

Analiza rada potrošača električne energije u postrojenju toplane sa predlogom unapređenja energetske efikasnosti

Aleksandar Nikolić¹, Radoslav Antić¹

¹ Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a,
11000 Beograd, Srbija
anikolic@ieent.org, radoslav.antic@ieent.org

Kratak sadržaj: U radu su prikazani rezultati merenja kvaliteta električne energije u okviru energetske pregleda koji je sproveden u Toplani Vreoci, koja posluje u sastavu Elektroprivrede Srbije (EPS). U toplani su instalirana dva parna kotla ukupne toplotne snage 120 MW koja kao gorivo koriste kolubarski lignit. Energetski pregled je obuhvatio merenje svih procesnih parametara potrebnih za određivanje termičke efikasnosti kotlova i toplane u celini. Na osnovu rezultata merenja, predloženo je nekoliko organizacionih i tehničkih mera za poboljšanje energetske efikasnosti toplane. Mere koje su evaluirane u radu doprinose smanjenju utroška fosilnih goriva i smanjenju emisija gasova čime se postižu značajne finansijske i ekološke koristi.

Ključne reči: toplana, mlin, merenja, energetska efikasnost, energetski pregled, mere za uštedu energije, frekventni regulator

1. Uvod

Bez obzira na ubrzan razvoj i implementaciju tehnologija za proizvodnju toplotne i električne energije iz obnovljivih izvora, procene su da će do 2030. godine čak 85% finalne energije biti proizvedeno iz fosilnih goriva [1]. U tom smislu, mere energetske efikasnosti u toplanama i termoelektranama na ugaj naročito su važne, jer dovode do smanjenja utroška goriva za istu proizvedenu korisnu energiju, čime se postižu manje emisije ugljen-dioksida i drugih zagađujućih gasova. Kompanije koje se bave proizvodnjom i distribucijom toplotne i električne energije u Evropi dužne su da primenjuju propise koji su definisani Direktivom Evropske Unije (2010/75/EU), kojom se

ograničavaju emisije štetnih gasova iz velikih ložišta [2]. U zakonskom okviru Republike Srbije, Zakonom o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađenja životne sredine [3], propisano je da svi objekti koji imaju obavezu posedovanja integrisane dozvole, uključujući Toplanu u Vreocima, za svoj rad podnose nadležnom Ministarstvu zahtev za izdavanje ove dozvole. Uz zahtev je neophodno priložiti niz dokumenata među kojima i „Plan mera za efikasno korišćenje energije“.

Pored toga, u martu 2013. godine izglasan je Zakon o efikasnom korišćenju energije [4], kojim je uvedena obaveza uvođenja sistema energetskeg menadžmenta u svim preduzećima u proizvodnom sektoru čija potrošnja primarne energije prevazilazi određenu granicu koju propisuje nadležno Ministarstvo, a koja iznosi 2500t ekvivalentne nafte. Prema ovom Zakonu, obveznik sistema je naročito dužan da: a) realizuje planirani cilj uštede energije koji propisuje Vlada; b) imenuje potreban broj stalno zaposlenih energetskeg menadžera; c) donosi program i plan energetske efikasnosti i dostavlja ga Ministarstvu na njegov zahtev; d) sprovodi mere za efikasno korišćenje energije navedene u programu i planu; e) obaveštava Ministarstvo o licu koje je imenovano za energetskeg menadžera; f) dostavlja Ministarstvu godišnje izveštaje o ostvarivanju ciljeva sadržanih u programu i planu; g) obezbeđuje sprovođenje energetskeg pregleda najmanje jednom u pet godina; h) preduzima i druge aktivnosti i mere u skladu sa Zakonom.

Pogon Toplana u Vreocima je deo preduzeća “Kolubara Prerada” u kom se vrši prerada i oplemenjivanje rovnog uglja sa površinskih kopova Rudarskog basena Kolubara, koji posluje kao ogranak JP EPS. Prerađeni ugalj se koristi za snabdevanje termoelektrana, industrijskih preduzeća i za široku potrošnju. Toplana je termoenergetski objekat sa instalisanim kapacitetom od preko 100 MW namenjen za proizvodnju toplotne energije koja je potrebna za odvijanje tehnoloških procesa u proizvodnim postrojenjima tokom čitave godine i za grejanje industrijskih objekata, dela naselja Vreoci i grada Lazarevca u grejnoj sezoni.

Prema projektnim parametrima, stepen korisnosti kotlova u Toplani Vreoci iznosi 84%, dok prema BAT-BREF dokumentu (referentni dokument najbolje raspoložive tehnologije) [5], propisani stepen korisnosti kod kotlova konstrukcije i starosti, koja odgovara ovom postrojenju, a koja sagoreva niskokalorične lignite, ne mogu imati niži stepen korisnosti od 86%. U BREF dokumentu za energetske efikasnost [6] prikazane su tehnike koje treba razmotriti u cilju povećanja energetske efikasnosti u industrijskim preduzećima. Najvažnije predložene tehnike su: uvođenje sistema energetskeg menadžmenta, integracija proizvodnih procesa, ulaganje u znanje i ljudske resurse, efikasno održavanje, monitoring i kontrola procesa, merenje procesnih parametara, sprovođenje energetskeg pregleda i uporedna statistička analiza, optimizacija procesa i tehno-ekonomska analiza.

