

Datum: 20.03.2010. god.

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: **Dr Miloje Kostić - Viši naučni saradnik u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla“ i Prof.dr Zoran Stojiljković, profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu**, su ocenili da su ispunjeni uslovi za priznanje svojstva tehničkog rešenja sledećem rezultatu naučnoistraživačkog rada:

NAZIV: Visokofrekventno postrojenje za prečišćavanje dimnih gasova na TE "Morava"
(Projekat sa ev. br. ZS007: Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagadenja u industriji i elektroprivredi-rukovodilac projekta: prof. dr Slobodan N. Vukosavić).

Autori: Prof. dr Slobodan N., Vukosavić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
Dr Željko Despotović, Institut "M.Pupin"-Beograd
Miroljub Bakić dipl.inž. , Institut "N.Tesla"-Beograd
Obrad Đordjević dipl.inž. Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Kategorija tehničkog rešenja: M(83) – novo eksperimentalno postrojenje

OBRAZLOŽENJE

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

Subjekt koji rešenje koristi: TE "Morava" Svilajnac

Predloženo rešenje je urađeno: 28.12.2009 godine.

Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje: TE "Morava" Svilajnac, takođe 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 "Morava" Svilajnac

Predloženo rešenje se koristi na sledeći način: Integralni je deo postrojenja za elektrostatičko izdvajanje čestica iz dimnih gasova u TE "Morava" Svilajnac.

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

Problem koji se tehničkim rešenjem rešava:

Nove tehnologije za uklanjanje zagađivača iz otpadnih gasova, koji potiču od strane industrijskih postrojenja i termoelektrana, obezbeđuju sredstva za uklanjanje CO_x, NO_x, sumpornih jedinjenja i finih čestica prašine. Ove tehnologije pružaju vrlo kvalitetno napajanje bez kojeg ne bi bilo moguće ispuniti stroge zahteve u procesu prečišćavanja. Izbor visokonaponskog napajanja može odigrati značajnu ulogu u povećanju efikasnosti elektrostatičkih izdvajača (ESI). Rasprave o problemima zagađenja životne sredine širom sveta su posledica porasta potrošnje energije i ubrzanog

industrijskog rasta. Ukupna količina otpadnih gasova se povećava, uključujući i emisiju finih čestica prečnika 1 - 50 μm , koje su, kao što je poznato, naročito štetne za zdravlje. Stoga velika industrijska postrojenja i termoelektrane zahtevaju savremenu opremu za čišćenje prašine i kontinualnu kontrolu zagađenja. Neophodna je automatizovana kontrola opreme, bez potrebe za intervencijom operatera. Istraživački ciljevi o ovoj oblasti uključuju potrebu zadovoljenja ekoloških propisa, imajući u isto vreme potrebu kontrole gubitaka snage i ukupne potrošnje energije, kako bi se postigli ciljevi energetske efikasnosti.

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%, vlaga 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/m³.

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/m³. 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 SO₂. Slično važi i za azot koji sa kiseonikom formira NOx. Pošto treba očekivati neprekidno smanjenje GVE u bliskoj budućnosti, pravi je trenutak za razvoj prihvatljivih i perspektivnih tehnologija za smanjenje emisije pomenutih polutanata.

Stanje rešenosti problema u svetu:

Sprečavanje rasipanja čestica ugljene prašine i letećeg pepela iz dimnjaka pomenutih postrojenja, se ostvaruje *elektrostatičkim izdvajačima* (ESI). Elektrostatičko izdvajanje je jedna od najpraktičnijih metoda za odvajanje čestica prašine iz struje dimnih gasova. ESI se u novije vreme optimizuju i za odvajanje taložnih čvrstih produkata praha sastavljenog od submikronskih čestica sulfata i nitrata, koji nastaju u procesima desumporizacije i denitrifikacije dimnih gasova. Odvajanje čvrstih produkata se ostvaruje jakim elektrostatičkim poljem koje se formira u taložnoj komori. Sistem ESI pored taložnih komora sadrži i električne ispravljačke stanice sa odgovarajućim uređajima, kojima se ostvaruje potpuna kontrola visokog napona [1]. Konvencionalnu rešenja ispravljačkih stanica za napajanje ESI jednosmernom strujom visokog napona (tipično 40-100kV)čine: visokonaponski transformator(VNT), visokonaponski ispravljač(VNI) i niskonaponski regulator napona. U većini slučajeva zahtev za visokim jednosmernim naponom se danas standardno ostvaruje jednofaznim naizmeničnim regulatorom (380V, 50Hz) koji se bazira na tiristorskoj kontroli. Kontrola izlazne snage i napona se postiže kontrolom ugla paljenja tiristorske grupe koja se nalazi na primarnoj strani VNT[2].

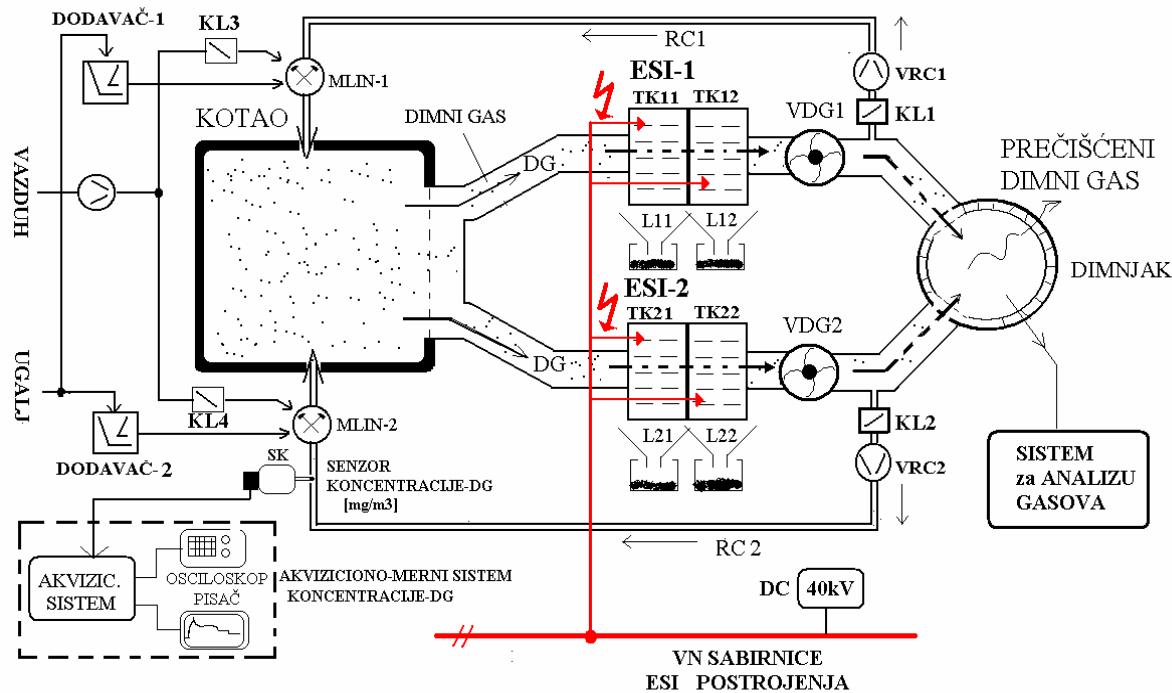
U novije vreme su na tehnološkom tržištu ESI sve više zastupljeniji visokonaponski visokofrekventni (VNVF) sistemi koji se uvode u sisteme napajanja ESI po prihvatljivoj ceni i postaju veoma konkurentni u odnosu na setove linearni *transformator/ispravljač* i tiristorsku kontrolu, koja se već dugo godina koristi u industriji. Nova VF postrojenja obezbeđuju dramatično različite performanse i fizičke karakteristike ESI od tiristorskih izvora napajanja, koji će u najskorije vreme biti potisnuti iz upotrebe. Primenjeni u ESI aplikacijama novi VF prekidački

