

DOI: [10.46793/CIGRE37.B5.01](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.01)**B5.01****POBOLJŠANJE PERFORMANSI NAKON MODERNIZACIJE TURBINSKOG
REGULATORA PARNE TURBINE U FABRICI ŠEĆERA „PEĆINCI“****IMPROVEMENT OF PERFORMANCE AFTER MODERNIZATION THE STEAM
TURBINE GOVERNOR IN THE "PEĆINCI" SUGAR FACTORY****Miroslav Dragičević, Jelena Pavlović, Dragan Nauparac, Dejan Širgić, Ognjen Drljan***

Kratak sadržaj: U Fabrici šećera „Pećinci“ na QnP parnoj turbini izvršena je modernizacija turbinskog regulatora, kako hidrauličnog, tako i električnog dela. Uz to, u cilju većeg stepena automatizacije, ugrađen je sistem upravljanja pokretanja i zaustavljanja agregata. U ovom sistemu od najvećeg značaja su parametri pare na izlazu iz energane koja se zatim koristi u procesu proizvodnje šećera. U radu su prikazani rezultati proizvodnje električne energije parne turbine uz konstantno održavanje optimalnih parametara izlazne pare i uz minimalni broj zastoja.

Ključne reči: turbinski regulator, parna turbina, sistem upravljanja

Abstract: In the "Pećinci" Sugar Factory, the steam turbine governor on the QnP steam turbine was modernized, including both the hydraulic and electrical part. Additionally, to achieve a higher level of automation, a control system for starting and stopping the unit was implemented. In this system, the most critical parameters are those which determine the steam quality at the power plant's outlet, which is subsequently used in the sugar production process. This paper presents the results of the steam turbine's electricity production while maintaining optimal outlet steam parameters and minimizing downtime.

Key words: turbine governor, steam turbine, control system

1 UVOD

Tehnološki proces obrade šećerne repe u proizvodnji šećera uključuje značajnu količinu vodene pare određene temperature i pritiska.

* Miroslav Dragičević, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Univerzitet u Beogradu, Srbija, miroslav.dragicevic@ieent.org

Jelena Pavlović, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, jelena.pavlovic@ieent.org

Dragan Nauparac, PPT Inženjering, dragan.nauparac@ppt-inzenjering.rs

Dejan Širgić, Sunoko, Dejan.Sirgic@sunoko.rs

Ognjen Drljan, Sunoko, Ognjen.Drljan@sunoko.rs

Budući da se u kotlu može proizvesti samo para neodgovarajućih parametara, potrebno je njihovo prilagođenje putem redukcionih ventila ili prolaskom kroz turboagregate. Time se ostvaruje i značajna ušteda električne energije koja se kupuje iz distributivne mreže. Energana fabrike šećera u Pećincima poseduje dva turboagregata: generator 1 od 7,5 MW i generator 2, QnP, od 1,7 MW, pri čemu je generator 2 od ključnog značaja za prilagođenje parametara vodene pare procesu proizvodnje šećera. Izlazna para iz agregata QnP se direktno dovodi u postrojenje za sušenje. Ukoliko parametri pare nisu zadovoljavajući oni se moraju korigovati putem redukcionog ventila.

Potreba za modernizacijom turbinskog regulatora agregata 2 proistekla je iz pojave nedovoljno precizne regulacije vodene pare na ulazu u turbinu. Naime, dolazilo je do naglih i značajnih porasta i propada brzine obrtanja u praznom hodu i aktivne snage u radu agregata na mreži za koje se uspostavilo da su posledica niza kvarova u mehaničkom regulacionom krugu. Takođe, dodatnom analizom ustanovljena je nepristupačnost pojedinih delova električnog dela turbinskog regulatora. Stoga je predložena kompletna modernizacija kako hidrauličnog, tako i električnog dela turbinskog regulatora na agregatu QnP.

