



RAZVOJ ALGORITMA ZA REGULACIJU BRZINE SISTEMA TRAČNIH TRANSPORTERA

**Borislav Jeftenić, Leposava Ristić, Milan Bebić, Saša Štatkić, Neša Rašić,
Dragan Jevtić, Milorad Gvozdenović**

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu Beograd, Srbija,
e-mail: pogoni@etf.rs

Sadržaj: U okviru izgradnje novih BTO (bager–traka - odlagač) sistema – petog i šestog na površinskom kopu „Drmno”, Kostolac, a u skladu sa najnovijim trendovima u svetu, u toku su završni radovi na realizaciji sistema za daljinski nadzor i upravljanje (SCADA) sistemom tračnih transportera. U radu je prikazan razvoj algoritma za regulaciju brzine sistema tračnih transportera po kriterijumu maksimalne popunjenosti trake, čija je implementacija u PLC-u u kontrolnom centru u toku, sa ciljem da se postigne povećanje efikasnosti proizvodnje kroz povećanje kapacitivnog i vremenskog iskorišćenja sistema. U radu su prikazani rezultati simulacija na odgovarajućem modelu datog sistema.

Ključne reči: maksimalna popunjenost trake, sistem tračnih transportera, PLC, frekventni pretvarači, referentna brzina

1. UVOD

Tračni transporter je rudarska mašina koja sledi bager u tehnološkom nizu, odnosno u smeru kretanja materijala. U zavisnosti od uloge, mogu biti etažni, vezni, ili odlagališni, sa dužinama koje određuje topologija površinskog kopa. Kod tračnih transportera velikih kapaciteta, najvažniji napredak je ostvaren primenom regulisanih pogona sa kaveznim asinhronim motorima velike snage napajanim iz frekventnih pretvarača [1], koji su zamenili asinhronne motore sa namotanim rotorom i upuštačima. Široka oblast regulacije broja obrtaja i momenta motora omogućava meko pokretanje, tako da se zatezna sila u traci menja daleko manje nego kod klasičnih rešenja pogona sa hidrodinamičkom spojnicom ili sa motorom sa namotanim rotorom. Kočenje se vrši takođe električnim putem do minimalnog broja obrtaja, sa unapred odabranim i kontrolisanim usporanjem.

Upravljanje sistemom je realizovano iz jedinstvenog dispečerskog centra u kojem je dostupna vizuelizacija parametara sistema bitnih za tehnološki proces. SCADA sistemom u dispečerskom centru omogućava se uvid u sve parametre upravljačkog sistema, korišćenjem prilagođenih grafičkih prikaza, prema potrebama rukovaoca. Na ovaj način je značajno olakšana i ubrzana kompletna dijagnostika tračnih transportera, čime su skraćena vremena zastoja izazvana otkazivanjem

elemenata. Ovo se takođe odražava na vremensko iskorišćenje sistema.

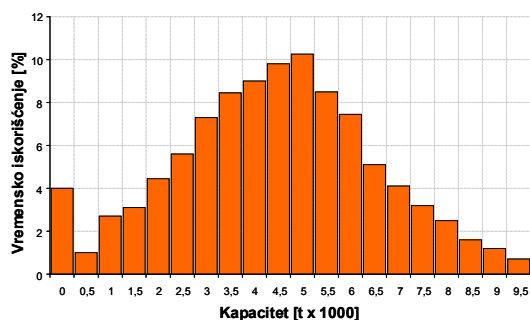
Kod BTO sistema, kod kojih nije realizovan daljinski nadzor i upravljanje iz jedinstvenog kontrolnog centra, pokretanje sistema odvija se redosledom suprotnim od smera kretanja transportovanog materijala. U sistemu prvo kreće odlagač. Tek kada trake na odlagaču dostignu 80% nominalne brzine, smatra se da su spremne za prihvatanje materijala, upravljački sistem odlagača daje signal za rad prethodnom transporteru, u ovom slučaju odlagališnom. Odlagališni tračni transporter se pokreće i po dostizanju unapred definisane brzine trake, prosleđuje signal za start veznom transporteru i tako redom do bagera, koji se poslednji pokreće. Zaustavljanje bilo koje rudarske mašine u tehnološkom nizu, uslovljava zaustavljanje svih ostalih koje su pre nje u smeru kretanja materijala, pa i samog bagera.

