

Povečanje učinkovitosti naprave za suho čiščenje plinov iz elektrolize primarnega aluminija

Anton Verdenik

TALUM d.d. Kidričevo

E-pošta: toni.verdenik@talum.si

Povzetek. V članku je opisana modernizacija ventilacijskega sistema naprave za čiščenje plinov iz elektrolize primarnega aluminija. Z nadomestitvijo regulacijskih loput na ventilatorjih s frekvenčnim pretvorniki smo zmanjšali porabo električne energije, hrup ventilacijskega sistema in emisije plinov v okolje. Predstavljena sta integracija v energetske sistem in sistem za vodenje in analiza doseženih rezultatov.

Ključne besede: frekvenčni pretvornik, varčevanje z energijo

Increase in efficiency of a dry-gas scrubbing system for an aluminium reduction line

Extended abstract. Industry constantly coping with the pressure to minimize energy consumption and implement of protocols targeting reduce of greenhouse gases emission. For that propose modern aluminium smelters use alumina-based dry scrubbers integrated in the closed loop with the electrolytic cells in order to capture fluoride evolved in the smelting process. The electrical energy used for maintaining gas flows is the most important operational cost. By substituting fans dampers for gas flow adjustment with variable speed drives, the system performance is improved. Energy consumption is reduced by 25%, ventilation system noise is reduced by 3dB and there are less greenhouse gases released as result of a faster start-up of the system.

Keywords: variable speed drive, energy saving

1 Uvod

Čistilne naprave so sestavni del industrijskih sistemov, saj omogočajo, da tehnološki postopki potekajo skladno z okoljevarstveno zakonodajo. Energija, potrebna za njihovo delovanje, je eden večjih obratovalnih stroškov. Zaradi visokih cen in pritiskov za manjšo rabo je treba izvajati ukrepe, ki zmanjšujejo specifično porabo energije in zagotavljajo konkurenčno proizvodnjo skladno z okoljevarstvenimi predpisi [4].

Osnovna infrastruktura, to so črpalke, ventilatorji in kompresorji, porabijo kar 63 odstotkov vse energije v procesni industriji. Ukrepi, ki lahko na tem področju prinašajo znatne prihranke energije, so poznani [3]. Temeljijo na zamenjavi mehanskih regulacijskih elementov (ventili, lopute), ki regulirajo fizikalno veličino na principu dušenja elektromotornih pogonov, s

frekvenčnimi pretvorniki, ki prilagajajo moč motorja dejanski potrebi procesa.

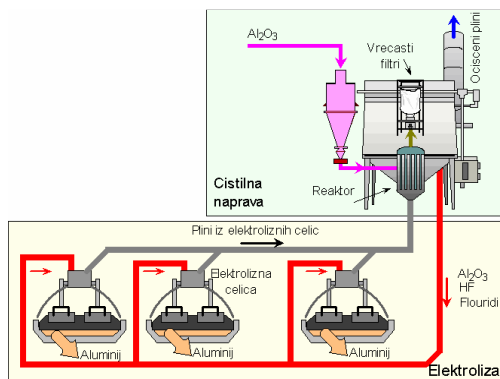
V članku je predstavljena sprememba načina regulacije pretoka zraka na napravi za čiščenje plinov iz elektrolize C v TALUMU Kidričevo, s katero smo zmanjšali porabo energije, hrup ventilacijskega sistema in emisije plinov v okolje.

2 Opis procesa

2.1 Čiščenje plinov iz elektrolize aluminija

Primarni aluminij pridobivamo po Hall-Heroultovem postopku. Proces poteka v elektrolizni celici, kjer se glinica (Al_2O_3) razstaplja v tekoči elektrolitski kopeli (Na_3AlF_6) pri temperaturi $960^{\circ}C$. Prehod enosmernega električnega toka skozi elektrolit povzroči razkroj glinice v tekoči aluminij. Pri tem se sprošča okolju nevaren fluor, ki se mora izločiti iz plinov v čistilni napravi, prikazani na sliki 1. Plini iz elektroliznih celic tečejo skozi reaktor, v katerega se razprši sveža glinica, ki zajame fluor in se po izločitvi v separatorju in vrečastih filtrih kot surovina vrača v proces [2].

