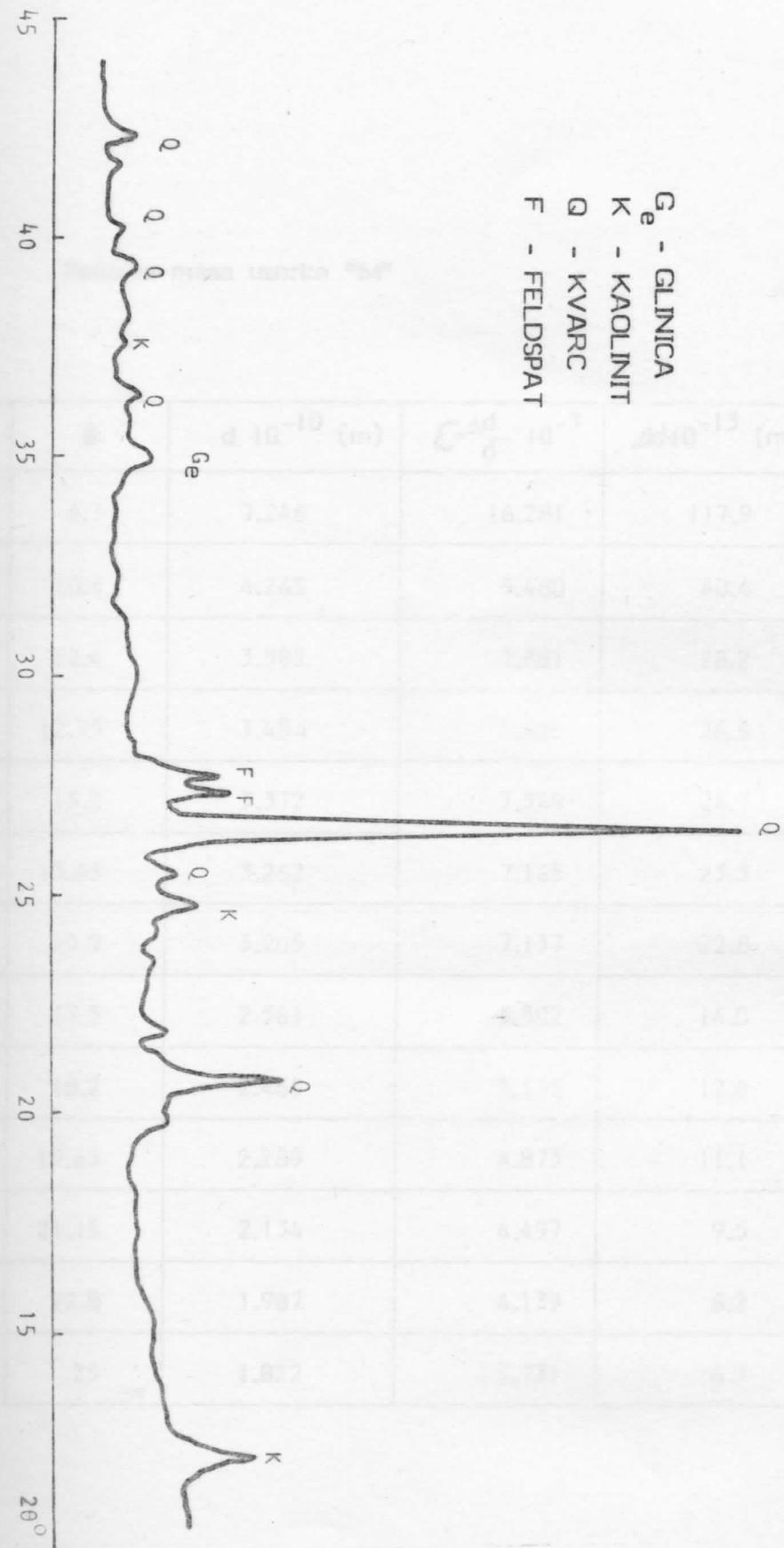
Polazna masa uzorka "N"

Tabela T₂

Red. broj	$2 \varnothing$	\varnothing	$d \cdot 10^{-10}$ (m)	$E = \frac{\Delta d}{d} \cdot 10^{-3}$	$\Delta d \cdot 10^{-13}$ (m)
1.	7.9	3.95	11.177	25.199	281.6
2.	12.2	6.1	7.246	16.281	117.9
3.	20.8	10.4	4.265	9.480	40.4
4.	24.9	12.45	3.571	7.881	28.1
5.	25.4	12.7	3.502	7.720	27
6.	26.5	13.32	3.342	7.349	24.5
7.	27.5	13.7	3.251	7.137	23.2
8.	35.1	17.55	2.558	5.502	14.0
9.	37.6	18.8	2.389	5.111	12.2
10.	43.3	21.65	2.092	4.383	9.1
11.	52.3	26.15	1.747	3.544	6.1
12.	24.3	12.1	3.673	8.116	29.8

Slike 6.

Davanje polazne mase uzorka "N"



Slika 6.

Rendgenogram polazne supstance uzorka "M"

Polazna masa uzorka "M"

Tabela T₃

Red. broj	2 Ø	Ø	d 10 ⁻¹⁰ (m)	$E = \frac{\Delta d}{d} 10^{-3}$	$\Delta d 10^{-13}$ (m)
1.	12.2	6.1	7.246	16.281	117.9
2.	20.8	10.4	4.265	9.480	40.4
3.	24.8	12.4	3.585	7.881	28.2
4.	25.5	12.75	3.484	7.689	26.8
5.	26.4	13.2	3.372	7.349	24.7
6.	27.3	13.65	3.262	7.165	23.3
7.	27.8	13.9	3.205	7.137	22.8
8.	35.1	17.5	2.561	5.502	14.0
9.	36.4	18.2	2.465	5.111	12.6
10.	39.3	19.65	2.289	4.873	11.1
11.	42.3	21.15	2.134	4.497	9.5
12.	45.6	22.8	1.987	4.139	8.2
13.	50	25	1.822	3.731	6.7

U polaznim supstancama nalazi se kaolinit, feldspat, glinica i kvarc.

Feldspat se nalazi u tabeli T_1 pod rednim brojem 8,9, a u tabeli T_2 i T_3 pod rednim brojem 7,6,7.

