

**Predmet:** Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma za priznanje tehničkog rešenja

Na osnovu dostavljenog materijala, u skladu sa odredbama *Pravilnika o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača*, koji je doneo Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj Republike Srbije ("Službeni glasnik RS", br. 38/2008) **recenzenti: Prof. dr Zoran Radaković, redovni profesor i Prof.dr Zoran Stojiljković-Elekrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, su ocenili da su ispunjeni uslovi za priznanje svojstva tehničkog rešenja sledećem rezultatu naučnoistraživačkog rada:**

**NAZIV: Elektrofilter bloka A1-TE "Nikola Tesla": napojni moduli upravljanje i komunikacija (Projekat TR6610 "Razvoj tehnologije i uređaja za efikasnu elektrofiltraciju dima u termoelektranama i toplanama"-rukovodilac projekta: prof. dr Slobodan N. Vukosavić).**

**Autori:** Prof. dr Slobodan N., Vukosavić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu  
Dr Željko Despotović, Institut "M.Pupin"-Beograd  
mr Željko Pantić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu  
Rajko Prole dipl.inž. , Institut "N.Tesla"-Beograd  
mr Ilija Stevanović , Institut "N.Tesla"-Beograd

**Kategorija tehničkog rešenja:** M(82) – Industrijski prototip

## OBRAZLOŽENJE

Recenzentska komisija je utvrdila da je predloženo rešenje urađeno za *P.D. Termoelektrane "Nikola Tesla" Obrenovac d.o.o., Blok A1*.

**Subjekt koji rešenje koristi:** *P.D. Termoelektrane "Nikola Tesla" Obrenovac d.o.o*

**Predloženo rešenje je urađeno:** Septembar 2006 godine.

**Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje:** *P.D. Termoelektrane "Nikola Tesla" Obrenovac d.o.o , postoji interes poljske firme RAFAKO za primenu tehničkog rešenja*

**Rezultati su verifikovani na sledeći način, tj. od strane sledećih tela:**

*Odeljenje za ekologiju i zaštitu životne sredine TENT*

*Odeljenje za održavanje elektrofiltrarskog postrojenja TE "Nikola Tesla", Blok A1, Obrenovac*

**Predloženo rešenje se koristi na sledeći način:** *Integralni je deo postrojenja za elektrostatičko izdvajanje čestica iz dimnih gasova u P.D. Termoelektrane "Nikola Tesla" Obrenovac, Blok A1.*

**Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi su :** *energetske tehnologije, ekologija.*

**Problem koji se tehničkim rešenjem rešava:**

Proizvodnja električne energije u termoelektranama (TE), proizvodnja toplotne energije u gradskim toplanama ali i u industrijskim postrojenjima, uslovljena je korišćenjem ugljeva, najčešće lignita niske kalorične moći. Stoga su najveći izvori emisije štetnih materija u atmosferi velika kotlovska ložišta TE i toplana, postrojenja cementara, metalurgije, čeličane i sl. Pri sagorevanju čvrstih goriva, uporedno sa oksidima sagorljivih elemenata (ugljenika, vodonika i sumpora), u atmosferu dospevaju čestice pepela, nesagorelog uglja, oksidi azota, gasovi na bazi isparljivih organskih jedinjenja, gasovi na bazi polickličnih aromatičnih hidrokarbonata, teški metali od kojih dominiraju živa (Hg) i njena jedinjenja, kao i drugi polutanti u manjim količinama. Emisija ovih štetnih

materija pri sagorevanju čvrstih goriva zavisi od mineralnog sastava goriva, načina sagorevanja, tipa ložišta i efikasnosti njihovog izdvajanja. Tipično za ugalj donje ogrevne moći od 25MJ/kg procentualni sastav otpadnih materija je : ugljena prašina 62%, pepeo 13%, vлага 9%, kiseonik 9%, vodonik 4%, azot 1.5%, sumpor 1% i ostatak teški metal i gasovi fluor i hlor. Tipične vrednosti emisije čvrstih čestica na izlazu kotlova na većini termo-blokova EPS-a se kreću u opsegu 20-40g/m<sup>3</sup>.

Izdvajanjem čestica ugljene prašine i pepela se značajno smanjuje negativni uticaj otpadnih materija, koje nastaju kao produkt sagorevanja u pomenutim postrojenjima. Svetske norme koje se sve više prihvataju i kod nas zahtevaju granične vrednosti emisije (GVE) manje od 50mg/m<sup>3</sup>. I pored značajnog efekta, izdvajanje čvrstih materija nije dovoljno da zadovolji sve potrebne zahteve zaštite životne sredine. Kao što je rečeno značajan uticaj na zagađenje imaju sumpor koji zajedno sa kiseonikom formira štetni gas SO<sub>2</sub>. Slično važi i za azot koji sa kiseonikom formira NOx. Pošto treba očekivati neprekidno smanjenje GVE u bliskoj budućnosti, neophodna je primena prihvatljivih i perspektivnih tehnologija za smanjenje emisije pomenutih polutanata.

Tehničkim rešenjem se rešava problem izdvajanja čestica dimnog gasa na postrojenju elektrostatičkih izdvajača (ESI) na TE "Nikola Tesla"-Obrenovac. Razvijen je energetski pretvarač za pobudu ESI i pripadajući digitalni upravljački uređaj sa intermitentnim napajanjem, zajedničkom saradnjom Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, Instituta "N. Tesla" i Instituta "M.Pupin"-Beograd za potrebe TE "Nikola Tesla"-blok A1 i TE "Kolubara"-blok A5.

