

**A1-00**

**STUDIJSKI KOMITET A1: OBRTNE ELEKTRIČNE MAŠINE  
IZVEŠTAJ STRUČNIH IZVEŠTILACA**

**V. VIDAKOVIĆ\*, HE ĐERDAP, Kladovo**  
**Z. ĆIRIĆ, INSTITUT NIKOLA TESLA, Beograd**  
**B. MAODUŠ, Beograd**  
**V. ŠKUNDRIĆ, JP EPS, Beograd**

**SRBIJA**

Sudeći po broju referata napisanih za ovo savetovanje, aktivnosti u oblasti obrtnih električnih mašina u proteklom dvogodišnjem periodu su bile veoma veoma intenzivne, a autori voljni da prikažu rezultate svoga rada. Bilo je najavljeno ukupno 25 referata; pristiglo ih je 20, a jedan referat je odbijen. Tako će na ovom savetovanju biti predstavljeno 19 radova.

Za ovo savetovanje su odabrane tri preferencijalne teme:

1. Razvoj konstrukcije električnih mašina i iskustva u eksploataciji,
2. Životni vek, procena rizika kvara i sredstva za upravljanje životnim vekom i ocenom rizika i
3. Mašine za distribuiranu proizvodnju električne energije i za obnovljive izvore energije.

Prema očekivanjima, najveće interesovanje je pokazano za preferencijalnu temu 2, napisano je 11 referata. Na preferencijalnu temu 1 napisano je 7 referata, a jedan referat ne spada ni u jednu od preferencijalnih tema (pregled radova sa Pariske CIGRE). Kao što se može zaključiti, preferencijalna tema 3 je nažalost ostala bez ijednog referata, što se moglo i očekivati, jer se u Srbiji još uvek ne grade ni vetrenjače, ni male hidroelektrane, a ni ostali mali alternativni izvori ne nalaze svoju primenu.

Recenzenti i izvestioci su dali visoke ocene većini referata, a postavljeno je i mnoštvo pitanja za diskusiju, koja obećavaju interesantnu raspravu i produbljanje analize najvažnijih pitanja obuhvaćenih prezentiranim referatima.

**R A1 – 01 Proračun sila koje se javljaju u generatoru kao posledica promene forme statora (međugvožda),** autora Dragana Petrovića (Elektrotehnički fakultet, Beograd), Vladimira Milosavljevića i Miroslava Ristića (HE Đerdap, Kladovo).

Referat tretira jednu pojavu iz eksploatacije hidrogenatora u HE Đerdap II koja je posledica odstupanja statora od kružnog oblika, odnosno nejednakosti vazdušnog zazora između statora i pojedinih polova rotora. Problem se sastoji u nejednakim silama međusobnog privlačenja statora i rotora po pravcima onih prečnika na čijim krajevima postoji nejednakost vazdušnih zazora i postojanju rezultujuće sile koja deluje na rotor i stator i dodatno opterećuje ležajevne agregata, elemente za pričvršćenje jezgra za kućište i samu strukturu kućišta statora.

U radu je analiziran generator broj 1 kod koga oblik statora najizrazitije odudara od kružnice. Procentualno odstupanje veličine zazora na pojedinim polovima od srednje vrednosti kreću se od -49% do 34%, što se prema ruskim normama ocenjuje kao nedopustivo. Proračunate su sile

---

\* Veljko Vidaković, HE ĐERDAP Kladovo, Pop Stojanova 2a, Beograd

međusobnog delovanja statora i rotora za svih 96 polova, te sile su zatim razložene na horizontalne i vertikalne komponente i dobijen je vektor rezultujuće sile koja deluje na rotor. Radi se o značajnoj sili, veličine od približno 110 t, sa izraženijom vertikalnom komponentom u smeru rasterećenja generatorskih radijalnih ležajeva, ali i značajnom horizontalnom komponentom (oko 45 t) koja dodatno opterećuje segmente ležajeva u horizontalnoj ravni. Sila koja deluje na stator nije analizirana niti komentarisana, ali nije teško zaključiti da je ona reakcija sili koja deluje na rotor, da ima suprotan smer i da teži da dodatno „spljošti“ kružnicu statora.

Referat je značajan ne samo za korisnike hidrogeneratora horizontalne izvedbe, već on oslikava stanje u svim hidrogeneratorima kod kojih forma statora i/ili rotora izlazi iz propisanih okvira.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Da li rezultujuća sila magnetnog debalansa ima i aksijalnu komponentu, pošto se zazori kod istog pola na uzvodnoj i nizvodnoj strani razlikuju? Da li eventualno postojanje takve sile može izazvati neke posledice?*
2. *Koje su mogućnosti da se ovakvo stanje generatora popravi i koji je to zadnji momenat posle koga se mora stupiti u akciju?*
3. *Da li posledice nejednakog vazdušnog zazora između statora i rotora opravdavaju uvođenje monitoringa forme statora i rotora hidrogeneratora?*

**R A1 – 02 Upravljanje potencijalom duž glave generatorskog polunavojka**, autora Ljubiše Nikolića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd) i Ilije Zeca (TE Nikola Tesla A, Obrenovac).

U toku priprema za premotavanje generatora bloka 2 u TENT A, vršeno je visokonaponsko ispitivanje polunavojaka dovedenim naizmjeničnim naponom. Polunavojci su ranije nabavljeni i čuvani u skladištu. Tokom ispitivanja, uočeni su problemi sa raspodelom potencijala duž glava namotaja.