U radu je opisana modernizacija turbinskog regulatora agregata QnP u Fabrici šećera „Pećinci“. U Poglavlju 2 opisana je rekonstrukcija i standardizacija mehaničkog dela turbinskog regulatora. U Poglavlju 3 opisana je modernizacija električnog dela turbinskog regulatora uz razvoj i implementaciju novog sistema upravljanja agregatom i sistema za podmazivanje i upravljanje hidrauličnim agregatom. U Poglavlju 3 su prikazani rezultati rada energane šećerane pre i nakon modernizacije turbinskog regulatora, dok su u Poglavlju 4 predstavljeni zaključci rada

2 MODERNIZACIJA HIDRAULIČNOG DELA TURBINSKOG REGULATORA

Rekonstrukcija hidrauličnog dela turbinskog regulatora obuhvatila je zamenu elektrohidrauličnog pretvarača i hidraulično-mehaničkog sklopa zbog nedostatka preporuka za održavanje, rezervnih delova i nepouzdanosti rada. Pre modernizacije, regulator je koristio elektrohidraulični pretvarač i hidraulično-mehanički sistem za upravljanje regulacionim i STOP ventilima. Hidraulični sistem je bio povezan sa sistemom podmazivanja.

Modernizacija se sastoji u eliminaciji hidraulično-mehaničkog dela regulatora. Potpuno je uklonjen horizontalni polužni sistem i izvršena je direktna integracija hidrauličkog aktuatora za regulacioni ventil za paru. Time je omogućeno direktno vertikalno translaciono kretanje poluge sa ventilskim pečurkama. Poziciona povratna sprega više nije mehanička, sada se realizuje preko magnetostriktivnog davača hoda koji je integrisan u cilindru visoke tačnosti.

Modernizacijom je obezbeđeno nekoliko novih konfiguracijskih i konceptualnih promena koje čine osnovu modernizacije i unapređenja performansi hidrauličkog dela turbinskog regulatora (slika 1). Obezbeđena su dva upravljačka razvodnika za izvršni organ akcionog sistema, hidraulični cilindar koji je direktno spregnut sa regulacionim ventilom za paru. Prvi upravljački razvodnik je realizovan u tehnici proporcionalnog-servo razvodnika direktnog dejstva sa linearnim motorom, visokih dinamičkih performansi (propusni opseg za $\pm 5\%$ promene upravljačkog signala je oko 70 Hz) koji u sklopu sa cilindrom obezbeđuje ponovljivost pozicije izvršnog organa akcionog sistema od $\pm 0,05$ mm. Drugi upravljački razvodnik je 4/3 on-off razvodnik koji u slučaju otkaza prvog, na osnovu signala dijagnostike ispravnosti na prvom, preuzima upravljanje u grubljoj ponovljivosti od 0,7 mm, ali se zadržava radna sposobnost turbinskog regulatora.

Originalni regulator turbine nije imao ovu opciju dubliranja, kao ni start-stop logiku zaštite u slučaju otkaza, posebno sistema podmazivanja izvedenu sa razvodnicima 3/2 sa hidrauličkim i elektro magnetnim upravljanjem, koje je omogućilo i zaštitu sistema sa dva naponska nivoa, 24 VDC i 220 VAC.

Originalni STOP ventili su rekonstruisani: ugrađena je nova opruga i pojednostavljen unutrašnji mehanizam brzog zatvaranja. Time je povećana funkcionalna sigurnost uz takođe dubliranje upravljačke hidraulične konture i obezbeđenje ručne opcije upravljanja STOP ventilima, kao i u originalnom projektnom rešenju. Hidraulički agregat je izveden tako da je napajanje energijom hidrauličnog dela turbinskog regulatora realizovano preko hidrauličkih akumulatora i ventila koji hidrauličkim impulsom iz akumulatora rasterećuju pumpu, što je energetski optimalno rešenje za neprekidno napajanje energijom dok radi turbina.