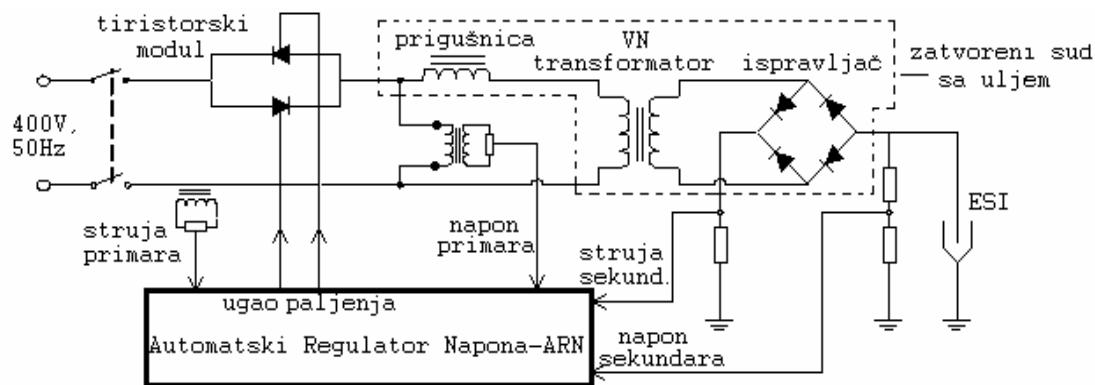
### **Stanje rešenosti problema u svetu:**

Termoelektrane kao i druga industrijska postrojenja koja sagorevaju ugalj (staklare, cementare i sl.) generišu velike količine letećeg pepela u atmosferu i stoga veoma nepovoljno utiču kako na biljni i životinski svet tako i na zdravlje ljudi. Kao takav leteći pepeo iz vazduha mora biti odstranjen, tj. njegov procenat u vazduhu mora se svesti na razuman nivo. Uređaji koji se standardno koriste za izdvajanje letećeg pepela iz vazduha se nazivaju elektrostatički izdvajači (ESI), popularnije nazvani elektrostatički filtri. Oni mogu izdvojiti iz vazduha preko 99.9% letećeg pepela ne izazivajući pritom značajne promene pritiska u komori uređaja.

Odvajanje čestica i nepoželjnih gasova se ostvaruje jakim elektrostatičkim poljem koje se formira između taložnih pločastih elektroda i emisionih šiljaka. Najbolji efekat odvajanja se postiže pri maksimalnoj jačini elektrostatičkog polja između elektroda, odnosno kada je napon na njima blizak probojnom naponu. Pošto je vrednost probognog napona zavisna od dielektričnih svojstava otpadnih gasova i sredine u samoj komori izdvajača, koji se stohastički menjaju u vremenu, doći će do čestih preskoka varnice između elektroda. Pored toga značajan uticaj na proces izdvajanja imaju temperatura, vlažnost, pritisak, stanje površine i geometrija samih elektroda. Sam ESI dakle predstavlja izrazito nelinearno opterećenje [1]. Visoki napon koji se koristi za napajanje ESI se može podešavati na različite načine. Najčešći način podešavanja izlaznog visokog napona ESI se ostvaruje statičkim tiristorskim regulisanim ispravljačem kojim se obezbeđuje rad na granici proboga. Pored preskoka varnice koji je neminovna pojava u jednom ovakovom sistemu, može nastati i električni luk koji za ispravljač predstavlja praktično kratak spoj i koji je u realnim eksploatacionim uslovima ESI veoma česta pojava [2],[3]. U novim tehničkim rešenjima koja se sreću na svetskom tehnološkom tržištu su se pojavila rešenja za dobijanje visokog negativnog napona, odnosno negativne korone čije su prednosti objašnjene u [4],[5]. Pored nabrojanog u novije vreme se sve više se koristi i signal sa merača neprozirnosti (ekstinkcije) dimnih gasova koji se postavlja na izlazu komore izdvajača. Ovaj uređaj može dati veoma preciznu sliku o emisiji neizdvojenih čestica iz struje dimnog gasa i njegov signal se takođe koristi za optimizaciju rada ESI u smislu povećanja energetske efikasnosti, uštede električne energije i zadovoljenja graničnih normi za koncentraciju neizdvojenih čestica (<50mg/Nm<sup>3</sup>).

## Suština tehničkog rešenja:

Obzirom da je za efikasan rad izdvajača potreban veoma visok napon, realizovan je jedan visokonaponski regulisani ispravljač (VNRI). U okviru njega je predviđen visokonaponski monofazni transformator na čiji primar se dovodi mrežni napon koji se reguliše promenom ugla paljenja tististora u antiparalelnoj vezi kao što je prikazano na principskoj blok šemi na Sl.1. Na primaru tog transformatora postoji redno vezana prigušnica koja ograničava primarnu struju pri varničenju između elektroda izdvajača. Visoki napon sekundara transformatora se dovodi na diodni ispravljač čiji je pozitivan kraj uzemljen, a negativan se vezuje za emisione elektrode. Ovo se radi u cilju dobijanja visokog negativnog napona, odnosno negativne korone. Prigušnica, VN transformator i diodni ispravljač se nalaze u hermetički zatvorenom sudu napunjenoj uljem. Ključni parametar regulacije napona u ESI predstavlja ugao paljenja tististora. Regulator napona određuje ovaj ugao za svaku poluperiodu mrežnog napona napajanja (za aplikaciju pri 50Hz na svakih 10 ms) i daje preciznu vrednost u zavisnosti od stanja unutar izdvajača.