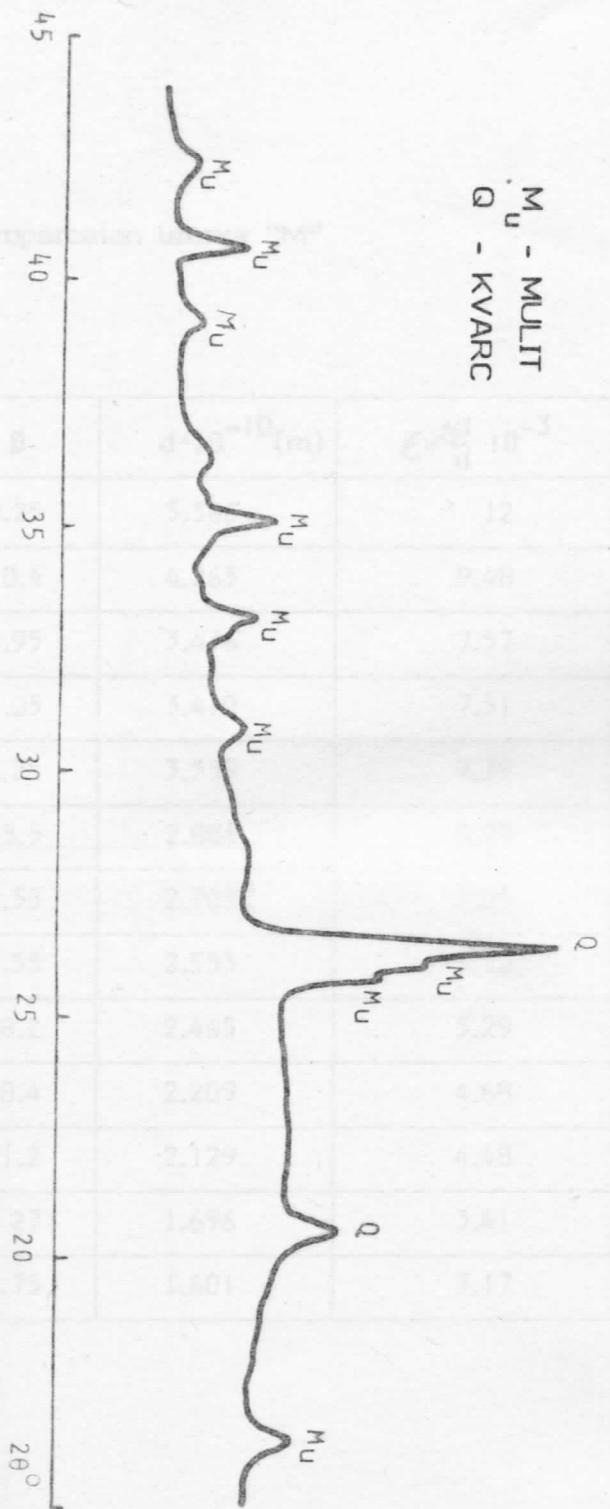
Kaolinit u tabeli T_1 pod rednim brojem 2,5,6,13, a u tabeli T_2 pod rednim brojem 2,4,5,9,12 i u tabeli T_3 pod rednim brojem 1,3,4.

Kvarc je u tabeli T_1 pod rednim brojem 3,4,7,11,12,15,16,17,20 i 22. U tabeli T_2 pod rednim brojem 3,6 i u tabeli T_3 pod rednim brojem 2,5,9, 10,13.

Glinica u tabeli T_1 je pod rednim brojem 10,14,18,19,21. U tabeli T_2 pod rednim brojem 8,10,11 i u tabeli T_3 u maloj količini pod rednim brojem 8.

Da bi odredili koje se supstance nalaze u gotovom proizvodu elektro-porcelana snimili smo rendgenograme gotovih uzoraka **M**, **N**, **G** slika 7.8 i 9.

Vrednost uglova ($2\ \emptyset$) i medjuravanska rastojanja (d) su prikazana u tabelama T_4 , T_5 i T_6 .



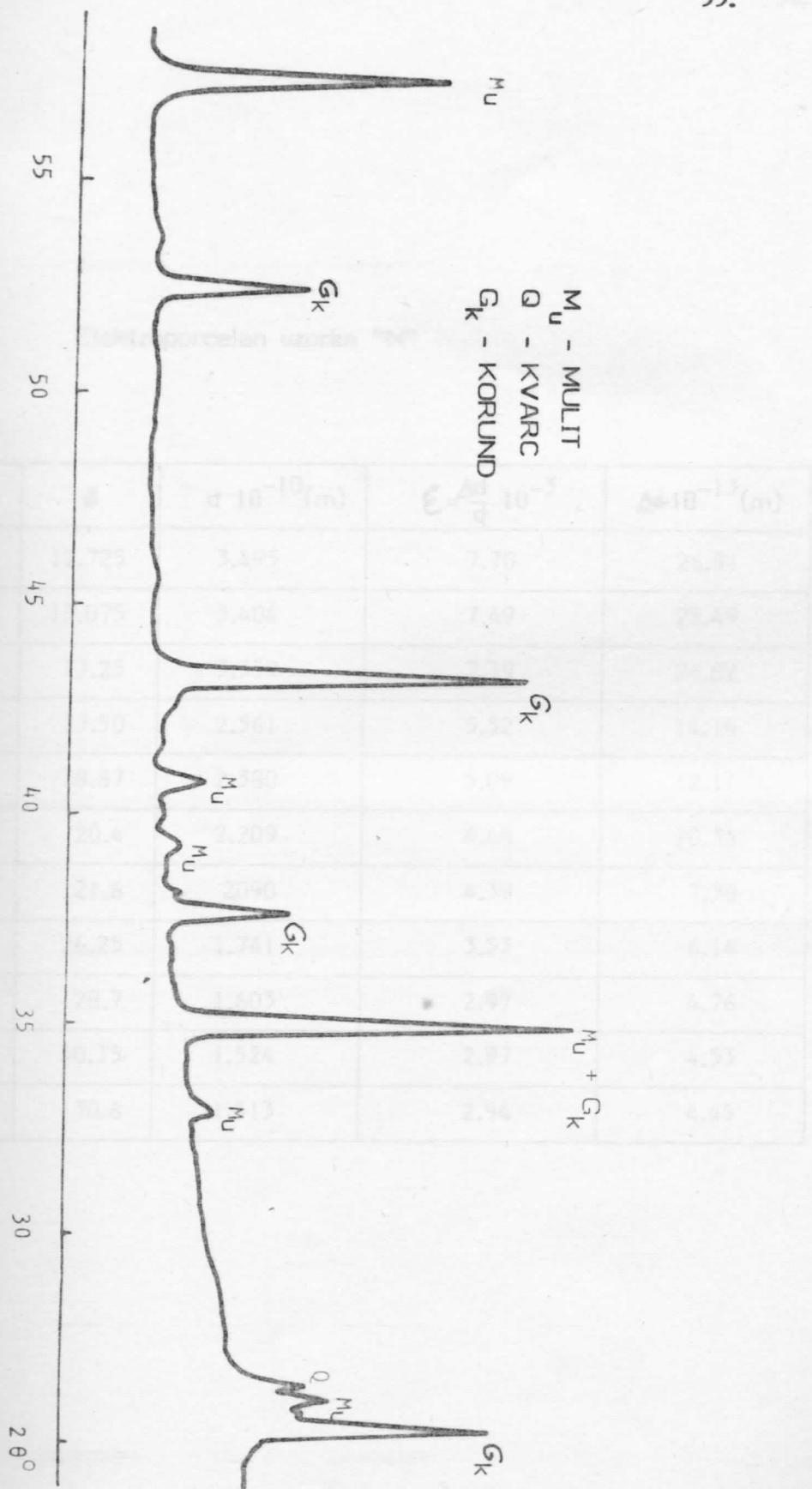
Slika 7.

Rendgenogram elektroporcelana "M"

Elektroporcelan uzorka "M"

Tabela T₄

Red. broj	2 Ø	Ø	d•10 ⁻¹⁰ (m)	$\epsilon = \frac{\Delta d}{d} 10^{-3}$	$\Delta d \cdot 10^{-13}(m)$
1.	16.5	8.25	5.366	12	64.32
2.	20.8	10.4	4.265	9.48	40.43
3.	25.9	12.95	3.436	7.57	26.01
4.	26.1	13.05	3.410	7.51	25.61
5.	26.5	13.25	3.359	7.39	24.82
6.	31	15.5	2.881	6.27	18.06
7.	33.1	16.55	2.703	5.85	15.81
8.	35.1	17.55	2.553	5.50	14.04
9.	36.4	18.2	2.465	5.29	13.04
10.	40.8	20.4	2.209	4.68	11.54
11.	42.4	21.2	2.129	4.48	9.54
12.	54	27	1.696	3.41	5.78
13.	57	28.75	1.601	3.17	5.07



Slika 8.

