

Vizuelizacija parametara rada i daljinsko upravljanje proizvodnjom nafte implementacijom SCADA sistema

STEVICA M. JANKOV, Univerzitet u Novom Sadu,
Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin
ORCID: 0009-0000-6503-8200

SANJA M. STANISAVLJEV, Univerzitet u Novom Sadu,
Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin
ORCID: 0000-0003-3565-2597

BORIVOJ Z. NOVAKOVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,
Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin
ORCID: 0000-0003-2816-3584

LUKA R. ĐORĐEVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,
Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin
ORCID: 0000-0003-4578-9060

Stručni rad

UDC: 622.276.054

DOI: 10.5937/tehnika2505501J

Autori su u radu istraživali sistem za proizvodnju nafte klipnim pumpama, koji predstavlja značajan deo globalne industrije, oslanjajući se na mehaničku metodu eksploatacije koja zahteva optimizaciju u cilju smanjenja potrošnje energije i povećanja efikasnosti. U radu se analizira primena SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistema, koja omogućava praćenje i vizuelizaciju ključnih parametara rada, čime se stvara prediktivno održavanje koje može značajno poboljšati performanse u proizvodnji nafte. Uzimajući u obzir različite varijable, kao što su specifični uslovi bušotine i svojstva rezervoara, implementacija savremenih tehnologija, uključujući IoT, omogućava integraciju podataka u realnom vremenu, što doprinosi optimizaciji procesa. Ključni elementi SCADA sistema uključuju senzore, programabilne logičke kontrolere (PLC) i nadzorne računare koji omogućavaju prikupljanje, obradu i analizu podataka. Kroz korišćenje AVEVA platforme, vizuelizacija prikupljenih podataka omogućava specijalistima da reaguju na vanredne situacije, smanjujući vreme zastoja i povećavajući produktivnost. Ovaj inteligentni sistem upravljanja omogućava analizu i prediktivno delovanje, što je ključno za unapređenje efikasnosti i smanjenje troškova održavanja.

Ključne reči: SCADA, vizuelizacija, daljinsko upravljanje, optimizacija, proizvodnja nafte, prediktivno

1. UVOD

Značajan deo svetske proizvodnje nafte oslanja se na primenu mehaničke metode eksploatacije, što čini minimizaciju potrošnje energije ključnim aspektom u proizvodnji ovog esencijalnog resursa. Sa brojnim bušotinama koje koriste električno pokretane klipne pumpe, pravilno dimenzionisanje glavnih pogona i optimizacija geometrije kačaljki i režima rada postali su od najveće važnosti. Optimizacija sistema za meha-

ničku metodu eksploatacije nafte predstavlja dugo-godišnji izazov koji i dalje zaokuplja istraživače i stručnjake iz ove oblasti industrije. Efikasno rešavanje ovog složenog problema zahteva višestrani i integrisani pristup, koji uključuje pažljivo razmatranje širokog spektra varijabli, uključujući specifične uslove bušotine, jedinstvena svojstva rezervoara i složene specifikacije uključene opreme. Krajni cilj je osmisliti rešenje za mehaničku metodu eksploatacije nafte koje povećava efikasnost uz minimiziranje troškova [1, 2].

Sistem za proizvodnju nafte klipnim pumpama može se optimizovati korišćenjem SCADA sistema za monitoring rada bušotina, kao i vizuelizaciju parametara rada i upravljanje proizvodnjom putem AVEVA platforme. Ova integracija omogućava efikasno praćenje i upravljanje procesima, čime se dodatno

Adresa autora: Stevica Jankov, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, Đure Đakovića bb

e-mail: stevica.jankovic@nis.rs

Rad primljen: 07.08.2025.

Rad prihvaćen: 04.09.2025.

povećava produktivnost i smanjuju operativni troškovi.

S pojavom četvrte industrijske revolucije i napretkom računarskih i vizuelizacionih tehnologija, došlo je do nove ere u oblasti održavanja, poznate kao prediktivno održavanje. Ovaj koncept nadilazi samo predviđanje kvarova i fokusira se na proaktivno i pametno planiranje održavanja, omogućavajući mašinama da samostalno donose odluke i usmeravaju korisnike ka rešenjima [3, 4].