Autori su u radu opisali postupak analize pojave, izbor načina rešenja problema i eksperimentalnu metodu kojom su utvrdili najbolju varijantu rešenja. Odabrano rešenje je primenjeno i problem je otklonjen.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Da li je kod donošenja odluke o načinu sanacije razmatrana mogućnost primene poluprovodnih traka upotrebljenih lakova?*
2. *Da li se može proceniti životni vek generatora imajući u vidu upotrebljeni namotaj (rezervni) i rezultate izvršenih ispitivanja?*

**R A1 – 03 Tehnički zahtjevi i kriteriji za direktno pokretanje ventilatorskih mlinova uglja u termoelektranama**, autora Asima Hodžića i Mensura Kasimovića (Fakultet elektrotehnike Univerzitet u Tuzli)

U termoelektranama se obično primenjuju VN asinhroni dvokavezni motori za pogon ventilatorskih mlinova uglja zbog svojih, između ostalog, dobrih svojstava u pogledu pouzdanosti i jednostavnosti u eksploataciji.

Pri tome se javljaju određeni problemi kako u napojnoj mreži, na koju su motori priključeni, tako i u samom motoru. Dok se problemi u mreži relativno lako rešavaju, ovi drugi su mnogo složeniji, a tiču se pravilnog izbora elektromotornog pogona (EMP).

Ovo je naročito važno kod EMP sa direktnim pokretanjem, bez korišćenja hidrauličkih spojnika u sprezi sa radnim mehanizmom, ovde mlinom.

U radu su upravo za slučaj direktnog pokretanja VN motora određeni tehnički uslovi i kriterijumi, a zatim je prikazan i matematički model za izračunavanje temperature zagrejanosti rotora motora, kao i ostalih važnijih parametara EMP.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Da li autori mogu da prikažu praktičnu proveru svojih analiza na konkretnom EMP?*
2. *Da li su autori analizirali uvođenje VN regulatora za start ovakvih elektromotora?*

**R A1 – 04 Podešavanje sistema pobude u cilju poboljšanja regulacije napona i reaktivnih snaga u elektroenergetskom sistemu**, autora Ilije Stevanovića, Zorana Ćirića i Dušana Arnautovića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla)

Kvalitet električne energije, neprekidnost napajanja i stabilnost elektroenergetskog sistema u velikoj meri zavise od pravilnog podešenja sistema pobude sinhronih generatora. Osnovni parametar koji doprinosi pravilnoj raspodeli reaktivnih snaga između generatora u paralelnom radu i stabilnosti elektroenergetskog sistema je koeficijent statizma naponske regulacije koji se dobija iz naponsko-reaktivne karakteristike sinhronog generatora. U ovom radu su dati rezultati merenja i analiza podešenja koeficijentata statizma naponske regulacije izmereni na različitim tipovima sistema pobude sinhronih generatora u Elektroprivredi Srbije.

Osnovni zadatak regulacije napona i reaktivnih snaga u elektroenergetskom sistemu (EES) je održavanje napona u čvornim tačkama sistema pri malim i velikim poremećajima putem održavanja ravnoteže između proizvodnje i potrošnje reaktivnih snaga. Ova ravnoteža treba da se održava kako globalno za ceo elektroenergetski sistem, tako i lokalno za sve regionalne čvorove mreže.

Ravnoteža se ostvaruje održavanjem napona u svim čvornim tačkama sistema unutar dozvoljenih granica promene oko nominalne vrednosti, koje garantuju da se odstupanja napona na krajevima svih potrošača nalaze u propisanim tolerantnim opsezima. Pored potrošača koji troše kako aktivnu, tako i reaktivnu energiju, reaktivna energija se troši i na osnovne elemente mreže kao što su transformatori i vodovi. Prenos reaktivne energije u sistemu prate i aktivni gubici snage zbog čega se teži njihovom smanjenju pomoću pogodne raspodele i kontrole tokova reaktivnih snaga.

Regulacija napona, raspodela reaktivnog opterećenja i održavanje potrebne rezerve stabilnosti u elektroenergetskom sistemu se vrši na nivou pojedinačnih elektrana pomoću automatskih regulatora napona sinhronih generatora (primarna regulacija), po pojedinim zonama ili regionima automatski ili ručno (sekundarna regulacija) i globalno za ceo sistem kada se ručno upravlja tokovima reaktivnih snaga između susednih elektroenergetskih sistema (tercijarna regulacija).

Automatski regulatori napona regulišu napon na izvodima generatora, doprinose održavanju statičke stabilnosti generatora i omogućavaju odgovarajuću proizvodnju i raspodelu reaktivne energije.

Promena napona u zavisnosti od promene reaktivne snage generatora predstavlja stati ku karakteristiku regulacije napona. Mera ove promene se naziva koeficijentom statizma naponske regulacije.