pretvarači imaju značajan uticaj na izdvajačke sisteme i to sa aspekata konstrukcije, rada i održavanja[3].

VF sistemi *simetrično* opterećuju trofaznu napojnu mrežu i uzimaju zanemarivu reaktivnu snagu. Razmena snage između VF dela i napojne mreže (50Hz) se obavlja preko jednosmernog međukola, čime je predupređeno preslikavanje promena struje ESI, prouzrokovanih intermitentnim i impulsnim napajanjem, na napojnu mrežu. Kako napajanje ESI sada više ne zavisi od učestanosti mreže, odziv sistema veoma brzo minimizira štetne efekte preskoka, kao što su trajanje kratkog spoja i vreme ponovnog nanelektrisanja izdvajača. Naime, ESI sada može raditi sa naponom vrlo bliskim probojnom, sa veoma retkom pojmom preskoka. Kod VF napajanja izdvajača, vreme reakcije nakon detekcije varnice iznosi oko 0,05ms (za 20kHz), za razliku od konvencionalnog 50Hz-nog napajanja gde je ovo vreme reakcije oko 10 ms. Dakle, upravljanje je 200 puta brže. Rezultat je drastično povećanje performansi ESI u smislu smanjenja emisije, letećeg pepela i čadi, taložnih produkata desumporizacije i denitrifikacije i što je veoma bitno, smanjenja potrošnje električne energije potrebne za proces izdvajanja[4].

Suština tehničkog rešenja:

Blok šema konkretno realizovanog VF tehnološkog postrojenja za prečišćavanje dimnih gasova na TE „Morava“ je prikazano na Sl.1. Njega čine ukupno četiri sekcije elektrostatičkih izdvajača koje su tako raspoređene da u se u svakoj od potisnih grana dimnog gasa (DG) nalaze po dva sistema ESI-1 i ESI-2, a svaki od njih sadrži po dve taložne komore TK11, TK12 i TK21,TK22 respektivno. Ustvari, svaki od ovih sistema je opremljen sistemom taložnih i emisionih elektroda kao i njima pripadajućim mehanizmima koji služe za njihovo otresanje.

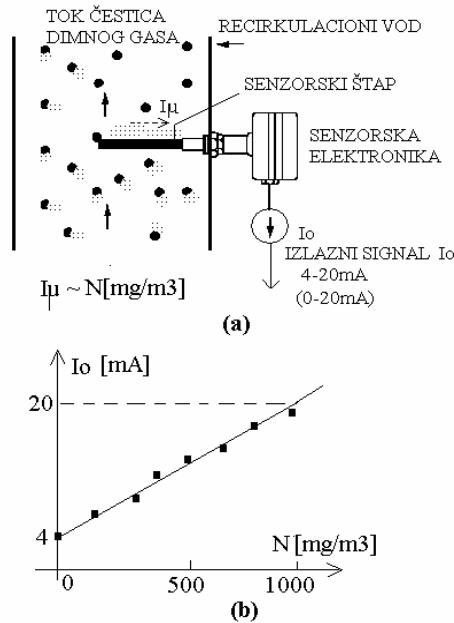


Sl.1. Blok šema VF tehnološkog postrojenja elektrostatičkih izdvajača na TE „Morava“

Otresanjem se sa elektroda odvajaju nagomilane i nataložene čestice iz dimnog gasa u taložne levke (L11 i L12 za prvi sistem i L21,L22 za drugi sistem) koji se nalaze neposredno ispod svake od taložnih komora ESI. Neprečišćeni dimni gas (DG) sa veoma viskom koncentracijom aero-polutanata i čvrstih čestica ($>3000\text{mg/m}^3$) dolazi na ulazne taložne komore TK11 i TK21 direktno iz glavnog kotla (ložišta). Stoga su ove komore jako opterećene. Nakon odvajanja na

njima na izlazne sekcije dolazi DG znatno niže koncentracije tako da su taložne komore TK12 i TK22 manje opterećene. Na njihovom izlazu su postavljeni ventilatori za odvođenje dimnih gasova VDG-1 za prvi, i VDG-2 za drugi sistem. Pomoću njih se precišćeni DG najvećim delom odvodi do glavnog dimnjaka preko koga se ispušta u atmosferu, a jedan mali deo ovog gasa se vraća recirkulacionim vodovima RC1 i RC2 posredstvom odgovarajućih klapni (KL1 i KL2) i recirkulacionih ventilatora (VRC1 i VRC2) u mlinove kotla. Ovaj gas u recirkulaciji ustvari služi za sušenje smeše u mlinovima pošto je njegova temperatura reda veličine 120°C -140°C.

U toku eksploracionih ispitivanja VF postrojenja je u recirkulacionom vodu je ugrađen senzor koncentracije (SK) kojim se vrši merenje koncentracije dimnog gazu. On ustvari u sebi kombinuje dva efekta elektrodinamički i triboelektrični. Ustvari radi se tzv. *AC "coupled triboelectric"* efektu koji je opisan u [5]. Uprošćeni prikaz i princip rada senzora je dat na Sl2.