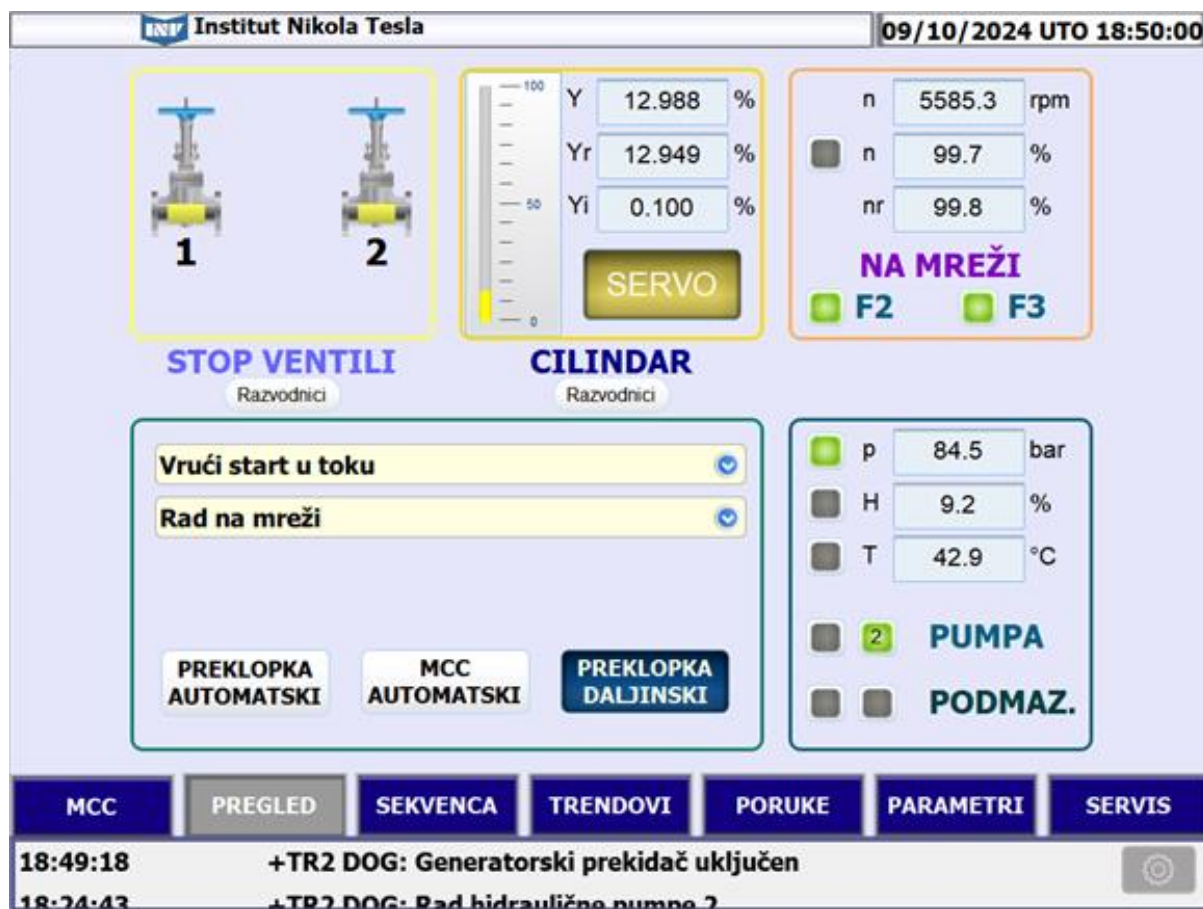
Slika 1: Izgled novog hidrauličnog agregata posle rekonstrukcije

3 MODERNIZACIJA ELEKTRIČNOG DELA TURBINSKOG REGULATORA

Stari električni deo turbinskog regulatora se sastojao iz specijalizovanog uređaja u rekovskoj izvedbi sa spoljašnjim regulacionim petljama i brzinskim releom. Unutrašnja regulaciona petlja turbinskog regulatora bila je u uskoj sprezi sa starim mehaničkim sklopom, bez mogućnosti pristupa i prekonfiguracije. To ograničenje, kao i potreba za većim stepenom automatizacije kompletne procedure pokretanja i zaustavljanja agregata, predstavljalo je ognovu potrebe za kompletnom zamenom električnog dela turbinskog regulatora. Uz to, novi regulator vrši upravljanje i nadzor novog sistema za pripremu ulja i sistema za podmazivanje.