Prediktivni koncept održavanja sačinjen je od tri ključna koraka prema [5, 6], a to su:

- Prikupljanje relevantnih podataka za stvaranje uspešnog sistema,
- Obrada podataka (upravljanje dobijenim informacijama), obrada signala bitnih za razumevanje problematike sistema,
- Donošenje odluke o načinu održavanja na bazi prikupljenih podataka, predlaganje efikasne politike održavanja.

Praćenje parametara rada sistema za proizvodnju nafte omogućeno je industrijskim SCADA sistemom.

SCADA je skraćenica od Supervisory Control and Data Acquisition (Nadzorna kontrola i prikupljanje podataka). To je opšti termin koji se koristi za označavanje grupa hardverskih i povezanih softverskih uređaja koji omogućavaju nadzor i kontrolu operativnih procesa, obično u proizvodnim pogonima i industrijskim uslovima. Prikupljanje i čuvanje podataka praćeno je obradom, evidentiranjem i vizuelizacijom prikupljenih podataka. Instrumentacija i kontrola kritičnih operativnih parametara u većini procesa proizvodnje nafte i gasa omogućeni su primenom terenskih instrumentalnih uređaja kao što su predajnici, prijemnici, senzori, aktuatori, pumpe i ventili. Prikupljanje podataka i komunikacija korektivnih mera terenskim instrumentalnim uređajima omogućena je primenom mikro kontrolera u SCADA sistemu. Programabilni logički kontroleri (PLC) i terminalne jedinice (TU) pomažu u usmeravanju prikupljenih podataka putem komunikacionih kanala do centralnih SCADA računara koji se nazivaju glavne terminalne jedinice (MTU). Softver na MTU-ovima pruža odgovarajući interfejs čovek-mašina (HMI) za analizu, tumačenje i vizuelizaciju procesnih promenljivih. Indikatori i upozorenja takođe pomažu operaterima da identifikuju i reaguju na vanredne događaje [1,7]. SCADA arhitektura koja se koristi u ovom radu je SCADA četvrte generacije zasnovana na okviru Interneta stvari. Primena softvera i elektronike na senzore ugrađene u kritične procese, distribuirani računarski resursi u SCADA sistemima zasnovanim na IoT-u mogu da skupljaju, evidentiraju, obrađuju i vizuelizaciju podatke prikupljene daljinski koristeći internet ko-

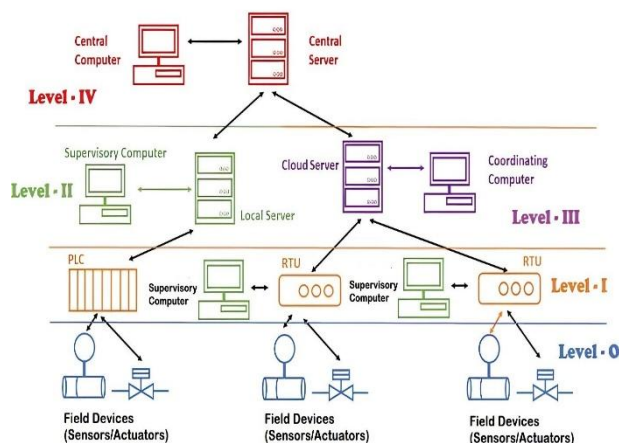
nekciju. Jezgro SCADA servera zasnovanog na IoT-u, predloženog u ovoj studiji, je Node-RED server raspoređen na lokalnom računaru [8-11].

2. OSNOVNI ELEMENTI SISTEMA SCADA

Pojava Industrije 4.0 uvela je novu eru industrijskih inovacija, koju karakteriše integracija sajber-fizičkih sistema i Interneta stvari (IoT - Internet of Things). Ova tehnološka revolucija ima značajne implikacije na različite sektore, uključujući oblast sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka (SCADA) [1].