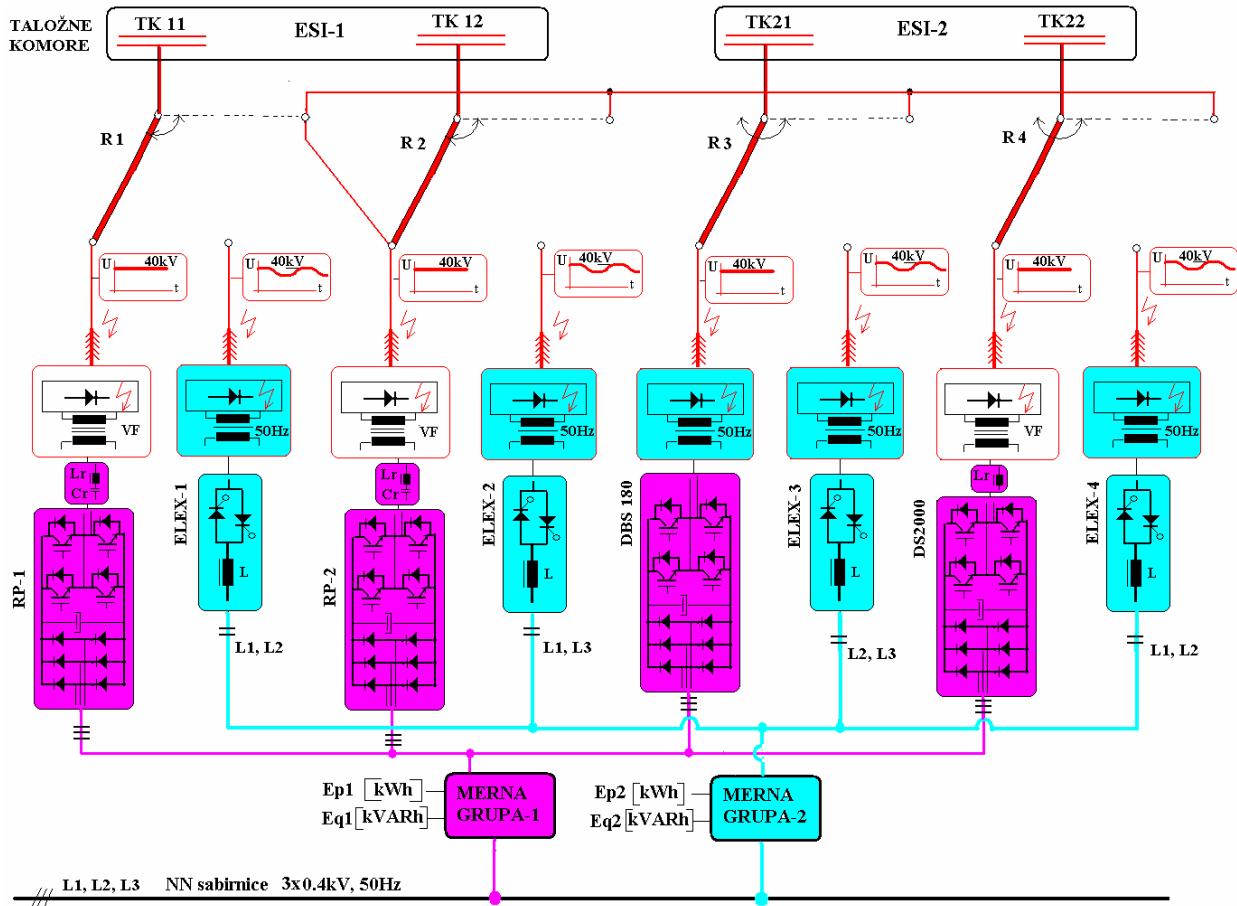


Sl.2. Princip merenja koncentracije čestica u dimnom gasu

Slobodne, odnosno neizdvojene čestice na taložnim elektrodama u ESI, koje se nalaze u struji izlaznog DG su napunjene određenim nanelektrisanjem. Ovo nanelektrisanje se prenosi na senzorski štap kada čestica ostvari dodir sa njim kao što je prikazano na Sl.2(a). Pored ovoga javlja se i elektrodinamički efekat elektrostatičke indukcije AC struje u senzorskome štalu usled prolaska čestice pored nega. Tada se na njemu javlja rezultantna struja koja se odgovarajućim elektronskim pojačavačem pojačava i filtrira dok se ne dobije AC komponenta koja daje linerani signal proporcionalan koncentraciji čestica u posmatranom DG ili pak masenom protoku čestica u njemu.. Razlog korišćenja AC komponente signala je što je ovakav signal znatno osetljiviji u odnosu DC signal. AC signal je znatno manje pogoden uticajima, kao što su šum pojačavača i procesnih parametara, uključujući i tzv. "build-up" efekat (efekat taloženja odnosno zaprljanosti) senzorskog štapa. Tako izmeren i pojačan signal se šalje preko strujnog izlaza 4-20mA (0-20mA) ili naponskog izlaza 0-1V preko signalnog kabla na dalju obradu i prikaz kao što je prikazano na Sl.1. Nultoj vrednosti koncentracije DG odgovara strujni signal 4mA, dok koncentraciji 1000mg/m³ odgovara 20mA. U ovom opsegu je postignuta zadovoljavajuća linearost kao što je prikazano na Sl.2(b), što je provereno i pokazano u brojnim procesima kalibracije mernog senzora koncentracije.

Na VN sabirnice 40kVDC su vezani izlazi energetskih pretvarača kojima se ostvaruju potrebni naponi. Prvobitno postrojenje ESI na TE „Morava“ je imalo na svakoj od četiri taložne komore po jedan pretvarački sistem 50Hz sa faznom kontrolom. U cilju poređenja 50Hz i VF

napajanja je formirano novo postrojenje energetskih pretvarača čija je dispozicija prikazana na Sl.3.



