

ПОБОЉШАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ПУМПНОМ ПОСТРОЈЕЊУ ОДАБИРОМ ОДГОВАРАЈУЋЕГ ЕЛЕКТРОМОТОРНОГ ПОГОНА СА ФРЕКВЕНТОМ РЕГУЛАЦИЈОМ

Раденко Марјановић, *Arcelor Mittal Prijedor*, д.о.о. Приједор, Босна и Херцеговина
Петар Матић, *Електротехнички факултет, Бања Лука, РС Бања Лука, Босна и Херцеговина*

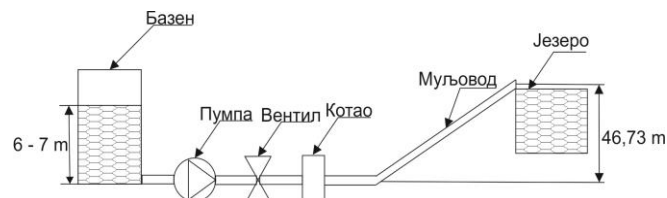
Садржај – Овај рад презентује студију побољшања енергетске ефикасности у пумпном постројењу рудника помоћу регулисаног погона са фреквенцијским регулатором. Истражено је како одабир одговарајућег електромоторног погона са асинхроним мотором промјенљиве брзине утиче на смањење утошене снаге, и показано је колике се уштеде могу остварити у односу на постојећи систем са синхроним мотором константне брзине.

Кључне ријечи - пумпа, асинхрони мотор, фреквентни регулатор, енергетска ефикасност.

1. УВОД

Електромоторни погони пумпних система у рачунима за утрошену електричну енергију заузимају 25 % до 50 % у индустрији. Утрошак електричне енергије за потребе пумпе може бити један од највећих ставки у рачуну ако пумпа ради више од 2000 радних часова годишње. Постоји велика могућност да се трошак за пумпу смањи путем одговарајућег пројектовања и избора пумпног система и контроле. Рад пумпе са промјенљивим протоком или лошим избором пумпе (предимензионисање) уобичајено захтјева коришћење вентила за пригушење, бајпаса и/или мотора са промјенљивом брзином да би се добио жељени проток. Вентил за пригушење може бити извор вибрација и буке, такође може доћи лијепљења материјала, кавитације, цурења, до оштећења вентила услед корозије. Најефикаснији начин манипулације протоком је подешавање брзине пумпе. Треба напоменути да снага пумпе зависи од куба брзине. Најбољи начин регулације протока је регулисање брзине обраћања пумпе, нпр. коришћењем фреквентног регулатора који има високу ефикасност, једноставно управљање, итд.

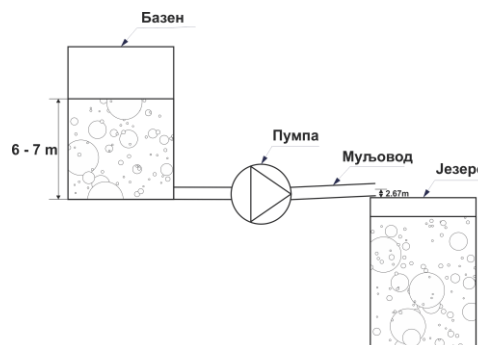
За потребе препумпавања муља из пумпне станице муља у руднику *ArcelorMittal Prijedor* користи се центрифугална пумпа *GPT 4000/71a* коју покреће синхрони мотор СДНЗ-16-41-12у3 номиналне брзине 500 об/мин, снаге 1250 kW и напона 6000V. Мотор је при раду узимао из мреже 1000 kW [1]. Капацитет пумпе је 3200 m³/h, а доток муља из система у пријемни базен, односно у пумпу је око 2200 m³/h. Пумпа кроз муљовод дужине 5465,27 m и унутрашњег пречника 700 mm препумпава муљ у акумулационо језеро Градина. Висинска разлика између осе излазне цијеви пумпе и осе цијеви на акумулационом језеру износи 46,73 m. Шема тренутног пумпног система и муљовода приказана је на слици 1.



Сл. 1. Шема пумпног система и муљовода

Због већег капацитета пумпе од дотока муља у пумпну станицу, регулација протока се врши пригушењем вентила. Котао за компензацију хидрауличног удара (приказан на слици 1) служи за смањење хидрауличног удара, односно смањења притиска у муљоводу.

Због будућих технолошких потреба, долази до промјене постојећег система, па ће се одлагање муља вршити на мјесту старог површинског копа. Удаљеност новог мјеста одлагања од постојеће пумпне станице је 3000 m, док је висинска разлика између осе излазне цијеви пумпе и осе цијеви на акумулационом језеру износи 2,67 m (слика 2). Због промјене технолошког процеса, искориштена је прилика да се истражи да ли се примјеном регулисаног погона може побољшати енергетска ефикасност постројења.