U ovom radu su prikazani rezultati energetskeg pregleda koji je sproveden u Toplani Vreoci u delu potrošnje električne energije, sa ciljem da

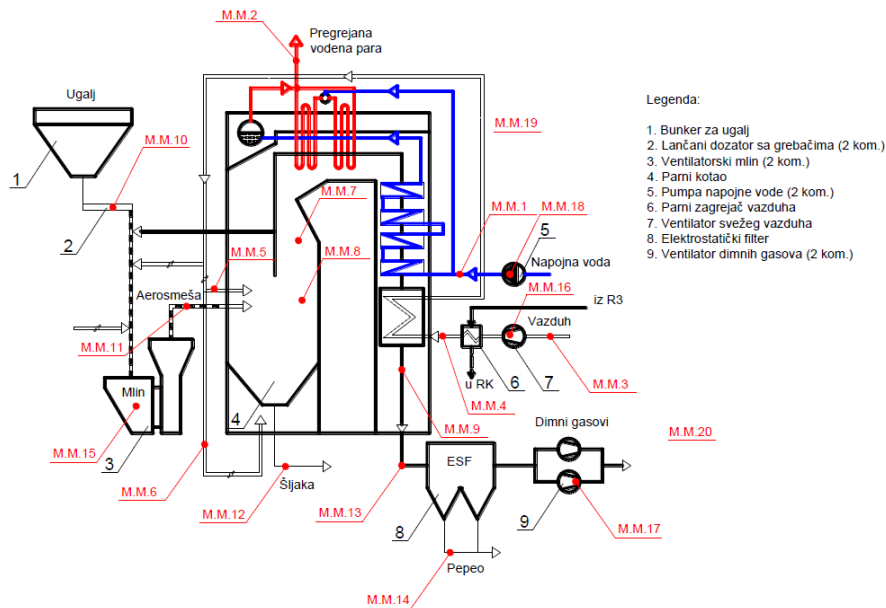
se predlože adekvatne mere za unapređenje energetske efikasnosti i postigne ušteda energije, a u skladu sa odgovarajućim standardima [7].

2. Merenja procesnih parametara na kotlu

Planom je predviđeno da se merenja sprovedu na parnom kotlu br. 2 u četiri karakteristična radna režima (minimalni, minimalni sa jednim mlinom, nominalni i maksimalni), prema dogovoru sa naručiocem, u stacionarnim radnim uslovima. Minimalno trajanje ispitivanja u jednom režimu ne bi trebalo da bude kraće od 6h. Pre osnovnih merenja za karakteristične režime rada kotla izvršeno je probno merenje radi definisanja ispravnosti i validnosti merenja na svim mernim mestima. U toku ispitivanja je vođeno računa da se ne vrši odsoljavanje i odmuljivanje kotla. Nivo vode u bubnju je održavan na približno jednakom nivou.

Uzorkovanje uglja na dozatorima ispred mlinova, uglja nakon mlinova, šljake i letećeg pepela je izvedeno u skladu sa važećim nacionalnim standardima. Uzorkovanje je izvršeno na početku i pred kraj svakog ispitivanja. Postupak je ponovljen za sva četiri radna režima. Formiran je po jedan reprezentativan uzorak uglja pre mlinova, uglja nakon mlinova, šljake i letećeg pepela za analizu po radnom režimu. Posebno su uzorkovani krupnija frakcija letećeg pepela sa taložnika ispred elektrofiltra, a posebno sitnija frakcija letećeg pepela koja se otprašuje na elektrofiltru.

Pozicija mernih mesta koja su obuhvaćena planom merenja je šematski prikazana na slici 1.



Slika 1. Pozicija mernih mesta za ispitivanje parnog kotla br. 2 u Pogonu Toplana

U toku merenja, pored procesnih parametara potrebnih za određivanje stepena korisnosti kotla i optimizaciju sagorevanja, izvršeno je prikupljanje raspoloživih podataka sa SCADA sistema koji su izmereni pogonskim mernim instrumentima na vodovima za distribuciju pare i povrat kondenzata kao što su: pritisak i temperatura pregrejane pare na izlazu iz kotla br. 1, pritisak i temperatura pregrejane pare na parnom razdelniku R-1, i suvozasicene pare na razdelnicima R-2, R-3 i R-4. Takođe je predviđeno prikupljanje podataka o protocima, temperaturi i pritisku pare i isporučenoj toplotnoj energiji ka internim i eksternim potrošačima kao i podataka o protoku i temperaturi kondenzata sa istih. Pored toga, prikupljeni su podaci o protoku i temperaturi rashladne vode koja se koristi za redukciono-rashladne stanice. Svi navedeni podaci se prikupljaju i ažuriraju u okviru SCADA sistema.

3. Podaci o potrošačima električne energije

Pogon Toplana Vreoci se napaja električnom energijom iz postrojenja 35 kV koje se sastoji od 9 razvodnih ćelija. Dovod iz trafostanice TS 110/35 kV priključen je u ćeliji 1, dok pogonu toplane pripadaju samo poslednje 3 ćelije, pod rednim brojem 7, 8 i 9. U ćeliji pod rednim brojem 6 nalaze se merni naponski transformatori u sve tri faze prenosnog odnosa $35/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}/0,1/3$ kV.