Sl.3. Dispozicija energetskih pretvarača VF postrojenja elektrostatičkih izdvajaca na TE „Morana“

Energetski pretvarači su vezani na zajedničke NN sabirnice $3 \times 400V$, $50Hz$, ali preko dve trofazne merne grupe u Aronovoj spremi: MG1 preko koje se napaja VF sistem i MG2 preko koje se napaja $50Hz$ -ni sistem. Na svakoj od ovih MG se očitavaju ukupna utrošena aktivna i reaktivna energija- Ep1,Ep2 [kWh] i Eq1, Eq2 [$kVArh$] za svaki od ovih sistema ponaosob. Izbor tipa i konfiguracije napajanja ESI postrojenja se ostvaruje VN višepoložajnim rastavljačima R1, R2, R3 i R4, kao što je prikazano na Sl.3., tako da je moguće ostvariti bilo koju kombinaciju napajanja taložnih elektroda ESI postrojenja ($2 \times VF$ i $2 \times 50Hz$ -no, $2 \times 50Hz$ -no i $2 \times VF$, $1 \times VF$ i $3 \times 50Hz$ -no, $1 \times 50Hz$ -no i $3 \times VF$, $4 \times VF$, $4 \times 50Hz$ -no) Postojeći $50Hz$ -ni sistemi su realizovan konvencionalnom topologijom sa antiparalelnom vezom fazno kontrolisanih prekidača[1-2].

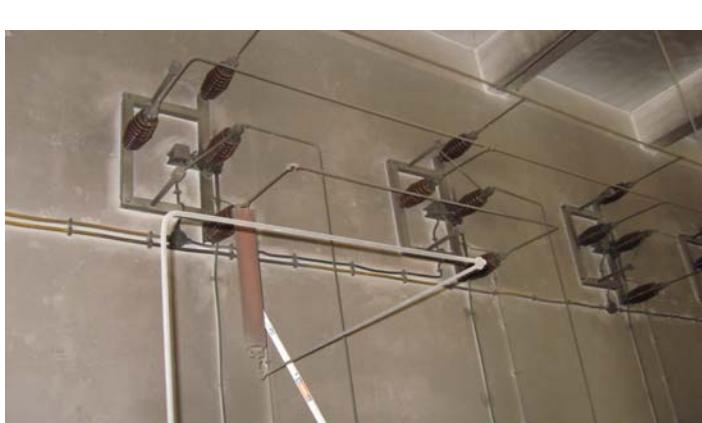
U sklopu VF sistema su realizovana tri tipa VF napajanja. Napajanje taložnih komora TK11 i TK12 je realizovan sa rezonantnim konvertorima RK-1 i RK-2, respektivno, čija je radna učestanost $10kHz$. Između IGBT mosta i primara VFVN transformatora se postavlja jedno rezonantno kolo sa kondenzatorom Cr i prigušnicom Lr . Detaljan opis rada ovog rezonantnog pretvarača i karakteristični talasni oblici su dati detaljno u [4]. Taložna komora TK21 se napaja takođe VF energetskim pretvaračem sa H-mostom koga čine IGBT prekidači, ali je na izlaz mosta vezan VN $50Hz$ -ni transformator. Ovaj pretvarač kombinuje dobre osobine VF i $50Hz$ -nog napajanja i baziran na strujnoj kontroli i daje na svom izlazu pravougaoni talasni oblik struje učestanosti $50Hz$. Ovom strujom se napaja primar VNT. Na izlazu pripadajućeg VNI se dobija $40kVDC$ napon veoma male talasnosti. Taložna komora TK22 se napaja VF pretvaračem sa PWM kontrolom uz napomenu da je izlaz H-mosta jedino preko prigušnice Lr vezan na primar pripadajućeg VNT.

Realni prikaz postrojenja

Na Sl.4 je dat stvarni prikaz realizovanog VF postrojenja elektrostatickih izdvajača (ESI) na TE "Morava" sa označenim ključnim elementima postrojenja. Na Sl.5 je dat stvarni izgled realizovanog rastavljačkog postrojenja i VN sabirnica preko kojih se napajaju taložne komore postrojenja TK11,TK12, TK21 i TK22.



Sl.4. Izgled realizovanog VF postrojenja ESI na TE "Morava"; 1-Rezonantni pretvarač 3x0.4kV, 50Hz/70kV DC, radne učestanosti 10kHz, prividne snage 70kVA (2kom.), 2- VF pretvarač sa naponskom PWM 3x0.4kV, 50Hz/70kV DC (1 kom.), 3-VNVF transformator podizač napona 0.4 kV/70kV, radne učestanosti 10 kHz, 4-Strujno regulisani pretvarač prilagođen za 50Hz-ni transformator, 3x0.4kV,50Hz/70kV DC, prividne snage 70kVA 5- Postojeći VN transformator učestanosti 50Hz, 0.4/55kV, prividne snage 55 kVA.



Sl.5. Rastavljačko postrojenje i VN sabirnice preko kojih se napajaju taložne komore TK

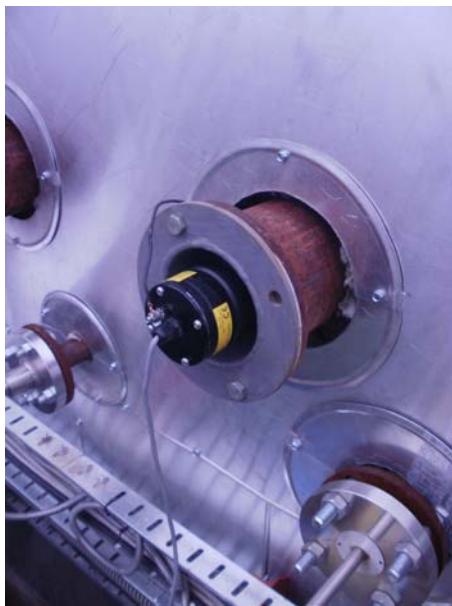


Na Sl.6 je dat izgled mernih grupa MG1 i MG2 koje su predviđene za utrošak aktivne i reaktivne električne energije i to za VF sistem i 50Hz-n sistem respektivno. Na Sl.7 je dat prikaz recirkulacionog voda RC-2 i mesta montaže senzora-SK za merenje koncentracije dimnih gasova.



Sl.6. Unutrašnjost mernog ormana sa pripadajućim mernim grupama MG1 i MG2 za merenje utroška aktive i reaktivne energije VF i 50Hz-nog sistema ESI

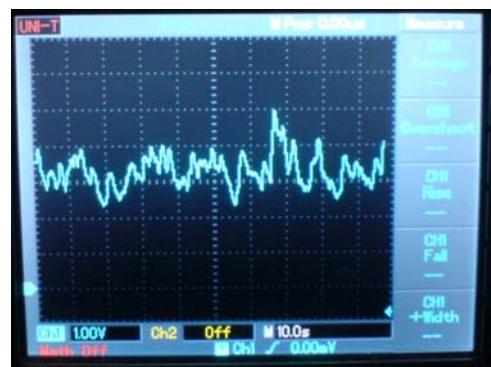
Na Sl.8 je dat detalj montaže senzora koncentracije-SK, dok je na Sl.9 dat izgled pripadajuće elektronike u kojoj se nalazi transmpter signala 4-20mA, odnosno 0-1V i tipični osciloskopski snimak signala koncentracije dobijen akvizicijom.