Ključne karakteristike SCADA sistema su prikazane na slici 1. SCADA se sastoji od senzora koji prikupljaju podatke u realnom vremenu iz fizičkih procesa i služe kao sistem za prikupljanje podataka. Aktuatori u SCADA sistemima vrše kontrolu izvršavanjem komandi na osnovu obrađenih podataka. Nadzorni sistemi podržavaju praćenje vizuelizacijom statusa procesa za operatore, dok hijerarhijski komunikacioni sistemi između nivoa obezbeđuju besprekoran rad integrišući podatke iz više izvora za analizu od strane centralizovanih servera [1].

Priloženi dijagram ilustruje hijerarhijsku strukturu tipičnog SCADA (nadzorno upravljanje i prikupljanje podataka) sistema, prikazujući njegove različite operativne nivoe i komponente.



Slika 1 - Sistem pumpe i elektromotora u podstanciji

Nivo 0, Terenski uređaji: Ovaj nivo uključuje senzore i aktuatora koji direktno interaguju sa fizičkim procesima (npr. senzori temperature, merači protoka, ventili). Ovi uređaji prikupljaju sirove podatke i izvršavaju kontrolne komande [12].

Nivo I, PLC-ovi i RTU-ovi: Programabilni logički kontroleri (PLC) i udaljene terminalne jedinice (RTU) su odgovorni za obradu podataka sa terenskih uređaja. RTU-ovi su odgovorni za prikupljanje podataka u realnom vremenu i komunikaciju sa glavnim terminalnim jedinicama (MTU). Oni deluju kao posrednici

između terenskih uređaja i nadzornih računara [13]. PLC-ovi su kontroleri industrijskog kvaliteta dizajnirani za specifične zadatke u kritičnoj infrastrukturi [14].

Nivo II, Nadzorni računari: Nadzorni računari prate i kontrolišu procese komunikacijom sa PLC-ovima i RTU-ovima. Nadzorni računari agregiraju podatke sa nivoa I uređaja, upravljaju HMI-ima i generišu korisne uvide [15]. Lokalne servere takođe mogu biti prisutne na ovom nivou radi privremenog skladištenja podataka. Kontrolni centar u SCADA arhitekturi uključuje servere, HMI-je i baze podataka za praćenje u realnom vremenu [12].

Nivo III, Koordinacioni sistemi: Ovaj nivo uključuje koordinirajuće računare i klad servere koji agregiraju podatke iz više nadzornih sistema. Klad serveri omogućavaju daljinski pristup SCADA podacima za centralizovano praćenje [15]. Ovaj sloj podržava IoT integraciju za naprednu automatizaciju i udaljeni pristup [14].

Nivo IV, Centralni serveri: Centralni serveri čuvaju sve prikupljene podatke za dugoročnu analizu i donošenje odluka. Oni pružaju nadzor na visokom nivou nad celim SCADA sistemom. Ovi serveri integrišu podatke iz više izvora za donošenje odluka u

sektorima kritične infrastrukture poput energetike i transporta [12].

3. MATERIJALI I METODE

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) i AVEVA su povezani na način da AVEVA nudi softverska rešenja koja podržavaju SCADA sisteme. AVEVA razvija različite alate i platforme za upravljanje procesima, vizualizaciju podataka i analizu, koje često uključuju SCADA funkcionalnosti. AVEVA je poznata po svojim rešenjima za industrijsku automatizaciju i nadzor, koja omogućavaju korisnicima da prate, analiziraju i optimizuju različite procese u realnom vremenu. Ovo uključuje integraciju sa PLC-ovima, RTU-ovima i drugim uređajima koji su deo SCADA sistema. Ukratko, AVEVA može biti platforma koja implementira SCADA funkcionalnosti, pružajući korisnicima alate za efikasno upravljanje i nadzor fizičkih sistema i procesa.