Referat ima značajan doprinos u razjašnjavanju i objašnjenju načina održavanja napona na sabirnicama i raspodeli reaktivnog opterećenja po agregatima u višeagregatnoj elektrani.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Kako utiču različiti tipovi sistema pobude i njihova podešenja parametara na regulaciju napona sa osvrtom na njihov odziv pri ispadu iz pogona većih agregata?*
2. *Da li postoje uslovi u elektranama sa više agregata da se uvede grupna regulacija napona i da li je ujednačenost koeficijenta statizma uslov za pravilan rad grupne regulacije?*
3. *Da li su standardima ili propisima definisane vrednosti koeficijenta statizma u svetu ?*
4. *Na osnovu čega su određene vrednosti statizma napona na sabirnicama, odnosno, da li se vodilo računa o mestu i ulozi elektrane (generatora) u EE sistemu?*
5. *Zašto su velike razlike podešenih statizama na blokovima u TE „Nikola Tesla“*

**R A1 – 05 Regulacija pobude sinhronih generatora: iskustva i razvoj**, autora Dušana Arnautovića, Zorana Čirića, Ilije Stevanovića i Đorđa Stojića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla)

U referatu su prikazani rezultati dugogodišnjeg rada i istraživanja u oblasti automatske regulacije pobude sinhronih mašina. Tokom četiri protekle decenije ova oblast u tehnološkom pogledu je prošla kroz različite faze razvoja, počev od elektronskih cevi, pa preko magnetnih pojačavača, tranzistora, tiristora i integrisanih operacionih pojačavača, sve do savremenih mikrokontrolerskih digitalnih regulatora. Razvijen je, projektovan, izrađen, rekonstruisan i pušten u rad veliki broj sistema za regulaciju pobude sinhronih generatora.

Posebno su prikazani najnoviji sistemi statičke pobude sa prvim domaćim digitalnim regulatorom pobude i električnim kočenjem za dva hidrogenatora snage po 54 MVA u HE "Bistrica", prva domaća izvedba električnog kočenja na oba generatora u HE "Piroć" i rekonstrukcija statičkog sistema pobude turboagregata A5, snage 365 MVA u TE "Nikola Tesla A".

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Kakvo je dosadašnje iskustvo korisnika u eksploataciji sistema pobude navedenih u referatu?*
2. *Koje su tendencije i pravci razvoja novih pobudnih sistema kod nas i u svetu?*
3. *Koje su prednosti sistema pobude sa digitalnim regulatorom napona u odnosu na stara analogna rešenja?*
4. *Kako se pri rekonstrukciji ili izradi novog sistema pobude određuju parametri po kojima se vrši regulacija napona, faktor forsiranja pobude i drugo? Da li se uzima u obzir nova uloga elektrane na tom mestu u EE sistemu, ili se zadržavaju podaci od pre više decenija kada je elektrana imala sasvim drugu ulogu u sistemu?*

**R A1 - 06 Uklapanje termoelektrane „Kolubara B“ u elektroenergetski sistem sa aspekta tranzijentne stabilnosti**, autora D. Joksimovića, Z. Čirića, D. Popovića i M. Stojkovića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd)

U radu je izvršena preliminarna analiza tranzijentne stabilnosti termoelektrane "Kolubara B", čiji se ulazak u sistem očekuje do 2015. godine. Analiza je obavljena na osnovu prognoziranog stanja sistema za 2015. godinu. Za potrebe ove analize korišćen je računarski program DINST. Dat je kratak prikaz mogućnosti ovog programa i metodologije na kojoj je zasnovan. Određena je zavisnost kritičnog vremena isključenja trolnih kratkih spojeva na počecima vodova koji polaze iz TE "Kolubara B" od tranzijentne reaktanse u podužnoj osi generatora, vremenske konstante inercije agregata i parametara i tipa pobudnog sistema generatora. Ove veličine su posmatrane, jer dominantno utiču na tranzijentnu stabilnost. Izvršen je odabir opsega u okviru kojih bi trebalo da se nalaze tranzijentna reaktansa u podužnoj osi generatora i vremenska konstanta inercije agregata za različite tipove i parametre pobudnog sistema. Dat je prikaz vremenske promene aktivne i reaktivne snage vodova koji polaze iz TE "Kolubara B", napona, električnog ugla snage, pobudnog napona i pobudne struje generatora u TE "Kolubara B", TENT A i TENT B za vreme i nakon isključenja trolnog kratkog spoja.

Analiza elektromehaničkih tranzijentnih procesa je veoma bitna prilikom planiranja, eksploatacije i regulacije elektroenergetskih mreža. Eventualna pojava tranzijentne nestabilnosti usled ispada prenosnog voda nakon kratkog spoja može dovesti do lančane reakcije i ispada i drugih elemenata sistema, a na kraju i do raspada sistema. Iz ovih razloga je potrebno sprečiti pojavu tranzijentne nestabilnosti već tokom planiranja mreže. U okviru ovog rada su preliminarno određeni opsezi u okviru kojih bi trebalo da se nalaze parametri generatora u TE "Kolubara B", koji dominantno utiču na tranzijentnu stabilnost i data je analiza uticaja tipa sistema pobude generatora i njegovih parametara na tranzijentnu stabilnost.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Zbog čega je nezavisni sistem pobude povoljniji sa aspekta tranzijentne stabilnosti u odnosu na samopobudni sistem?*

2. *Kako pojačanje pobudnog sistema utiče na tranzijentnu stabilnost?*
3. *Detaljnije objasniti odziv veličina sa slike 10.*

**R A1 - 07 Rekonstrukcija sistema pobude generatora A2 u TE-TO Novi Sad**, autora Zorana Ćirića, Dušana Joksimovića i Dušana Arnautovića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla) i Mirosljuba Ilića (TE-TO Novi Sad)

U radu je prikazano tehničko rešenje rekonstrukcije sistema pobude generatora A2 u TE-TO "Novi Sad". Postojeći sistem pobude je rekonstruisan zamenom tiristorskih mostova, ugradnjom novog mikroprocesorskog sistema za generisanje impulsa za paljenje tiristora i kontrolu tiristorskih mostova i novih zaštita tiristorskih mostova, pri čemu je zadržan stari sistem automatske i ručne regulacije. Rekonstrukcija je imala za cilj eliminisanje nesimetrija među tiristorskim mostovima u paralelnom radu i povećanje pouzdanosti sistema pobude. U okviru rada dat je prikaz uklapanja nove opreme u postojeći sistem pobude.

