Karakteristike merenja protoka mase materijala na transportnim trakama

SNEŽANA S. ALEKSANDROVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
 Rudarsko-geološki fakultet, Beograd,
 INES B. GROZDANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
 Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
 ILIJA B. JEFTENIĆ, Univerzitet u Beogradu,
 Elektrotehnički fakultet, Beograd

Stručni rad
 UDC: 621.867.2
 DOI: 10.5937/tehnika1805645A

S obzirom na tehnološku važnost i kompleksnost merenja velikih količina materijala na površinskim kopovima, ubrzani industrijski razvoj nameće potrebu za stalnim usavršavanjem postojećih mernih metoda i uređaja. Posebnu klasu vaga za kontinualno merenje mase materijala u pokretu predstavljaju vage na traci, ugrađene u mehanički sistem tračnog transportera. U ovom radu predstavljeni su neke od metoda povećanja tačnosti kontinualnog merenja mase u realnim uslovima, primenom vaga na transportnim trakama.

Ključne reči: transportna traka, vaga, protok mase, merenje, tačnost

1. UVOD

Problemi merenja protoka mase javljaju se u mnogim granama industrije. Materijali čiji se protok meri, mogu biti različitog oblika, komadasti ili sipkasti, u čvrstom ili u tečnom stanju. U oblasti transportovanja uglja od površinskih kopova do velikih potrošača, merenje mase takođe predstavlja specifičan problem kome je potrebno posvetiti odgovarajuću pažnju [1]. Distribucija uglja na različita odredišta najčešće se obavlja pomoću pokretnih, neprekidnih transportnih traka. Izbor metode merenja protekle količine uglja diktiran je zahtevima kao što su opseg merenja, tačnost i specifičnost uslova merenja.

U zavisnosti od fizičkog principa koji koriste, razlikuje se veći broj realizacija merenja protoka mase uglja na transportnim trakama, od kojih se najčešće primenjuju sledeće [2]:

- naizmenično merenje mase u dva bunkera, postavljena na mestu prelaska materijala sa jedne (dovodne) na drugu (odvodnu) traku,
- merenje promene količine kretanja materijala prilikom prelaska sa jedne na drugu transportnu traku, koje nisu u istoj horizontalnoj ravni,

- merenje promene obrtnog momenta materijala koji pada na transportne trake koje se kreću konstantnom brzinom i rotiraju,
- merenje protoka mase na osnovu centrifugalne sile koju proizvodi kretanje materijala po ploči kružnog preseka,
- merenje na osnovu Koriolisove sile, koja je rezultat istovremenog pravolinijskog i rotacionog kretanja materijala na traci,
- merenje protoka mase na osnovu specifičnog opterećenja i brzine kojom se kreće opterećena transportna traka.

Uporednom analizom prednosti i nedostataka navedenih mernih metoda, može se zaključiti da poslednje rešenje predstavlja najjednostavniji i najekonomičniji princip merenja protoka mase uglja.

Prednosti primene vaga na traci su mogućnost merenja u realnom vremenu u najzahtevnijim radnim uslovima, visoka efikasnost merenja (kapacitet vage može iznositi do nekoliko hiljada tona po času), kao i mogućnost ostvarenja brojnih mernih funkcija i mogućnost njihovog uključivanja u širi informacioni sistem postrojenja (na primer, rudnika ili termoelektrane).

U praksi, tačnost merenja protoka mase primenom vaga na traci znatno je manja od teorijske, usled delovanja brojnih ograničavajućih faktora.

Analize koje su napravljene i praktična iskustva pokazali su da je merna tačnost vaga na transportnim trakama u najvećoj meri određena uslovima njihove

Adresa autora: Snežana Aleksandrović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7

e-mail: snezana.aleksandrovic@rgf.bg.ac.rs

Rad primljen: 24.09.2018.

Rad prihvaćen: 28.09.2018

primene u realnim uslovima [3]. Tačnost merenja zavisi i od instalacije, održavanja i ispitivanja vaga.