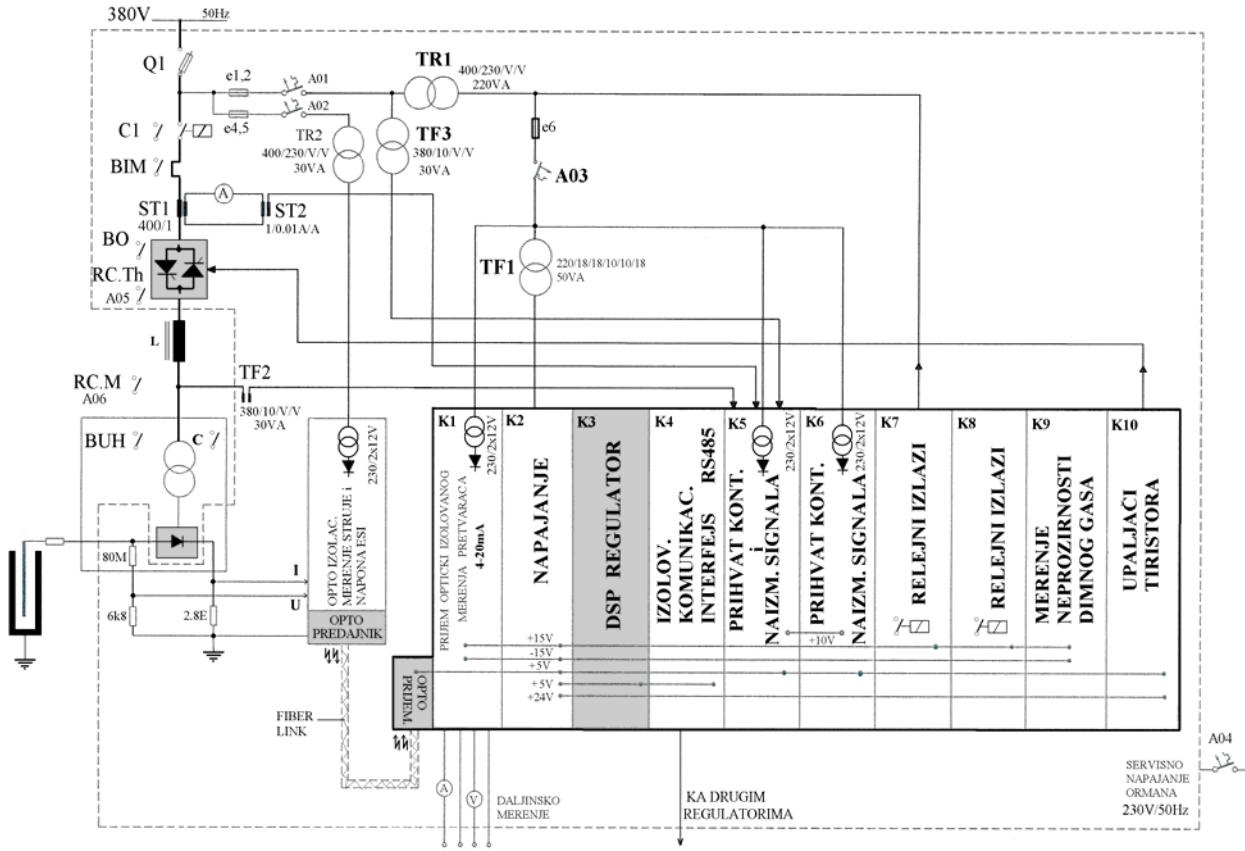
Sl.1. Blok šema VNRI sa ARN

Performanse svakog automatskog regulatora napona (ARN) su blisko povezane sa vrstom opreme koja se koristi za detekciju trenutnih vrednosti merenih električnih veličina. Veličine od interesa su primarni napon i primarna struja a trenutni trend u upravljanju ESI se bazira na uvodenju i sekundarnih veličina (struje i napona) u ARN. Ova merenja su delikatnija ali su neophodna sa stanovišta potpune optimizacije rada i adaptivne kontrole ESI.

Energetski pretvarač za pobudu ESI i pripadajući digitalni upravljački uređaj sa intermitentnim napajanjem je razvijen zajedničkom saradnjom Instituta "N. Tesla" i Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu za potrebe TE "Nikola Tesla"-blok A1 i TE "Kolubara"-blok A5. Konkretno u okviru rekonstrukcije ESI u TE "Nikola Tesla" staro postrojenje je zamjenjeno sa četiri nova sistema sa intermitentnim napajanjem i DSP regulatorom. Blok šema ovako realizovanog sistema je data na Sl.2.

Uredaj automatike ESI obuhvata opremu za regulaciju, upravljanje, merenje i signalizaciju. Regulator napona na ESI je realizovan u digitalnoj mikrokontrolerskoj tehnologiji i ima mogućnost izbora konvencionalne *kontinualne* i nekonvencionalne *intermitentne regulacije*. Adaptacija po spektru i broju proboga u minuti omogućava da se optimalni parametri izdvajanja očuvaju i pri varijacijama u sastavu goriva, i to bez potrebe za intervencijom operatera.

Pri kontinualnoj regulaciji je obezbeđena mogućnost podešavanja brzine porasta i brzine smanjenja napona ESI. Pri intermitentnoj regulaciji obezbeđena je potrebna fleksibilnost u izboru broja impulsa koji se mogu generisati u jednom paketu, vremena trajanja pauze i veličine baznog napona u cilju mogućnosti što boljeg podešavanja ESI .



Sl.2. Blok šema napajanja i regulacije ESI

Pri kontinualnoj regulaciji je obezbeđena mogućnost podešavanja brzine porasta i brzine smanjenja napona ESI. Pri intermitentnoj regulaciji obezbeđena je potrebita fleksibilnost u izboru broja impulsa koji se mogu generisati u jednom paketu, vremena trajanja pauze i veličine baznog napona u cilju mogućnosti što boljeg podešavanja ESI.

Novi upravljački sistem baziran na digitalnom regulatoru napona ETF - 2005 (*Digital Voltage Controller*) koji je prikazan na Sl.3. On sadrži dva brza digitalna signalna procesora (*twin-DSP core technology*). Uredaj se odlikuje izuzetnom autonomijom i fleksibilnošću, a poseduje napredan, adaptivni algoritam upravljanja specijalno razvijen u svrhu povećanja efikasnosti izdvajanja, kako ESI postrojenja na blokovima velike snage, tako i malih ESI.



Sl.3. Digitalni regulator ETF 2005

Digitalni regulator ETF - 2005 poseduje nekoliko algoritama rada. Međutim, razvojem adaptivnog algoritma *intermitentnog upravljanja*, napravljen je veliki pomak u pogledu rada ESI.

Naime, pri radu sa visokootpornim letećim pepelom koji je produkt sagorevanja uglja sa niskim sadržajem sumpora, ovaj način rada pokazao se izuzetno efikasnim.

Digitalni regulator napona u svakom trenutku dobija informaciju o vrednosti emisije čvrstih čestica, zahvaljujući adaptivnom algoritmu, može raditi sa promenljivim ciklusom intermitencije. Regulator je u stanju da se prilagodi bilo kakvim uslovima u izdvajaču kako bi održao emisiju na propisanih  $50 \text{ mg/Nm}^3$ , a rezultat je značajna ušteda električne energije [9]. Pored ovoga digitalni naponski regulator sadrži integriran programabilni logički kontroler koji upravlja radom pomoćne opreme na filteru (grejači potpornih i rotacionih izolatora, grejači levkova, motori za pogon otresača itd). PLC je implementiran sa mikroprocesorom koji vrši nadzor i upravljanje pomoćnom opremom, i preko CAN 2.0B protokola komunicira sa digitalnim signalnim procesorom koji vrši naponsku regulaciju. Ovakav multiprocesorski *twin-DSP core* sistem se odlikuje izuzetnom pouzdanošću i fleksibilnošću. Integriran programabilni logički kontroler preko MODBUS RTU komunikacionog kanala omogućava daljinski nadzor i upravljanje ESI sekcijama i pomoćnom opremom na samom izdvajaču.