Sl.8. Detalj montaže senzora koncentracije SK na recirkulacionom vodu



Sl.7. Izgled recirkulacionog voda i prikaz mesta montaže senzora koncentracije SK

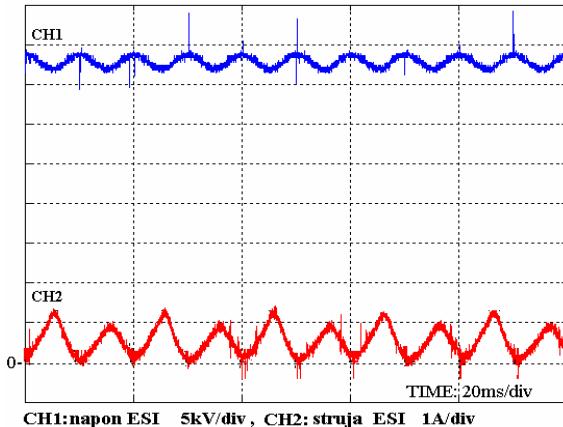


Sl.9. Izgled transmpter-a senzora koncentracije i tipični osciloskopski snimak signala koncentracije (kanal CH1 1V→50mg/m³)

Eksperimentalni rezultati

U ovom poglavlju su prikazani eksperimentalni rezultati koji su dobijeni u toku eksploatacionih ispitivanja ESI postrojenja na TE "Morava". U okviru ovih ispitivanja je izvršeno kvalitativno i kvantitativno poređenje novog VF sistema sa postojećim 50Hz-nim sistemom.

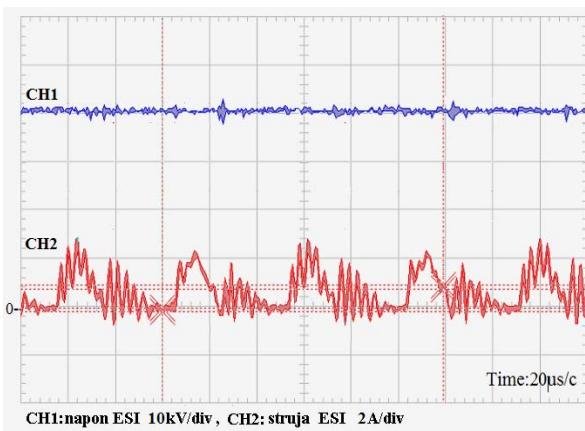
Na Sl.10 su prikazani osciloskopski snimci napona na taložnim elektrodama ESI (CH1) i izlazne struje ESI (CH2) za slučaj 50Hz-nog napajanja. Na snimcima se uočava da je srednja vrednost izlaznog napona oko 35kV, a njegova talasnost 4kVpp.



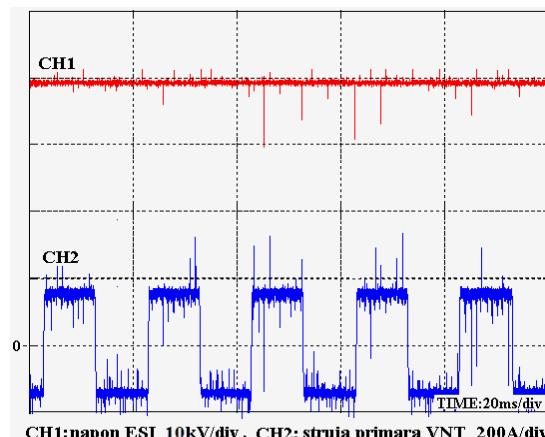
Sl.10. Snimci napona i struje ESI; 50Hz-no napajanje

Učestanost strujnih impulsa kojima se puni izlazna kapacitivnost ESI elektroda je 100Hz, obzirom da se na VN strani koristi diodni punotalasni ispravljач.

Na Sl.11 su prikazani osciloskopski snimci napona (CH1) i struje (CH2) ESI za slučaj rezonantnog VF sistema napajanja. Uočava se da je izlazni napon ESI u odnosu 50Hz-no napajanje veći ($\approx 40\text{kV}$), precizniji i sa značajno manjom, praktično zanemarljivom talasnosti. Ovo je posledica toga što je učestanost izlazne struje 20kHz (radna učestanost rezonantnog konvertora je 10kHz).



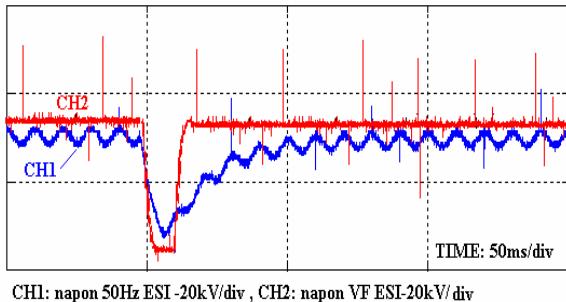
Sl.11. Snimci napona i struje ESI; VF rezonantno napajanje



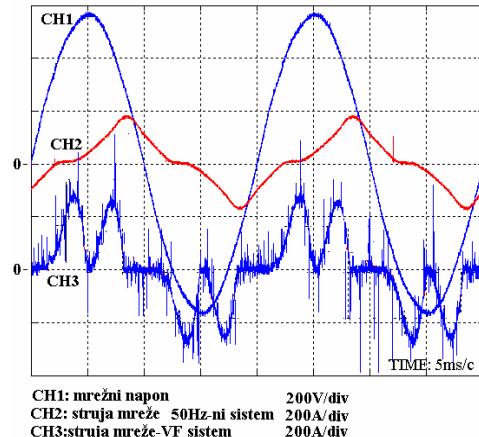
Sl.12. Snimci napona i struje ESI; VF hibridno (retrofit) napajanje

Na Sl.12 su prikazani osciloskopski snimci napona ESI i primarne struje VN transformatora za slučaj kombinovanog retrofitnog tj. hibridnog sistema napajanja (VF pretvarač + VN transformator 50Hz). Uočava se da je i u ovom slučaju izlazni napon ESI veoma precizan (40kV) sa

zanemarljivom talasnosti. Učestanost primarne struje je 50Hz, ali sa talasnosti čija je učestanost 10KHz, što je posledica strujne kontrole na primaru VN transformatora. Na Sl.13 je dato poređenje odziva 50Hz-nog i VF sistema napajanja na preskok. Uočava se značajno brži odziv VF sistema.