Potpuno definisanje merne tačnosti vaga na traci podrazumeva ne samo određivanje njihovih tehničkih i metroloških karakteristika, već i razumevanje načina delovanja nepovoljnih faktora koji postoje u pojedinim delovima mernog sistema, menjaju uslove u kojima se odvija merni proces i uzrok su postojanja izvesne merne nesigurnosti. Na osnovu analize uzroka merne nesigurnosti, neke od njih moguće je eliminisati ili smanjiti primenom odgovarajućih metoda i postupaka.

2. PRINCIP RADA VAGE NA TRACI

U praksi se danas najčešće primenjuje integracioni princip određivanja protoka mase na osnovu specifičnog opterećenja kojim materijal zajedno sa trakom deluje na merni most vage.

Merni sistem vage čine: jedna ili veći broj mernih ćelija u kojima se merena sila transformiše u odgovarajući električni signal, senzor brzine koji se postavlja na povratnom delu trake i elektronski sklop za kondicioniranje i obradu izmernih signala i proračun veličine protoka mase (sl. 1).

Merni most vage na traci obuhvata jedan deo nosećih valjaka, konstruktivno prilagođenih za primenu vage, mehanički sistem distribucije opterećenja do mernih ćelija, kao i sistem zaštite od preopterećenja i eliminisanje uticaja parazitnih opterećenja.

Slika 1 - Integracioni princip merenja protoka mase uglja na transportnoj traci

Proizvod protekle mase m' [kg/m] i brzine trake v [m/s] predstavlja protok Q , za koji se normalizacijom na veličinu izraženu u t/h dobija:

$$Q = 3.6 \cdot m' \cdot v = 3.6 \cdot \frac{F}{g \cdot L_{\text{eff}}} \cdot v \quad [\text{t/h}] \quad (1)$$

gde je F sila kojom mereni materijal opterećuje merni most vage [N], L_{eff} je efektivna dužina mernog mosta [m], a g je gravitaciono ubrzanje [m/s^2].

Masa materijala protekla u nekom definisanom vremenskom intervalu Δt određuje se kao integral:

$$m_{\text{tot}} = \frac{3.6}{g \cdot L_{\text{eff}}} \int_t^{t+\Delta t} F(t) \cdot v(t) dt \quad [\text{t}] \quad (2)$$

Postoji veliki broj konstrukcija vaga na traci, s obzirom na broj mernih ćelija, način njihovog postavljanja i princip vođenja merene sile do pretvarača sile, a izbor u konkretnim uslovima primene zavisi od dimenzija i profila transportne trake, brzine kretanja trake tokom merenja, količine materijala čiji se protok meri, ispunjenosti profila trake merenim materijalom i zahtevane tačnosti merenja [4].

Najčešće se primenjuju merne ćelije sa elastičnim elementom i otporničkim mernim trakama.

Opseg merenja protočne mase na traci je od 0,1 t/h do 10000 t/h, a greška merenja nalazi se u intervalu od 3% do 0,5%.

3. KARAKTERISTIKE MERNE ĆELIJE

3.1. Kompenzacija uticaja temperature

Temperatura ima najizraženiji uticaj na tačnost merenja sile mernim ćelijama, pa kompenzaciji ovog uticaja treba posvetiti posebnu pažnju kod vaga visoke klase tačnosti. Temperatura utiče na tačnost merenja na dva načina: menjajući otpornost mernih traka, pri čemu nastaje takozvani temperaturni drift nule i promenom parametara merne ćelije (modula elastičnosti i osetljivosti), stvarajući temperaturni drift osetljivosti.

Ako merna ćelija predstavlja deo softverski proračunog automatskog mernog sistema vage na traci, kompenzacija temperaturnog uticaja i podešavanje ravnoteže i osetljivosti, obavljaju se u radnim uslovima, bez dodatnih otpornika u kolu pretvarača, sa većom preciznošću i u širem radnom temperaturnom opsegu.