Zahvaljujući integrisanom logičkom kontroleru, implementirano je koordinisano upravljanje naponom i radom motora za pogon otresača elektroda elektrofiltera. Rezultat je mnogo bolje čišćenje elektroda, jer se otresanjem elektroda jedne sekcije, smanjuje napon na toj sekciji, ili ga potpuno ukida za vreme otresanja. Tako se smanjuju električne sile koje drže sloj pepela na elektrodi, potencijal na površini sloja izdvojenog pepela i taložne elektrode se izjednačava, i čišćenje elektroda je potpuno.

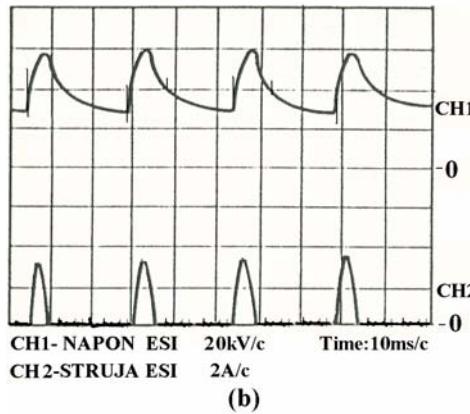
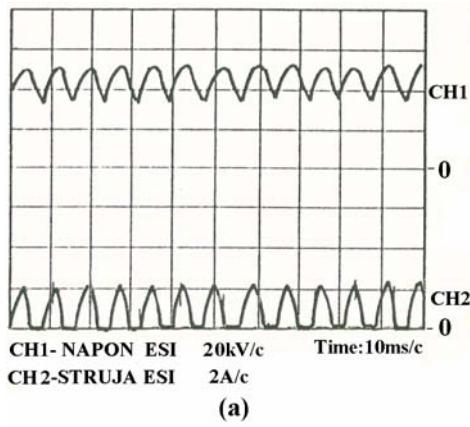
Korišćeni mikroprocesori imaju mogućnost brze parametarske estimacije spektra u realnom vremenu koja omogućava ranu detekciju i predupređivanje povratne korone, čime se umanjuje utrošak električne energije i poboljšava efikasnost izdvajanja ESI. Adaptacija po spektru i broju probaja u minuti omogućava da se optimalni parametri izdvajanja očuvaju i pri varijacijama u sastavu goriva, i to bez potrebe za intervencijom operatera.

## EKSPERIMENTALNI REZULTATI

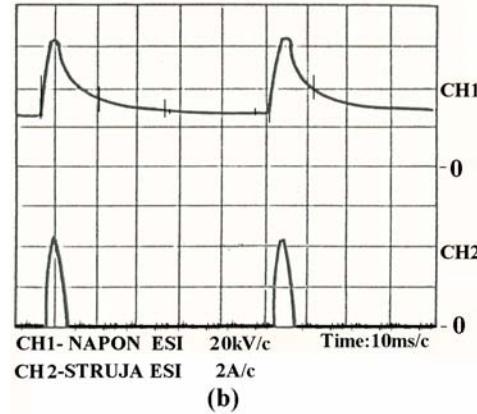
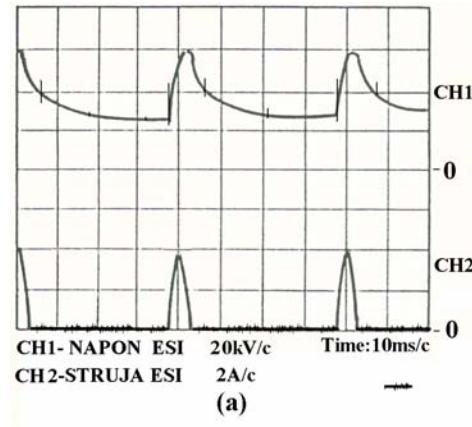
U ovom delu su prikazani rezultati ispitivanja i testiranja koji se odnose na poređenje konvencionalnog i intermitentnog napajanja ESI. Rezultati su dobijeni na osnovu snimljenih osciloskopskih snimaka na realnom ESI postrojenju u TE "Nikola Tesla"-BlokA1.

Na Sl.4 su dati osciloskopski snimci napona i struje ESI u oba režima rada. Na Sl.4(a) su prikazani karakteristični snimci za slučaj normalnog kontinualnog napajanja dok je na Sl.4(b) prikazano intermitentno napajanje i to sa jednim strujnim impulsom u tri poluciklusa, odnosno stepenom intermitencije  $D=3$ . Zapaža se da je u slučaju intermitentnog režima vrednost maksimalnog napona (*peak of ripple voltage*) u ESI značajno veća i obzirom da su ukinuta dva strujna impulsa srednja i efektivna vrednost struje u izdvajaču je manja. Pored toga vrednost minimalnog napona (*minimum of ripple voltage*) u ESI je manja. Maksimalna vrednost napona je veća zbog toga što je površina jednog strujnog impulsa veća. Ovo se objašnjava time što ova površina, zapravo, predstavlja nanelektrisanje  $Q$  stvoreno na sekciji izdvajača. Stoga veća vrednost  $Q$ , podrazumeva veću maksimalnu vrednost napona. Dalje, zbog dužeg intervala između dva suksesivna strujna impulsa, bez primanja nanelektrisanja, izdvajač se prazni prema *on-set* naponu korone, rezultirajući nižom minimalnom vrednošću napona u izdvajaču. Što se srednje vrednosti struje izdvajača tiče, ona je redukovana zbog izvesnog broja ukinutih strujnih impulsa.

Na Sl.5 su dati osciloskopski snimci napona i struje ESI za dve različite intermitencije. Na Sl.5(a) su prikazani karakteristični snimci za slučaj intermitentnog napajanja sa jednim strujnim impulsom u pet poluciklusa ( $D=5$ ), dok je na Sl.5(b) prikazano intermitentno napajanje sa jednim strujnim impulsom u sedam poluciklusa ( $D=7$ ). Slični zaključci važe kao i u prethodnom slučaju.