Na ovaj način, pored toga što se odvija obrnutim redosledom u odnosu na smer kretanja transportovanog materijala, proces puštanja sistema u rad traje i po nekoliko minuta, što je pre svega posledica nedovoljne međusobne povezanosti upravljačkih sistema na pojedinim rudarskim mašinama. Uvođenjem jedinstvenog daljinskog upravljanja iz kontrolnog centra, trajanje pokretanja sistema se značajno skraćuje. Pored toga, korišćenjem kvalitetne opreme sa mogućnostima daljinske kontrole, učestanost i trajanje zastoja se takođe smanjuje. Primena regulisanih pogona za pokretanje tračnih transportera smanjuje naprezanja mehaničkih sklopova i gumene trake u toku pokretanja sistema. Regulacijom brzine sistema tračnih transportera po kriterijumu maksimalne popunjenosti trake, dodatno se neposredno utiče na povećanje vremenskog i kapacitivnog iskorišćenja sistema.

2. NOVI KONCEPT UPRAVLJANJA SISTEMOM TRAČNIH TRANSPORTERA

Dosadašnja strategija praćenja procesa rada, bez daljinskog upravljanja iz kontrolnog centra, bila je usmerena na to da se reaguje tek nakon prekoračenja granica opterećenja sistema. Ovo prinudno dovodi do smetnji u pogonu, dužih vremena zastoja i doprinosi većem habanju osetljivih mašinskih delova. Daljinsko upravljanje iz kontrolnog centra, predstavlja novi, poboljšani koncept upravljanja procesom, otklanja

prekoračenja granica pomoću dinamičnog vođenja procesa i dijagnostike, a pritom je implementacijom algoritma za regulaciju brzine sistema tračnih transporterata omogućeno da postrojenje radi sa maksimalim iskorišćenjem kapaciteta. Dakle, regulacija zapreminskog protoka transportovanog materijala, odnosno kapaciteta, predstavlja preduslov za veliko rasterećenje postrojenja, a takođe i za njegov efikasan pogon, jer se tako vrši neophodno kompenzovanje neravnomernog transporta, kao i gubitaka kod sečenja, koji su posledica geometrije sečenja bagera s radnim točkom [2].



Sl. 1. Kapacitivno iskorišćenje traka na površinskom kopu „Drmno” (Gaussova raspodela)

Dimenzionisanje kapaciteta transporterata usvaja se u skladu sa maksimalnim kapacitetom bagera uz srazmerno povećanje zbog kontinuiteta protoka, odnosno povećanja zapremine zbog povećanja rastresitosti materijala. Kao što je prikazano na Sl. 1., vremensko iskorišćenje maksimalnog kapaciteta je u većini slučajeva veoma malo. Tokom najvećeg dela vremena, transportuje se 50 – 60% maksimalnog kapaciteta, odnosno, iskorišćenje poprečnog preseka se kreće u granicama od 50 – 60%, što znači da će tokom ovih perioda brzina transporterata biti suviše velika. U slučaju pogona kod koga je primenjen algoritam za regulaciju brzine sistema tračnih transporterata, brzina transporterata se može podesiti tako da odgovara trenutnom zapreminskom protoku materijala, čime se omogućava maksimalno iskorišćenje poprečnog preseka materijala koji se datim sistemom prenosi.

Raspon regulacije brzine treba prilagoditi statističkom kapacitetu bagera. Kako savremeni pogonski sistemi mogu da rade sa malim gubicima pri brzinama u rasponu od 50 do 100% nominalne brzine, može se ostvariti trajni rad transporterata u tom opsegu brzine. Da bi se moglo garantovati ostvarenje vršnih kapaciteta, motor (u kratkim vremenskim intervalima) mora da radi sa prekoračenjem brzine u rasponu od 15 do 30% nominalne brzine motora. Vreme rada u tom opsegu ograničeno je zagrevanjem mašine, ali je dovoljno da pokrije potrebe trajanja vršnog kapaciteta.