Novi turbinski regulator je zasnovan na PLC tehnologiji, što ga čini modularnim, proširivim i prilagodljivim novim potrebama korisnika. Specifičnost turbinskog regulatora agregata QnP je imperativ održavanja parametara izlazne pare iz turbine za potrebe samog tehnološkog procesa. Proizvodnja aktivne snage agregata, bilo u izolovanom radu, bilo u sprezi sa drugim agregatom energane, ili na mreži, prilagođava se potrebama za izlaznom parom. Stoga turbinski regulator poseduje poseban režim rada regulacije pritiska gde u sprezi sa nadređenim grupnim regulatorom pritiska [1] održava količinu i kvalitet izlazne pare. Dve unutrašnje regulacione petlje su formirane i parametrisane nezavisno za svaki upravljački razvodnik. Uz to on poseduje i zaštitne funkcije u vidu nadzora i ograničenja otvaranja ventila za regulaciju protoka pare u različitim režimima rada, kao i nadzor rada STOP ventila.

Na istom hardveru, uz turbinski regulator, realizovan je sistem upravljanja za automatizaciju pokretanja i zaustavljanja agregata, kao i pomoćni sistemi za podmazivanje i pripremu ulja (slika 2). Sistem upravljanja poseduje izbor između hladnog, toplog i vrućeg starta agregata, što znatno olakšava i ubrzava ponovni start agregata u slučaju prethodnog zaustavljanja pre dostizanja brzine praznog hoda. Dozvoljene vrste starta i parametri toplog starta zavise od poslednje postignute faze predgrevanja i vremena proteklog od poslednjeg zaustavljanja. Automatizovano je uključanje i isključenje motora za inicijalno pokretanje agregata, kao i glavne i rezervne pumpe za podmazivanje. Definisano je pet zona predgrevanja sa podesivim parametrima, kao i kritična oblast brzine obrtanja agregata koja zahteva poseban tretman i pojačan nadzor. Za potrebe testiranja omogućen je izbor starta do određene faze (slika 3).



Slika 2: Glavni prozor turbinskog regulatora i sistema upravljanja

Ovaj uređaj je takođe opremljen ručnim i servisnim režimima rada za podsisteme od interesa pogodnih za dijagnostiku, testiranje i puštanje u rad. Opremljen je nizom merenja i zaštitnih funkcija za sve podsisteme, što osigurava njegov efikasan i bezbedan rad u svim okolnostima.