U postojećem sistemu pobude generatora A2 u TE-TO "Novi Sad" pobudnu struju generatora su davala četiri paralelno vezana tiristorska mosta. Usled neuparenosti tiristora, javljalo se nesimetrično opterećenje tiristorskih mostova, odnosno struja se nije ravnomerno raspoređivala na paralelno vezane tiristore. S obzirom na to da tiristori novije generacije mogu da podnesu znatno veće struje, prilikom rekonstrukcije sistema pobude postojeći tiristorski mostovi su zamenjeni sa dva nova tiristorska mosta, pri čemu je u radu samo jedan tiristorski most. Drugi tiristorski most predstavlja toplu rezervu tiristorskom mostu koji je u radu. Na ovaj način eliminisana je pojava nesimetričnog opterećenja tiristorskih mostova, jer pobudnu struju obezbeđuje samo jedan tiristorski most. Iz tog razloga je demontiran indikator nesimetrije među tiristorskim mostovima. Takođe, time je postignuta veća pouzdanost pobudnog sistema i smanjena je verovatnoća ispada agregata usled kvara na pobudnom sistemu.

Zamena tiristorskih mostova i rad sa jednim mostom u toploj rezervi zahtevali su i rekonstrukciju upravljačkog dela pobudnog sistema, zbog čega su realizovana dva nova identična sklopa, svaki za po jedan most. Funkcije ovih sklopova su: generisanje impulsa za paljenje tiristora, zaštite tiristorskih mostova, prelaz sa jednog mosta na drugi i signalizacija. Svaki sklop i njemu odgovarajući tiristorski most čine jedan pobudni kanal. U slučaju kvara na kanalu koji je u radu, na drugi kanal se prelazi automatski bez ispada pobudnog sistema, čime je povećana njegova pouzdanost. Zadržani su postojeći automatski regulator napona, rezervni regulator za ručnu regulaciju napona, limiteri i deo zaštita i signalizacije. Ovi delovi su zajednički za oba pobudna kanala. Stari sistem za generisanje impulsa je takođe zadržan i predstavlja hladnu rezervu novom sistemu. Pri radu sa starim sistemom u radu su oba tiristorska mosta. Na ovaj sistem se ne prelazi automatski.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Koji su razlozi rekonstrukcije samo energetskog dela sistema pobude?*
2. *Koji je koeficijent forsiranja rekonstruisane pobude u odnosu na stari sa četiri paralelna mosta?*
3. *Da li je ovako rekonstruisan sistem pobude moguće uklopiti u novi sistem upravljanja agregatom?*

**R A1 – 08 Iskustva na merenjima i tumačenjima rezultata parcijalnih pražnjenja na hidrogeneratorima u Privrednom društvu „Hidroelektrane Đerdap“ D.O.O Kladovo** autora Slobodana Stamenova (HE Đerdap, Kladovo) i Miomira Kotlice (KES Ltd, Kanada).

U radu su prikazani rezultati merenja visine parcijalnih pražnjenja u izolacionim sistemima statorskih namotaja obrtnih električnih mašina u Hidroelektranama Đerdap, vršenih tokom njihovog normalnog rada. Obuhvaćeno je 15 od ukupno 28 hidrogeneratorskih instalisanih u hidroelektranama ove kompanije, dva sinhrona motora u PAP Lisina i jedan visoponaponski asinhroni motor sopstvene potrošnje u HE Đerdap I.

U prvom delu referata autori daju osnovne informacije o primenjenoj mernoj metodi i korišćenoj opremi. Radi se o on-line merenju intenziteta parcijalnih pražnjenja u normalno pobuđenoj mašini pri čemu se impulsi dobijaju sa davača fiksno postavljenih na izvodima namotaja, a njihovo brojanje i razvrstavanje po intenzitetu i polaritetu se vrši prenosnim instrumentom. Analiza rezultata merenja ukazuje ne samo na stepen ugroženosti izolacionog sistema, već i na uzrok nastanka parcijalnih pražnjenja (odvajanje izolacije od bakra, postojanje vazдушnih i drugih uključaka u izolaciji, oštećenje poluvodnog sloja ili labavost namotaja). Metoda eliminiše impulse koji su posledica parcijalnih pražnjenja izvan statorskog namotaja.

U nastavku su prikazani rezultati merenja i data je njihova analiza. Po stepenu ugroženosti ocene stanja izolacionih sistema ispitivanih mašina se kreću od „odličan“ do „vrlo ugrožen“, a od uzroka preovladavaju žlebna pražnjenja prouzrokovana oštećenjima poluprovodnog prekrića na štapovima i labavošću namotaja. Ukazano je na poboljšanje stanja na nekim generatorima posle preklinjavanja namotaja.