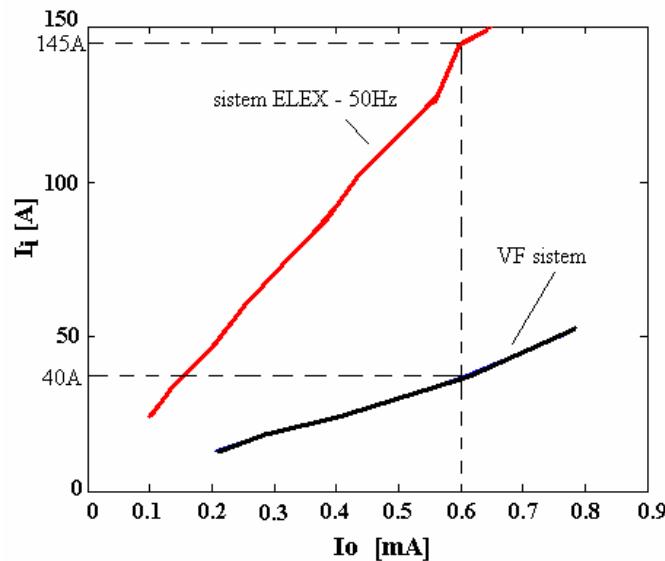
Sl.13. Poređenje odziva 50Hz i VF sistema napajanja



Sl.14. Poređenje ulaznih mrežnih struja 50Hz-nog i VF sistema napajanja ESI u odnosu na mrežni napon 0.4kV

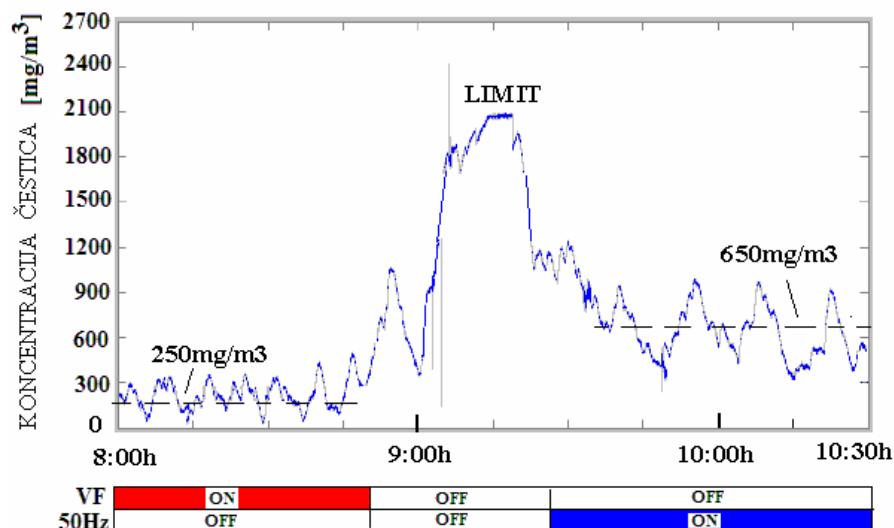
Na Sl.14 su prikazani osciloskopski snimci ulazne mrežne struje za 50Hz-ni sistem i VF sistem napajanja, u odnosu na mrežni napon 0.4kV/50Hz. Uočava se da je faktor snage VF sistema znatno bolji u odnosu na 50Hz-ni tiristorski sistem.

Na Sl.15 su dati efekti VF napajanja na izmerenu ulaznu prividnu snagu. Ustvari merene su efektivne vrednosti ulazne struja- I_i pretvarača pri 50Hz-nom napajanju i pri VF napajanju i srednja vrednost izlazne struje- I_o . Efektivna vrednost mrežnog napona je pri ovom merenju bila približno ista u oba slučaja i iznosila je 400V. Sa dijagrama na Sl.15 se vidi da je pri istoj izlaznoj struci I_o , ulazna prividna snaga značajno manja kod VF napajanja.



Sl.15. Ulazna struja postrojenja pri VF napajanju i 50Hz-nom napajanju

Merenje emisija čestica dimnih gasova

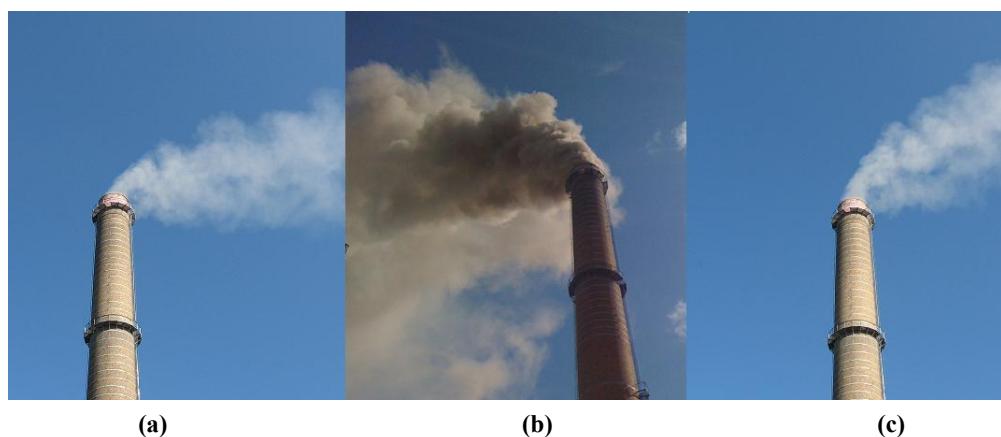


Sl.16. Izmerene koncentracije čestica zavisno od tipa primjenjenog napajanja ESI

Na Sl.16 je dato poređenje izmerenih izlaznih koncentracija čestica u dimnom gasu za slučaj VF i 50Hz-nog sistema napajanja. U intervalu od približno 45min je radio VF sistem napajanja. U tom intervalu je izmerena srednja koncentracija od $250\text{mg}/\text{m}^3$. Nakon toga u intervalu od 45min su bila isključena oba sistema napajanja. Tada je izmerena koncentracija bila veća od limita mernog uređaja koji je iznosio $2000\text{mg}/\text{m}^3$. Nakon ovoga je primjenjen 50Hz-ni sistem napajanja. Izmerena srednja vrednost koncentracije u periodu od 1h je iznosila oko $650\text{mg}/\text{m}^3$. Dakle VF sistemom napajanja se postiže značajno bolje čišćenje dimnog gasa.