Сл. 2. Шема новог пумпног система и муљовода

Циљ рада је да утврди да ли би се у конкретном случају могао користити мотор мање снаге у односу на постојећи због смањења дужине цијевовода и смањења висинске разлике. Такође, потребно је размотрити до које границе би се могла смањити брзина обраћања мотора, без угрожавања технолошког процеса, а да се постигне увећана ефикасност. На крају, анализираће се колика уштеда се очекује у потрошњи електричне енергије у односу на постојећи систем.

2. СТАЊЕ НОВОГ СИСТЕМА

Да би се одабрао одговарајући погон пумпе, потребно је прво израчунати губитке новог муљовода и одредити радну криву новог система [2].

Манометарска висина дизања је:

$$H_m = H_g + H_l \quad (1)$$

Гдје су:

H_m - манометарска висина дизања [m];

H_g - геодетска висина дизања [m];

H_l - линијски губици у муљоводу [m].

Геодетска висина дизања при запуњености пријемног базена од 6 m је:

$$H_g = 2,67 - 6 = -3,33m \quad (2)$$

Линијски губици у муљоводу промјера цијеви $D=700\text{mm}$ и протока $Q=2500\text{m}^3/\text{h}=0,6944\text{m}^3/\text{sek}$ се рачунају на основу [2]:

$$H_l = L \cdot i \quad (3)$$

Гдје су L дужина цијевовода, i пад притиска у цијеви.

Пад притиска у цијеви износи:

$$i = 0,54 \sqrt{\frac{Q}{0,27854 \cdot C \cdot D^{2,63}}} = 0,54 \sqrt{\frac{0,6944}{0,27854 \cdot 100 \cdot 0,7^{2,63}}} = 0,0061 \text{ m/m} \quad (4)$$

Гдје је C коефицијент условљен унутрашњим стањем цијеви, за челичне цијеви старије од 5 година $C=100$. На основу тога линијски отпори у цијевоводу износе:

$$H_l = L \cdot i = 3000 \cdot 0,0061 = 18,3m \quad (5)$$

Потребан напор (манометарска висина дизања) муљне пумпе износи:

$$H_m = H_g + H_l + \Delta p = -3,33 + 18,3 + 5 = 19,97m \quad (6)$$

С обзиром на малу густину муља није потребна корекција напора за његов транспорт па се усваја да је потребни напор муљне пумпе 19,97 m или 196 J/kg.

За проток $Q=2500 \text{ m}^3/\text{h}$ или $0,6944 \text{ m}^3/\text{sek}$, напор $Y=196 \text{ J/kg}$ и максималну густину муља $\gamma_{\text{муљ}} = 1060 \text{ kg/m}^3$ потребан је електромотор снаге:

$$N = 1,05 \cdot \frac{Q \cdot Y \cdot \gamma_{\text{муљ}}}{1000 \cdot \eta} = 1,05 \cdot \frac{0,6944 \cdot 196 \cdot 1060}{1000 \cdot 0,65} = 233 \text{ kW} \quad (7)$$

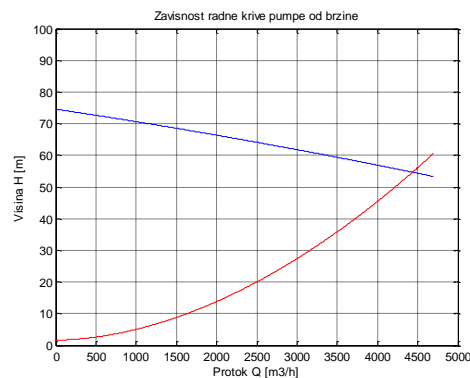
гдје је η степен искоришћења пумпе.

Због могућих потреба препумпавања муља на стару локацију, усваја се мотор снаге 500 kW и 500 ob/min чије карактеристике на основу [3] одговарају потребама старог система.

На основу радног дијаграма из [4] и коришћењем функције *polyfit* програмског пакета *Matlab* добијамо да је функцију која описује висину дизања пумпе у зависности од протока, односно:

$$H = -2,014 - 12,259Q + 79,285Q^2 \quad (8)$$

Радна крива пумпе и крива система за ново мјесто одлагања муља приказани су на слици 3.



Сл. 3. Зависност пумпног система од протока

Са слике 3 се види да је са нови радним системом потребна и мања брзина обртања пумпе у односу на постојећи систем.