Slika 3: Prozor za pregled sistema upravljanja

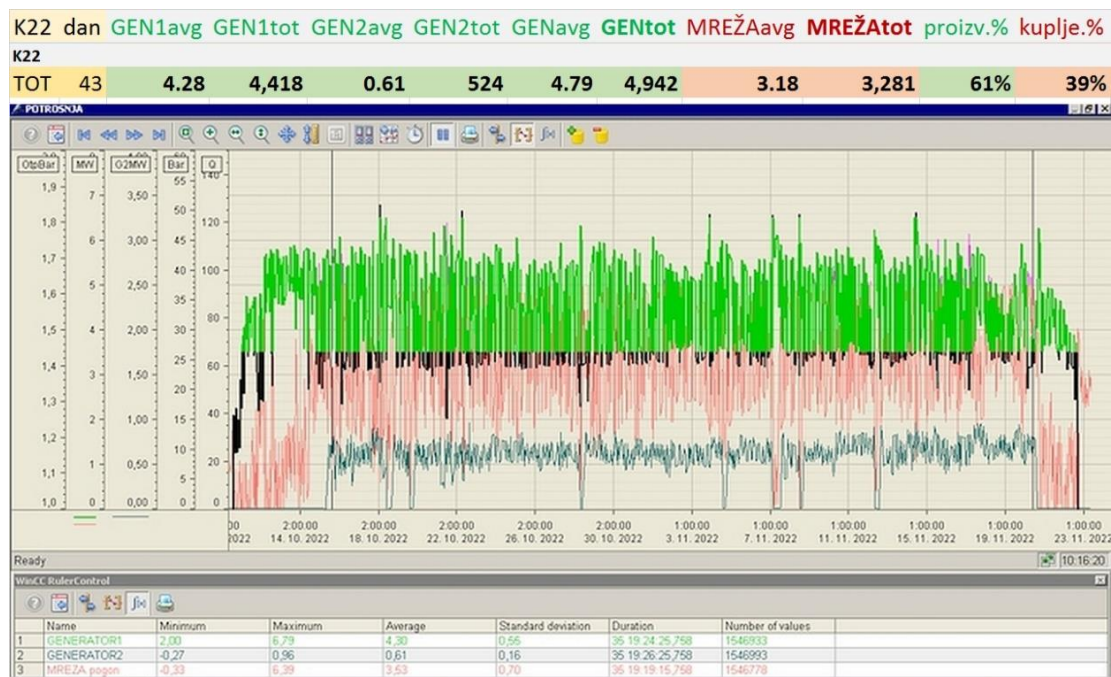
4 PRIKAZ RADA MODERNIZOVANOG TURBINSKOG REGULATORA

Rad modernizovanog turbinskog regulatora zajedno sa novim sistemom upravljanja i pomoćnim sistemima praćen je u toku dve sezone rada šećerane. Rezultati rada QnP agregata u toku dve kampanje su sistematizovani i upoređeni sa rezultatima rada u godini pre modernizacije turbinskog regulatora.

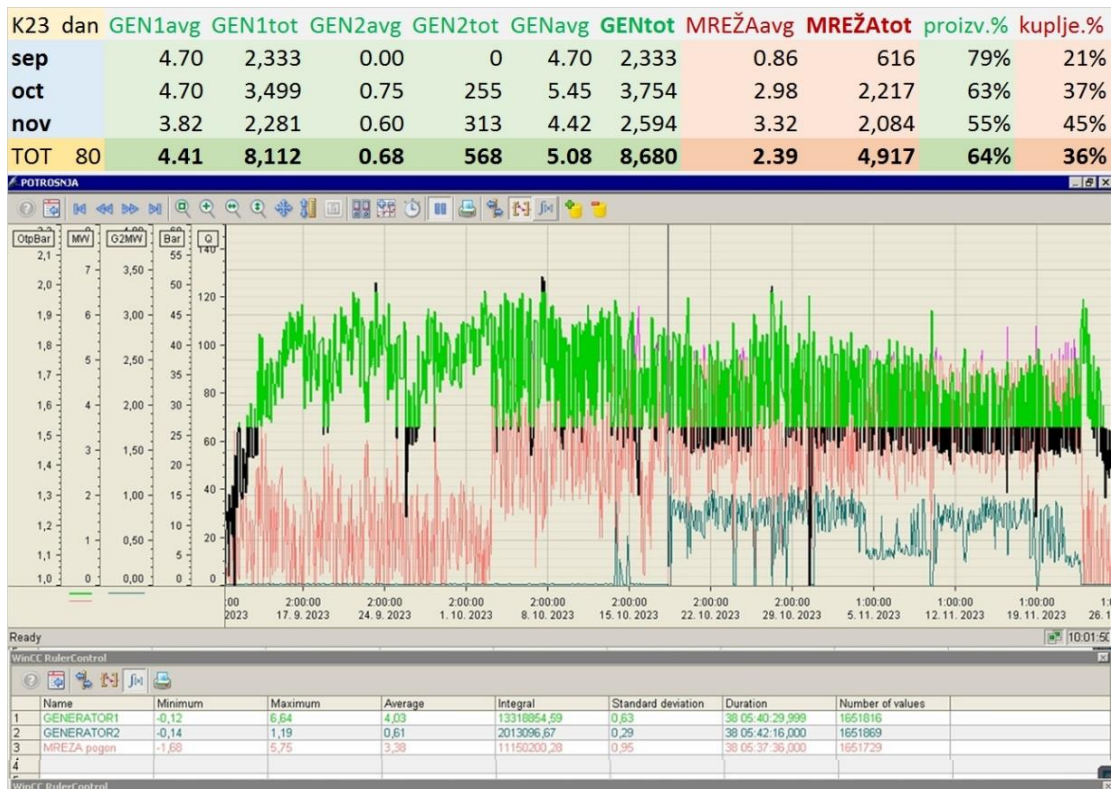
Na slici 4 prikazana je proizvodnja električne energije za oba agregata, kao i količina električne energije koja je preuzeta iz distributivne mreže u toku cele sezone. Može se uočiti kontinuirana i relativno ujednačena proizvodnja električne energije na oba agregata, koja je posledica održavanja otvora ventila i aktivne snage oba agregata konstantnim. U toku 43 dana kampanje prosečna proizvodnja električne energije generatora 1 iznosila je 4,28 MW, generatora 2 (QnP) 0,61 MW, a iz mreže je dnevno preuzimano u proseku 3,18 MW. To je zajedno činilo 61% proizvedene i 39% kupljene električne energije u toj sezoni.