Kvalitativno poređenje VF i 50Hz-nog sistema izdvajanja

Na Sl.17 je dato vizuelno poređenje izlaza dimnjaka TE "Morava" za vremenski dijagram i režime rada filterskog postrojenja koji su dati na Sl.16. Prikaz na Sl.17(a) odgovara režimu kada je napajanje taložnih komora ostvareno kompletno preko VF postrojenja. Sl.17(b) odgovara slučaju kada je isključeno napajanje taložnih komora i tada se očigledno ima najveće aerozagadađenje. Sl.17(c) odgovara slučaju kada je u pogonu 50Hz-ni sistem. Stiče se subjektivni utisak da je nabolje čišćenje dimnog gasa za slučaj na Sl.17(a) odnosno kada je u pogonu VF postrojenje.



Sl.17. Vizuelno i kvalitativno poređenje VF postrojenja i 50Hz-nog postrojenja ESI na izlaznom dimnjaku TE "Morava"; (a)-VF sistem, (b)-isključeno napajanje taložnih komora, (c)-50Hz napajanje

Karakteristike predloženog tehničkog rešenja su sledeće:

Eksperimentalni rezultati su pokazali da VF sistem nudi značajno bolje performanse u pogledu talasnosti tj.preciznosti napona na ESI, brzini odziva, ulaznog faktora snage, potrošnje snage i na kraju značajno niže koncentracije čestica u dimnom gasu.

Kvantitativno gledano performanse predloženog VF postrojenja su:

Izlazni napon na VN sabirnicama :	50kVDC
Izlazna struja /taložnoj komori	0.8A
Mrežni napon napajanja:	3x400V, 50Hz
Potrošnja:	100kW
Ulagani faktor snage:	>0.97
Radna učestanost:	10kHz
Vreme odziva na preskok:	100-200μs
Izlazna koncentracija čestica dimnog gasa:	100-150mg/m ³

Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja:

Predloženim VF postrojenjem je postignuto nekoliko značajnih poboljšanja u odnosu na konvencionalni 50Hz-ni sistem. Kao prvo moguće je obezbediti mnogo *precizniju kontrolu* radnih parametara ESI, kao što su izlazni napon i struja. Kao drugo, moguće je ostvariti brz porast napona i *veoma brz odziv* na promene opterećenja. Zahvaljujući ovom je moguće veoma brzo reagovati u slučaju pojave luka, tako da je u ovom slučaju njegova efektivna energija značajno smanjena (čak i do 10 puta u odnosu na 50Hz-ni sistem). Ovo znači i deset puta manju eroziju elektrodnog sistema i isto toliku kraću beznaponsku pauzu. Stoga se skraćuje interval u kome se emituju zagađujuće materije. Pored toga VF rad obezbeđuje *značajno smanjenje veličine i težine* komponenti postrojenja, a najveći uticaj smanjenja gabarita se odnosi na elektrodnji sistem koji je i najskuplji deo postrojenja. Ova redukcija vodi kompaktnijem dizajnu uz *minimiziranje cene* ugradnje i održavanja. Na ovaj način se sa manjom površinom elektroda, odnosno manje čelika postiže isti efekat čišćenja. Uštede koje je pri tome moguće ostvariti iznose oko 30%. Umesto 2000t u novo VF postrojenje se ugrađuje oko 1400t čelika. Pored ovoga predloženo VF postrojenje je moguće ugraditi na postrojenjima za odvajanje čvrstih i sitnozrnih čestica i produkata nastalih u toku procesa desumporizacije i denitrifikacije. Dakle moguće je proširiti upotrebu na postrojenja za desumporizaciju i denitrifikaciju, ko i odvajanje ostalih aero zagađivača. Novim tehničkim rešenjem je moguće obuhvatiti i prečišćavanje najsitnijih čestica, nazvanih PM10, koje mogu da uđu u plućne alveole i tako zamaraju imuni sistem. U TE "Morava" se levak u kome se ove čestice talože, umesto jedanput u smeni kako je bilo u slučaju 50Hz-nog sistema, sada čiste i prazne na svaki sat.

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] Ž.Despotović, S.Vukosavić, D.Arnavutović, I. Stevanović "Visokofrekventno napajanje i njegov uticaj na kvalitet rada ESI", *ELEKTROPRIVREDA*,Vol.4, pp.132-143, Dec. 2008.
- [5] W.Averdieck, "Electrodynamic Technology for Particulate Monitoring", PCME Ltd., Tech.Article 13, issue 12/99.

MIŠLJENJE RECENZENATA

Autori tehničkog rešenja Slobodan Vukosavić, Željko Despotović, Miroslav Bakić i Obrad Đorđević su jasno prikazali i obradili kompletnu strukturu tehničkog rešenja. Na osnovu svega navedenog recenzenti su ocenili da tehničko rešenje pod nazivom: **Visokofrekventno postrojenje za prečišćavanje dimnih gasova na TE "Morava"**, predstavlja rezultat koji pored stručne komponente pruža originalni naučnoistraživački doprinos. Sa zadovoljstvom predlažemo da se opisano tehničko rešenje **prihvati kao tehničko rešenje u kategoriji M83-novo eksperimentalno postrojenje**.

Recenzenti:

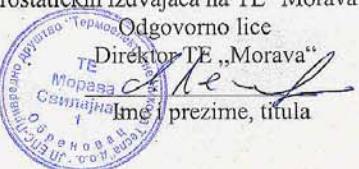
Dr Miloje Kostić,
Viši naučni saradnik
Institut „Nikola Tesla“ - Beograd

Prof. dr Zoran Stojiljković,
Elektrotehnički fakultet - Beograd

PRILOG-1: Mišljenje participanta (korisnika uređaja)