Sl.4. Talasni oblici struje i napona ESI;  
(a)-konvencionalno napajanje,  
(b)-intermitentno napajanje ( $D=3$ )



Sl.5. Talasni oblici struje i napona ESI; (a)-intermitentno napajanje ( $D=5$ ),  
(b)-intermitentno napajanje ( $D=7$ )

Kvantitativno poređenje izmerenih karakterističnih veličina za prethodna dva pomenuta načina upravljanja je dato u Tabeli-I. Posmatrajući srednje i efektivne vrednosti struje izdvajača može se primetiti da je faktor forme (FF) intermitentnog načina napajanja veći od FF konvencionalnog načina napajanja. Ovo se ogleda i na FF struje na primarnoj strani uređaja, a kao

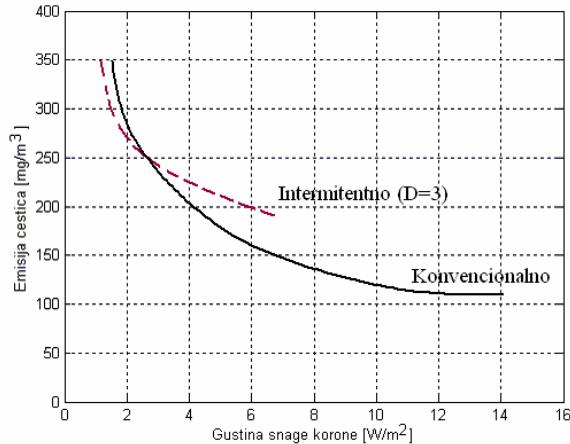
VELIČINA	Intermitentni	Konvencionalni
Primarna struja [A]	172	223
Maksimalna vrednost struje izdvajača [mA]	3100	2350
Efektivna vrednost struje izdvajača [mA]	1080	1400
Srednja vrednost struje izdvajača [mA]	476	1030
Maksimalna vrednost napona izdvajača [kV]	82	78
Srednja vrednost napona izdvajača [kV]	41	61
Minimalna vrednost napona izdvajača [kV]	24	46

Tabela I- Kvantitativno poređenje intermitentnog i konvencionalnog načina napajanja

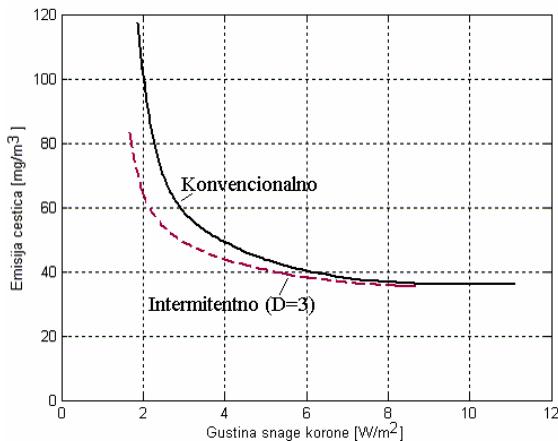
posledica, javlja se veći sadržaj harmonika. Takođe, zbog veće pauze između dva suksesivna strujna impulsa, promena magnetne indukcije  $\Delta B$  je smanjena, što rezultuje slabim zasićenjem magnetskog jezgra transformatora. Ovo bi se moglo izbegići, ili bar ublažiti na sledeće načine:

- (a) uvođenjem jednog manjeg, pomoćnog strujnog impulsa pre glavnog strujnog impulsa, tj. paljenjem tiristora u dve uzastopne poluperiode, prvog sa većim uglom, a drugog sa manjim uglom paljenja
- (b) instaliranjem veće prigušnice od postojeće sa primarne strane transformatora, u cilju modifikacije talasnog oblika struje.

Obzirom da intermitentno napajanje izdvajača smanjuje snagu korone, što se ogleda u uštedi energije, postavlja se pitanje kako ta redukcija snage korone utiče na efikasnost izdvajanja izdvajača.



Sl. 6. Kvantitativno poređenje intermitentnog i konvencionalnog načina napajanja za niskootporni leteći pepeo



Sl. 7. Kvantitativno poređenje intermitentnog i konvencionalnog načina napajanja za visokootporni leteći pepeo

Intermitentni način rada ESI zbog izvesnog broja poluperioda sa ukinutim strujnim impulsom, rezultuje nižom srednjom vrednošću struje i napona izdvajača. To znači da je manja specifična snaga korone dostupna za proces izdvajanja. Kod niskootpornog letećeg pepela, kod koga nema pojave povratne jonizacije, ovo smanjenje u snazi korone vodi ka smanjenju efektivne brzine migracije, i kao posledica toga, smanjenju efikasnosti izdvajanja ESI. Ova situacija je ilustrovana na Sl.6, gde je emisija čestica prikazana u funkciji specifične snage korone kako za intermitentni način rada (sa stepenom intermitencije  $D=3$ ), tako i za konvencionalni.

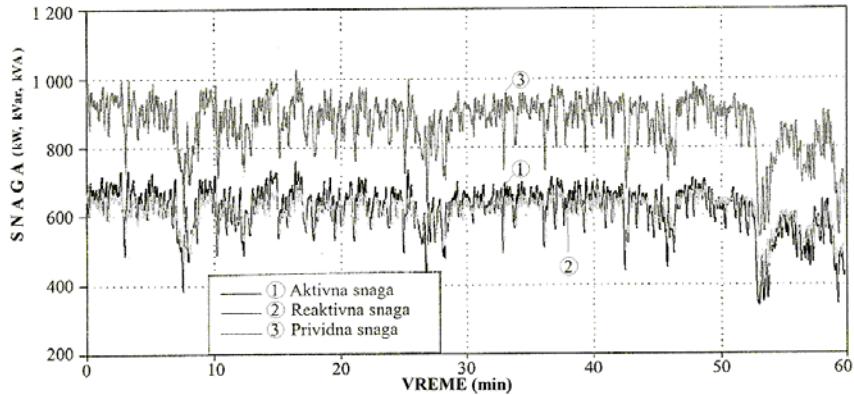
Kada izdvajač radi sa visokootpornim letećim pepelom, kod koga je prisutan efekat povratne jonizacije, prednost načina izdvajanja je na strani intermitentnog, kao što je prikazano na Sl.7.