Iz ćelija 7, 8 i 9 u 35 kV postrojenju napajaju se transformatori T1, T2 i T3 i to iz ćelije 7 napaja se transformator T3 sledećih karakteristika 35/6,3 kV, 4MVA, DY5, zatim, iz ćelije 8 napaja se transformator T2 sledećih karakteristika 35/6,3 kV, 4MVA, DY5, i na kraju iz ćelije 9 se napaja transformator T1 sledećih karakteristika 35/6,3 kV, 4MVA, DY5. Ova tri transformatora napajaju postrojenje 6 kV sa ukupno 26 ćelija. Dovod sa transformatora T1 je povezan u ćeliji 21, sa transformatora T2 je u ćeliji 7, dok je sekundar transformatora T3 povezan na ćeliju 6. Između ćelija 13 i 14 nalazi se spojni prekidač sabirnica koje je u normalnom radu u zatvorenom položaju tako da transformatori rade u paraleli i obe sabirnice su na istom naponu. U ćeliji 20 postrojenja 6 kV nalazi se merni naponski transformator u sve 3 faze prenosnog odnosa $6/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}/0,1/3$ kV. Međutim, jedan od naponskih transformatora stradao je tokom 2015. godine pa u trenutku merenja nije bilo moguće očitavanje naponskog nivoa u postrojenju 6 kV. Da bi se prevazišao ovaj problem merenje napona je vršeno na sabirnici naponskog nivoa 0,4 kV koja se napaja sa transformatora T4 i T5 sledećih karakteristika 6/0,4kV, 1600kVA, DY5. Izmerena efektivna vrednost napona omogućilaje poznavanje naponskog nivoa na 0,4kV, dok je poznavanje sprege unutar transformatora omogućilo proračun tačnog ugla snage između izmerene vrednosti struje u 6kV ćelijama postrojenja i izmerenog napona na 0,4kV sabirnici.

Za potrebe energetskog pregleda od interesa su potrošnje 6 kV elektromotora kotlova. Kako je rađena analiza rada samo kotla 2, merenje potrošnje je vršeno u ćelijama 19 (ventilator svežeg vazduha VSV26), 17 (ventilator dimnih gasova VDG23), 16 (ventilator dimnih gasova VDG24), 15 (mlin M21) i 14 (mlin M22). Napojne pumpe NP15 (ćelija 9) i NP25 (ćelija 18) rade u paraleli i pumpaju vodu u oba kotla istovremeno, tako da se potrošnja ni jedne od njih ne može vezati samo za jedan kotao i bilo je neophodno merenje potrošnje obe pumpe.

Spisak svih izvoda u 6 kV postrojenju je dat u narednoj tabeli, kao i podaci o prenosnom odnosu strujnih mernih transformatora u svakoj ćeliji.

Tabela 1. Sistematizacija kratkoročnih mera za unapređenje energetske efikasnosti EPS-a u proizvodnji električne i toplotne energije (bez ili sa minimalnim ulaganjem)

Redni broj ćelije	Funkcija	Merni transformator
1	Rezerva	150A/5A
2	Vodohvat transformator 6/0,4kV 2x pumpe 160kVA	40A/5A
3	Odvod otpadne vode	20A/5A
4	Osvetljenje toplane – TS T6	75A/5A
5	Elektromotorni pogoni za niskonaponske potrošače T4	150A/5A
6	Dovod sa T3	2x200A/5A/5A
7	Dovod sa T2	2x200A/5A/5A
8	Kotao 1 – ventilator svežeg vazduha VSV	40A/5A
9	Pumpa za napojn vodu NP1	50A/5A
10	Kotao 1 – ventilator dimnih gasova VDG2	30A/5A
11	Kotao 1 – ventilator dimnih gasova VDG1	30A/5A
12	Kotao 1 – Miln M2	50A/5A
13	Kotao 1 – Miln M1	50A/5A
14	Kotao 2 – Miln M1	50A/5A
15	Kotao 2 – Miln M2	50A/5A
16	Kotao 2 – ventilator dimnih gasova VDG1	30A/5A
17	Kotao 2 – ventilator dimnih gasova VDG2	30A/5A
18	Pumpa za napojn vodu NP2	50A/5A
19	Kotao 2 – ventilator svežeg vazduha VSV	40A/5A
20	Merno polje	
21	Dovod sa T1	2x200A/5A/5A
22	Elektromotorni pogoni za niskonaponske potrošače T5	150A/5A
23	Toplifikacija Lazarevac	150A/5A
24	Toplifikacija Lazarevac – rezerva	150A/5A
25	Nova sušara - rezerva	150A/5A
26	Nova sušara	150A/5A

4. Rezultati merenja

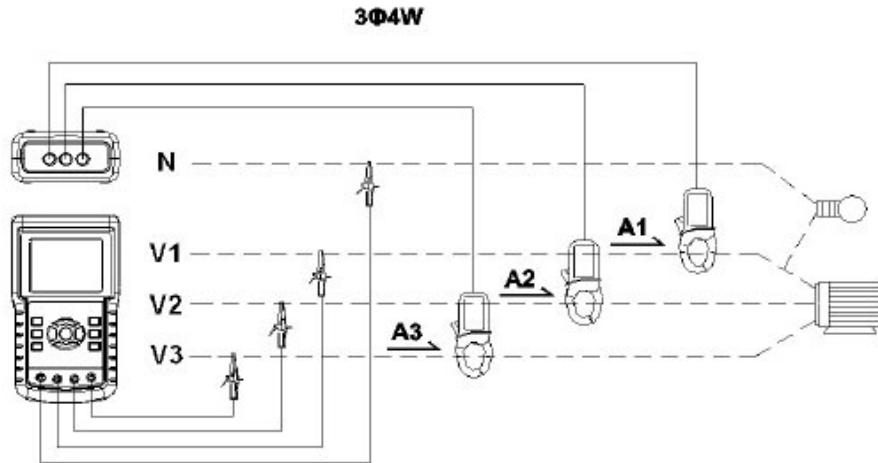
Za potrebe analize energetske efikasnosti rada kotlova bilo je potrebno meriti potrošnju 6 kV motora koji pripadaju datom kotlu. Merenje je vršeno neprekidno u trajanju od 9 dana. Merene su srednje jednodominutne vrednosti aktivne, reaktivne i prividne snage, kao i ugao snage i stepen iskorišćenja.