AVEVA sistem je iskorišćen za vizuelizaciju procesa koji omogućava specijalistima da reaguju na vanredne okolnosti. Na slici 2 prikazana je vizuelizacija podataka prikupljenih sa senzora, opisanim prenosom podataka iskorišćena za analizu i donošenje odluka.



Slika 2 - Vizuelizacija parametara rada AVEVA

Na ovoj slici su prikazani svi potrebni parametri rada bušotine u realnom vremenu. Vizuelizacijom procesa i promenom parametara mogu se uočiti nepravilnosti rada u samom njihovom začecju kada ima dovoljno vremena za reagovanje da se nepravilnosti otklone. Prilikom praćenja, moguć je odabir vremenskog intervala koji se posmatra uključujući sve istorijske podatke koji su akumulirani od primene SCADA sistema.

Svaki od prikazanih parametara se može posebno posmatrati i analizirati. Obzirom na ogroman broj parametara rada, sa preciznošću se može uočiti problem i predvideti vreme otkaza sistema. Inteligentni sistem upravljanja sam prijavljuje anomalije u radu koje specijalista uočava i izdaje zahteve za servisiranje sistema pre zastoja.

4. UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM NAFTE PRAĆENJEM PARAMETRA RADA I NJHOVOM VIZUELIZACIJOM

Balans sistema

Praćenjem parametara rada bušotine „B-1“ uočena je reaktivna snaga motora (snaga motora sa predznakom „-,“). Vršna snaga i vršna jačina struje su bile mnogo veće od nominalnih. Nominalna snaga motora je 5,5 kW, dok je on radio snagom 7 kW.

Nominalna jačina struje motora 5,5 kW je 12 A, a motor je radio jačinom struje 17 A. Nakon balansiranja kačaljke snaga motora i jačine struje su se vratile u okvire nominalnih vrednosti. Na slici 3 prikazan je dijagram na kome su prikazani parametri rada pre i posle balansiranja.



Slika 3 - Dijagram frekvencije, snage motora i jačine struje motora pre i posle balansiranja kačaljke

Vizuelizacijom rada kačaljke utvrđena je potreba za balansiranjem sistema pre nastanka havarije.

Ovakvim reagovanjem došlo je smanjenja potrošnje električne energije, smanjenja reaktivne snage i

obrnog momenta. Smanjeni su operativni troškovi održavanja, povećala ekonomska isplativost proizvodnje i produžio vek trajanja opreme.

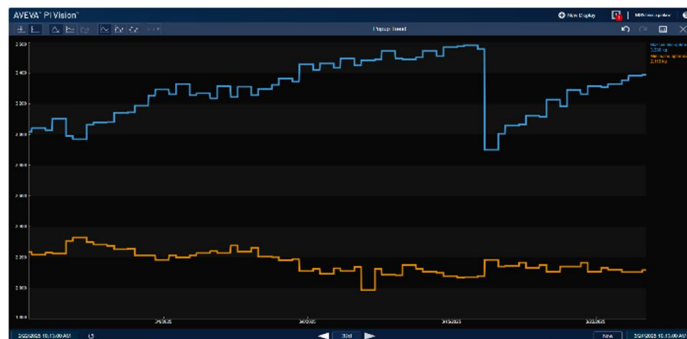


Slika 4 - Dijagram obrtnog momenta motora pre i posle balansiranja kačaljke

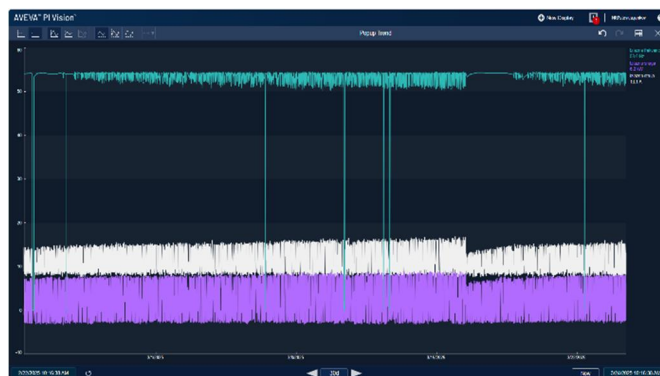
Parafinizacija bušotine

Na slici 5 prikazan je trend porasta opterećenja na glatku šipku usled postepene parafinizacije, dok je na

slici 6 prikazano povećanje vršnih struja i vršnih snaga usled parafinizacije, odnosno dovođenje ovih parametara u nominalno stanje nakon izvršene deparafinaže.