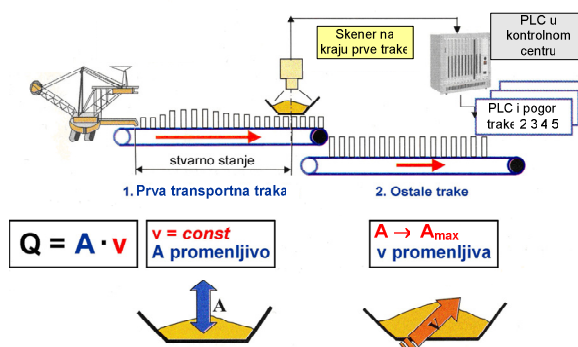
3. RAZVOJ ALGORITMA ZA REGULACIJU BRZINE

Međusobna povezanost instalisane snage, kapaciteta i brzine tračnog transporterata je posledica činjenice da se potrebna instalisana snaga transporterata određuje na osnovu maksimalnog kapaciteta materijala koji tom trakom može da se transportuje (Q [m^3/h]), a koji se određuje iz odnosa

$$Q = A \cdot v, \quad (1)$$

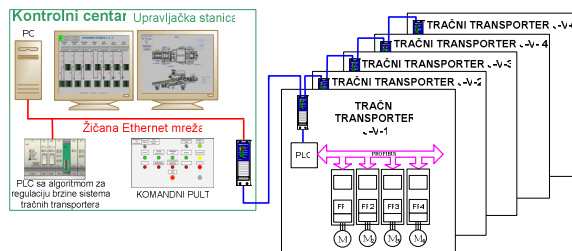
gde je A - efektivni poprečni presek materijala ($[m^2]$) i v - podesiva brzina trake ($[m/s]$).

Kod konvencionalnog transporterata sa konstantnom brzinom ($v = \text{const.}$), kapacitet transportovanja materijala direktno zavisi od poprečnog preseka utovarenog materijala na traku (A). Kod transporterata kod koga je primenjena regulacija brzine trake, pod uslovom da je A približno konstantno, Q direktno zavisi od brzine. Ovo predstavlja osnov za primenu algoritma za regulaciju brzine sistema tračnih transporterata u nizu, sa ciljem da se maksimizira popunjenost trake (A). Traka bi se u datim uslovima kretala odgovarajućom brzinom, a bio bi ostvaren maksimalni zapreminski protok materijala (kapacitet) i maksimalno iskorišćenje instalisane snage.



Sl. 2. Principijelna šema kontrole popunjenosti trake

Na Sl. 2. prikazana je principijelna šema kontrole popunjenosti trake [3]. Merenje poprečnog preseka materijala vrši se skenerom na kraju trake prvog tračnog transporterata. Informacija o količini materijala koja se meri na prvoj traci u nizu, uvodi se u složen matematički model sistema [4], implementiran u PLC-u pomoću koga se vodi proces iz kontrolnog centra. Na osnovu ovog modela određuju se referentne brzine za svaki tračni transporter u sistemu. Ove brzine se Ethernet mrežom prosleđuju PLC-ovima na svakom od tračnih transporterata u sistemu. Blok dijagram upravljačke strukture, realizovane na površinskom kopu „Drmno”, prikazan je na Sl. 3.



Sl. 3. Blok dijagram upravljačke strukture, realizovane na površinskom kopu „Drmno”

Na transporterima koji su realizovani sa frekventnom regulacijom, struktura upravljanja pogonima je sa regulatorom brzine, koji reguliše srednju brzinu pogona, i realizuje se u okviru PLC-a svakog tračnog transporterata. Izlaz iz regulatora srednje brzine pogona, referentni momenat, se prosleđuje ravnopravno svim pretvaračima na tračnom transporteru, koji rade u režimu direktne kontrole momenta [5].

Da bi se realizovao ovakav sistem, PLC u kontrolnom centru, koji se koristi kao nadređeni sistem upravljanja, mora da ima odgovarajuće performanse i mora da postoji brza komunikacija sa pretvaračima, brzinom od nekoliko MB/s. Ove zahteve je moguće ostvariti sa svim kontrolerima koji podržavaju komunikacione protokole visokih performansi. U sistemu tračnih transportera realizovanom na površinskom kopu „Drmno” korišćen je PROFIBUS protokol, sa brzinom 12 MB/s.