Elektroliza C v Talumu Kidričevo ima dve čistilni napravi s šestimi filtrskimi enotami. Filtrsko enoto sestavlja reaktor, vrečasti filter in centrifugalni ventilatorja za sesanje zraka, ki ga poganja asinhroni motor z močjo 250kW.



Slika 1: Suho čiščenje plinov iz elektrolize
Figure 1: Dry scrubbing process

2.2 Meritev in regulacija pretoka plinov

Za učinkovito delovanje čistilne naprave je treba vzdrževati optimalno razmerje med pretokom plinov iz elektrolize in količino glinice v reaktorju.

Agresivna narava plinov, prisotnosti prahu, variacija temperature med 80°C pozimi in 120°C poleti ter oblika cevodov onemogočajo izvedbo zanesljive avtomatske meritve pretoka plinov. Ključni parametri sistema, ki vplivajo na pretok, so prepustnost filtrov in temperatura plinov. Ker se spreminjajo zelo počasi, dobimo zadovoljive rezultate s tedenskimi ročnimi meritvami pretoka in ustrezno korekcijo položaja lopute. Pretok skozi posamezen filter je odvisen od tehnoloških potreb 26-29m³/s.

2.3 Predstavitev problema

Naraščajoče cene električne energije in čedalje ostrijši okoljevarstveni predpisi so razkrili tri probleme:

1. Poraba električne energije za pogon 12 ventilatorjev je v letu 2005 znašala 19,5GWh, kar je največji obratovalni strošek.
2. Direktni zagon 250kW motorja za pogon ventilatorja je šok za transformatorsko postajo in motor, saj zagonski tokovi za 10 krat presegajo nazivni tok. Za zaščito motorja je moralo med dvema zaporednima zagonoma je preteči 20 minut. V tem času so bile povečane emisije fluora v okolje.
3. Ob ventilatorjih in v bližnjem naselju je bil izmerjen prevelik hrup.

3 Posodobitev pogona ventilatorjev

3.1 Predstavitev rešitve

Izkazalo se je, da je celovita rešitev problematike mogoča z nadomestitvijo regulacijskih loput s frekvenčnimi pretvorniki. Ta rešitev zmanjša porabo energije in razbremeni zagon motorja. Zaradi popolnoma odprte lopute in posledično manjših

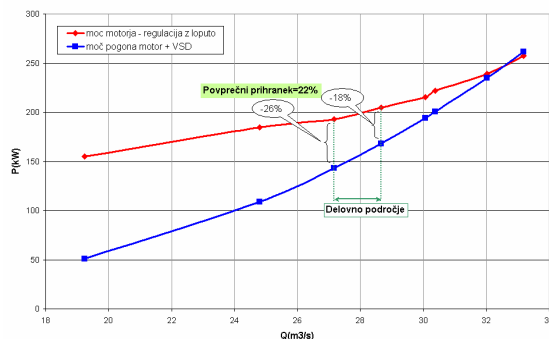
turbulenc zraka na lopaticah pa je bil pričakovan tudi manjši hrup naprave.

Zmanjšanje moči motorja ob prehodu na frekvenčni regulator smo ocenili s pomočjo meritev in preprostega modela. Izmerili smo moč motorja v odvisnosti od pretoka zraka pri regulaciji z loputo. Ker karakteristika sistema cevodov -vrečasti filter ni konstantna, ampak je odvisna tudi od prepustnosti vreč filtrov, ki se v povprečju menjujejo na štiri leta, smo za meritev izbrali starejši filter s slabšo prepustnostjo.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_1^3}{Q_2^3} \quad (1)$$