Rezultati merenja energetske efikasnosti su prikazani u Tabeli II.  $P_{sr1}$  predstavlja aktivnu snagu ESI izmerenu za 1h u različitim režimima. Na osnovu ove snage je određena ukupna energija  $W_{uk}$ , koja se troši u kontinualnom i intermitentnom režimu za po dva sata merenja. Iako bi se moglo očekivati da je utrošena energija u intermitentnom režimu manja jer su zadate vrednosti struja u periodima kada tiristori vode jednake u oba režima, a u intermitentnom režimu postoje i vremenski periodi kada nema struje, zbog mnogo češćih probaja u kontinualnom režimu, usled čega se smanjuju struja i napon ESI i pojavljuju česte pauze za oporavak elektroda, utrošene energije u ovim režimima su skoro identične.  $P_{sr2}$  predstavlja procenjenu srednju aktivnu snagu ESI u vremenskim intervalima kada nema probaja. Na osnovu nje se dobija srednja vrednost u toku dva različita merenja  $P_{sr3}$ . Poredjenjem ovih vrednosti u kontinualnom i intermitentnom režimu je konstatovano da je srednja vrednost snage ESI u periodima kada nema probaja između elektroda za oko 10% manja u intermitentnom režimu nego u kontinualnom.

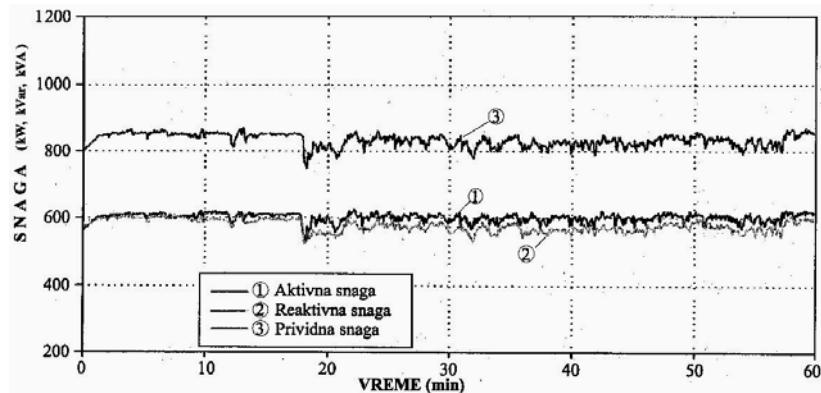
Režim rada	Merenje	$P_{sr1}$ (kW)	$P_{max}$ (kW)	$W_{uk}$ (kWh)	$P_{sr2}$ (kW)	$P_{sr3}$ (kW)
Kontinualni	1.	618,5	759,4	1 154,7	670	665
	2.	536,2	676,1		660	
Intermitentni	1.	601,6	602,0	1 207,8	602	604
	2.	606,2	607,0		606	

Tabela II- Aktivne snage i potrošnja električne energije u kontinualnom i intermitentnom režimu rada

Na snimcima koji slede, prikazane su srednje vrednosti aktivne, reaktivne i prividne snage za kontinualni režim (Sl.8) i intermitentni režim rada (Sl.9). Sve snage su merene po fazi. Oba snimka su napravljena pri istim uslovima merenja.

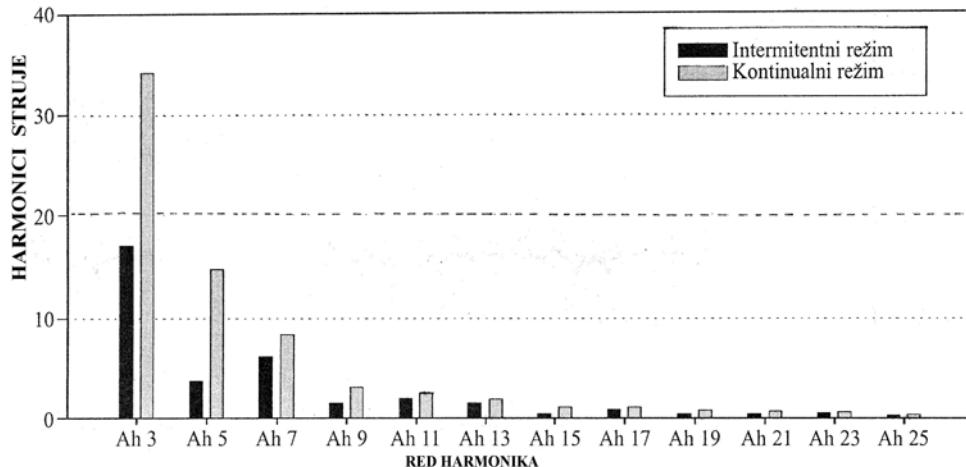


Sl.8. Srednje vrednosti snaga pri kontinualnom režimu rada ESI



Kod kontinualnog režima su evidentne skokovite promene snage (Pmax iz Tabele-II) koje u pojedinim trenucima iznose i preko 100kW, a posledica su pojave probognog napona.

Na Sl.10 su prikazane uporedne vrednosti viših harmonika struja do 25-tog reda, pri čemu su oba režima snimljena po dva puta. U oba slučaja je dobijeno da su vrednosti harmonika znatno niže pri intermitentnom režimu rada nego u kontinualnom, što se može tumačiti većom mogućnošću sprečavanja pojave proboga na elektrodama pri intermitentnom režimu rada.



Sl.10. Uporedne vrednosti viših harmonika struja za intermitentni i kontinualni režim ESI

Efikasnost čišćenja dimnog gasa je merena kontinualnim automatskim mernim sistemom baziranim na dva senzora neprozirnosti. Rezultati merenja su prikazani u Tabeli-III. Ova tabela je formirana na osnovu Direktive EU2001/80/EC i standarda EN14181 u kojima se kaže da emisija pepela u 95% vremenskih intervala, u kojima se vrši merenje, ne sme preći 30% granične vrednosti emisije. U toku svakog sata u kome su vršena merenja, sistem za merenje emisije je zabeležio 20 mernih tačaka. Najveća vrednost nije uzeta u obzir a od preostalih 19 (95%) je formirana srednja vrednost emisije u toku 1h-  $E_{srh}$ .