*Pitanja za diskusiju:*

- 1. Da li se na razmatranim generatorima vrši merenje parcijalnih pražnjenja dovedenim naponom (off-line) i kakvi su uporedni rezultati?*
- 2. Obzirom na to da je ovaj merni sistem instalisan pre više godina, interesantno bi bilo izneti kakav je trend vrednosti parcijalnih pražnjenja kod pojedinih generatora, posebno kod onih kod kojih su evidentirana unutrašnja pražnjenja.*
- 3. Ako se na nekom mestu izolacionog sistema pojavi izuzetno snažno lokalno žlebno ili unutrašnje pražnjenje, da li je ovaj merni sistem sposoban da to okarakterise kao kvar na nekom od štapova, a ne kao generalno loše stanje izolacije.*

**R A1 – 09 Savremeni sistemi za permanentni monitoring stanja hidroagregata – primjer HE Medvode**, autora Borisa Meška i Ozrena Oreškovića (Veski, Zagreb), Branka Flaka (HE Medvode) i Slavka Turkića (MG-Servis, Krško)

U referatu je prikazana savremena koncepcija sistema za stalno praćenje (monitoring) stanja hidroagregata, odnosno generatora. U izloženoj koncepciji prikazan je sistem koji u sebi objedinjuje konvencionalni monitoring (upravljanje) i dijagnostični monitoring (praćenje stanja), a odvojenost i međusobna nezavisnost funkcija ne umanjuje njegovu komercijalnu i tehničku efikasnost, pouzdanost i jednostavnost primene.

Referat je značajan za razvoj i uvođenje sistema praćenja stanja generatora kao podlogu za uvođenje ekspertnog sistema i održavanja po stanju.

*Pitanja za diskusiju:*

- 1. Zašto autori daju mali značaj praćenju temperaturnog stanja generatora (namotaja, jezgra, ulja, rashladne vode, rashladnog vazduha i dr.)?*
- 2. Da li i koliko temperaturno stanje jezgra statora utiče ne pojavu, prestanak i veličinu vibracija?*
- 3. Da li su razrađeni kriterijumi, odnosno, da li se uzimaju u obzir i neke druge veličine ia određivanje ulaska generatora u remont posle pojave nekog od signala?*
- 4. Da li je razvijen ili se radi na razvoju ekspertnog sistema koji može da odredi mesto i prirodu kvara?*

**R A1 – 10 Visokonaponska ispitivanja namota hidrogeneratora u tijeku remonta ili popravka**, autora Josipa Polaka (Končar-Institut za elektrotehniku), Josipa Študira, Romana Bordukala i Zorana Milojkovića (Končar-Generatori i motori)

U referatu su prikazani razni aspekti profilaktičkih visokonaponskih ispitivanja statorskih namotaja hidrogeneratora, počev od prirode tih ispitivanja, preko normi i standarda koji ih definišu pa do različitih pristupa u praksi.

Ne sporeći neophodnost ovih ispitivanja za pouzdan rad hidrogeneratora u pogonu, autori ukazuju na činjenicu da se radi o destruktivnoj ispitnoj metodi koja može dovesti do oštećenja izolacije i do direktnog ili odloženog proboja i koja nesumnjivo utiče na skraćenje životnog veka izolacionog sistema.

Date su visine ispitnog napona, kako za prijemna ispitivanja novih generatora, tako i za ispitivanja generatora u pogonu prema nekim svetskim normama. Iznete su dileme koje su uvek prisutne kod pristupanja visokonaponskom ispitivanju starih generatora, odnosno kod određivanja visine ispitnog napona. Te dileme potiču od težnje da se pomire dva suprotstavljena nastojanja: da se visinom ispitnog napona obezbedi kredibilitet rezultata ispitivanja, a da se u isto vreme smanji rizik od direktnog ili odloženog proboja izolacije. Autori sugerišu korisnicima da kod postojanja ovakvih dilema konsultuju proizvođača generatora koji najbolje poznaje svojstva primenjenog izolacionog sistema.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Koliko često treba vršiti profilaktička visokonaponska ispitivanja izolacionih sistema hidrogeneratora?*
2. *Kakvi su statistički podaci o vrednostima ispitnog napona koji se primenjuju u praksi i rezultatima visokonaponskih ispitivanja starih generatora?*
3. *Koja je najniža granica do koje ima smisla sniziti ispitni napon kod ispitivanja starih hidrogeneratora?*

**R A1 – 11 Ispitivanja generatora u HE Bistrica posle modernizacije generatora**, autora S.Bogdanovića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd), P.Mladenovića (Drinsko-Limske HE, Bajina Bašta), M.Benišeka (Mašinski fakultet, Beograd), D.Džepčeskog (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd), Lj. Ljujića i R.Dumbelovića (Drinsko-Limske HE, Bajina Bašta).

Tema rada je prikaz metoda, postupaka i rezultata ispitivanja parametara i karakteristika, stepena strujne preopteretivosti, stepena iskorišćenja i porasta temperatura jednog od hidrogeneratora u HE Bistrica posle njegove rekonstrukcije i modernizacije sa povećanjem snage. Svrha ovih ispitivanja je bila da se potvrdi projektovane električne, energetske i toplotne karakteristike obnovljenog generatora i da se na osnovu toga sagledaju eventualne rezerve, ali i ograničenja u radu.