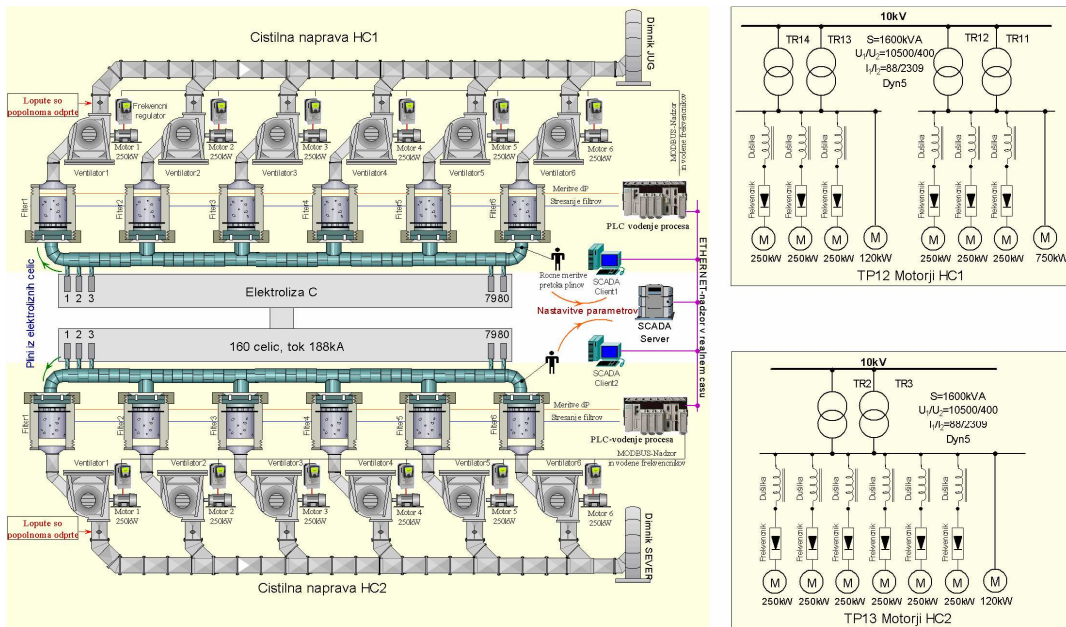
$$P_2 = P_1 \cdot \frac{Q_2^3}{Q_1^3} \cdot (1 + \eta) \quad (2)$$

S pomočjo ventilatorskega zakona (1) smo izračunali potrebno moč motorja, vodenega s frekvenčnim pretvornikom, ki smo jo povečali za $\eta=1,5\%$, kar je ocena izgub frekvenčne pretvorbe (2). Diagram na sliki 2 prikazuje rezultate meritve moči motorja pri regulaciji pretoka z loputo in izračunane moči v primeru frekvenčne regulacije. Pri tem pa se je treba zavedati, da model ne zajema vpliva drugih filtrov in ventilatorjev, ki delujejo vzporedno.



Slika 2: Primerjava moči pri regulaciji z loputo in VSD
Figure 2: Comparison of power when using damper and VSD

Iz diagrama na sliki 2 smo ocenili, da za doseganje enakega pretoka zraka v delovnem območju s frekvenčno regulacijo potrebujemo povprečno 22odstotkov manj moči. Na vseh 12 motorjih lahko pričakujemo 4,2GWh prihranka električne energije na leto. To je bila podlaga za pozitivno ekonomsko oceno celotnega projekta, ki obsega namestitve 12 frekvenčnih pretvornikov moči 250kW z vso pripadajočo opremo in klimatizacijo stikalnih prostorov.



Slika 3: Arhitektura sistema vodenja in močnostna shema
Figure 3: Architecture of the control system and power diagram

3.2 Arhitektura sistema vodenja

Na sliki 3 je prikazana dvonivojska arhitektura sistema vodenja čistilne naprave in priklop frekvenčnih pretvornikov v energetske sistem v lokalnih transformatorskih postajah.

Na krmilnem nivoju ima vsaka čistilna naprava PLC za vodenje procesa, na katerega so povezani frekvenčni pretvorniki za pogon ventilatorjev. Krmilnik pošilja frekvenčnemu regulatorju želene vrtiljaje in ukaze za vklop in izklop motorja, iz njega pa bere trenutne vrednosti toka, napetosti, moči, navora, vrtiljajev in alarme. Podatki, ki so namenjeni za analizo delovanja in optimizacijo parametrov, se shranjujejo na nadzornem nivoju čistilne naprave (SCADA).