Rendgenogram elektroporcelana "N"

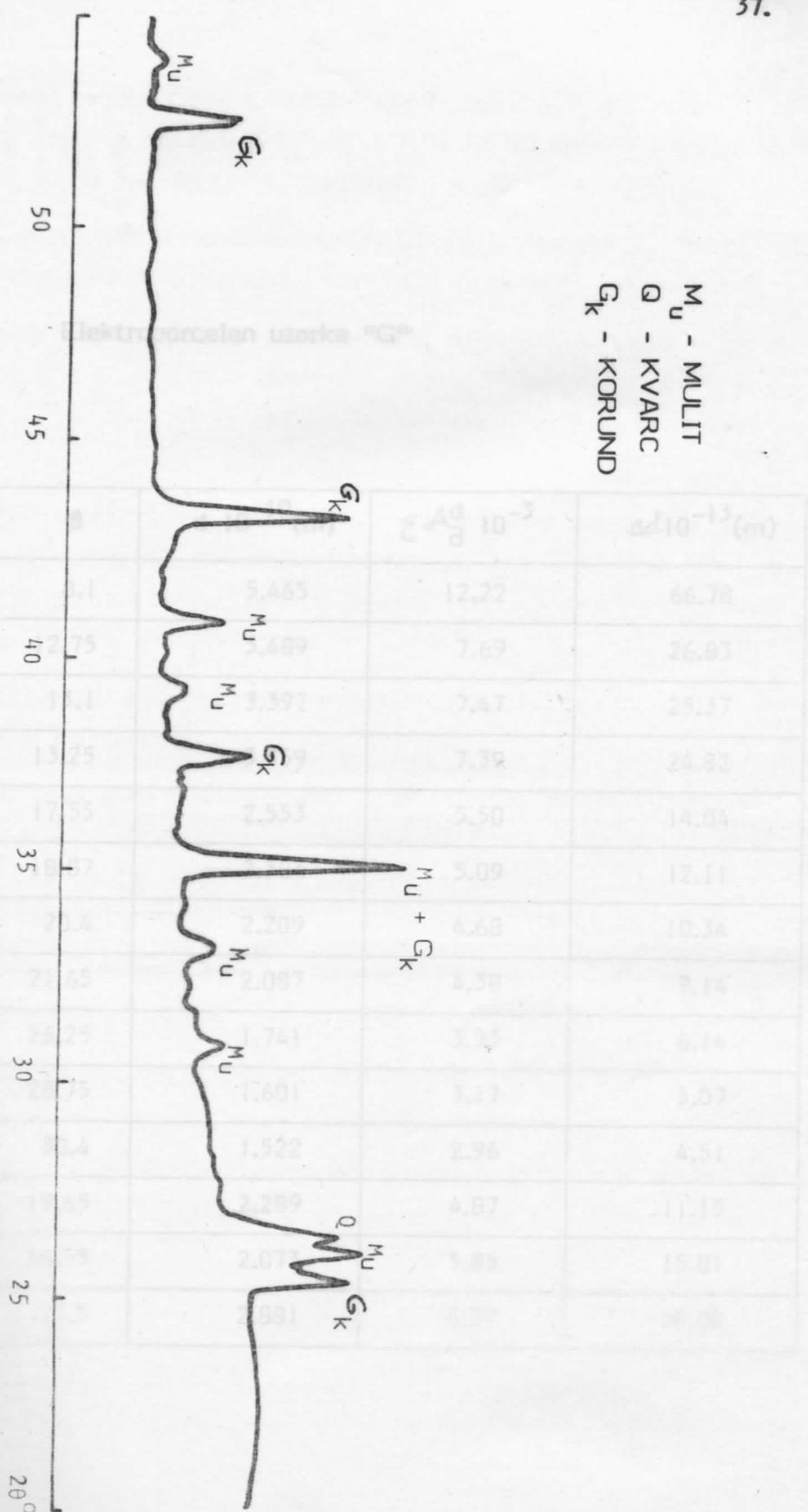
Elektroporcelan uzorka "N"

Tabela T₅

Red. broj	2 \varnothing	\varnothing	$d \cdot 10^{-10}$ (m)	$E = \frac{\Delta d}{d} \cdot 10^{-3}$	$\Delta d \cdot 10^{-13}$ (m)
1.	25.45	12.725	3.495	7.70	26.91
2.	26.15	13.075	3.404	7.49	25.49
3.	26.5	13.25	3.359	7.39	24.82
4.	35	17.50	2.561	5.52	14.14
5.	37.75	18.87	2.380	5.09	12.11
6.	40.8	20.4	2.209	4.68	10.34
7.	43.2	21.6	2.090	4.39	7.38
8.	52.5	26.25	1.741	3.53	6.14
9.	57.4	28.7	1.603	2.97	4.76
10.	60.7	30.35	1.524	2.97	4.53
11.	61.2	30.6	1.513	2.94	4.45

Slika 2.

Analizirani rezultati elektroporcelana "C"



Slika 9.

Rendgenogram elektroporcelana "G"

M, %, Uzorki su u skladu sa standardima T₄, T₅ i T₆ i ASTM kartice određuju da je uzorak sastavljen od: ALUMINA, KVARCA i KORUNDA.

Uzorak je u skladu sa standardom T₄ i centralnim MILIT I KVARCA, tabela T₆; MILIT je rednim brojem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 i KVARCA sa rednim brojem 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Elektroporcelan uzorka "G" i pojavljujuće keramitečke

pločice "G" tabela T₆ je MILIT sa rednim brojem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 i KVARCA sa rednim brojem 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Tabela T₆

Red. broj	2 Ø	Ø	d 10 ⁻¹⁰ (m)	$\mathcal{E} = \frac{\Delta d}{d} 10^{-3}$	$\Delta d \cdot 10^{-13}(m)$
1.	16.2	8.1	5.465	12.22	66.78
2.	25.5	12.75	3.489	7.69	26.83
3.	26.20	13.1	3.397	7.47	25.37
4.	26.5	13.25	3.359	7.39	24.82
5.	35.1	17.55	2.553	5.50	14.04
6.	37.75	18.87	2.384	5.09	12.11
7.	40.8	20.4	2.209	4.68	10.34
8.	43.3	21.65	2.087	4.38	9.14
9.	52.5	26.25	1.741	3.53	6.14
10.	57.5	28.75	1.601	3.17	5.07
11.	60.8	30.4	1.522	2.96	4.51
12.	39.3	19.65	2.289	4.87	11.15
13.	33.1	16.55	2.073	5.85	15.81
14.	31	15.5	2.881	6.27	18.06

PROCENAT	POVRŠINA
5%	13.75 mm ²
10%	27 mm ²
15%	37.5 mm ²
20%	50 mm ²
25%	62.5 mm ²
30%	75 mm ²

Pomoću rendgenograma Sl.7,8,9 elektroizolacionih porcelana M, N, G podataka datih u tabelama T₄, T₅ i T₆ i ASTM kartica odredili smo da u uzorcima M, N, G ima MULITA, KVARCA i KORUNDA.

U uzorku "M" dominiraju MULIT i KVARC, tabela T₄: MULIT sa rednim brojem 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13 i KVARCA sa rednim brojem 2 i 5.

Uzorak "G" sadrži MULIT, KVARC i pojavljuju se karakteristični pikovi za KORUND. U Uzorku "G" tabela T₆ je MULIT sa rednim brojem 1,3,5,6,7,10,11,12,13,14, KVARC sa rednim brojem 4 i KORUND sa rednim brojem 2,5,8,9.

U "N" uzorku intenziteti pikova KORUNDA se povećavaju, dok se KVARC i MULIT smanjuju. U Uzorku "N" tabela T₅ KORUND je pod rednim brojem 1,4,7,8,11, MULIT pod rednim brojem 2,4,5,6,9,10 i KVARC pod rednim brojem 3.

Sa porastom koncentracije neke kristalne komponente raste i površina odgovarajućih difrakcionih pikova.

Tako je moguće vršiti procenu kvantitativnog sadržaja pojedinih jedinjenja. Za procenu kvantitativnog sadržaja MULITA u pojedinim uzorcima pravili smo standarde od 5%, 10%, 20% i 25% čistog MULITA sa polaznom supstancom za svaki uzorak.