Režim rada	$E_{srh}/E_{sr}$ u 1 h (%)	$E_{srh}/E_{sr}$ u 2 h (%)	$E_{srh}/E_{sr}$ u 3 h (%)	$E_{srh}/E_{sr}$ u 4 h (%)	$E_{sr}$ (%)
Kontinualni	113,7	/	92,2	/	100
Intermitentni	/	79,0	/	76,4	77,7

Tabela III- Srednje vrednosti emisije čestica na izlazu ESI merene u periodu 4h za dva različita režima regulatora

Dobijena tabela prikazuje samo relativne odnose pri kontinualnom i intermitentnom napajanju (u odnosu na  $E_{sr}$ ). Iz Tabele-III se jasno vidi da je srednja relativna vrednost emisije pri intermitentnom režimu rada ARN za oko 20% manja nego pri kontinualnom režimu, pri istim uslovima.

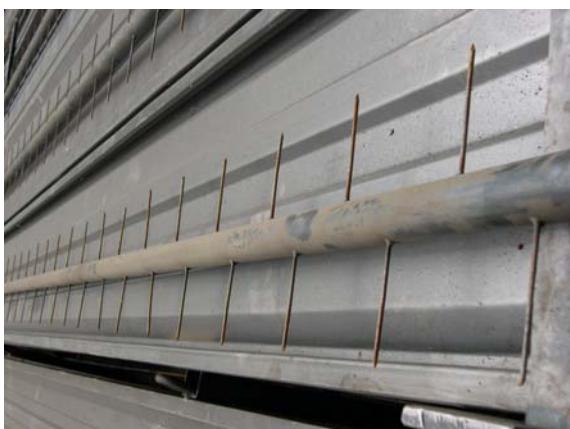
## IZGLED REALIZOVANOG POSTROJENJA na BLOKU TENT A1



Izgled jedne grane postrojenja ESI



Elektrodni sistem



Izgled emisionih šiljaka ESI



Izgled sekcije ESI

## IZGLED REALIZOVANOG ENERGETSKOG PERTVARAČA



Antiparalelna tiristorska grupe



Unutrašnjost upravljačkog energetskog ormana

## IZGLED UPRAVLJAČKOG SISTEMA ESI



Kontrolni panel



Izgled energetskog ormana u kojem je smeštena tiristorska grupa



Visokonaponski transformator  
0.4/100kV, 50Hz, Psn=105kVA

## Karakteristike predloženog tehničkog rešenja su sledeće:

• Nominalni napon napajanja	400V
• Nominalna frekvencija napona napajanja	50Hz
• Nominalna naizmenična struja	$\leq 1000$ A
• Maksimalni jednosmerni napon elektrofiltera	106kV
• Nominalna jednosmerna struja elektrofiltera	$\leq 2000$ mA
• Prenosni odnos strujnog mernog transformatora	x/1A/A
• Prenosni odnos naponskog mernog transformatora	380/10V/V
• Realizacija VN merenja	optički
• Opseg merenja jednosmernog napona elektrofiltera	0 – 120 kV
• Opseg merenja jednosmerne struje elektrofiltera	0 – 2000 mA
• Opseg merenja analognih ulaza	4 – 20mA
• Karakteristike digitalnih ulaza	relejni, 6A, 250V
• Karakteristike digitalnih izlaza	relejni, 6A, 250V
• Karakteristike PWM izlaza iz regulatora	češalj, 50% duty cycle, 16kHz, 10mA, active - HI, +5V
• Broj analognih ulaza u regulatoru	17
• Broj digitalnih ulaza u regulatoru	60
• Broj digitalnih izlaza iz regulatora	12
• Broj PWM izlaza iz regulatora	2
• Serijska komunikacija	RS485
• Protokol za komunikaciju	MODEBUS
• Vizualizacija: lokalna daljinska	LCD displej 16x2 karaktera, tastatura sa 8 tastera ekran na SCADI
• Realizacija energetskog sklopa	antiparalelni tiristori W1C
• Zaštite energetskog sklopa	RC i temperaturna
• Vrsta hlađenja	prinudno vazdušno
• Temperatura okoline	0 - +40°C

## Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja:

Realizovan tiristorski, 50 Hz-ni sistem za napajanje elektrofiltrira ugradjen u TENT-A1 u septembru 2006. godine, od kada je i u funkciji. Upravljanje elektrofiltratom i sistem nadzora razvijen je u saradnji Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, Instituta Nikola Tesla i Instituta Mihajlo Pupin. Novi upravljački sistem je rezultovao značajnim poboljšanjem kvaliteta vazduha u centru Obrenovca, što su nadležni organi izmerili i dokumentovali. Najznačajnije prednosti i mogućnosti nove tehnologije upravljanja, primenjene u ovom sistemu su sledeće:

- Integriran sistem upravljanja naponom na elektrodama, otresanjem elektroda i nadzor nad sistemom grejača
- Intermitentno upravljanje naponom uvećava efekte taloženja i umanjuje gubitke snage
- Koordinacija procesa otresanja i upravljanja naponom otklanja povratak nataloženih čestica u struju gasa i poboljšava srednju efikasnost filtracije
- Parametarska estimacija spektra omogućena primenom savremenih DSP jedinica omogućuje ranu detekciju i predupređivanje povratne korone, čime se umanjuje utrošak energije i poboljšava čišćenje.
- Adaptacija po spektru i broju probaja u minutu omogućuje da se optimalni parametri čišćenja očuvaju i pri varijacijama u sastavu goriva (uglja), i to bez intervencije operatera.

- MODEBUS i CANBUS komunikacioni kanali omogućuju daljinski nadzor i prenos komandi, kao i prikaz stanja postrojenja dat u okviru SCADA programske pakete.
- Modularan pristup daje uvećanu pouzdanost, redundantnost i fleksibilnost.

Realizovani sistem bi se mogao primeniti i na drugim industrijskim postrojenjima koja zbog prirode tehnološkog postupka koriste ugljeve, emituju dimne gasove sa visokom koncentracijom čestica i uslovjavaju zagadenje vazduha: energane i toplane, čeličane, cementare i sl.