3. ПРОРАЧУН ПОТРЕБНЕ БРЗИНЕ

Да бисмо одредили оптималну брзину конкретне пумпе потребно је да одредимо зависности радних величина пумпе од промјене брзине.

$$Q \sim n \quad (9)$$

$$H \sim n^2 \quad (10)$$

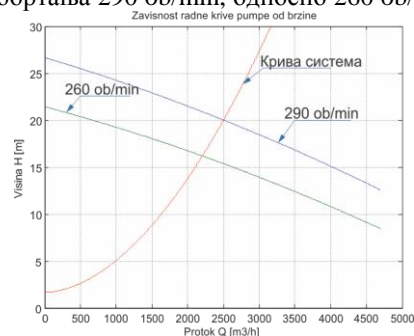
$$P \sim n^3 \quad (11)$$

Посматраћемо два радна режима пумпе. Пумпа је у 2014. години радила око 4800 радних часова. Од тога је 4100 радних часова радила при стандардном режиму рада постројења (доток муља $Q=2500\text{m}^3/\text{h}=0,6944\text{m}^3/\text{sek}$), а 700 радних часова је радила при режиму филтрације постројења (доток муља $Q=2200\text{m}^3/\text{h}=0,6111\text{m}^3/\text{sek}$). На основу једначина (2) до (6) и једначина (9) и (10) подаци за ове протоке приказани су у Табели 1.

Табела I. Оптимални подаци пумпног система за различите протоке

	H_g [m]	i	H_l [m]	H_m	n [ob/min]
$Q=2500 \text{ m}^3/\text{h}$	-3,33	0,0061	18,3	19,96	290
$Q=2200 \text{ m}^3/\text{h}$	-3,33	0,0048	14,4	16,12	260

На слици 4 приказане су радне криве пумпе при брзинама обртања 290 ob/min, односно 260 ob/min.



Сл. 4. Зависност радне криве пумпе од брзине

При новим брзинама имамо да мотор из мреже узима слjedeће снаге:

$$\left. \begin{array}{l} P_{500} \sim n_{500}^3 \\ P_{290} \sim n_{290}^3 \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} 500 \cdot 10^3 \sim 500^3 \\ P_{290} \sim 290^3 \end{array} \right\} \Rightarrow P_{290} = 500 \cdot 10^3 \left(\frac{290}{500} \right)^3 = 97,5 \text{ kW} \quad (12)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{500} \sim n_{500}^3 \\ P_{260} \sim n_{260}^3 \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} 500 \cdot 10^3 \sim 500^3 \\ P_{260} \sim 260^3 \end{array} \right\} \Rightarrow P_{260} = 500 \cdot 10^3 \left(\frac{260}{500} \right)^3 = 70,3 \text{ kW} \quad (13)$$

На бази једначине (8) хидрауличне снаге за протоке и одговарајуће висине $(Q;H)=(2500; 19,96)$, $(Q;H)=(2200; 16,12)$ су респективно:

$$P_{hid1} = \gamma_{\text{м.в.}} g H_1 Q_1 = 1060 \cdot 9,81 \cdot 19,96 \cdot 0,6944 = 144 \text{ kW} \quad (14)$$

$$P_{hid2} = \gamma_{\text{м.в.}} g H_2 Q_2 = 1060 \cdot 9,81 \cdot 16,12 \cdot 0,6111 = 102,4 \text{ kW} \quad (15)$$

Из једначина (14) и (15) се види да је потребна хидрауличка снага већа од снаге мотора при смањеним брзинама. Додатна регулација протока би се морала вршити пригушењем вентила. Међутим, у пракси, на бази искустава се очекује да због старости пумпе, односно лошијег стања радног кола и кућишта пумпе, регулација вентилом ће се вршити врло мало или уопште неће бити потребна.

4. УШТЕДЕ И РОК ОТПЛАТЕ

Са новим системом очекују се велике уштеде у потрошњи електричне енергије. Замјеном синхроног мотора мотора 1250 kW са новим асинхроним од 500 kW добиће се уштеда у једноставнијем и јефтинијем одржавању. Даље, коришћењем регулације брзине мотора са фреквентним регулатором, мотор ће из мреже узимати око 100 kW, односно 70 kW. Са електротехничке стране добре особине регулацијом брзине фреквентним регулатором су „мекан“ старт (полазна струја $1,5I_n$), мања струја у трајном раду. На овај начин су елиминисани струјни удари на мрежу при старту, а такође и механички удари на мотор и пумпу.

Користиће се нисконапонски систем (трансформатор 6kV/690 V, фреквентни регулатор, мотор) због мање цијене инвестиције у односу на средњенапонски систем (цијена НН система је око 135000 ВАМ, а цијена СН система је око 180000 ВАМ).