Posebna pozornost je bila namenjena izbiri opreme in integraciji 12 frekvenčnih pretvornikov z močjo 250kW v energetske sistem. Izbrali smo frekvenčni pretvornik ATV61 izdelovalca Schneider electric, ki je namenjen za bremena z variabilnim navorom ter je glede na izhodiščno stanje omogočal preprosto vključitev v sistem vodenja.

3.3 Integracija frekvenčnega pretvornika

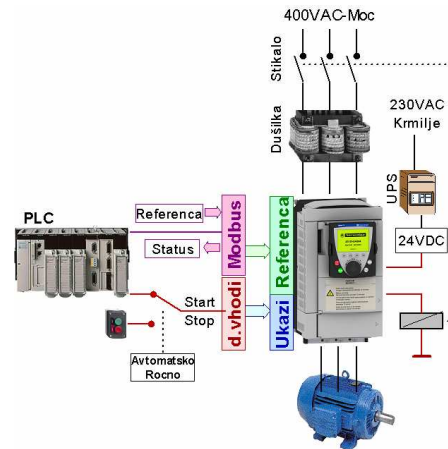
Slika 4 prikazuje princip povezave frekvenčnega pretvornika v krmilni in energetske sistem.

3.3.1 Energetski del

Napajanje krmilnega dela je ločeno od močnega in izvedeno iz UPS sistema. Med frekvenčnim pretvornikom in močnim tokokrogom je linijska dušilka, ki zmanjšuje višje harmonske komponente toka

in varuje napravo pred tokovnimi sunki, ki so posledica zelo nizke impedance sekundarnega tokokroga.

Vklop moči je izveden prek stikala. Z uporabo integrirane funkcije LCC (Line contactor control) frekvenčnik avtonomno izvaja in nadzoruje sekvenco vklopa in izklopa stikala.

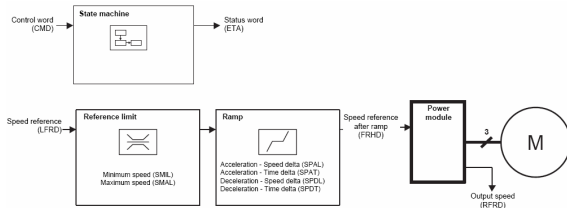


Slika 4: Integracija frekvenčnega pretvornika
Figure 4: Integration of the variable speed drive

3.3.2 Krmiljenje

Integracija frekvenčnega pretvornika v krmilni sistem je izvedena z izbiro enega od standardnih profilov delovanja, s katerim so določeni kanali za ukaze in referenco. V obravnavani aplikaciji je izbran profil DSP402, prikazan na sliki 5, z ločenima kanaloma za ukaze in referenco. Sekvence delovanja in nadzor so

izvedeni s kontrolno in statusno besedo, prek standardiziranega diagrama prehajanja stanj [5]. Kanal za ukaze so vhodni priključki, kanal za referenco pa je vodilo modbus.

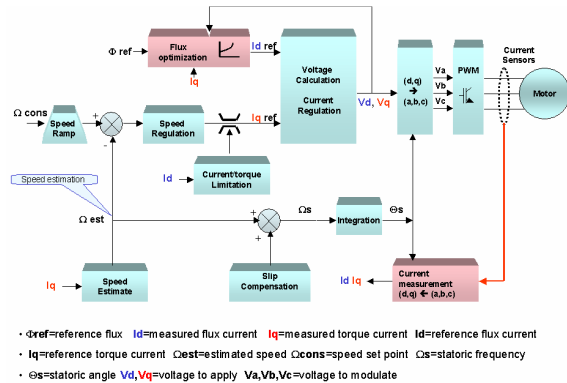


Slika 5: Način delovanja, definiran s profilom DSP402
Figure 5: DSP402 profile

3.3.3 Vodenje motorja

Sodobni frekvenčni pretvorniki pokrivajo širok spekter aplikacij. Z uporabo ustreznih vgrajenih regulacijskih funkcij lahko optimalno izkoristimo motor.

Na sliki 6 je prikazan izbrani model vektorske regulacije hitrosti motorja [5]. Uporaba funkcij za prilagajanje magnetilnega toka navoru, kompenzacija slipa in brezsenzorska meritev hitrosti omogoča jo racionalno vodenje motorja.