Pod istim uslovima kao i uzorce snimali smo difraktogram standarda i izračunali površine pikova.

Površine pojedinih standarda uzorka prikazane su u tabelama T₇, T₈ i T₉.

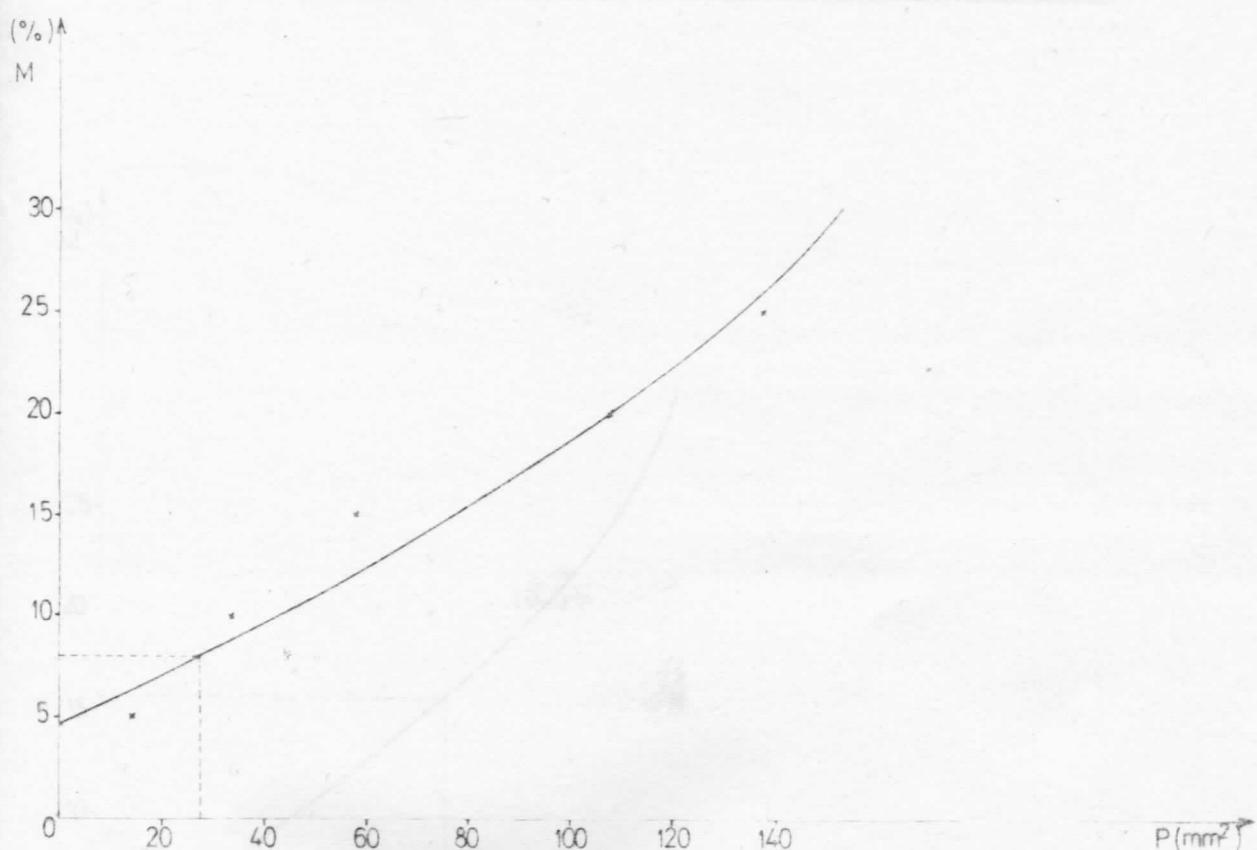
Na osnovu površine pojedinih difraktograma procenata standarda nacrtali smo dijagrame Sl. 10, 11, 12 i odredili procenat MULITA u zorcima M, N, G elektroporcelana.

Tabela T₇

UZORAK	PROCENAT	POVRŠINA
N	5%	13.75 mm ²
	10%	33 mm ²
	15%	57.5 mm ²
	20%	107.5 mm ²
	25%	132.5 mm ²
Površina pika sa dij.gline "N"	8.1%	27.5 mm ²

Tabela T₈

UZORKA	PROČINJA	PRAVILNI
	1%	12,64 mm ²
	10%	43,9 mm ²
	19%	63,3 mm ²
	28%	84,8 mm ²
	37%	102 mm ²
Doveđena pika za čit. gline "M"	19,06 %	69,1 mm ²



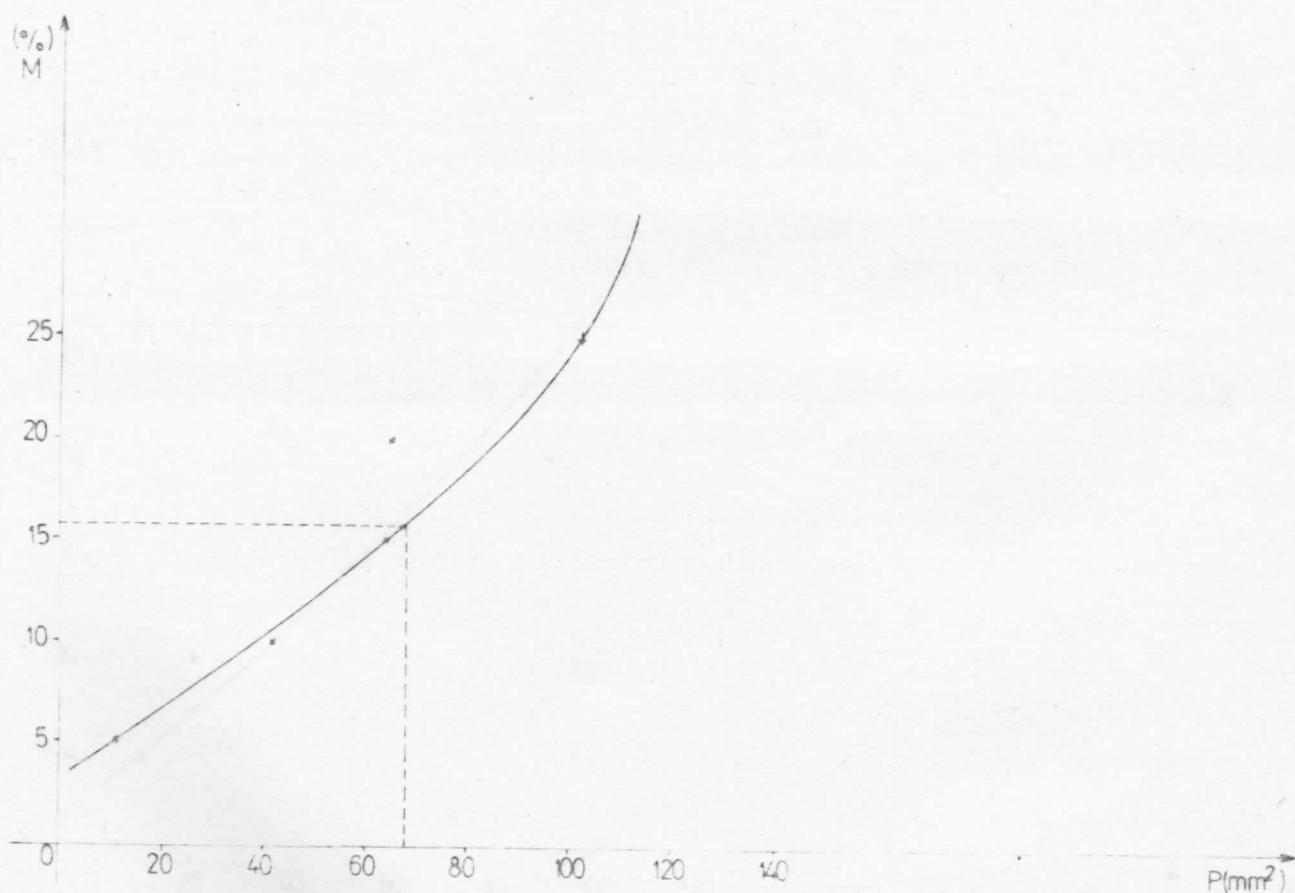
Slika 10.