Ukratko su prikazane metode ispitivanja, a nešto detaljnije metode merenja gubitaka u generatoru i toplotnih ispitivanja. Pojedinačni gubici su mereni kalorimetarskom metodom u struji rashladne vode u tri karakteristična radna režima uz uvažavanje razmene toplote sa spoljnom sredinom i na osnovu njih je sračunat stepen korisnosti generatora. Merenje temperatura aktivnih delova generatora i rashladnih fluida vršeno je u radnom režimu bliskom nominalnom posle dostizanja ustaljenog temperaturnog stanja. Primenjeni su ugrađeni otporni termometri (stator), metoda porasta otpornosti (rotor) i živini termometri (rashladni fluidi).

Rezultati merenja su u najvećoj meri potvrdili projektovane parametre i karakteristike generatora. Pada u oči izuzetno velika temperaturna rezerva svih aktivnih delova generatora u odnosu na granične vrednosti za primenjenu klasu izolacije, što otvara pitanje mogućnosti daljeg povećanja snage.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Zahvaljujući kojim zahvatima pri modernizaciji generatora se došlo do povećanja njegove snage sa 54 MVA na 58,3 MVA?*
2. *Da li su poznate računске vrednosti pojedinačnih gubitaka i stepena iskorišćenja i kakvo je slaganje sa njima?*
3. *Zašto temperaturna ispitivanja nisu rađena u strogo nominalnom režimu, već u režimu koji je za nekoliko procenata niži? Koje su granične snage turbine i blok transformatora?*
4. *Da li ima smisla razmišljati o daljem povećanju snage generatora obzirom na niske temperature aktivnih delova, ali i na graničnu snagu turbine?*

**R A1 – 12 Primena metode niske indukcije za ispitivanje izolovanosti segmentiranih limova i “BUMP” testa za ispitivanje njihove utegnutosti na magnetnim jezgrima generatora,** autora Ljubiše Nikolića, M. Korolije (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd) i Ilije Zeca (TE Nikola Tesla A, Obrenovac).

Nakon kvara turbogeneratora 210 MW i donošenja odluke o zameni njegovog namota, odlučeno je da se magnetno kolo popravi i koristi za ulaganje novog namota. Utvrđivanje stanja magnetnog kola posle demontaže starog namota obavljeno je uobičajenom metodom: pobuđivanjem velikim flusom i snimanjem termovizijskom kamerom. Kontrolno merenje tom prilikom, kao i merenje posle popravke slabih mesta, izvršeni su metodom pobuđivanja jezgra malim fluksom (EI-CID).

U radu je dat opis EI-CID metode i prikazana su iskustva u njenoj primeni, kao i poređenje metoda merenja pobuđivanjem jezgra velikim i malim fluksom. Autori zaključuju da su obe metode korisne, da imaju svoje vrline i mane i da se međusobno dobro dopunjuju.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Da li se E-ICID metodom može utvrditi dubina kvara?*
2. *Kakav je uticaj prelaznog otpora između zadnje strane jezgra i letve za fiksiranje jezgra na rezultate merenja?*
3. *Kakva je korelacija između EI-CID signala i temperatura ( $\Delta t$  u zoni kvara), pri fluks-testu?*
4. *Da li se razmišlja o primeni ove metode i kada je rotor na svom mestu?*
5. *Da li je „BUMP“ test regulisan nekim standardom?*

**R A1 – 13 Ispitivanje izolovanosti paketa limova statorskog magnetnog kola generatora 210 MW metodom nazivne indukcije,** autora Ljubiše Čičkarića, Miomira Senčanića i Ninoslava Simića (Elektrotehnički Institut Nikola Tesla)

Rad opisuje primenu poznate metode ispitivanja magnetnog kola statora turbogeneratora sa velikom indukcijom ostvarene torusnim magnećenjem pomoću nezavisnog električnog izvora mrežne učestanosti.

Detaljno je opisan mehanizam nastanka i razvoja kvara izolacije između limova paketa magnetnog kola statora što dovodi do stvaranja „toplog mesta“. Kriterijumi za ocenu stanja i potrebu sanacije toplih mesta, preuzeti su iz literature samo jednog proizvođača i to za magnetna kola i materijale od pre 50 godina.

Posebno je opisana pogodnost korišćenja termovizijske kamere što omogućava veoma precizno utvrđivanje razlika temperatura na magnetnom kolu, kao i kontinualno praćenje priraštaja temperature u toku ispitivanja.

Osim kontrole zagrevanja u radu su date i izmerene vrednosti gubitaka u gvožđu pri različitim indukcijama. Treba precizirati da su izmerene vrednosti samo orjentacione jer su uslovi fabričkih merenja na uzorcima limova bitno različiti od ostvarenih uslova na generatora.

I pored vrlo preciznog praćenja promena temperature toplih mesta, u toku i posle oglada, ne može se precizno oceniti mesto i veličina toplog mesta u „dubini“ magnetnog kola.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Kakva su iskustva i rezultati primene metode na drugim generatorima u HE i TE EPS-a?*
2. *Da li je vršeno upoređenje metode velike indukcije sa drugim metodama na istim objektima sa utvrđenim toplim mestima?*
3. *Kakvi su kriterijumi za prihvatljiva zagrevanja na magnetnim kolima savremenih generatora prema dostupnoj literaturi?*



**R A1 – 14 Preventivno otkrivanje smetnji na vodom hlađenim namotajima velikih generatora,** autora Ljubiše Nikolića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd) i Ilije Zeca (TE Nikola Tesla A, Obrenovac).