Slika 5 predstavlja pregled proizvodnje električne energije energane u godini ugradnje modernizovanog turbinskog regulatora. Na slici se jasno uočava početak rada QnP agregata (Generator 2), kao i prilagođenje rada agregata tehnološkim potrebama za parom u različitim fazama proizvodnje šećera. Time je smanjena potreba za upotrebom redukcionog ventila za smanjenje pritiska pare, pa samim tim i njena ušteda.

Prosečna proizvodnja električne energije generatora 1 iznosila je 4,41 MW, generatora 2 (QnP) 0,68 MW, a iz mreže je dnevno preuzimano u proseku 2,39 MW. To je zajedno činilo 64% proizvedene i 36% kupljene električne energije u toj sezoni. Kampanja je trajala 80 dana.

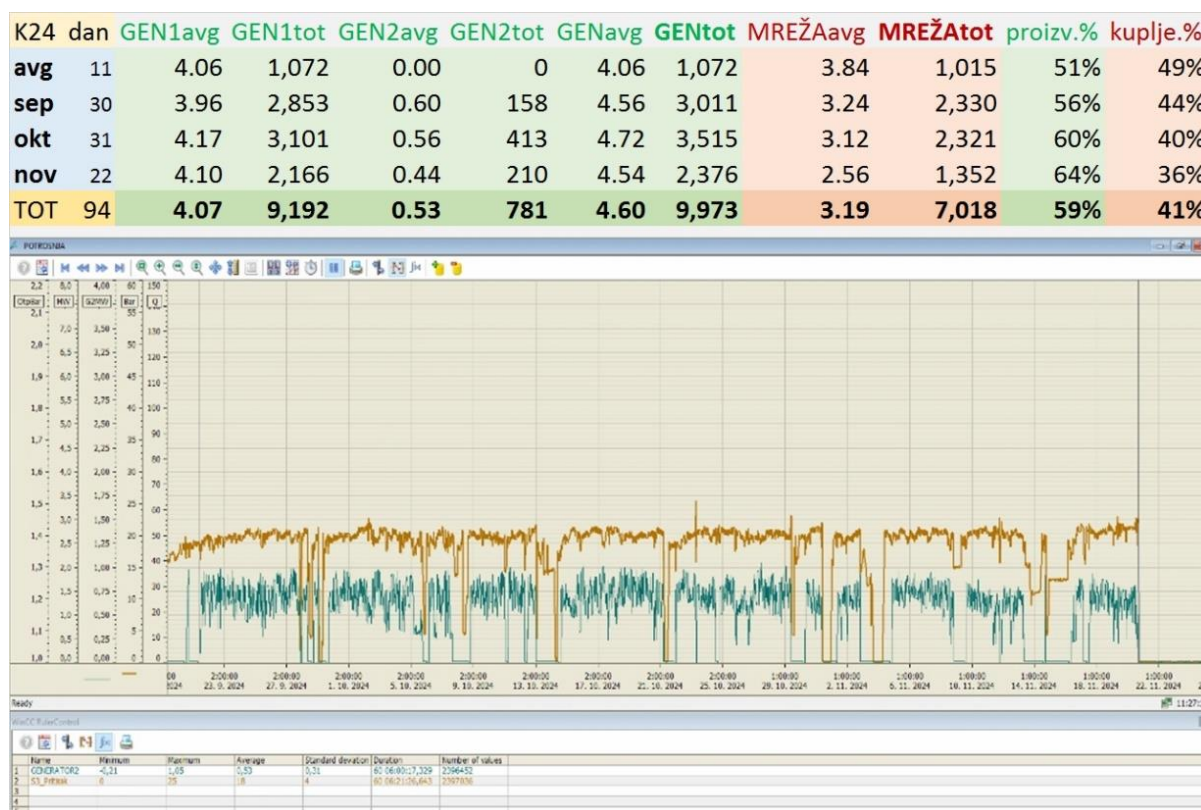


Slika 4: Pregled proizvodnje električne energije u toku kampanje pre modernizacije turbinskog regulatora