Slika 6: Model regulacije motorja
Figure 6: Motor control

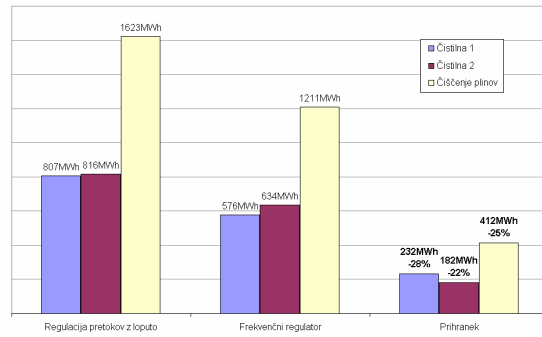
4 Doseženi rezultati

V nadaljevanju so prikazani rezultati, ki so bili doseženi na podlagi različnih meritev in analiz po izvedbi projekta.

4.1 Poraba električne energije

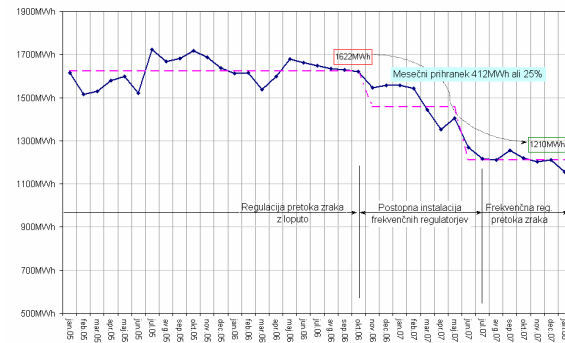
Najpomembnejši rezultat, ki je bil tudi glavni cilj projekta, je zmanjšanje porabe električne energije. Rezultat je prikazan na sliki 7 in izračunan glede na povprečno mesečno porabo energije v letih 2005-06, ki je znašala 807MWh v HC1 in 816MWh v HC2.

Po vgradnji regulatorjev se je poraba energije na HC2 zmanjšala za 182MWh ali 22 odstotkov pri pretoku 28m³/s. Na HC1 se je mesečna poraba zmanjšala za 232MWh ali 28 odstotkov pri pretoku 26m³/s. Na HC1 je izmerjeno večje zmanjšanje porabe energije zaradi manjših pretokov zraka.



Slika 7: Zmanjšanje porabe energije
Figure 7: Reduction of energy consumption

Časovni potek mesečne porabe energije za čiščenje plinov iz elektrolize z označenimi mejniki projekta je prikazan na sliki 8. Hkrati z vgrajevanjem frekvenčnih regulatorjev se je zmanjševala poraba energije s 1622MWh na 1210MWh na mesec.

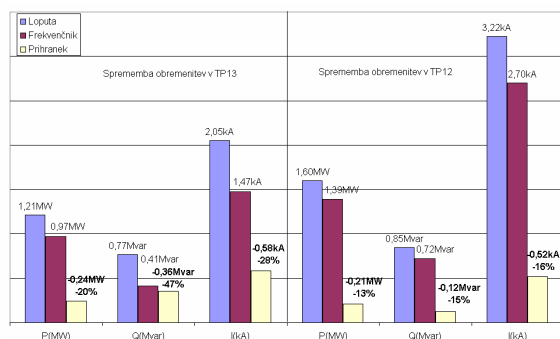


Slika 8: Zmanjšanje porabe energije glede na potek projekta
Figure 8: Reduction of energy consumption during the project

4.2 Razbremenitev transformatorskih postaj

V transformatorskih postajah smo izmerili vpliv frekvenčnih pretvornikov na delovno in jalovo moč, ter tok na sekundarju transformatorjev. Rezultati so prikazani na sliki 9.

V TP13 se je delovna moč zmanjšala za 0,24MW ali 20 odstotkov, jalova moč pa za 0,36Mvar ali 47 odstotkov. Tok na sekundarni strani pa se je zmanjšal za 0,58kA ali 28 odstotkov. V TP12 se je delovna moč zmanjšala za 0,21MW ali 13 odstotkov, jalova moč za 0,12Mvar ali 15 odstotkov tok na sekundarni strani pa se je zmanjšal za 0,52kA ali 16 odstotkov.