<p>ЈП ЕПС-Привредно друштво "Термоелектране Никола Тесла" д.о.о. Обреновац ТЕ Морава Свилајнац</p> <p>Број: <u>15401</u></p> <p><u>29-04-2009</u> год.</p>	<p>ПРИВРЕДНО ДРУШТВО ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ НИКОЛА ТЕСЛА д.о.о.</p> <p>11500 Обреновац, Богољуба Урошевића Црног 44 Тел.: 011/875-50-11; Факс: 011/875-49-55 www.jptent.com</p> <p></p> <p>ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET BEOGRAD B E O G R A D Kralja Aleksandra 73.</p> <p>Mišljenje participanta (korisnika rezultata) projekta o realizaciji i primenjenim rezultatima projekta</p> <p>U okviru programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, za period 01.04.2008. – 31.03.2011.godine na elektrofiltrarskom postrojenju u TE "Morava" Svilajnac su uspešno primenjeni rezultati predviđeni u prvoj godini istraživanja na projektu.</p> <p>"Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagađenja u industriji i elektroprivredi" – evidencijski broj 21007.</p> <p>Rukovodilac: prof.Dr.Slobodan Vukosavić Realizatori: Elektrotehnički fakultet Beograd, Institut "M.Pupin" – Beograd, Institut "Nikola Tesla" Beograd Trajanje projekta: 01.04.2008. – 31.03.2010.god.</p> <p>Praktično su realizovane dve elektrofiltrarske sekcije sa pripadajućim visokonaponskim transformatorom 0,4 kV/70kV i rezonantnim IGBT pretvaračem 10 kHz na elektrofiltrarskom postrojenju u TE "Morava". Kvalitativno je pokazano značajno bolje čišćenje dimnih gasova u odnosu na 50 Hz-ni sistem (veća količina izdvojenog pepela i značajno manja gustina izlaznog dimnog gasa). U toku je montaža merene opreme i u drugoj godini istraživanja će biti pokazani kvantitativni efekti i prednosti novog visokofrekventnog sistema napajanja u odnosu na postojeći 50 Hz-ni sistem.</p> <p>CO: - 1 x dokumentaciji, - 1 x arhivi,</p> <p> DIREKTOR Dragan Nešić, dipl.el.inž.</p> <p>Број регистрације: БД 102822/2006 ПИБ: 101217456 Рачун: 205-13550-81 Комерцијална банка АД Београд</p> <p>ТЕ МОРАВА 35210 Свилајнац, Ђуре Ђаковића 63 Тел.: 035/321-152; Факс: 035/312-304 E-mail: temorava@ptt.yu</p>
---	---

PRILOG-2: Mišljenje participanta (korisnika uređaja) na kraju projekta

 ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ ЈП ЕПС-Привредно друштво "Термоелектране Никола Тесла" д.о.о. Обреновац ТЕ Морава Свилајнац Број: 8621 30 - 03 - 2011 20 год.	ЧУВАНО У ОТЕХНИЧКОМ ФАКУЛТЕТУ БЕОГРАД 2011 Г. ЧУВАНО ГРД. НДЛ БРОЈ ГРКЛОГ ВРЕДНОСТ 715	<i>C. Вукосавић</i> ПРИВРЕДНО ДРУШТВО ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ НИКОЛА ТЕСЛА д.о.о. 11500 Обреновац, Богољуба Урошевића Црног 44 Тел.: 011/875-50-11; Факс: 011/875-49-55 www.jptent.com 
Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu Prof.dr.Slobodan Vukosavić B E O G R A D		
Mišljenje participanta (korisnika rezultata) projekta o realizaciji i primenjenim rezultatima projekta TR-21007		
У оквиру програма истraživanja u oblasti tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije , za period 01.04.2008-31.12.2010 god. na elektrofiltrarskom postrojenju u TE "Morava"-Svilajnac su uspešno primenjeni rezultati predviđeni u dve godine istraživanja na projektu "Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagađenja u industriji i elektroprivredi"-evidencijski broj TR-21007A		
Rukovodilac: prof. Dr Slobodan Vukosavić Realizatori: Elektrotehnički fakultet Beograd, Institut "M.Pupin"- Beograd, Institut "N.Tesla"- Beograd. Trajanje projekta: 01.0.2008-31.03.2010. U okviru ovog Projekta su razvijena tri potpuno nova tipa visokonaponskog visokofrekventnog (VNVF) AC/DC napajanja za potrebe postrojenja elektrostatičkih izdvajača na TE "Morava": 1. VNVF napajanje sa pripadajućim VNVF transformatorom i 10kHz-nim rezonantnim IGBT AC/DC pretvaračem 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, prvidne sage 70kVA, sa LC-rezonantnim međukolom. 2. VNVF napajanje sa pripadajućim VNVF transformatorom (novi industrijski prototip) i 10kHz-nim rezonantnim IGBT AC/DC pretvaračem 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, prvidne snage 70kVA sa inherentnim LC parametrima u samom VNVF transformatoru 3. Strujno regulisani AC/DC IGBT pretvarač 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, prvidne snage 70kVA u kombinaciji sa postojećim 50Hz-nim transformatorima (<i>retrofit</i> napajanje).		
Praktično realizovana napajanja su puštena u eksploracioni rad počev od 01.12.2009 godine. Mernim sistemom za merenje koncentracije čestica u dimnom gasu koji je postavljen u recirkulacionom vodu kvantitativno je pokazano značajno bolje čišćenje dimnih gasova u odnosu na postojeći 50Hz-ni sistem. Registrovani su takođe i kvalitativni efekti VF sistema (veća količina izdvojenog pepela i značajno manja gustina izlaznog dimnog gasa u odnosu na 50Hz-ni sistem). Tokom dosadašnjih eksperimentalnih ispitivanja je uočeno da se još značajniji efekti mogu postići uskladivanjem otresanja taložnih i emisionih elektroda sa radom pomenutih VNVF izvora napajanja. Tokom marta 2010 je izvršena montaža merne opreme proizvodnje DURAG za kontinualno merenje emisija u obe grane i dimnjaku postrojenja. Na osnovu ovoga su se stekli uslovi za kompletним podešavanjem i optimizacijom VF postrojenja na TE "Morava" tako da su krajem 2010 godine pokazani konačni kvantitativni efekti i prednosti novog domaćeg VF sistema napajanja u odnosu na postojeći 50Hz-ni sistem. Pokazano je interesovanje predstavnika firme RAFAKO za novi sistem VNVF napajanja čiji su predstavnici u dva navrata posetili postrojenje elektrostatičkih izdvajača na TE "Morava". <div style="text-align: right;"> Odgovorno lice Direktor TE „Morava“ Јанко Јанковић Ime i prezime, titula </div> <div style="text-align: center;">  </div>		
Број регистрације: БД 102822/2006 ПИБ: 101217456 Рачун: 205-13550-81 Комерцијална банка АД Београд		
ТЕ МОРАВА 35210 Свилајнац, Ђуре Ђаковића 63 Тел.: 035/321-152; Факс: 035/312-304 E-mail: direktor@temorava.com		