Kalibraciona kriva za određivanje MULITA u
gotovom uzorku "N"

Kalibraciona kriva za određivanje MULITA u
gotovom uzorku "M"

Tabela T₈

UZORAK	PROCENAT	POVRŠINA
M	5%	12.64 mm ²
	10%	43.9 mm ²
	15%	63.3 mm ²
	20%	64.8 mm ²
	25%	102 mm ²
Površina pika za dij. gline "M"	15.08 %	68.1 mm ²



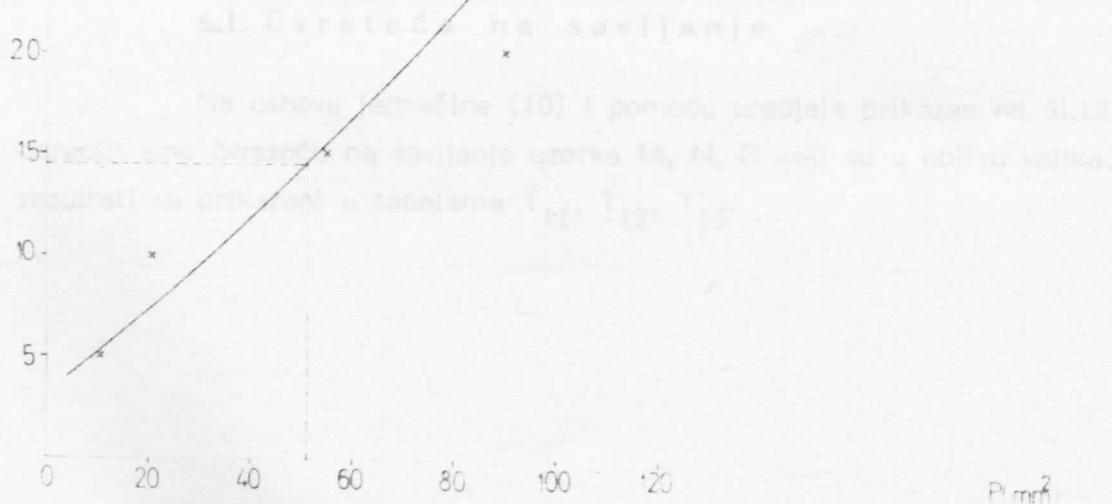
Slika 11.

Kalibraciona kriva za određivanje MULITA u gotovom uzorku "M"

Se dobivenih grafikona vrlo određeni da je MULITA ima 15% dijelova
Tabela T₉

UZORAK	PROCENAT	POVRŠINA
G	5%	11.04 mm ²
	10%	21.8 mm ²
	15%	55 mm ²
	20%	93.16 mm ²
	25%	92.6 mm ²
Površina pika sa dij. gline "G"	14.59%	54 mm ²

UZORAK	Glavnina [mm]	Granična [mm]	Relativne vrednosti	Apsolutne vrednosti
M	3.179 · 10 ⁻³	19 · 10 ⁻⁴	4.1	kg
N	3.094 · 10 ⁻³	14.5 · 10 ⁻⁴	5.6	kg
G	3.283 · 10 ⁻³	16.5 · 10 ⁻⁴	2.5	kg



Slika 12.

Kalibraciona kriva za određivanje MULITA u
gotovom uzorku "G"

Sa dobijenih grafikona smo odredili da u M-uzorku ima 15,08% MULITA, u N-uzorku ima 8,1 MULITA i u G-uzorku 14,59% MULITA.

Na analogan način smo odredili procenat KVARCA prikazano u Tabeli T₁₇.

6. ODREDJIVANJE ZAPREMIJSKE MASE UZORKA

Pomoću pikometra i vase, a na osnovu jednačine (12) odredili smo zapreminske mase uzorka M, N, G i dobili sledeće vrednosti prikazane u Tabeli T₁₀.

Tabela T₁₀

UZORAK	GUSTINA $\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	Greška	
		Relativna	Apsolutna
M	$3.198 \cdot 10^3$	$13 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
N	$3.894 \cdot 10^3$	$14,5 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
G	$3.183 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

6.1. Čvrstoća na savijanje

Na osnovu jednačine (10) i pomoću uredjaja prikazan na Sl.12., odredili smo čvrstoću na savijanje uzorka M, N, G koji su u obliku valjka, rezultati su prikazani u tabelama T₁₁, T₁₂, T₁₃.

Uzorak "M"

Tabela T₁₁

Pečeni - neglazirani uzorak			
Φ [cm]	F [N]	σ [MP _a]	I [cm]
2,00	1950	60,05	10
	1700		
	1600		
	1860		
	2100		
	2150		
	1880		
	F 1891		

Uzorak "N"

Tabela T₁₂

Pečeni-neglazirani uzorak			
Φ [cm]	F [N]	σ [MP _a]	I [cm]
1,9	3550	125,44	10
	3440		
	2940		
	3400		
	2960		
	3500		
	3480		
	3810		
	F 3385		

6.2. Elektroprobnojnosci

Poredju uredjaja prikazanog na Sl.10 i jednačine (9) određena je elektroprobnojnost uzoraka M, N, G i prikazana u tabelama T₁₂, T₁₃, T₁₄.

Uzorak "G"

Tabela T₁₃ Električna probnojnost za uzorak "G"

Pečeni-neglazirani uzorak			
ϕ [cm]	F [N]	σ [MPa]	I [cm]
1,98	3000	48	35,03
	2600	48	32,67
	2600	52	32,56
	3000	52	37,14
	2650	93,3	10
	2900	48	29,97
	3080	52	33,54
	2980	52	36,74
	2600	42	30,57
	2860	54	32,84
	3100		
	F 2851,8		

6.2. Elektroprobojnost

Pomoću uredjaja prikazanog na Sl.10 i jednačine (9) odredjena je elektroprobojnost uzoraka M, N, G i prikazana u tabelama T₁₃, T₁₄, T₁₅.

Električna probojnost za uzorak "M"

Tabela T₁₄

R.B.	a [mm]	φ [KV]	$U_{ek} = 0,2\varphi$ (kV)	$E_{kr} = \frac{Vek}{a} \left[\frac{kV}{mm} \right]$
1.	1.37	240	48	35.036
2.	1.47	240	48	32.653
3.	1.45	260	52	32.862
4.	1.40	260	52	37.142
5.	1.47	220	44	29.932
6.	1.55	260	52	33.548
7.	1.57	210	42	26.751
8.	1.55	270	54	34.838

$$\bar{E}_{skr} = 32.845 \left[\frac{kV}{mm} \right]$$

Električna probajnost za uzorak "N"

Tabela T₁₅

R.B.	a [mm]	Ψ [kV]	$U_{ek} = 0,2 \Psi$ (kV)	$E_{kr} = \frac{V_{ek}}{a}$ [kV/mm]
1.	1.57	270	54	34.39
2.	1.60	280	56	35.00
3.	1.70	255	51	30.00
4.	1.70	285	57	33.53
5.	1.73	280	56	32.37
6.	1.73	300	60	34.68
7.	1.75	290	58	33.14
8.	1.78	290	58	32.58

3.2. Elektronski mikroskop $\bar{E}_{skr} = 33.211$ [kV/mm]

U nekim elektronima se obavlja elektromagnetsko ispitivanje
koristena je emisija elektromagnetskog zračenja, koji potiču iz same elektronske konfiguracije sastavnih elemenata. Flux prikladnih elektrona je ubrzao na
soprom od 5×10^6 do 40×10^6 V.