Tokom ispitivanja kotla 2 vršeno je merenje potrošnje sledećih motora:

- ventilator svežeg vazduha VSV26 (ćelija 19),
- ventilator dimnih gasova VDG23 (ćelija 17),
- ventilator dimnih gasova VDG24 (ćelija 16),
- mlin M21 (ćelija 15),
- mlin M22 (ćelija 14),

- napojne pumpe NP15 (ćelija 9) i
- napojne pumpe NP25 (ćelija 18).

Od merne opreme su korišćeni analizatori kvaliteta električne energije i logeri snage proizvođača Chauvin Arnoux za merenja na mlinovima i ventilatorima, priključeni na merna mesta u skladu sa šemom sa slike 2.



Slika 2. Način povezivanja instrumenta tipa Chauvin Arnoux

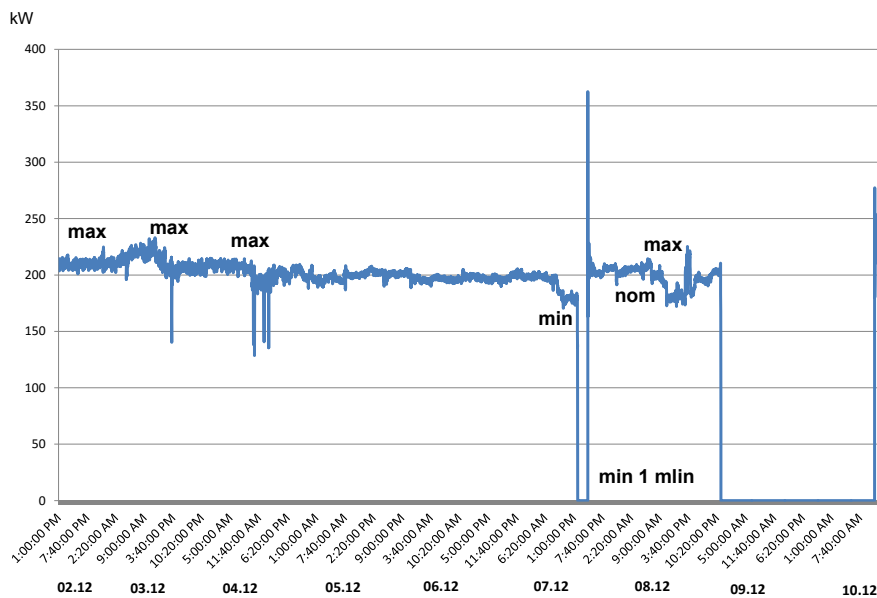
Za potrebe merenja na napojnim pumpama upotrebljen je posebno razvijen akvizicioni sistem cDAQ 9174 proizvođača National Instruments, prikazan na slici 3. U okviru akvizicionog sistema korišćen je merni modul NI 9225, trokanalni analogni ulazni modul koji se koristi za merenje napona u opsegu od 0 do 300 VAC RMS i ovde je upotrebljen za snimanje faznih napona. Merni modul NI9205 je 32-kanalni analogni ulazni modul koji se koristi za merenje napona u opsegu od 0 do 10 VAC. Ovaj modul je povezan direktno sa rasklopnim mernim strujnim transformatorom proizvođača MAGNELAB tip SCT-0400-005, koji struju opsega od 0 do 5 A pretvara u naponski signal od 0 do 0,333 VAC.

U programu LabView razvijena je aplikacija koja na osnovu merenih napona i struja izvoda računa utrošenu prividnu, aktivnu i reaktivnu snagu, kao i faktor snage. Merenje je vršeno na svakih 10 sekundi. Akvizicioni sistem cDAQ 9174 je sve vreme bio povezan sa računarom i svi izmereni podaci su snimljeni u bazu podataka na računaru.