#### LITERATURA:

- [1] N.V.P.R Durga Prasad, T.Lakshminaray, J.R.K Narasimham, T.M.Verman and C.S.R Kirshnam Raju, "Automatic Control and Management of Electrostatic Precipitator", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol.35, No.3, May/June 1999, pp.561-567.
- [2] K. Parker, "Electrical operation of electrostatic precipitators", The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [3] John.C. Fothergill, Philip W.Devine and Paul W. Lefley "A Novel Prototype Design for a Transformer for High Voltage, High Frequency, High Power Use", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol.16, No.1, January 2001, pp.89-98.
- [4] J.H.Davidson, "Electrostatic precipitation", Lectures, 2000.
- [5] P.Boyle, G.Paradiso, P.Thelen, "Performance Improvements From Use of Low Ripple Three Phases Power Supply for Electrostatic Precipitator", *Proceedings of American Power Conference-Vol.61-1*, Illinois Institute of Technology, Feb.1999., Chicago , USA.

#### MIŠLJENJE RECENZENATA

Autori tehničkog rešenja Slobodan Vukosavić, Željko Despotović, Željko Pantić, Rajko Prole i Ilija Stevanović su jasno prikazali i obradili kompletну strukturu tehničkog rešenja. Na osnovu svega navedenog recenzenti su ocenili da tehničko rešenje pod nazivom: **Elektrofiltrar bloka A1-TE "Nikola Tesla": napojni moduli upravljanje i komunikacija**, predstavlja rezultat koji pored stručne komponente pruža originalni naučnoistraživački doprinos. Sa zadovoljstvom predlažemo da se opisano tehničko rešenje prihvati kao tehničko rešenje u kategoriji M82-industrijski prototip.

Recenzenti:

Prof. dr Zoran Radaković, redovni profesor  
Elektrotehnički fakultet - Beograd

Prof. dr Zoran Stojiljković,  
Elektrotehnički fakultet - Beograd



ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ  
НИКОЛА ТЕСЛА

### Мишљење партнера о реализацији и примењеним резултатима пројекта

У оквиру програма истраживања у области технолошког развоја Министарства за науку и заштиту животне средине Републике Србије, за период 01.04.2005 - 31.03.2008. године успешно су примењени резултати пројекта

**"Развој технологије и уређаја за ефикасну електрофилтрацију дима у термоелектранама и топланама"** - ев.бр.ТР 6610;

Руководилац: Проф. др Слободан Вукосавић, ЕТФ-Београд

Реализатори: Електротехнички факултет - Београд, Институт "Н. Тесла" - Београд, Институт "М. Пупин" - Београд, Машински факултет - Крагујевац,

кроз конкретну и практичну реализацију два електрофилтарска постројења на Блоку А1 и Блоку А4 Термоелектране "Никола Тесла" - Обреновац.

Поменута постројења су у експлатацији, а резултате и техничка решења пројекта користи партнери

ПД "ТЕ Никола Тесла" - Обреновац.

Одговорно лице  
Директор ПД ТЕНТ

Драган Поповић



#### ПРИВРЕДНО ДРУШТВО "ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ НИКОЛА ТЕСЛА" д.о.о.

11500 ОБРЕНОВАЦ  
Боголуба Урошевића  
Црног 44, П. фах 25:  
<http://www.jptent.co.yu>  
e-mail: [tenf@jptent.com](mailto:tenf@jptent.com)

Центала: 011/8755-011  
Директор: 011/8755-012  
ТЕ "Никола Тесла А"  
Директор : 011/8755-003  
Факс: 011/3971-469

ТЕ "Колубара"  
11563 ВЕЛИКИ ЦРБЕНИ  
Центала: 011/8162-153  
Директор: 011/8123-320  
Факс: 011/8121-115  
e-mail: [dirtek@yubc.net](mailto:dirtek@yubc.net)

ТЕ "Морава"  
35210 СВИЛАЊАЦ  
Директор: 035/321-152  
Факс: 035/312-304  
e-mail: [temorava@ptt.yu](mailto:temorava@ptt.yu)  
komtem@eunet.yu

ТЕ-ТО "Колубара Б"  
14210 КАЛЕНИЋ - УБ  
Центала: 011/8162-111  
Директор: 011/8122-384  
Факс: 011/8162-145  
e-mail: [te-kolb@yubc.net](mailto:te-kolb@yubc.net)

ТЕ "Никола Тесла Б"  
11500 ОБРЕНОВАЦ  
Центала: 011/8722-011  
Директор: 011/8724-227  
Факс: 011/8720-193  
e-mail: [tenfb@tentb.ept.co.yu](mailto:tenfb@tentb.ept.co.yu)

**INSTITUT "MIHAJLO PUPIN"**

11060 Beograd, Volgina 15

Administracija: Pisarnica 102, Institut 183, 194

**Otvaranje radnog zadatka  
zahtev br. 0356**

Datum: 2005-04-21

 Ugovor/Pořudžbenica Interni zadatak

ZAHTEV ZA OTVARANJE RADNOG ZADATKA		PREDMET	Tehnološki razvoj projekat: -Razvoj tehnologije i uređaja za efikasnu elektrofiltraciju dima u termoelektranama i toplanama, TR-6610			
		PODACI O KUPCU	Naziv i adresa kupca Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Beograd,Nemanjina 24			
		PRILOG	Matični broj	Datum	Broj ugovora/pořudžbenice (IMP)	Broj ugovora/pořudžb. (kupca): Datum
						20.03.2005.
		VREDNOST	Ugovor/pořudžbenica priložen uz zahtev ? (DA/NE) Napomena:radni zadatak se otvara na osnovu Rešenja Ministarstva br.:401-00-1/2005-01/85 od 17.06.2005.godine			
		ROK	Rok za izvršenje:	01.I 2005.-01.I 2006.	746.409,00 dinara	
REŠENJE	ŠIFRA RADNOG ZADATKA	700-06-10-0356-13 S.J.				
OVERA		Nositel zadatka Mr Željko Despotović		Direktor Dr Vladan Batanović,dipl.inž		
		<i>Željko Despotović</i>		<i>V. Batanović</i>		

Obrazac Q4.00.721.07 Izdanje 2