Slika 5 - Kretanje opterećenja na glatku šipku u funkciji vremena tokom parafinizacije i nakon deparafinaže



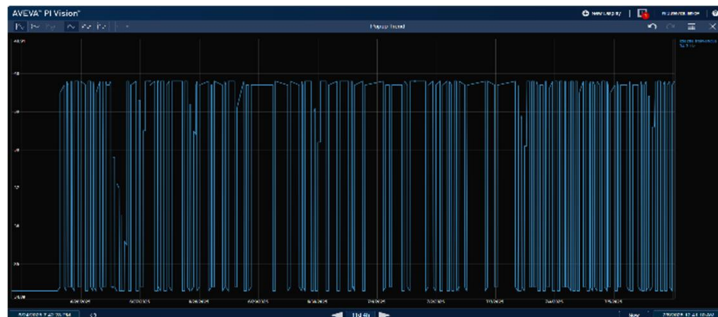
Slika 6 - Kretanje vršne struje, vršne snage i frekvencije u funkciji vremena tokom parafinizacije i nakon deparafinaže

Pump-Off

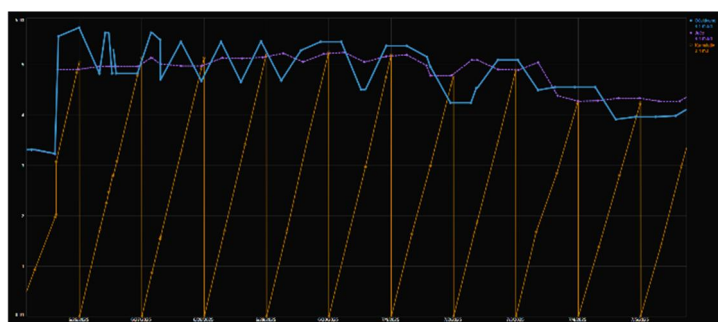
Na slici 7 prikazana je automatska promena frekvencije nakon urađene cirkulacije bušotine.

Prilikom ustaljenog dinamičkog nivoa na $H_d = 990$ m, motor je radio frekvencijom 35 Hz. Posle cirkulacije, dinamički nivo je porastao i ustalio se na $H_d = 560$ m.

Inteligentni sistem upravljanja je detektovao promenu dinamičkog nivoa i automatski povećao frekvenciju rada motora na 40 Hz.



Slika 7 - Dijagram automatske promene frekvencije motora usled povećanja nivoa u bušotini



Slika 8 - Dijagram povećanja proizvodnje nafte usled automatskog povećanja frekvencije motora

Povećanjem frekvencije povećala se i proizvodnja fluida sa $Q_f = 3,6 \text{ m}^3$ na $Q_f = 5,9 \text{ m}^3$. Na slici 8 prikazano je povećanje proizvodnje fluida porastom dinamičkog nivoa.

Podešavanjem graničnih parametara i pomoću frekventnog regulatora urađena je automatska optimizacija proizvodnje (nezavisno od uticaja specijaliste).

5. ZAKLJUČAK

Zaključak ovog istraživanja naglašava značaj optimizacije mehaničke metode eksploatacije nafte kako bi se postigla veća efikasnost i smanjili troškovi proizvodnje. Korišćenjem električno pokretanih klipnih pumpi, pravilno dimenzionisanje glavnih pogona i optimizacija geometrije kačaljki, kao i režima rada, igraju ključnu ulogu u ostvarivanju ovih ciljeva.