Uzorci M, N, O su ispitani elektronskim mikroskopom pri usporanju
 $30 \cdot 10^6$; 30×10^6 ; 60×10^6 ; 50×10^6 ; 10×10^6 ; 3, 15, 30, 75.

Električna probajnost za uzorak "G"

Tabela T₁₆

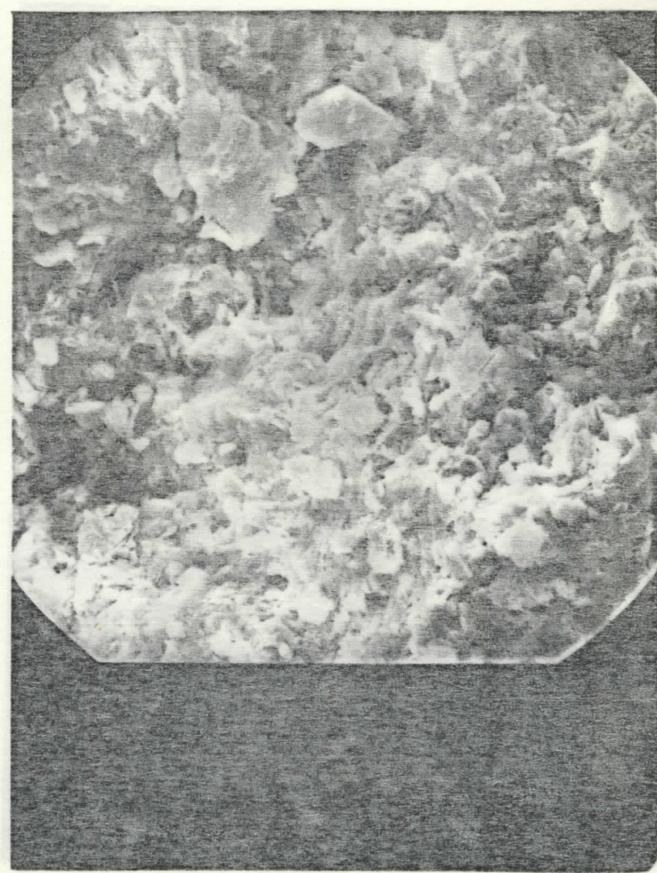
R.B.	a [mm]	φ [KV]	$U_{ek} = 0,2\varphi$ (kV)	$E_{kr} = \frac{V_{ek}}{a}$ [kV/mm]
1.	1.68	205	40	23,81
2.	1.68	210	42	25,00
3.	1.68	230	46	27,38
4.	1.70	190	38	22,35
5.	1.70	215	43	25,29
6.	1.73	205	41	23,69
7.	1.73	190	38	21,96

$$\bar{E}_{skr} = 24.211 \text{ [kV/mm]}$$

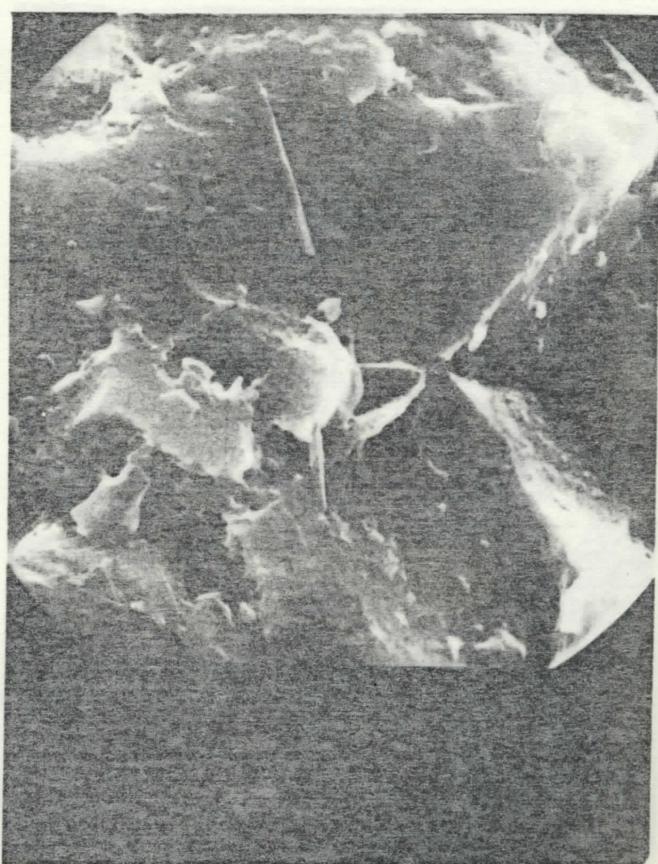
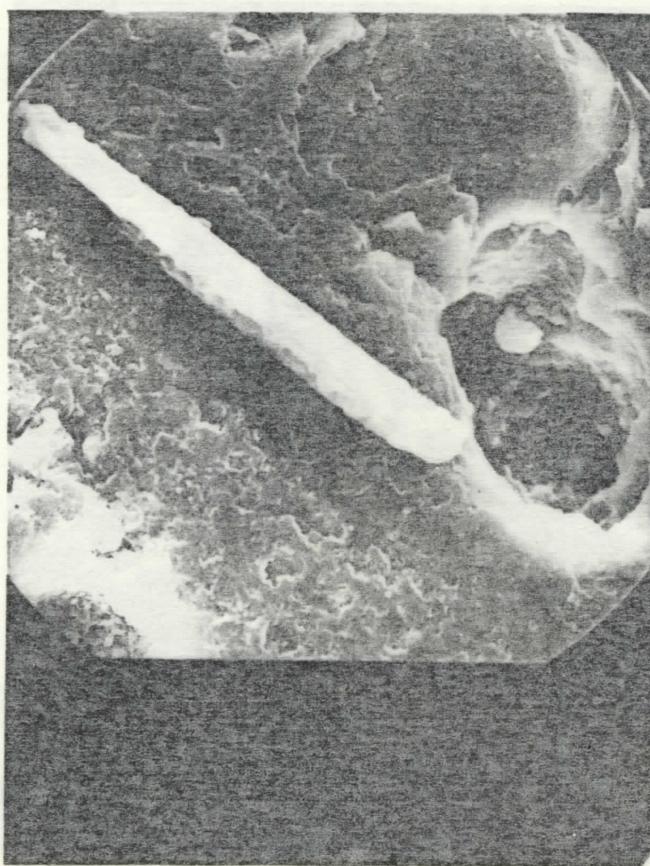
6.2. Elektronski mikroskop

U našem slučaju, za dobijanje teksturalne karakteristike ispitivanih uzoraka korišćena je emisija sekundarnih elektrona, koji potiču iz same elektronske konfiguracije sastavnih elemenata. Fluks primarnih elektrona je ubrzan naponom od $5 \cdot 10^3$ do $40 \cdot 10^3$ V.

