

## AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA TRANSPORTERIMA S TRAKOM

Nenad MARINOVIĆ<sup>1</sup>, Neven KATUNARIĆ<sup>1</sup> i Igor ZORIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Elektrotehnički institut »Rade Končar«, Baštijanova bb, YU – 41000 Zagreb

<sup>2</sup> Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU – 41000 Zagreb

**Ključne riječi:** Transporteri s trakom u rudarstvu, Automatizacija transporta, ASIC, Detekcija kvarova valjaka.

Iako je jedan od najekonomičnijih, sistem transporta rudne supstance transporterima s trakom, skopčan je i s nizom problema zbog kontinuiranog procesa rada. Zastoji zbog greške imaju izražen ekonomski efekt. Ispravan rad zahtijeva pravilnu nategnutost i ispravan položaj trake kao i ispravne valjke po kojima se traka kreće, što su i uvjeti efikasne automatizacije. Zbog toga postoji potreba detekcije i lokacije nastale greške. Analiza ukazuje na efikasno rješavanje automatizacije mrežom transportera s trakom kao i problema proklizavanja trake na pogonskom bubnju, čime se znatno umanjuje opasnost od požara, dok problem detekcije i lokacije blokade valjaka do danas nigdje nije riješen s dovoljno uspjeha.

### Uvod

Transporteri s trakom su u suvremenoj rudarskoj tehnologiji pokazali izrazite prednosti u transportu rudne supstance, što je i razlog njihove rasprostranjenosti u nadzemlju i u podzemlju. Odlikuje ih posebna pogodnost u mogućnosti automatizacije, a ekonomski su izvan svake konkurencije ako im je kapacitet dovoljno iskorišten. Međutim nekoliko osobina u njihovoj eksploataciji traži izrazitiju intervenciju znanosti i istraživanja. U ovim istraživanjima izdvojeni su i rješavni slijedeći problemi:

- automatizacija upravljanja nezavisno o konfiguraciji mreže transporta uz sve potrebne mjere sigurnosti kako za transportere s trakom tako i za grabuljaste transportere,
- ukljanjanje opasnosti proklizavanja pogonskog bubnja kao uzročnika požara i eksplozija za metanske rudnike,
- maksimalno produženje vijeka eksploatacije same trake, što znači osiguravanje najmanjeg mogućeg naprezanja napinjanjem,
- pravovremeno detektiranje greške u valjcima radi izbjegavanja njihovog blokiranja i trenja trake po zaglavljanim valjcima.

Istaknuta problematika zajedno čini jedan blok kompatibilnih pitanja i problema koji osim ekonomskog aspekta, sadrže vrlo izražen sigurnosni aspekt.

Automatizacija upravljanja i eliminiranje proklizavanja kompatibilni su problemi i navode korisnika na još jače napinjanje trake radi manjeg ometanja

**Key-words:** Belt conveyors in minig, Transport automation, ASIC, Idler roll faults detection

Belt conveyor transport, although one of the most economical mining transport system, introduce many problems to maintain the continuity of the operation. Every stop causes economical loses. Optimal operation require correct tension of the belt, correct belt position and velocity and faultless rolls, which are together input conditions for automation. Detection and position selection of the faults are essential for safety to eliminate fire hazard and for efficient maintenance. Detection and location of idler roll faults are still open problem and up to now not solved successfully.

automatiziranog pogona, tako da se tim upavo i otvara problem produžanja vijeka eksploatacije trake. Za ovu grupu problema možemo reći da rudarska tehnologija ima mnoga rješenja u praksi koja više ili manje uspješno rješavaju problem na više ili manje ekonomičan način (Marinović, 1982).

Međutim, problem pravovremene detekcije greške nosivih valjaka trake je još uvijek ostao izazov znanosti, kao što je istakao ministar rudarstva Velike Britanije u završnoj riječi na 19. Konferenciji za sigurnost u rudnicima održanoj u Sheffield-u 1983. godine, pozvavši sve znanstvenike svijeta da rješe ovaj problem

Interesantno je da su u rudniku BETLEHEM u SAD, koji u 4 jame proizvodi preko 50 milijuna tona ugljena godišnje, na glavnim izvoznim trakama, izradili robote za izmjenu nosivih valjaka trake bez zaustavljanja pogona, ali zbog neriješene automatske detekcije greške valjaka, to nije automatizirano i praktično ostao je čovjek-rukovalac robotom da detektira grešku i upravlja robotom.