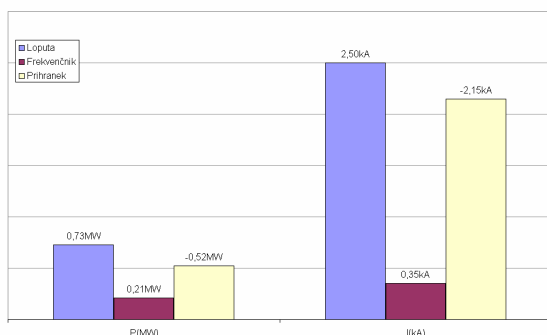


Slika 9: Razbremenitev transformatorskih postaj
Figure 9: Transformer substation unloading

4.3 Zagon motorja

Zagon motorja s frekvenčnim pretvornikom je v primerjavi z direktnim zagonom bistveno lažji, saj regulator postopoma povečuje število vrtljajev motorja, hkrati pa omejuje izhodni tok na 110 odstotkov nazivnega toka. Iz rezultatov meritev na sliki 10 je razvidno, da se je zagonski tok motorja zmanjšal za 8 krat.

Pomembna pridobitev, ki izhaja iz tega hiter zagon po ustavitvi. Pri direktnem zagonu je bil minimalni čas med dvema zagonoma motorja 20 minut. Z uporabo frekvenčnih regulatorjev je ta čas skrajšan na tri minute. Posledica hitrejšega starta čistilne naprave so manjše emisije plinov v okolje.



Slika 10: Zagon 250kW motorja (loputa/frekvenčnik)
Figure 10: Startup of a 250kW motor (damper/VSD)

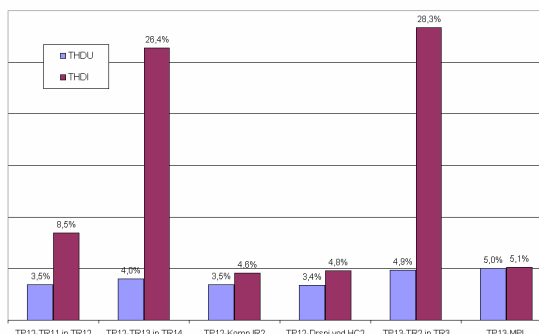
4.4 Popačenje toka in napetosti

Negativni učinek frekvenčnega regulatorja je povzročanje motenj v omrežju, saj je zaradi nelinearne karakteristike vir višjih harmonskih komponent toka.

Na sliki 11 so prikazani rezultati meritev popačenja toka in napetosti na sekundarju transformatorjev in ključnih porabnikov. Velikost izmerjenega tokovnega in napetostnega popačenja primerjamo s priporočili IEC za izvedbo električnih inštalacij:

- THDU < 5% in THDI < 10% - normalna situacija
- THDU < 5% in 10% < THDI < 50% - večje popačenje, mogoče motnje ali pregrevanje

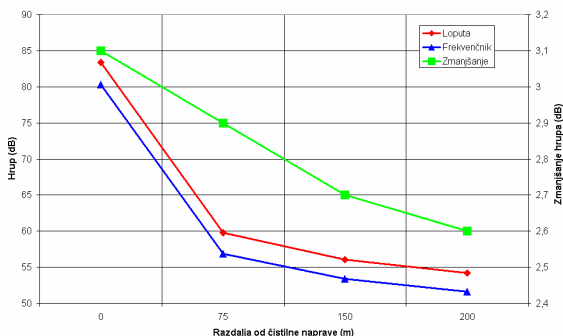
Meritve kažejo, da je na ključnih porabnikih (motorji, kompresorji, drsni vod) situacija normalna. Večje popačenje toka pa je izmerjeno na sekundarju transformatorjev, kar je skladno s pričakovanji, saj je pretežni del toka transformatorske postaje namenjen za ventilacijski sistem.