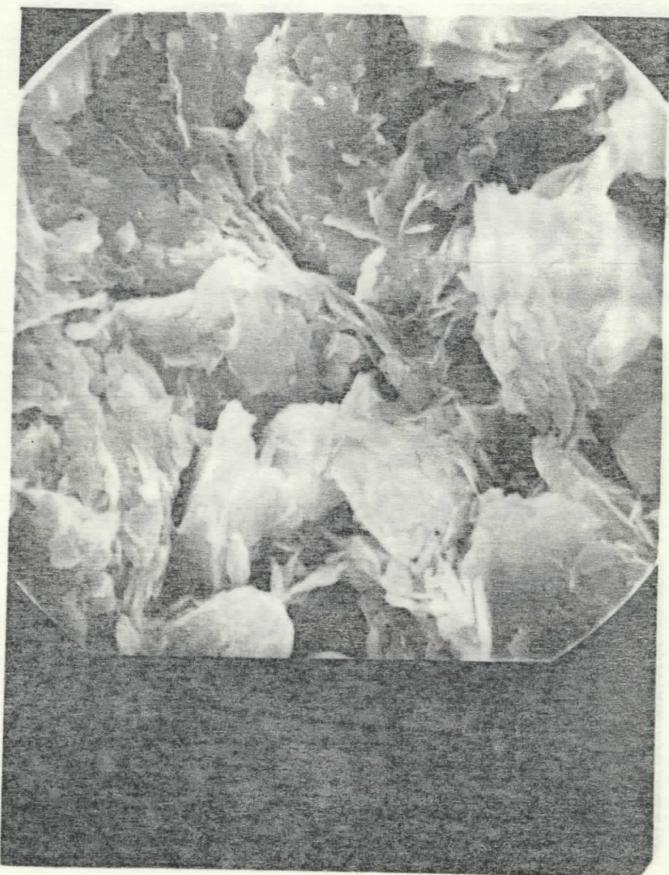
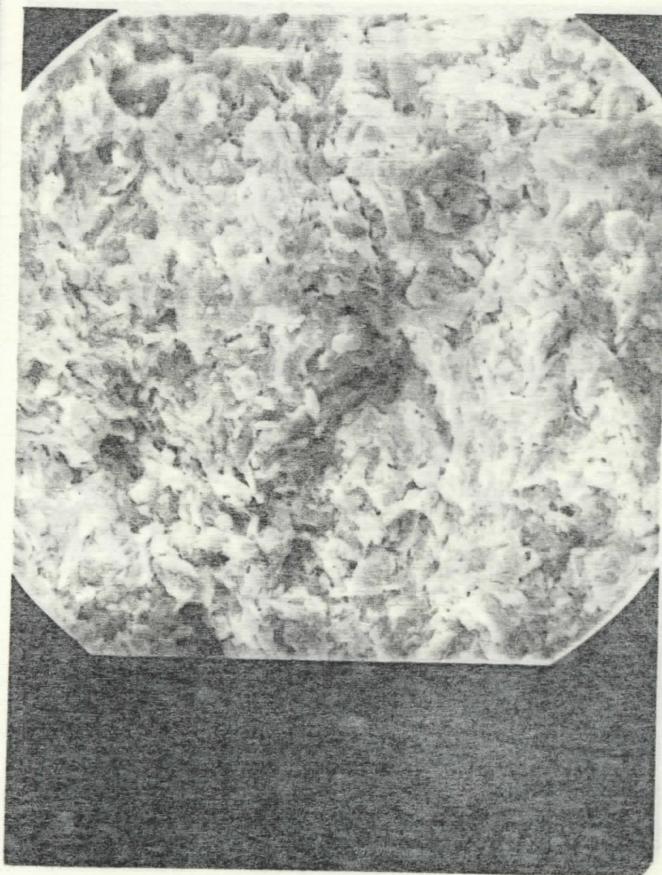
Uzorci M, N, G su ispitani elektronskim mikroskopom pri uvećanjima $30 \cdot 10^2$; $18 \cdot 10^2$; $60 \cdot 10^2$; $60 \cdot 10^4$; $18 \cdot 10^2$; SI.13, 14, 15.



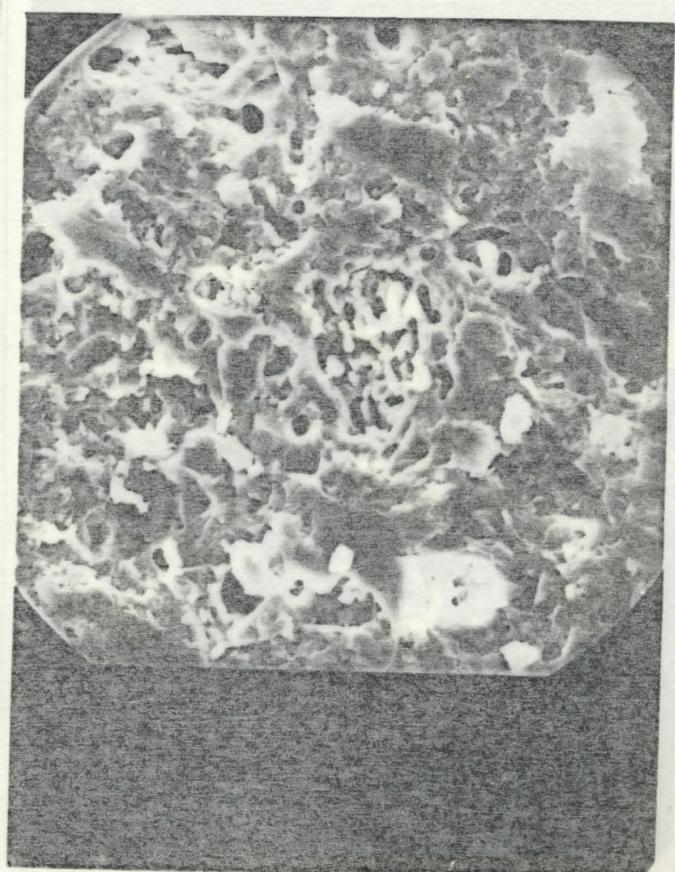
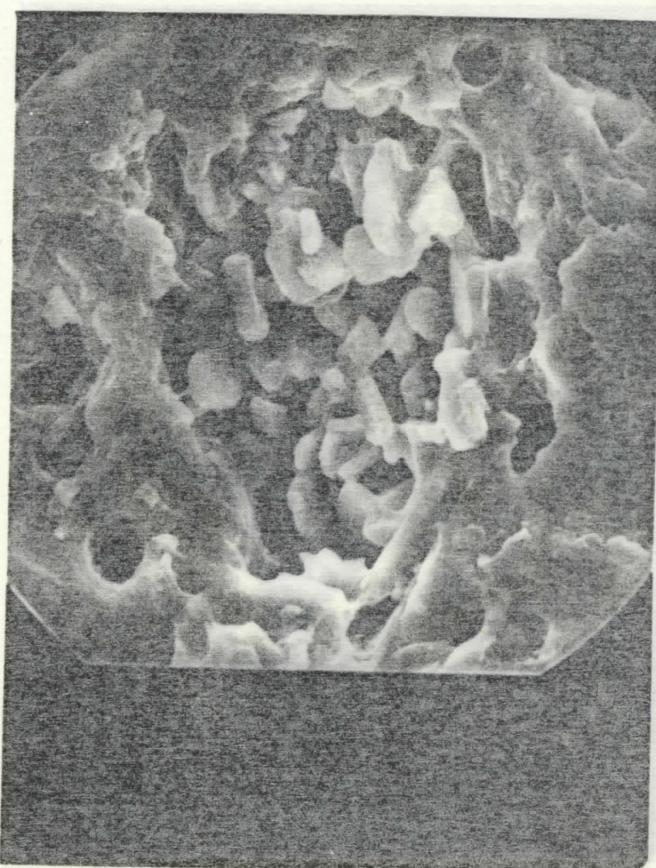
SEM mikrofotografija polazne supstance "M"



Slika 13.
SEM mikrofotografija elektroporcelana "M"