### Automatizacija sistema

Automatsko upavljanje kontinuiranim transportom donosi u odnosu na ručno ili poluautomatsko upavljanje, slijedeće prednosti:

- eliminiranje praznog hoda,
- povećanje sigurnosti pogona,
- smanjenje broja ljudi zaduženih za kontrolu i nadgledanje transporta.



Osnovna ideja je bila da cijeli proces automatizacije mora biti jednak za sve pogone, odnosno da se odnosi na jednu traku ili na cijeli sistem bez obzira na konfiguraciju transportnih putova, odnosno bez obzira koju shemu transporta obuhvaća projekt (Marinović i Vranić, 1971).

Jedan od ulaznih podataka je brzina kretanja trake transportera s trakom ili lanca grabuljastog transportera i prati se osjetilom baziranom na impulsnoj zavojnici nazvanoj po načinu pobuđivanja i to:

- za trake »tahogenerator«,
- za grabuljaste transportere »statogenerator«, koji osim brzine kretanja lanca registrira i iskrivljenje prečke (grabilice).

Drugi ulazni podatak koji se prati je tzv. »bježanje« trake u stranu kao rezultat pucanja trake što se registrira tzv. antenskom sklopkom koja reagira na bilo koji položaj otklona antene.

Na slici 1. prikazan je raspored osjetila za nadzor beskonačne transportne trake i lančanog transportera (Marinović i Katunarić, 1981).

Konfiguracija transportnih putova u rudniku nije stalna, pa se prema tome mijenja i broj ogranaka i dužina pojedinih transportnih putova. Polazeći od ovih činjenica, nameće se zahtjev da uređaji moraju biti neovisni o konfiguraciji transporta i o broju transportera u nizu.

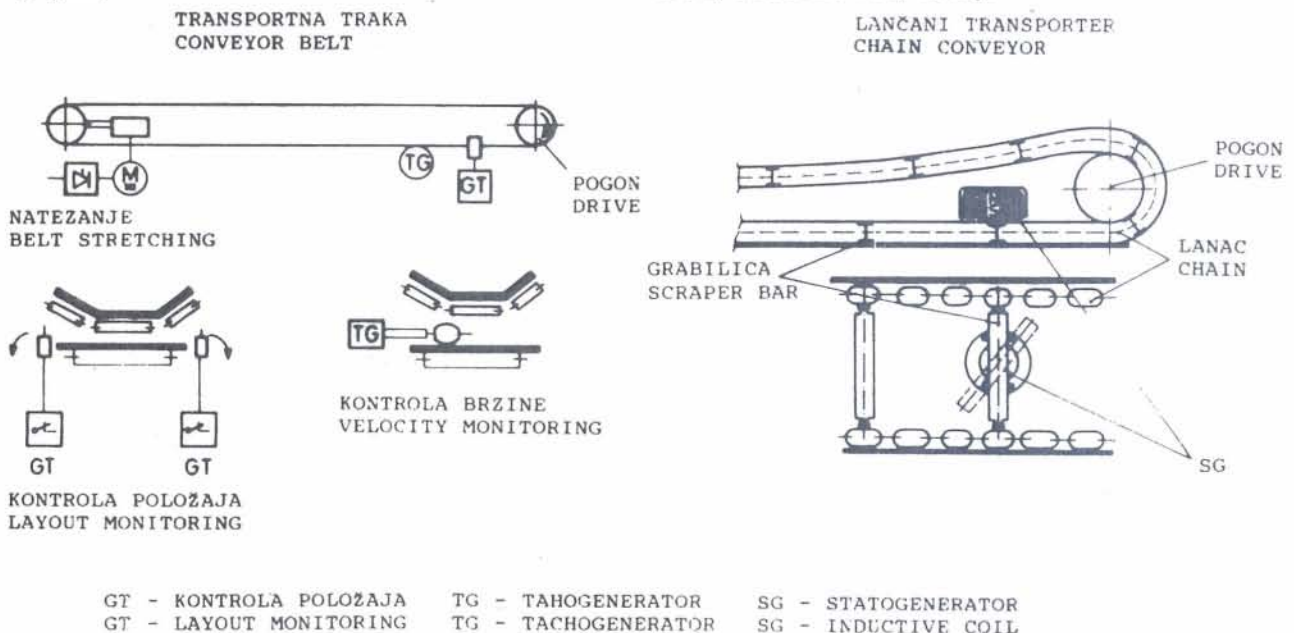
Zadaci koje mora ispunjavati svaki uređaj za automatizaciju transporta su slijedeći (Marinović i Katunarić, 1983):