Slika 5: Pregled proizvodnje električne energije u toku kampanje u godini modernizacije turbinskog regulatora

Slika 6 predstavlja pregled proizvodnje električne energije QnP agregata i pritiska vodene pare na izlazu iz agregata godinu dana nakon ugradnje modernizovanog turbinskog regulatora. Prosečna proizvodnja električne energije generatora 1 iznosila je 4,07 MW, generatora 2 (QnP) 0,53 MW, a iz mreže je dnevno preuzimano u proseku 3,19 MW. To je zajedno činilo 59% proizvedene i 41% kupljene električne energije u toj sezoni. Kampanja je trajala 94 dana. Na slici se može uočiti dobro održavanje vrednosti pritiska pare uz prilagođenje proizvedene aktivne snage agregata QnP.



Slika 6: Pregled proizvodnje električne energije QnP agregata i pritiska vodene pare na izlazu iz agregata u toku kampanje godinu dana nakon modernizacije turbinskog regulatora

Ukupna proizvodnja električne energije prevashodno zavisi od potreba tehnoloških postrojenja za vodenom parom. Potreba sušare za parom zavisi od kvaliteta šećerne repe koji se iz godine u godinu razlikuje. To je razlog smanjene proizvodnje električne energije u energani dve godine nakon modernizacije turbinskog regulatora. Sa druge strane, kvalitet šećerne repe je bio sličan u godini pre modernizacije i u godini modernizacije turbinskog regulatora. Stoga su prosečne potrebe za vodenom parom poredive, i samim tim se prosečne proizvodnje u tim periodima mogu porediti.

5 ZAKLJUČAK

Modernizacija turbinskog regulatora agregata QnP poboljšala je tačnost, stabilnost i pouzdanost rada kako samog agregata, tako i celokupnog postrojenja omogućivši veću pouzdanost u obezbeđivanju vodene pare željenih parametara.

Eliminisanjem složenih mehaničkih komponenti i standardizacijom novog elektrohidrauličnog sistema obezbeđeni su svi neophodni uslovi za tehnologiju rada turbinskog regulatora.

Modernizovani električni deo turbinskog regulatora dopunjen je novim sistemom upravljanja agregatom i pomoćnim sisteima za upravljanje hidrauličnim agregatom i podmazivanje. To je doprinelo poboljšanju regulacije izlazne pare, manjem broju zastoja i skraćanju vremena pokretanja agregata uz veću preglednost i udobnost korisnika.

U toku rada modernizovanog turbinskog regulatora u periodu od dve godine pokazalo se da je primena novog sistema rezultirala značajnim smanjenjem broja kvarova i odstupanja u radu, bržim i efikasnijim startovanjem agregata, te povećanjem energetske efikasnosti i pouzdanosti celokupnog postrojenja.

Ukupno, modernizacija turbinskog regulatora ne samo da je unapredila tehničke performanse, već je doprinela održivosti i konkurentnosti postrojenja, postavljajući nove standarde u primeni elektrohidrauličnih sistema u energetici i industriji. Ovi rezultati čine postrojenje primerom dobre prakse u modernizaciji ključnih sistema za podršku procesu proizvodnje šećera.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada NIO u 2024. godini (broj ugovora 451-03-136/2025-03).

6 LITERATURA

- [1] Z. Ćirić, P. Ninković, V. Stanojčić, N. Miložić, Đ. Stojić, D. Džepčeski, J. Pavlović, D. Arnautović, V. Drljan - Realizacija sistema upravljanja snagom industrijske energane sa više proizvodnih agregata – Međunarodna konferencija Elektrane 2014, Zlatibor, 28-31. oktobar 2014, ISBN 978-86-7877-024-1