U ovom radu su autori razmatrali problematiku prevencije začepljivanja cevčica igradenih u polunavojke generatora sa Roebel-ovim prepletom, namenjenih cirkulaciji rashladne vode. Prikazani su osnovni uzroci začepljivanja (mehanički i hemijski), razmotrene su hemijske reakcije koje se odigravaju u pogonu i zastoju i ukazano je na teške posledice koje se mogu javiti u slučaju začepljivanja cevčica. Prikazani su i osnovni elementi sistema vodenog hlađenja namotaja generatora.

Zatim je prikazan princip i metod ultrazvučnog merenja protoka vode kroz rashladne cevčice i konkretne rezultate merenja na jednom turbogeneratoru. Autori preporučuju da se ova metoda, zbog svoje efikasnosti, a lake primene (i niske cene) redovno primenjuje za vreme remonta.

*Pitanja za diskusiju:*

- 1. Kakav uticaj na hlađenje namotaja imaju evidentirane razlike između izmerenih minimalnih i maksimalnih protoka u pojedinim hidrauličnim krugovima?*
- 2. Da li su se autori u svojoj praksi susreli sa kriterijumima, preporukama ili internim normama proizvođača generatora u smislu tolerisanih odstupanja izmerenih protoka?*

**R A1 - 15 Povećanje snage i efikasnosti eksploatacije hidroagregata u HE Zvornik,** autora Dr Dragana Petrovića (Elektrotehnički fakultet, Beograd), Veljka Vidakovića (HE Đerdap, Kladovo), Zorana Ćirića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd), Dr Miroslava Benišeka (Mašinski Fakultet, Beograd) i Milorada Zeljića (Drinsko-Limske HE Bajina Bašta).

U referatu su opisane aktivnosti na istraživanju mogućnosti da agregati u HE Zvornik rade sa snagom većom od deklarisanе. Najveći deo rada posvećen je računskoj proveri i ispitivanjima generatora koji su imali za cilj da daju odgovor na pitanje da li generatori u HE Zvornik u sadašnjem stanju mogu trajno raditi u režimima sa snagom većom od nominalne, a da se ne prekorače dozvoljene temperature aktivnih delova.

Opisana je metodologija i prikazani rezultati elektromagnetnog i toplotnog proračuna generatora pri radu sa snagama za 5 i 10 % većim od nominalne. Izračunate vrednosti pobudne struje i nadtemperatura aktivnih delova generatora ukazuju da se generatori mogu opteretiti snagom za 10% većom od nominalne bez ikakvih štetnih posledica po samu mašinu i bez bitnog skraćanja životnog veka.

Merenja pojedinačnih gubitaka i temperatura u radu generatora sa povećanom snagom imala su za cilj da se proveri korektnost ulaznih podataka sa kojima se ušlo u proračun, a sa druge strane da se potvrde rezultati proračuna i konačni zaključak o mogućnostima generatora. U radu je opisana metodologija ispitivanja i prikazani su rezultati. Rezultati toplotnog ispitivanja su pokazali dosta dobro slaganje sa proračunatim nadtemperaturama generatora i potvrdili zaključak da se generatori u HE Zvornik mogu trajno eksplotisati sa snagom od 26 MW uz zadržavanje nominalnog faktora snage.

*Pitanja za diskusiju:*

- 1. Da li posle zamene izolacionog sistema generatora, pri kojoj se temperaturna klasa izolacije menja od B na F, treba zadržati dotadašnje nadtemperature namotaja, ili se može ići na povišene temperature, u skladu sa mogućnostima koje pruža nova izolacija?*
- 2. Do kojih nadtemperatura namotaja klase izolacije F se može ići u eksploataciji bez negativnih posledica po dužinu životnog veka izolacije?*
- 3. Ukoliko se kod revitalizacije ide na nov stator i rotor, da li promenom preseka bakra, kvalitetnijim limom, promenom broja žlebova mogu dobiti i veća povećanja snage i koliko su ta povećanja realna?*
- 4. Da li se intervencijom na rashladnom sistemu mogu dobiti i povoljniji porasti temperatura?*
- 5. Da li su izučeni i drugi uticaji povećanja snage izuzev porasta temperatura (rezerva statičke i dinamičke stabilnosti, rezerva mehaničke čvrstoće pojedinih njegovih sklopova, sile na fundament i sl.?)*

**R A1 – 16 Kvar turbogeneratorsa TGV 200 E: uzrok, procena stanja i popravka**, autora Zorana Božovića, Slobodana Spasojevića (JP EPS), prof. dr Dragana Petrovića (ETF Beograd), Milutina Savićevića i Ilije Zeca (TE Nikola Tesla A)

U referatu je prikazan kompletan proces: predistorija, sam kvar, njegova analiza, donošenje neophodnih odluka i sanacija kvara. Dat je pregled pogonskih događaja iz prethodnih godina, uzroci kvara, opis izvršenih merenja nakon kvara i obim oštećenja na statoru i rotoru. Zatim je razmotren mehanizam razvoja kvara i reagovanje zaštita.

U nastavku je razmotreno kako su donete odluke o obimu i načinu sanacije, o promeni klase izolacije namota iz „B“ u „F“, o ulaganju novog namotaja u popravljeno staro magnetno kolo i o ugradnji modernog sistema za on-line merenje parcijalnih pražnjenja.