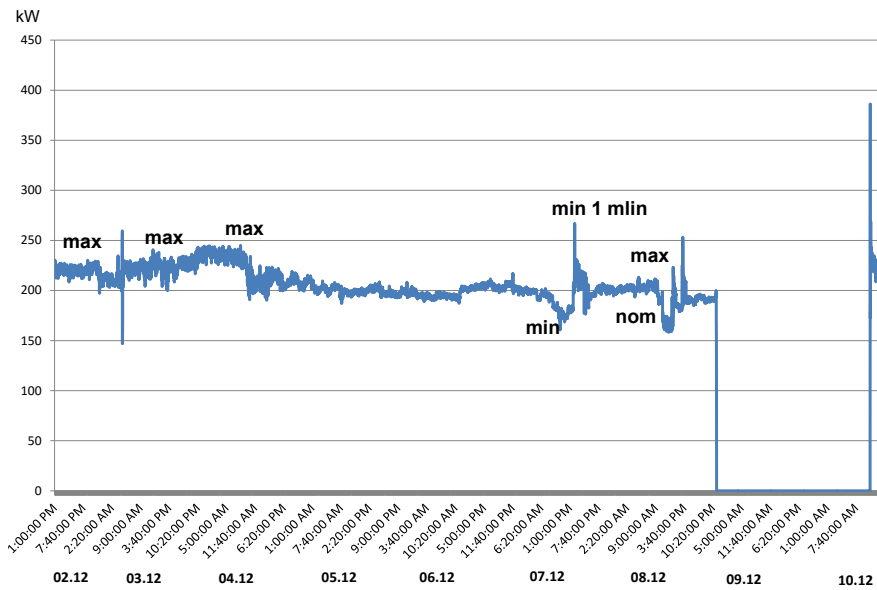


Slika 3. Akvizicioni sistem cDAQ 9174 sa povezanim modulima NI 9225 i NI 9205

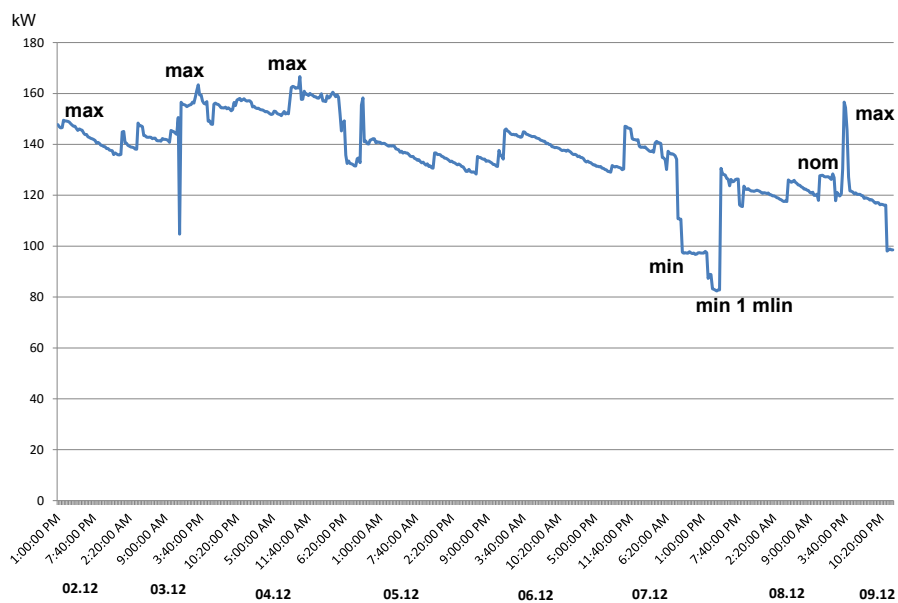
Na sledećim slikama su prikazani sumirani rezultati merenja na mlinovima, ventilatoru svežeg vazduha, napojnoj pumpi i ventilatoru dimnih gasova. Na slikama su naznačeni pojedini režimi kotla (min – minimalni režim, max – maksimalni režim, nom – nominalni režim), uz posebno naglašen rad samo sa jednim mlinom (npr. min 1 mlin – minimalni režim sa jednim mlinom).



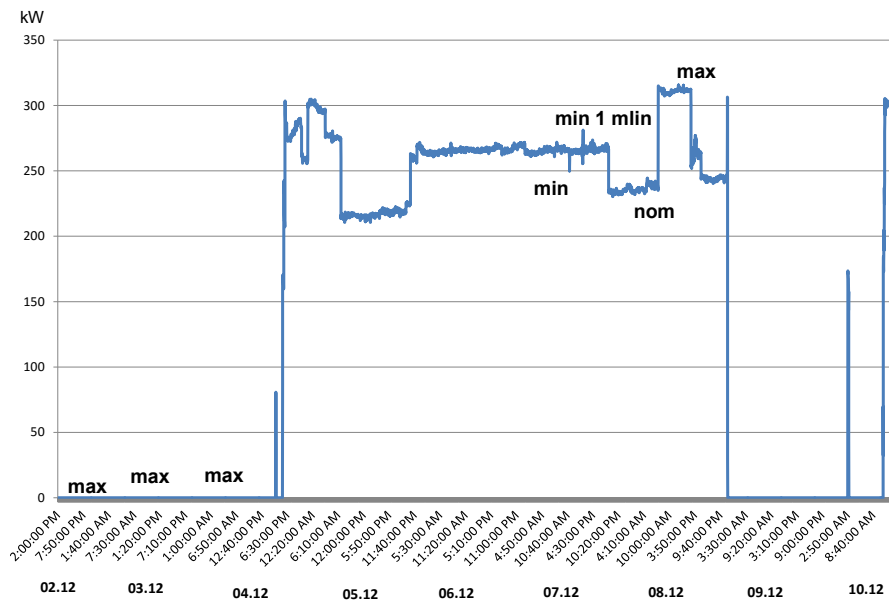
Slika 4. Promena aktivne snage na mlinu 1 (M21)



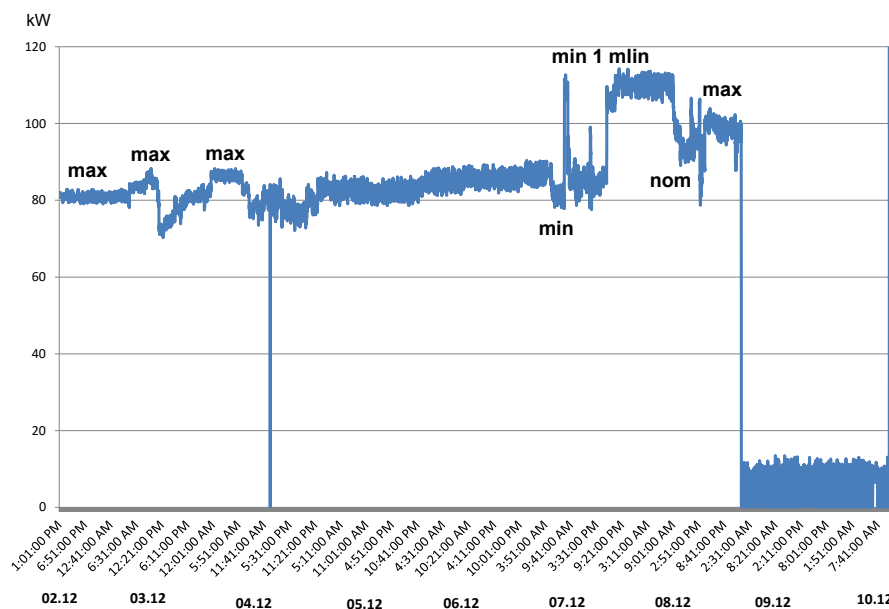
Slika 5. Promena aktivne snage na mlinu 2 (M22)