Primenom mikrokontrolera i odgovarajućih softverskih rešenja, moguće je u velikoj meri pojednostaviti problem kompenzacije spoljnih uticaja

3.2. Kompenzacija uticaja puzanja

Puzanje predstavlja drugi bitan ometajući parametar pri merenju sile pretvaračem sa otporničkim mernim trakama. Puzanje se odnosi na promenu izlaznog signala pri nepromenjenom opterećenju i konstantnim radnim uslovima okruženja. Red veličine puzanja mernih ćelija koje se primenjuju kod vaga na traci iznosi nekoliko stotih delova procenata primenjenog opterećenja.

Kompenzacija uticaja puzanja može se ostvariti [5]:

- hardverski, pri čemu nije moguće naknadno smanjenje ovog uticaja nakon postavljanja mernih traka i
- primenom mikrokontrolera u obradi signala sa mernih ćelija, pri čemu je omogućena kompenzacija konstruktivnih nedostataka i smanjenje pojedinih komponenti greške puzanja primenom odgovarajućeg softvera.

Softverska kompenzacija puzanja merne ćelije je složen zadatak, s obzirom da je ono rezultat uticajnih veličina čiji su mehanizmi delovanja različiti, kao i predznaci, veličine i vremenske konstante. Na složenost numeričkog rešavanja problema, utiče i predistorija opterećenja merne ćelije, koja se analizira propisanim ispitivanjima pre početka merenja. Iz ovih razloga nemoguće je definisati jedinstveni matematički izraz koji bi bio primenjiv na smanjenje puzanja kod svih tipova mernih ćelija. Međutim, moguće je predvideti postupak kompenzacije koji se sastoji iz: određivanja odstupanja mernog signala usled puzanja, izračunavanja kompenzacione funkcije, odnosno njenih parametara na osnovu odgovarajućeg matematičkog modela [5] i izračunavanja kompenzovanog puzanja koje je potrebno uzeti u obzir pri analizi izmerenog signala.

4. KARAKTERISTIKE TRANSPORTERA I MERENOG MATERIJALA

4.1. Kompenzacija klizanja i pomeranja trake

U cilju kompenzacije uticaja klizanja i horizontalnog pomeranja transportne trake primenjuje se dodatni senzor kola trake, tzv. „Namur“ senzor (NS na slika 2). Postavljanjem identifikatora metala na transportnu traku (oznake trouglastog oblika od metala, najčešće aluminijuma), u zavisnosti od registrovane širine trougla, „Namur“ magnetni senzor, na svom izlazu daje povorku impulsa odgovarajuće širine signala, koja se dalje koristi u softverskoj obradi mernih podataka.

Uticaj trake meri se kontinualno, kako bi se konstantno unosile promene u toku procesa merenja i obavljala odgovarajuća kompenzacija, čime se u velikoj meri povećava tačnost merenja protoka mase [6].

Slika 2 - Kompenzacija klizanja i pomeranja transportne trake

4.2. Kompenzacija nagiba transportne trake

Promena nagiba transportne trake u odnosu na referentni položaj na delu na kojem se nalazi merna ćelija, usled delovanja neželjenih spoljnih uticaja, direktno utiče na tačnost merenja. U cilju kompenzacije ovog uticaja na mereni rezultat, vaga na traci oprema se dodatnim kolom sa takozvanim oscilujućim klatnom. Ovaj metod kompenzacije odnosi se na ubacivanje dodatnog potencijometra R_P , čija otpornost je određena položajem pozicionog klatna, i kalibracionog otpornika R_C , u kolo napajanja merne ćelije, odnosno Vitstonovog mosta u mernoj ćeliji (otpornosti R_{MC}), na način prikazan na sl. 3.

Slika 3 - Kolo korekcije uticaja promenljivog nagiba trake

Poziciono klatno postavlja se neposredno uz merni most vage i poravnava primenom libele. Usled promene nagiba trake α u odnosu na referentni (najčešće u opsegu $\alpha \leq \pm 30^\circ$) menja se otpornost potencijometra R_P i napon napajanja kola mosta U_b' . Kao rezultat, napon na izlazu merne ćelije U_{out} proporcionalan je promeni ugla nagiba transportne trake α .