Na kraju su prikazana ispitivanja koja su izvršena nakon popravke i dati su predlozi za tretiranje drugog istog takvog generatora u istoj elektrani.

*Pitanja za diskusiju:*

- 1. Tvrdi izolacija klase „F“ je tanja od meke, klase „B“. Da li su dimenzije polunavojaka manje, ili je više bakra? Kako se to odražava na zagrevanje namotaja u radu?*
- 2. Da li je premotavanjem generatora dobijena mogućnost izvesnog povećanja snage?*
- 3. Osim u kratkom sadržaju, učvršćenje namotaja u žljebovima se dalje ne spominje. Dati dodatna objašnjenja.*
- 4. Kakve su procene preostalog radnog veka generatora, odnosno njegovog jezgra?*

**R A1 - 17 Tehnički pristup revitalizaciji hidrogenatora**, autora Zorana Milojkovića (Končar GIM, Zagreb)

U referatu su opisane aktivnosti koje je neophodno preduzeti pre donošenja odluke o revitalizaciji i otpočinjanja same revitalizacije hidrogenatora.

U prvom delu rada se razmatra postupak ocene stanja hidrogenatora koja je od najveće važnosti za donošenje odluke o revitalizaciji. Pored čisto teorijskih razmatranja iz oblasti pouzdanosti i određivanja preostalog životnog veka hidrogenatora, daje se pregled dijagnostičkih ispitivanja koja je neophodno uraditi kako bi se dala ocena stanja generatora. Ukazuje se i na važnost posedovanja rezultata ovih ispitivanja rađenih na početku eksploatacije kao i istorijskih podataka o kvarovima, režimima rada i.t.d.

Zatim se u referatu razmatraju različiti pristupi kada je obim revitalizacije u pitanju kao i različita projektna rešenja koja su uslovljena usvojenim obimom, ali i drugim ograničenjima. Ukazuje se na trend povećanja obima radova pri revitalizaciji generatora u svetskoj praksi u poslednjim godinama i na pojedine slučajeve gde se umesto revitalizacije starih ide na nabavku potpuno novih generatora.

Autor ispravno tretira povećanje snage generatora kao uzgrednu korist koja se može postići kroz revitalizaciju, a ne kao glavnog pokretača revitalizacije.

U drugom delu rada opisuju se primeri uspešne revitalizacije hidrogenatora u četiri hidroelektrane sa prostora bivše Jugoslavije koje su urađene u poslednjih 10 godina. Dat je obim revitalizacije ovih hidrogenatora i uporedno su prikazani stari i novi parametri.

*Pitanja za diskusiju:*

- 1. Da li je izloženi matematički model za proračun životnog veka generatora praktično primenljiv i koji su njegovi dometi, obzirom na izuzetno veliku složenost problema koji tretira?*
- 2. Da li obim izvršene revitalizacije generatora u četiri navedene hidroelektrane garantuje novi životni vek od 30-35 godina?*

3. *Na osnovu kojih izmena u konstrukciji se došlo do povećane snage razmatranih hidrogeneratora? Da li je stepen povećanja njihove snage limitiran snagom turbine ili drugim faktorima.*
4. *Da li se povećanje proizvodnje u četiri navedene hidroelektrane posle izvršene revitalizacije bazira samo na povećanju stepena korisnosti agregata ili i na smanjenju preliva.*

**R A1 – 18 Optimalni model vibrodijagnostike obrtnih mašina**, autora R. Antunovića i M. Skoka (RiTE Gacko)

Autori su u ovom radom pokušali da utvrde optimalan obim vibrodijagnostičkih ispitivanja koja treba obaviti u cilju utvrđivanja vibrostanja obrtne mašine. Tačnije, pokazali su koji je neophodni minimum ispitivanja koji daje još uvek pouzdane rezultate.

Dat je prikaz raznih vibrodijagnostičkih metoda, svrstanih u nekoliko „modela“, odnosno skupova metoda, njihova primena na dve osnovne klase obrtnih mašina i problematika u radu koja se njima može identifikovati. Date su i statistike o pojavi određenih vrsta problema. Zatim su identifikovane četiri vrednosne funkcije: 1 – sposobnost identifikacije uzroka dinamičkog problema, 2 - jednostavnost primjene, 3 - rana detekcija dinamičkog problema, 4 - ekonomski aspekt, na osnovu njih je vršeno ocenjivanje vrednosti funkcije cilja, a zatim je, pomalo pretenciozno, utvrđen optimalni vibrodijagnostički model. Na kraju su dati neki rezultati merenja.

*Pitanja za diskusiju:*

1. *Koji su bili parametri za ocenjivanje vrednosti funkcije cilja i kako se do njih došlo?*
2. *Na koji način navedeni primeri merenja podupiru teze iznete u radu?*

**R A1 – 19 Pregled radova prezentiranih Međunarodnom studijskom komitetu A1 na savetovanju CIGRE Pariz 2006.**, autora Vojislava Škundrića (JP Elektroprivreda Srbije)

Autor je ukratko prikazao sadržaj radova prezentiranih Međunarodnom studijskom komitetu A1 (MSK A1), skrenuo pažnju na neke bitne detalje i dao svoje komentare o tome u kojoj bi meri pojedini radovi mogli biti interesantni pojedinim segmentima naše stručne javnosti. Takođe je dat prikaz rezultata rasprave i diskusija koje su vođene tokom sesije MSK A1 u Parizu 2006. godine i donetih zaključaka.