Slika 6. Promena aktivne snage na ventilatoru svežeg vazduha (VSV26)



Slika 7. Promena aktivne snage na napojnoj pumpi (PZNP25)



Slika 8. Promena aktivne snage na ventilatoru dimnih gasova (VDG23)

4.1. Analiza rezultata merenja

Uvidom u rad pojedinih segmenata toplane, prvenstveno kotlovskeg postrojenja gde su kao najznačajniji potrošači motori naponskog nivoa 6 kV (mlinovi, ventilatori dimnog gasa, ventilatori svežeg vazduha i napojne pumpe), nameće se primena frekventnih regulatora kao najpogodnijeg rešenja za unapređenje energetske efikasnosti u delu korišćenja električne energije. Pri tom treba istaći na prvom mestu da su motori predimenzionisani i da naročito motori ventilatora svežeg vazduha rade i sa 60% opterećenja (oko 150 kW) u nominalnom režimu kotla. Nominalna snaga motora ventilatora svežeg vazduha je 250 kW. Motori napojnih pumpi su opterećeni sa 80% do 90% (270 kW do 310 kW naspram instalisanih 360 kW), u zavisnosti od režima rada kotla. S obzirom da u toku rada snaga motora napojnih pumpi malo osciluje u zavisnosti od opterećenja, uzimajući u obzir i opterećenje sa kojim rade, na njima se za sada ne predlaže ugradnja frekventnih regulatora.

Kod ventilatora svežeg vazduha, s obzirom na činjenicu da rade sa dosta nižim opterećenjem od nominalnog, pogodno je primeniti frekventni regulator. Na to dodatno ukazuje činjenica da pri promeni procesnih parametara ventilatori dimnih gasova ostaju konstantno opterećeni, dok se kod ventilatora svežeg vazduha javlja skokovita promena snage u opsegu od 152 kW do 166 kW pri maksimalnom režimu rada kotla i zakretanju lopatica ventilatora. U slučaju minimalnog režima rada kotla, promena snage ventilatora svežeg vazduha je u opsegu od 83 kW pri radu samo mlina 1, do 98 kW pri radu oba mlina.

Pri izboru frekventnog regulatora treba uzeti u obzir činjenicu da je reč o 6 kV motoru, ali i da je pogon koji ne zahteva veliki polazni moment. Kako je trenutno prema cenama za frekventne regulatore na 6 kV naponskom nivou isplativost tek za primenu kod motora snage od 400 kW i više, uz prethodnu činjenicu se kao rešenje predlaže primena niskonaponskog frekventnog regulatora napona 690 V i odgovarajućeg transformatora (tzv. „step-up“).

Što se tiče ostalih potrošača, ukupno njihovo angažovanje u toku rada pogona toplane u periodu merenja je bilo oko 19%. Najveći udeo u toj potrošnji su pogonski motori na 0,4 kV (opseg potrošnje od 260 kW do 420 kW uz prosečnu potrošnju od oko 340 kW), zatim motori na vodozahvatu (konstatna potrošnja od 160 kW) i osvetljenje (90 kW).

Premda drugi potrošači (van postrojenja za proizvodnju tehnološke pare i toplotne energije) nisu bili obuhvaćeni ovim energetskeg pregledom, treba istaći da kada je o potrošnji električne energije za osvetljenje reč nije u ukupnoj sumi učestvovala samo rasveta, već i pojedini potrošači u objektu gde su poslovne kancelarije, ali je svakako reč o maloj potrošnji. Ukoliko se analizira rad sistema osvetljenja, treba jasno razdvojiti potrošnju svetiljki, kao i njihov broj i trenutno stanje.

Skokovite promene koje se vide na slikama 4-8 se odnose na trenutke promene režima rada kotla.

5. Mogućnosti za poboljšanje energetske efikasnosti

U domenu snabdevanja potrošača električnom energijom preporuke se odnose na korekciju faktora snage, korišćenje filtera za eliminaciju viših harmonika i efikasno upravljanje transformatorima. Preporuke se odnose i na korišćenje energetski efikasnih motora nove generacije koji su inicijalno skuplji, ali ekonomičniji ako se uporede troškovi tokom celokupnog radnog veka motora.

Kada je u pitanju upotreba motora povećane energetske efikasnosti treba istaći činjenicu da je trenutno u EU u primeni Ecodesign direktiva, kojom se zahteva počev od 01.01.2015. godine primena energetski efikasnih motora klase IE2 za sve motore snage od 0,75kW do 7,5kW odnosno za motore snaga od 7,5kW do 375kW primena motora klase IE3 ili motora klase IE2 sa pogonom preko frekventnog regulatora [8].

Takođe, preporuke se odnose na pravilno dimenzionisanje motora i korišćenje frekventnih pretvarača (regulatora) na pogonskim elektro motorima, prvenstveno pumpi i ventilatora. Savremeni frekventni regulatori osim funkcije regulisanja brzine motora vrše i funkciju zaštite motora (prekostrujna, temperaturna, zaštita od ispada faze, i dr.) i funkciju upravljanja preko PLC-a, tako da je moguće direktno zadavanje brzine na osnovu merene veličine iz procesa (pritiska, temperature ili protoka).