4. REZULTATI SIMULACIJA

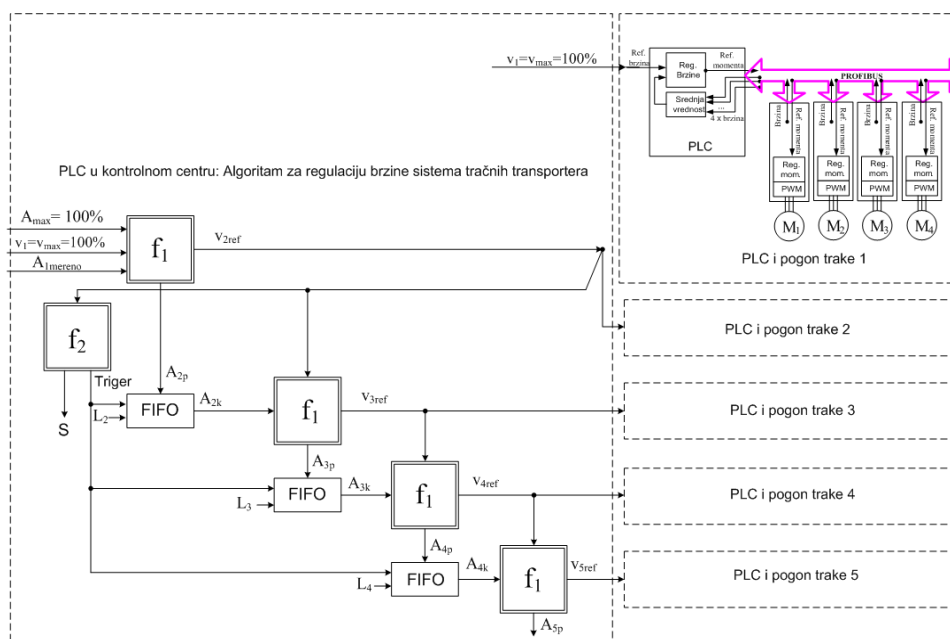
Na osnovu izloženih principa, napravljen je simulacioni model sistema tračnih transportera sa regulacijom brzine po kriterijumu maksimalne popunjenosti trake, koji odgovara realnom sistemu na površinskom kopu. Principijelni blok dijagram regulacije brzine sistema tračnih transportera, na osnovu koga je realizovan simulacioni model, prikazan je na Sl. 4.

Blokovima f_1 i f_2 predstavljene su nelinearne funkcije. Primenom funkcije f_1 se na osnovu vrednosti za brzinu (v_{n-1}) i za popunjenost ($A_{(n-1)k}$) na kraju prethodne trake u nizu, po kriterijumu maksimalne popunjenosti trake, određuju referentna vrednost za brzinu (v_n) i za odgovarajuću popunjenost na početku ($A_{(np)}$) sledeće trake u nizu. Popunjenost na kraju svake trake u nizu, dobija se kao izlazna vrednost iz bloka FIFO (*first in – first out*). Ona predstavlja popunjenost koju je data traka imala na početku, u trenutku koji je u odnosu na posmatrani pomeran za vreme t , određeno dužinom trake i njenom promenljivom brzinom. Primenom nelinearne funkcije f_2 , određuje se pređeni put (S), bilo koje tačke u transportnom sistemu u datom trenutku t , u odnosu na trenutak $t = 0$, kada je otpočela regulacija brzine sistema tračnih transportera. Takođe se ovom funkcijom određuje