4.3. Kompenzacija pomerivosti lokacije vage od tačke ispitivanja protoka

Ukoliko se vaga na traci primenjuje za regulaciju doziranja, merni most se, iz konstrukcionih razloga, ne postavlja na mestu direktnog istovara materijala, tako da se izmereni protok materijala razlikuje od stvarne vrednosti u tački doziranja. Korekcija ovog uticaja obavlja se zadavanjem odgovarajuće komande, preko tastature na delu vage za kondicioniranje i obradu signala, ili putem nadređenog računara i primenom elementa koji unosi kašnjenje u zavisnosti od veličine izmerene brzine.

Korekcija pomerivosti lokacije vage podrazumeva programsko unošenje veličine rastojanja centralne tačke mernog mosta vage u odnosu na tačku istovara, koja se zadaje kao procentualna vrednost ukupne

dužine transportne trake (u opsegu od 0 - 50 % ove dužine). Doziranje materijala može se kontrolisati regulisanjem pogona transportera, kontrolom utovara materijala ili kombinacijom ova dva načina.

5. INSTALACIJA, KALIBRACIJA I ISPITIVANJE VAGA NA TRACI

Tačnost merenja primenom neke vage na traci zavisi i od njene pravilne montaže, kalibracije i ispitivanja. Ispitivanje pojedinih delova vage (merne ćelije, senzora brzine i elektronskog dela vage) kao samostalnih mernih elemenata obavlja se u laboratorijskim uslovima. Nakon izrade vage i njene instalacije u realnim uslovima, obavljaju se završna kalibracija i ispitivanje, koje obuhvataju: proveru ispravnosti montaže i povezivanja elemenata vage, funkcionalnu proveru ispravnog rada vage, poravnanje sila, podešavanje nule i ispitivanje vage.

Ispravna montaža vage na traci odnosi se na ispravno postavljanje elemenata vage, mehaničko pričvršćenje i povezivanje elemenata vage, prema tehničkoj dokumentaciji proizvođača, zahtevima i uputstvima o montaži.

Funkcionalnost elemenata vage proverava se tako što se za definisane ulazne parametre vage, opterećenja i brzine, ispituje realizacija očekivanih promena izlaznih veličina. Proveravaju se i funkcije podešavanja nule i automatske kalibracije.

Poravnanje sila odnosi se na podešavanje visine mernih valjaka, čime se koriguje početna nesimetrija valjaka na transportnoj traci. U praksi, poravnanje sila obavlja se tako što se vaga optereti tegovima, ispitnim lancem ili materijalom i podešavanjem visine mernog mosta, tako da uticaj sile zatezanja transportne trake bude najmanji, odnosno da se pokazivanje vage menja minimalno sa zatezanjem trake.

Na tačnost merenja u velikoj meri utiče podešenost nule vage, jer se ona neprekidno integriše u merenu proteklu masu. Kod savremenih vaga na traci sa mikroprocesorom moguće je obezbediti automatsko podešavanje nule.

Preduslov aktiviranja programa automatskog podešavanja nule je definisanje granično dozvoljenih grešaka u procentima maksimalnog opterećenja. Interval trajanja ispitivanja nule izračunava se na osnovu unete dužine trake i izmerene brzine kretanja ili se zadaje programski (najčešće je reda veličine nekoliko časova).

Automatska softverska kalibracija vage obavlja se na osnovu unetih parametara, kao što su: karakteristična vrednost mernog točkića senzora brzine, vrednost nominalne brzine trake, nominalno opterećenje mernog mosta vage, efektivna dužina mernog mosta i drugih eksploatacionih parametara vage.

Ispitivanje ili rekalkibracija vage odnosi se na ispitivanje sa materijalom ili simulacijom opterećenja (kod vage na traci primenom tegova, mernih lanaca ili simulacijom električnih mernih signala) [7]. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja, prema programski utvrđenom algoritmu, obavlja se automatska korekcija rezultata kalibracionih merenja.

Metod simulacije merenja sa tegovima ne uzima u obzir sva sistematska odstupanja tačnosti merenja u realnim uslovima rada i ovo ispitivanje se primenjuje u praksi samo kao kontrolno, jer se njegovom primenom na vrlo efikasan način mogu proveriti uticaji: promene brzine trake, promene tačke opterećenja, podešavanja i stabilnosti nule, promene temperature i napajanja.