- dobivene informacije na osnovi unaprijed utvrđenih kriterija treba obraditi i u obliku zaključka prenijeti na energetski sistem transporta,
- mora biti osigurana »želja« za pokretanje s radilišta (postoji dovoljan priliv materijala) i potvrda s mjesta utovara (osiguran odvoz materijala), kao osnovnih uvjeta za puštanje transportnog puta u pogon,

- kad postoje svi uvjeti za puštanje transportnog puta u pogon, treba prije pokretanja transportera obavijestiti osoblje u njegovoj okolini (da se izbjegnju eventualne nezgode), signalizacijom u trajanju od cca 10 sekundi,
- treba biti omogućeno zaustavljanje transporta u nuždi, i to sa svakog mjesta duž transportnog puta, s tim da ponovno puštanje u pogon bude omogućeno samo nadzornom osoblju,
- kvar na bilo kojem transporteru (klizanje trake, pucanje lanca, kvar na kočnici, itd) mora prouzročiti: momentano zaustavljanje dotičnog transportera, zaustavljanje transportera u nizu od mjesta kvara do radilišta, signalizaciju kvara na upravljačkom uređaju dotičnog transportera i signalizaciju na mjestu upravljanja o tome koji je transporter niza u kvaru,
- izostanak napona napajanja (mrežnog napona) upravljačkog uređaja mora prouzročiti momentano zaustavljanje dotičnog transportera, te zaustavljanje transportera u nizu od tog transportera do radilišta.

Jedna od mogućih kombinacija koje se mogu javiti u praksi prikazana je na slici 2. Bitno je uočiti, da posebne zahtjeve sa stanovišta tehnologije automatizacije transporta možemo imati samo na radilišta ( $R_1 \dots R_4$ ) i na mjesta utovara ( $U$ ). Preostali uređaji za automatizaciju, koje nazivamo »serijskim« ( $K_1 \dots K_9$ ), su jednaki i moraju zadovoljavati sve zahtjeve neovisno o konfiguraciji transporta, kao i o položaju u transportnom nizu.