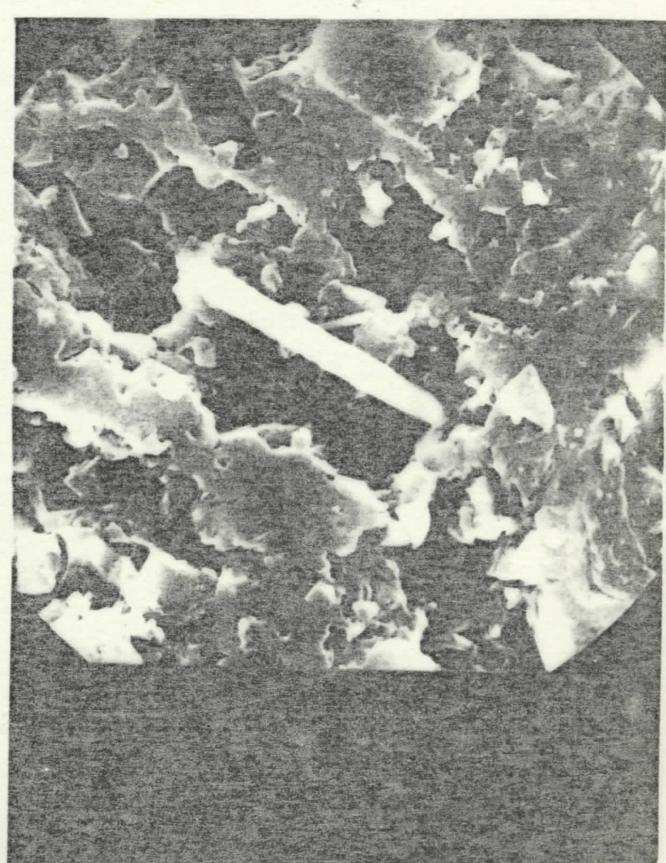
SEM mikrofotografija polazne supstance "N"



Slika 14.
SEM mikrofotografija elektroporcelana "N"



SEM mikrofotografija polazne supstance "G"



Slika 15.

SEM mikrofotografija elektroporcelana "G"

Na elektronskom snimku polaznih supstanci ne razlikuju se komponente nego se zapaža samo tipična zrnatost.

Kod gotovih uzoraka vide se staklaste mase kvarca, sivkasta masa korunda i šipkaste mase mulita. Veličina zrna mulita je $2.055 \cdot 10^{-6}$ m, što se i očekivalo.

Tabela 17

uzorak	$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	G%	konzentracija	$\Omega[\text{kg/m}^3]$	$\delta[\text{m}^2]$	$E[\text{N/mm}^2]$	mulit. m
M	0	22	5,22	$3,175 \cdot 10^3$	61,93	22,34	15
G	15-20	18	21	$3,125 \cdot 10^3$	95,30	24,24	16
N	30-40	19	22	$3,095 \cdot 10^3$	155,44	33,21	17

Pre svega upozoravajući je da učinjenje miješalice bitno utiče na mehaničke osobine jer neponašajući odnos proizvoda prati povećanje svih mehaničkih vrednosti.

S druge strane električne privojne ne prati ovu tendenciju, nego je verovatno u turčici putanja pokovanja jer rezistencija ovih telova velikom pretežom u zapreminskoj masi. Ovač zaključak treba zwatičiti kratko jer proporcionalnost nije očuvana, pa indikacija je mada čisto drugačiji odrezak obrazac.

Stepen multitizacije nije povezan sa povećanjem koncentracije aluminijumskog metalja, moglo očekivati. Verovatno izgradnja multitne faze pri ovakovom delovanju bliski postupak odnosi se isključivo na rečen silikatne komponenti i silikatne sestave te komponente. Te je razlog što se dodavanjem miješice čak povećava naročito nesvesni stepen multitizacije.

ZAKLJUČAK

U tabeli T₁₇ sumirano su dati rezultati eksperimentalnih merenja.

Tabela T₁₇

uzorak	Al ₂ O ₃ %	Q%	kaolinit%	ρ [kg/m ³]	G [MP _a]	E[kV/mm]	mulit %
M	0	29	27	3,198 10 ³	60,05	32,845	15
G	15-20	18	21	3,183 10 ³	93,30	24,211	14
N	30-40	9	29	3,894 10 ³	125,44	33,211	8

Pre svega upadljivo je da dodavanje glinice bitno utiče na mehaničke osobine jer napon savijanja finalnog produkta prati porast ove komponente u sirovinskoj masi.

Sa druge strane električna probajnost ne prati ovu zavisnost, nego je verovatno u funkciji gustine pakovanja jer tendencija ove fizičke veličine prate promene u zapreminskoj masi. Ovaj zaključak treba shvatiti krajnje uslovno jer proporcionalnost nije očuvana, pa indikacija je možda samo skup nekih drugih okolnosti.

Stepen mulitizacije nije povezan sa porastom koncentracije glinice što se možda moglo očekivati. Verovatno izgradnja mulitne faze pri ovakovom tehnološkom postupku odvija se isključivo na račun silikatnih komponenti i aluminijumoksida iz komponenata. To je razlog što se dodavanjem glinice čak negativno utiče na ostvaren stepen mulitizacije.

13. SPASOVIĆ A.J., POPOVIĆ V.Z.

Elektrotehnika i elektroenergetika, Naučna knjiga, Beograd (1979)

14. ŠEKOVIĆ M.F., RAJKOVIC L.B., VUČAKOVIC S.S.

Opisatice za vežbe iz tehnologije elektroceramičkog materijala I
Elektrotehnički fakultet, Beograd (1976)

LITERATURA

1. CARIĆ S.
Uvod u fiziku čvrstog stanja II, PMF Novi Sad (1977)
2. ILIĆ M.; KARAMATA S.
Specijalna mineralogija, Izdavačko informativni centar studenata Beograd (1979)
3. TUĆAN F.
Opća mineralogija, Tehnička knjiga, Zagreb (1951)
4. GRDENIĆ
Molekuli i kristali, Školska knjiga, Zagreb (1979)
5. KITEL C.
Uvod u fiziku čvrstog stanja, Savremena administracija, Beograd (1970)
6. ŠPOLJSKIJ E.V.
Atomska fizika, Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd (1963)
7. JANJIĆ L.
Eksperimentalne vežbe iz atomske fizike, PMF Novi Sad (1976)
8. PETROVIĆ D.
Doktorska disertacija, PMF Novi Sad (1980)
9. PETROVIĆ D.
Uputstva za vežbe, PMF Novi Sad (1980)
10. ŠASKOLJSKAJA
Kristallografija, "Viša škola", Moskva (1976)
11. JELAČIĆ Ć.
Hemijska veza i struktura molekula, Tehnička knjiga, Zagreb (1982)
12. RANOGLAJAC J.
Magistarski rad, Tehnološki fakultet, Novi Sad (1980)
13. SPASOJEVIĆ A.Ž.; POPOVIĆ V.Z.
Elektrotehnički i elektronski materijali, Naučna knjiga, Beograd (1979)
14. NIKOLIĆ M.P.; RAKOVIĆ LD.; VUJATOVIĆ S.S.
Uputstva za vežbe iz tehnologije elektrotehničkog materijala II deo, Elektrotehnički fakultet, Beograd (1978)

15. MARKOVIĆ R.

Poznavanje tehničkog materijala, Naučna knjiga, Beograd (1985)

16. ARSENIJEVIĆ M.; VALČIĆ D.; BREKIĆ M.

Fizičko mehaničko ispitivanje materijala, Naučna knjiga, Beograd (1972)

17. KNAPP K.

Fizika materijala, Elektrotehnički fakultet, Zagreb (1973)

18. TECILAZIĆ-STEVANOVIĆ M.

Osnovi tehnologije keramike, Tehnološko-metalurški fakultet,
Beograd (1973)

19. MANDIĆ J.

Otpornost materijala, Naučna knjiga, Beograd (1977)

20. L.V. AZARAFF, M.J. BUERGER

The powder method in X-ray cristallography John Wiley and Sons, Inc,
New York (1958)

21. LIBŠER I. VILEKT

Tehnologija keramike, Tehnološki fakultet, Beograd (1981)

22. BEK V.

Tehnologija elektromaterijala, Elektrotehnički fakultet, Zagreb (1972)

23. SURUTKA J.

Elektromagnetika, Gradjevinska knjiga, Beograd (1971)