5.1. Poboljšanje i optimizacija rada mlina sa aspekta upotrebe električne energije

Na osnovu prethodnih analiza koje se odnose na rad kotla sa jednim mlinom u uslovima smanjenog konzuma utvrđeno je da kotlovi mogu pouzdano da rade sa jednim mlinom u pogonu pri produkciji pare od 38 t/h. U tom slučaju moguće je postići uštede primarne energije zbog smanjenja gubitaka sveže pare (približno 7 t/h) kao i uštede u potrošnji električne energije zbog isključenja jednog mlina. Sa aspekta utrošene električne energije, moguće je ostvariti dodatne uštede primenom frekventnog regulatora za pogon mlina.

S obzirom da je utvrđeno da kotlovi mogu da rade sa jednim mlinom, predlaže se ekonomski isplativo rešenje sa jednim frekventnim regulatorom i odgovarajućim sistemom prekidača sa nadređenim upravljanjem koji omogućava da se po potrebi frekventni regulator priključi na jedan ili drugi mlin. Ovakvo rešenje omogućava sledeći način rada mlinova:

1. Lagano zaletanje mlina na koji je priključen frekventni regulator (tzv. frekventni start), čime se sprečava velika polazna struja i obezbeđuje maksimalni moment pri startovanju motora uz nazivnu vrednost struje.
2. Ako je sa aspekta tehnologije potreban rad sa oba mlina, nakon zaleta motora mlina koji se napaja preko frekventnog regulatora i

postizanja nazivne brzine, preko sistema prekidača je moguće izvršiti automatsko prebacivanje motora mlina na mrežno napajanje, čime se omogućava da se sada i drugi mlin zaleti primenom frekventnog regulatora. Ova metoda se naziva sinhroni transfer, a prebacivanje sa izvora promenljive frekvencije (frekventnog regulatora) na izvor fiksne frekvencije (mrežno napajanje) se vrši pri usklađenom talasnom obliku napona, amplitudi i faznom stavu između dva izvora. Sinhroni transfer je energetski efikasniji u ovom slučaju od primene dva frekventna regulatora na svakom od motora, a ekonomska prednost se ogleda i u operativnim troškovima i troškovima ugradnje koji su za 33% manji.

3. Nakon zaleta motora drugog mlina, moguće je vršiti dodatnu korekciju kapaciteta mlevenja promenom brzine obrtaja motora koji se napaja preko frekventnog regulatora.

Kapacitet mlevenja mlina se može povećati ako se poveća stvarni maksimalni broj obrtaja udarnog kola. Ovo rešenje je potvrđeno u dve studije rađene za potrebe TENT-A, Obrenovac („Tehno-ekonomska analiza uvođenja frekventne regulacije pogona mlinova na bloku A4 TENT-A“, godina 2007. i “Analiza efekata ugradnje sredjenaponskih frekventnih regulatora na motornim pogonima mlina u termoelektrani TENT-A u Obrenovcu”, godina 2011.).

Navedeno rešenje je zasnovano na poboljšanom napajanju motora povećanjem frekvencije primenom sredjenaponskog (SN) frekventnog regulatora. Ekonomski je isplativo, jer se ne zahteva rekonstrukcija mlina ni spojnice između motora i mlina, koja može da se blokira tako da se onemogućiti funkcija proklizavanja tokom zaleta mlina. Glavni cilj ovog rešenja je da se omogući povećanje kapaciteta mlina za 10% tako što se poveća brzina motora mlina iznad nazivne, tj. primenom frekventnog regulatora se poveća frekvencija napona napajanja sa 50 Hz na 55 Hz odnosno za 5%.

Ovim povećanjem brzine, koje je moguće ostvariti s obzirom na rezervu snage koju ima motor mlina, postiže se ne samo povećanje kapaciteta mlevenja za 10% nego i ušteda u snazi u iznosu od 10%. Ovo je moguće s obzirom na činjenicu da se pri povećanju brzine motora iznad nazivne ulazi u režim tzv. slabljenja polja gde snaga ostaje na nazivnoj vrednosti kao u napon, ali se učestanost povećava. U pomenutim studijama je utvrđeno da je za motor mlina u TENT-A snage 1MW investicija reda 200.000 EUR, a očekivani period povraćaja investicije do 5 godina. S obzirom na činjenicu da je u međuvremenu došlo i do sniženja cena frekventnih regulatora, kao i da nisu uzeti u razmatranje i ostali pozitivni efekti primene ovog rešenja (zalet sa sniženom strujom, manje opterećenje mehaničkih delova sistema, manji gubici energije u hidrospojnicima između motora i mlina), vreme povraćaja investicije je sigurno i kraće.

5.2. Primena frekventnog regulatora kod pogonskog elektromotora ventilatora svežeg vazduha na kotlovima

Kod ventilatora svežeg vazduha se predlaže primena frekventnog regulatora kao rešenje za poboljšanje energetske efikasnosti. Pri tome se polazi od činjenice da ventilatori svežeg vazduha rade sa dosta nižim opterećenjem od nominalnog, kao i da pri promeni procesnih parametara dolazi do skokovite promene snage. Ove razlike se kreću od 83kW pri minimalnom režimu rada kotla i radu samo mlina 1, pa sve do 166kW u maksimalnom režimu.