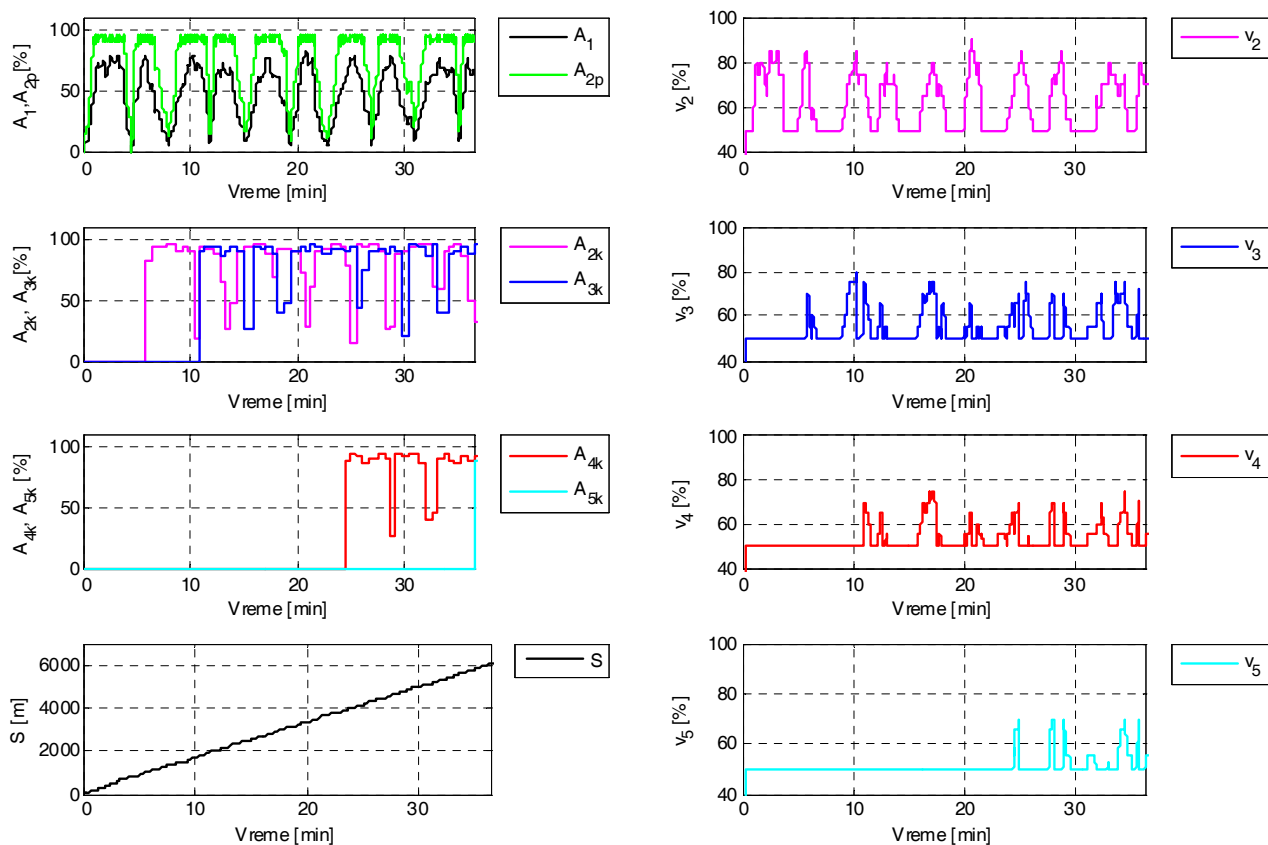
i okidački impuls („Triger”), na osnovu koga se vrši pomeranje vrednosti u nizovima, koji su smešteni u svakom FIFO bloku. Referentne vrednosti za brzine svakog od transportera u nizu, prosleđuju se njihovim upravljačkim sistemima, kao što je prikazano na Sl. 4 i objašnjeno u prethodnom poglavlju.

Rezultati simulacija na datom modelu, za jedan uzorak profila materijala (A_1), koji je izmeren na prvom transporteru na površinskom kopu „Drmno”, prikazani su na Sl. 5. Kako se skener nalazi na kraju prve trake, brzina ove trake se ne reguliše po kriterijumu maksimalne popunjenosti, već je ona konstantna i iznosi 100% ($100\% = v_n - \text{nominalna brzina trake}$). U modelu se dalje računaju potrebne brzine druge, treće, četvrte i pete trake (v_2, v_3, v_4 i v_5), tako da popunjenosti druge, treće, četvrte i pete trake ($A_{2p} -$ na početku druge trake; $A_{2k} -$ na kraju druge trake; na kraju treće, četvrte i pete trake - A_{3k}, A_{4k} i A_{5k}) teže maksimalnim vrednostima, koje se takođe određuju ($A_{\max}=100\%, v_{\max}=100\%$). Trenutna ukupna dužina sistema tračnih transportera na površinskom kopu iznosi $S = 6\text{km}$ (planirano je $S_{\text{nom}} = 8,5\text{km}$).