Уштеде у електричној енергији у два нова радна режима у односу на постојећи режим рада са синхроним мотором су:

$$\Delta P_{290} = P_{500} - P_{290} = 1000 - 97,5 = 902,5 \text{ kW} \quad (16)$$

$$\Delta P_{260} = P_{500} - P_{260} = 1000 - 70,3 = 929,7 \text{ kW} \quad (17)$$

Како пумпа током године ради са протоком $Q=2500 \text{ m}^3/\text{h}$ око 4800 часова и са протоком $Q=2200 \text{ m}^3/\text{h}$ око 700 часова, а цијена за потрошену електричну енергију је 0,065 ВАМ/kWh, имамо да су уштеде електричне енергије промјеном брзине за ова два режима:

$$C_{e1} = \Delta P_{290} \cdot c_e \cdot T_1 = 902,5 \cdot 0,065 \cdot 4100 = 240.516 \text{ ВАМ} \quad (18)$$

$$C_{e2} = \Delta P_{260} \cdot c_e \cdot T_2 = 929,7 \cdot 0,065 \cdot 700 = 42.301 \text{ ВАМ} \quad (19)$$

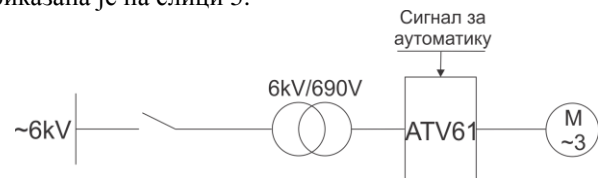
Укупна уштеда у електричној енергији и одржавању при регулацији брзине пумпе фреквентним регулатором је:

$$C_e^{\text{укупно}} = C_{e1} + C_{e2} = 240516 + 42301 = 282817 \text{ ВАМ} \quad (20)$$

Из (20) видимо да су укупне уштеде у електричној енергији око 283.000 ВАМ на годишњем нивоу.

5. ТЕХНОЛОШКА РЕАЛИЗАЦИЈА ФРЕКВЕНТНИ РЕГУЛАТОР-СИНХРОНИ МОТОР

За регулацију брзине користиће се суви трансформатор *Schneider Electric „Trihal“* 6 kV/690 V 850 kVA, фреквентни регулатор *Schneider Electric Altivar 61* и асинхронни електромотор *АТБ Север* 500 kW и 496 об/мин. Трансформатор ће се напајати из већ постојеће СН хелије. За аутоматизацију регулације брзине *Altivar 61* има *PID* регулатор који регулише брзину мотора на основу нивоа воде у пријемном базену. Податке о нивоу воде *PID* регулатор добија од сонде која се налази на дну пријемног базена. Шема система цијелокупног система приказана је на слици 5.



Сл. 5. Шема електромоторног погона

Процењена цијена опреме и извођења радова је око 135.000 ВАМ.

6. ЗАКЉУЧАК

У раду смо истражили како одабир регулисаног електромоторног погона са асинхроним мотором на постојећој пумпи утиче на смањење трошкова пумпног система и потрошње електричне енергије, односно увећање енергетске ефикасности.

Показали смо да губици центрифугалне пумпе зависе од вриједности Q и H , односно од различитих радних тачака. Код центрифугалних пумпи висина дизања флуида зависи од протока. Ова релација се назива радна карактеристика пумпе и илустрована је кривим за различите вриједности протока. Рачунским путем доказане су уштеде при одабиру одговарајућег система за погон пумпе при промјени цијевовода и уштеде електричне енергије регулацијом брзине мотора фреквентним регулатором, односно регулацијом протока за два карактеристична радна режима пумпног система. Такође коришћењем фреквентног регулатора добија се „мекан“ старт мотора и смањују се механички удари на мотор и центрифугалну пумпу.

Упоредицањем вриједности уштеда коришћењем фреквентног регулатора и цијене улагања у нови систем, видимо да се инвестиција отплаћује за пола године.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Раденко Марјановић, „Моделовање и анализа рада високонапонског синхроног мотора у погону помпне

станции,“ Електротехнички факултет Бања Лука, 2013.

- [2] Допунски рударски пројекат – Пројект депоније муља, Приједор, 2014.
- [3] Раденко Марјановић, „Побољшање енергетске ефикасности у пумпном постројењу коришћењем фреквентног регулатора,“ ЕНЕФ Бања Лука, 2013.
- [4] Technical and accompanying document for 4000/71&4000/71a, USSR, 1982.
- [5] UQ-75-03/21, „Упутство руковањем пумпном станицом муља,“ ArcelorMittal Prijedor, 2005.

Abstract - This paper presents a study of improving energy efficiency in pumping plant mines using regulated drives with frequency converter. Explored how selected the appropriate electric drives with induction motor with variable speed impact on reducing power, and it is shown how much savings can be achieved compared to the existing system with synchronous motor at a constant speed.

Improving energy efficiency in pumping systems by selecting appropriate electric drive with a frequency regulation

Radenko Marjanović
Petar matić