S obzirom da je motor ventilatora svežeg vazduha nominalne snage 250 kW, iz prethodnog se može zaključiti da i u nominalnom režimu radi sa niskom efikasnošću i manjim stepenom korisnosti. Procena mogućih energetskih ušteda se ogleda u činjenici da je za smanjenje protoka za 6000 Nm³ ukupnog vazduha odnosno $\Delta Q=15\%$ (ovoliko je registrovano i u maksimalnom i u minimalnom režimu rada kotla) može ostvariti primenom frekventnog regulatora smanjenje snage za 61%:

$$(1-\Delta Q)^3=0,85^3=0,61$$

s obzirom da je promena snage proporcionalna trećem stepenu promene protoka. Iz tih razloga je primena frekventnih regulatora sa aspekta energetske efikasnosti najrentabilnija upravo kod pogona ventilatora i pumpi zbog kvadratnog tipa karakteristike ventilatora, odnosno pumpe. U ovoj uštedi nije uračunat gubitak snage na mehaničkim delovima, snaga koja se gubi pri zakretanju lopatica (analogno gubicima na ventilu pri prigušenju pumpe).

Pri izboru frekventnog regulatora treba uzeti u obzir činjenicu da je reč o 6 kV motoru, ali i da je pogon koji ne zahteva veliki polazni moment. Kako je trenutno prema cenama za frekventne regulatore na 6 kV naponskom nivou isplativost tek za primenu kod motora snage od 400 kW i više, uz prethodnu činjenicu se kao rešenje predlaže primena niskonaponskog frekventnog regulatora napona 690 V i odgovarajućeg transformatora (tzv. „step-up“). Procena investicije za ovakav pogon (budžetska cena) oko 40.000 EUR, a povraćaj investicije (tzv. prost period povraćaja) je oko 2,5 godine.

5.3. Rezime predloženih mera

Na osnovu svih prethodnih rezultata, u narednoj tabeli su sumirane predložene mere za poboljšanje energetske efikasnosti u pogonu Toplana, a takođe je procenjena je potencijalna ušteda u potrošnji uglja i pregrejane vodene pare kao i potencijalna ušteda u novčanim jedinicama. Za pojedine mere definisane su potrebne investicije i izračunat prost period otplate. Sve mere su u skladu sa zahtevima standarda za implementaciju sistema energetskog menažmenta [9].

Tabela 2. Rezime predloženih mera, aktivnosti i sredstava za unapređenje energetske efikasnosti pogona Toplana

R br	Mere za unapređenje energetske efikasnosti	Uštede u potrošnji energenata	Smanjenje emisija CO ₂	Finansijske uštede	Potrebna sredstva	Vreme povraćaja uloženog novca
		[MWh/god]	[t/god]	[€/god]	[€]	[god]
1	Poboljšanje i optimizacija rada mlina sa aspekta upotrebe električne energije primenom frekventnog regulatora za upravljanje motorom mlina	364	417	20.000	70.000	2,6
2	Primena frekventnog regulatora kod pogonskog elektromotora ventilatora svežeg vazduha na kotlovima	290	332	16.000	40.000	1,5

6. Zaključak

Rezultati energetskog pregleda koji je sproveden u toplani u Vreocima pokazali su da su gubici energije na pragu toplane na nivou od 31% od ukupne uložene primarne energije. Analizama utvrđeno da je moguć pouzdan rad postrojenja samo sa jednim mlinom u uslovima smanjenog konzuma, čime se ostvaruju uštede kako zbog smanjenja gubitaka sveže pare tako i direktne uštede u električnoj energije.

Pokazano je da se dodatne uštede mogu ostvariti primenom frekventnog regulatora za pogon mlina, pri čemu bi se koristio samo jedan frekventni regulator za pojedinačni pogon oba mlina.

Implementacija predloženih mera bi doprinela većoj efikasnosti procesa transformacije energije u toplani, smanjenju emisija CO₂ i drugih zagađujućih gasova, povećanju fleksibilnosti toplane pri radu na nižim opterećenjima i efikasnijem korišćenju niskokaloričnih fosilnih goriva sa značajnim varijacijama u kvalitetu.

Literatura

- [1] Y. Shi, J. Wang, Z. Liu, „On-line monitoring of ash fouling and soot-blowing optimization for convective heat exchanger in coal-fired power plant boiler“, *Applied Thermal Engineering*, 78, 2015, pp. 39-50.
- [2] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (Integrated pollution prevention and control - IPPC).
- [3] Zakon o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađenja životne sredine, Službeni glasnik RS br. 135/2004.
- [4] Zakon o efikasnom korišćenju energije, Sl. Glasnik RS 25/13, 2013.
- [5] Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, European Commission, July 2006.
- [6] Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency, European Commission, February 2009.
- [7] International standard ISO 50002, Energy audits — Requirements with guidance for use, ISO 12.05.2014.
- [8] EC, 2009. Full Impact Assessment (regard to ecodesign requirements for electric motors). SEC (2009)1014.
- [9] International standard ISO 50004, Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system, ISO 20.01.2014.

Abstract. The results of power quality measurements, obtained during an energy audit in the heating plant Vreoci in the Electric Power System of Serbia, are presented in the paper. Two steam boilers, rated at 120MW each, are installed in this heating plant, using coal as a fuel. The energy audit encompassed the measurements of the complete set of parameters needed to determine the thermal efficacy of boilers and the entire heating plant. Based on the measurement results, several technical measures for improving energy efficiency of the plant are proposed. The measures evaluated in the paper should contribute to the reduction of fossil fuel usage and CO₂ emissions, thereby resulting in a significant impact in both financial and ecological areas

Keywords: heating plant, mill, energy efficiency, energy audit, measurements, energy saving measures, frequency converter

Analysis of electrical energy consumers operation in the heating plant with proposal of energy savings measures

Aleksandar Nikolić, Radoslav Antić

Rad primljen u uredništvo: 06.11.2016. godine.

Rad prihvaćen: 13.12.2016. godine.