Na osnovu prikazanih rezultata simulacije na modelu, jasno se može pratiti kretanje tereta duž sistema tračnih transportera. Može se uočiti da je ostvarena maksimalna popunjenost svake pojedinačne trake. Na osnovu dijagrama za brzine pojedinačnih traka prikazanih na Sl. 5, može se zaključiti da je prva traka čija se brzina reguliše primenom algoritma (traka 2) izložena najčešćim promenama brzine. Ovo je posledica primene algoritma, čijim se dejstvom na datoj traci već ostvaruje takva popunjenost, da je svaka sledeća traka u nizu izložena sve ređim promenama brzine. Svi navedeni zaključci potvrđuju uspešnost realizacije algoritma za regulaciju brzine sistema tračnih transportera.



Sl. 4. Principijelni blok dijagram regulacije brzine sistema tračnih transportera



Sl. 5. Rezultati simulacija na modelu sistema tračnih transportera sa regulacijom brzine po kriterijumu maksimalne popunjenosti trake

5. ZAKLJUČAK

Predloženi algoritam predstavlja nastavak u daljem usavršavanju sistema za daljinski nadzor i upravljanje sistemom tračnih transportera, čija realizacija je u toku na površinskom kopu „Drmno“. Proces transporta materijala sa maksimalnom popunjenošću traka sistema tračnih transportera je sa izraženim transportnim kašnjenjem i predstavlja vrlo složen proces sa stanovišta teorije upravljanja. Prema podacima koji su dostupni u literaturi i u praksi, veoma je mali broj rudnika u svetu koji koriste slična rešenja. Zato smatramo da predloženi algoritam ima veliki značaj u pogledu naučno istraživačkog rada, a i kao implementacija „domaće pameti“ u „domaćim uslovima“. Uvođenjem ovakvog načina rada, očekuje se povećanje energetske efikasnosti sistema i smanjenje habanja opreme, kao i povećanje kapacitivnog i vremenskog iskorišćenja sistema. Dalji rad autora rada usmeren je ka implementaciji predstavljenog algoritma u PLC kontrolnog centra površinskog kopa „Drmno“, što podrazumeva pre svega prilagođavanje brzine rada algoritma realnim uslovima na terenu. Po završenoj implementaciji algoritma ostvariće se mogućnosti za verifikaciju rezultata prikazanih simulacijom na modelu.

6. LITERATURA

- [1] B. Kolonja, D. Ignjatović, B. Jeftenić, „The application of frequency converters for the regulation of belt conveyor drives in surface mining“, International journal ISSN 1451-107X „Transport & Logistics“, December 2003. (05/03), pp.11-27, 2003

- [2] F.J: Hartlief, K.H. Paus, W. Stock, „Optimization of the Continuous Handling and Conveying Process – Automation of Opencast Mine Equipment and Plants“, Braunkohle Surface Mining 51 (1999), No.5 September/October 1999.
- [3] Frank Petrich, „Optimization of mining technology in the Lusatian mining area“, Braunkohle & Other Minerals Surface Mining 50, No.2 March/April 1998.
- [4] Werner Daus, S. Körber, N. Becker, „Raw Coal Loading and Belt Conveyor System at the Nochten Opencast Mine“, translated from Braunkohle Surface Mining 55 (2003), No.2 April/June 2003.
- [5] „AC Drives Technical Guide Book“, ABB, [http://www.abb.com/motors & drive](http://www.abb.com/motors&drive)

ALGORITHM DEVELOPMENT FOR SPEED CONTROL OF TRACK TRANSPORTER SYSTEM

Abstract: Within the building process of the new BCS (excavator-conveyor-spreader) systems - fifth and sixth on the Open pit mine „Drmno“, Kostolac, in accordance with the newest trends in the world, final activities in the realization of remote system for supervision and control of the belt conveyor system are performing. The paper presents the development of the algorithm for control of speed of the system of belt conveyors, in terms of optimal utilization of raw material profile which is conveyed with this system. The algorithm is in the process of application with the aim to raise the production efficiency through capacity and time increase of utilization. The paper presents results of simulations on the proper model of that system.

Key words: Algorithm Development for Speed Control of Track Transporter System