Drugi način simulacije je pomoću specifičnog opterećenja lanca određene dužine. Ispitni lanac je na svojim krajevima učvršćen i povezan valjcima koji se pri kretanju trake okreću, čime se smanjuje trenje između trake i lanca. Ovaj način ispitivanja retko se primenjuje u praksi jer je neophodna primena različitih ispitnih lanaca čije su i kalibracija i kontrola skupe. Osim toga, promena zatezanja trake nema uticaja na simulirano opterećenje mernim lancem, a i transportna traka se mora zaustaviti u cilju postavljanja, promene i skidanja lanaca.

Ispitivanje vage simulacijom opterećenja značajno je u određivanju ponovljivosti i stabilnosti pojedinih elemenata vage. Međutim, jedino merodavno ispitivanje u pogonskim uslovima je ispitivanje vage sa materijalom. Ovaj metod kontrole tačnosti vage na traci podrazumeva poređenje izmerene protekle mase materijala na ispitivanoj vagi sa vrednošću koja je dobijena merenjem tog istog materijala na referentnoj vagi. Referentna vaga može biti takođe protočna vaga kontinualnog ili diskontinualnog tipa, ili statička (kolska, železnička ili „hopper“) vaga koja se oslanja na merne ćelije sa otporničkim mernim trakama. Provera tačnosti rada vage sa materijalom obavlja se u realnim uslovima rada, u različitim tačkama opterećenja trake, pri različitoj granulaciji materijala koji se meri, pri najmanje još jednoj brzini trake i u oba smera kretanja trake.

6. ZAKLJUČAK

Svako merenje u realnim uslovima sadrži izvesnu mernu nesigurnost, kao rezultat postojanja različitih ograničavajućih faktora. Kod vage na traci ova ograničenja potiču od nesavršenosti primenjene merne metode, neidealnih karakteristika mernog i dela vage za obradu i od osetljivosti mernih pretvarača na uslove okruženja, mehaničke i fizičke procese koji se u toku merenja odvijaju. U ovom radu predstavljene su neke od kompenzacionih tehnika kod savremenih vaga na

transportnim trakama, koje su omogućene primenom mikrokontrolera u elektronskom sklopu za obradu mernih podataka.

LITERATURA

- [1] Borović P, Kolonja B, Protokometri tereta na transporterima sa trakom i opravdanost njihove primene, in Proc. *2nd International Conference on Mine Hauling and Hoisting*, Belgrade, Serbia, pp. 1-9, 8-9 November 1993.
- [2] Škundrić S, Kovačević D, *Elektromehaničke vage*, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 1995.
- [3] Aleksandrovic S, Jovic M, Analysis of Belt Weigher Accuracy Limiting Factors, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, Vol. 1, No. 5, pp. 223-241, 2011.
- [4] Schenck Process. *Measuring and process systems, Load cells and load application elements projecting installation service*, Schenck Process, Darmstadt, Germany, 2002.
- [5] Kovačević D, Škundrić S, Dimitrijević B, Mikičić S, Strain gauge based load cells with the possibility of creep error correction, *Facta universitatis, Series: Electronics and Energetics*, Vol. 10, No.1, pp. 1-18, 1997.
- [6] Schenck Process. *Intecont Plus - Measuring and a evaluation system for belt weighers, solid flow meters and mass flow meters*, Schenck Process, Darmstadt, Germany, 2000.
- [7] Aleksandrovic S, Jovic M, Testing and calibration of continuously operating belt weighers, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 2011, No. 7, pp. 276-279, 2011..

SUMMARY

CHARACTERISTICS OF MASS FLOW MEASUREMENT ON CONVEYOR BELTS

Due to technological importance and the complexity of measurement of bulk materials on open pit mines, rapid industrial development produces a demand for the existent methods and weighing devices permanent development. Belt scales, incorporated into a belt conveyor system, form the special class of mass measuring instrument in the family of continuous weighing. This paper presents some accuracy increasing methods of continuous belt weigher mass measurement on conveyor belts in real conditions

Key words: belt conveyor, weigher, mass flow, measurement, accuracy