Integracija SCADA sistema za praćenje rada bušotina i vizualizaciju radnih parametara, uz upravljanje proizvodnjom putem AVEVA platforme, predstavlja savremeni pristup koji omogućava detaljno razumevanje i kontrolu procesa.

Kontinuirano istraživanje i razvoj u ovoj oblasti su neophodni kako bi se odgovorilo na sve veće izazove u industriji, a efikasna rešenja će doprineti održivijem korišćenju resursa i optimizaciji operativnih troškova.

LITERATURA

- [1] Osaretin, C. A. Feasibility study, design, *Dynamic modelling, simulation, ancontrol of a solar-powered sucker rod oil pump*, 2025.
- [2] Gao Z. W. & Jia S. Modeling and Control for Beam Pumping Units: An Overview. *Processes*, 12(7), 2024.
- [3] Lee J, Ni J, Singh J, Jiang B, Azamfar M. & Feng J. Intelligent maintenance systems and predictive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110805, 2020.
- [4] Lin D, Banjevic D. & Jardine A. K. Using principal components in a proportional hazards model with applications in condition-based maintenance. *Journal of the Operational Research Society*, 57(8), 910–919, 2006.
- [5] Lee J, Abujamra R, Jardine A. K, Lin D. & Banjevic D. An integrated platform for diagnostics, prognostics and maintenance optimization. *Proceedings of the Intelligent Maintenance Systems*, 15–27, 2004.
- [6] Jardine A. K, Lin D. & Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510, 2006.

- [7] Takacs, G. Sucker-rod pumping handbook: Production engineering fundamentals and long-stroke rod pumping. *Gulf Professional Publishing*, 2015.
- [8] Muryskina K. & Muryskin A. *Automation of Process of The Setting Up Well Model in Updating of The Integrated Asset Model for Wells Operated by Sucker Rod Pumps*. 2021(1), 1–6, 2021.
- [9] Aliev T, Rzayev A, Guluyev G, Alizada T. & Rzayeva N. Robust technology and system for management of sucker rod pumping units in oil wells. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 99, 47–56, 2018.
- [10] Gizatullin F, Khakimyanov M. & Khusainov F. *Features of electric drive sucker rod pumps for oil production*. 944(1), 012039, 2018.
- [11] Liang X, Xing Z, Yue Z, Ma H, Shu J. & Han G. Optimization of energy consumption in oil fields using data analysis. *Processes*, 12(6), 1090, 2024.
- [12] Ogunmesa, O. Strategies Security Managers Used to Prevent Security Breaches in SCADA Systems' *Networks*, 2021.
- [13] Yadav G. & Paul K. Architecture and security of SCADA systems: A review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 34, 100433, 2021.
- [14] Danylenko M. & Sotnik S. *Comparative analysis of modern SCADA packages for production automation*, 2025.
- [15] Wali A. & Alshehry F. A survey of security challenges in cloud-based SCADA systems. *Computers*, 13(4), 97, 2024.

SUMMARY

VISUALIZATION OF OPERATION PARAMETERS AND REMOTE MANAGEMENT OF OIL PRODUCTION THROUGH THE IMPLEMENTATION OF SCADA SYSTEM

The authors investigated the system for oil production using piston pumps, which represents a significant part of the global industry, relying on a mechanical exploitation method that requires optimization to reduce energy consumption and increase efficiency. The paper analyzes the application of SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems, which enable monitoring and visualization of key operational parameters, thereby creating predictive maintenance that can significantly improve oil production performance. Considering various variables, such as specific well conditions and reservoir properties, the implementation of modern technologies, including IoT, allows for real-time data integration, contributing to process optimization. Key elements of the SCADA system include sensors, programmable logic controllers (PLCs), and supervisory computers that facilitate data collection, processing, and analysis. Through the use of the AVEVA platform, the visualization of collected data enables specialists to respond to emergencies, reducing downtime and increasing productivity. This intelligent management system allows for analysis and predictive action, which is crucial for improving efficiency and reducing maintenance costs.

Key Words: SCADA, visualization, remote control, optimization, oil production, predictive