Slika 11: THDI in THDU v različnih točkah sistema
Figure 11: THDI and THDU at different system points

4.5 Zmanjšanje hrupa čistilne naprave

Izmerjeno je bilo občutno zmanjšanje hrupa čistilne naprave. Na sliki 12 je prikazan hrup kot funkcija razdalje od čistilne naprave pri delovanju z loputo in frekvenčnim pretvornikom. Ob ventilatorjih se je hrup zmanjšal s 83dB na 80dB, v okolici pa s 54dB na 51dB.



Slika 12: Hrup čistilne naprave na različnih razdaljah
Figure 12: Noise GTC at different distances

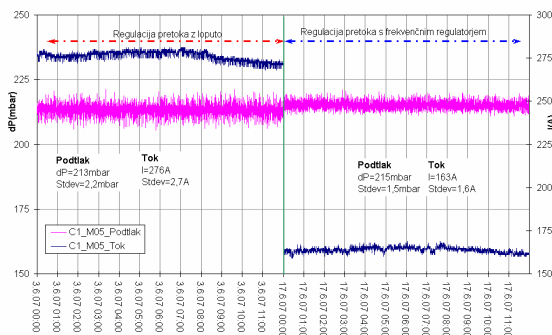
4.6 Temperatura stikalnih prostorov

Okoli 1,5 odstotka moči frekvenčnega regulatorja so toplotne izgube. Temperatura prostorov, kjer so nameščeni frekvenčni regulatorji se je povečala za okoli 12 °C.

Ker je v poletnih mesecih pričakovana zgornja temperatura prostora nad 40 °C je bilo treba namestiti klimatske naprave.

4.7 Tehnološke razmere na filtru

Na sliki 13 je prikazana primerjava podtlaka filtra in toka motorja ob regulaciji pretoka z loputo in regulaciji pretoka s frekvenčnim pretvornikom. Ob prehodu na frekvenčni regulator se je zmanjšalo nihanje podtlaka filtra, kar ugodno vpliva na proces čiščenja.



Slika 13: Podtlak filtra in tok motorja
Figure 13: Filter underpressure and motor current

5 Sklep

Predstavljen je bil uspešen projekt modernizacije naprave za čiščenje plinov iz elektrolize primarnega aluminija. Na sliki 14 je fotografija izvedbe instalacije šestih frekvenčnih pretvornikov. Zamenjava 12 regulacijskih loput s frekvenčnimi pretvorniki na

ventilacijskem sistemu je omogočila doseglo zastavljenih ciljev, saj se je poraba energije zmanjšala za 24 odstotkov, letno za 4,9GWh, hrup naprave za 3dB in emisije fluora v okolje zaradi hitrejšega ponovnega zagona sistema. Ekonomika projekta je izjemno ugodna, saj se samo z upoštevanjem prihranka električne energije naložba povrne v 11 mesecih, kar je spodbuden rezultat za izvedbo podobnih projektov.

Naslednji korak v modernizaciji čistilne naprave, ki ga omogoča frekvenčna regulacija ventilatorjev, pa bo integracija sistema za kontinuirano merjenje emisij plinov na dimnikih in v elektrolizni dvorani ter regulacija pretoka tudi glede na vsebnost fluorurja in drugih plinov.



Slika 14: Instalacija šest frekvenčnih regulatorjev 250kW
Figure 14: Installation of six VSD's

6 Literatura

- [1] Goodfellow: *Industrial ventilation design Guidebook*, USA 2001
- [2] Grjotheim, Welch: *Aluminium Smelter Technologies*, Aluminium Verlag, Dusseldorf, Germany 1982
- [3] Fatur: *Varčno z energijo pri elektromotornih pogonih*, Inštitut Jožef Stefan 1998
- [4] *Direktiva 2006/32/ES*, Uradni list Evropske unije L114/64
- [5] http://www.telemecanique.com/en/library/index_doc_tech_nique.htm

Anton Verdenik je diplomiral in magistriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Za magistrsko nalogo je dobil nagrado dr. Vratislava Bedjaniča. Zaposlen je v podjetju TALUM, d.d., kjer je odgovoren za razvoj in vzdrževanje sistemov za avtomatizacijo proizvodnje aluminija.