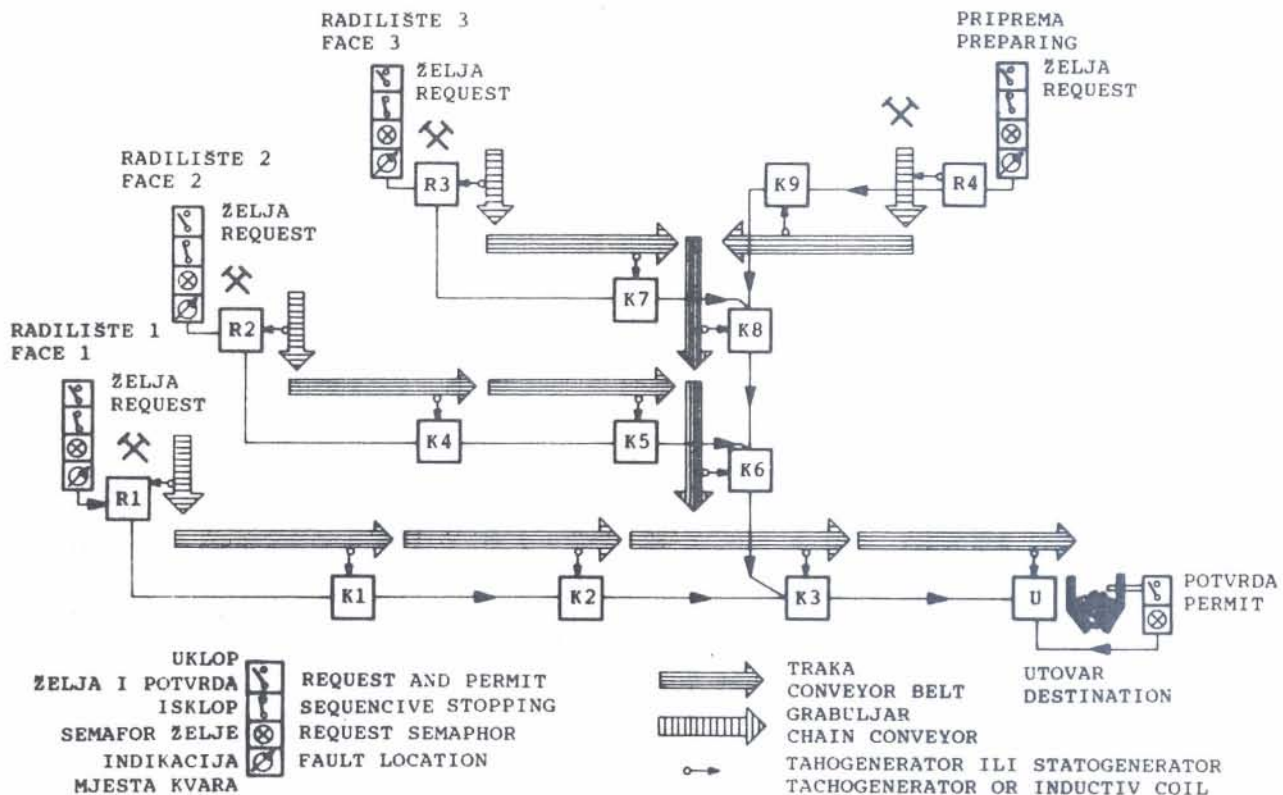
Ovdje još treba napomenuti da je s tehnološkog stanovišta neophodno da puštanje u pogon transportnog niza bude sekvencijalno, u smjeru od mjesta utovara prema radilištu, te da isto tako zaustavljanje transportnog niza (osim u slučaju nužde ili kvara), bude sekvencijalno, ali u smjeru od radilišta prema mjestu utovara (Marinović i Katunarić, 1984; Marinović, 1982).



Sl. 1. Nadzor rada trake i lančanog transportera

Fig. 1. Conveyor belt and chain transporter control





Sl. 2. Shematizirani primjer jamskog transporta

Fig. 2. Schematized example of pit transport

Tehnološki najispravnije i najefikasnije je da signalizacija i upravljanje budu s radilišta, s tim da mjesto utovara uvjetuje, tj. dozvoljava puštanje u pogon transportnog niza čime je u potpunosti izbjegnuto povećani prazni hod dijela transportnog puta koji ne raspolaže supstancom za transport.

Što se tiče zauzimanja i korištenja transportnog puta, ovaj način upravljanja djeluje potpuno fleksibilno. To vrijedi i za transport sastavljen od niza transportera u seriji i za neku složenu konfiguraciju transporta, poput primjera prikazanog na slici 2, neovisno o broju transportera i broju paralelnih grana.

Razlikuju se tri vrste upravljačkih jedinica obzirom na tehnološki zahtjev upravljanja sistemom:

- upravljačka jedinica radilišta »R« kojom se upravlja transportnim putem,
- upravljačke jedinice u nizu »K« (njihov broj ovisi o broju transportera ili točnije o broju pogona),
- upravljačka jedinica na mjestu utovara »U« odnosno na kraju transportnog puta.

Svaka upravljačka jedinica upravlja vlastitom akustičkom i optičkom signalizacijom i motornim sklopnikom dotičnog transportera (Marinović i Katunarić, 1984).

Ponovno puštanje u pogon nakon kvara ili »nužde« moguće je tek nakon otklanjanja uzroka zaustavljanja (kvar ili »nužda«), te resetiranja memorije upravljačkog uređaja.

Svi navedeni tehnološki zahtjevi upravljanja objedinjeni su u dijagramu toka koji je prikazan na slici 3. (Marinović, Katunarić i Zorić, 1989).

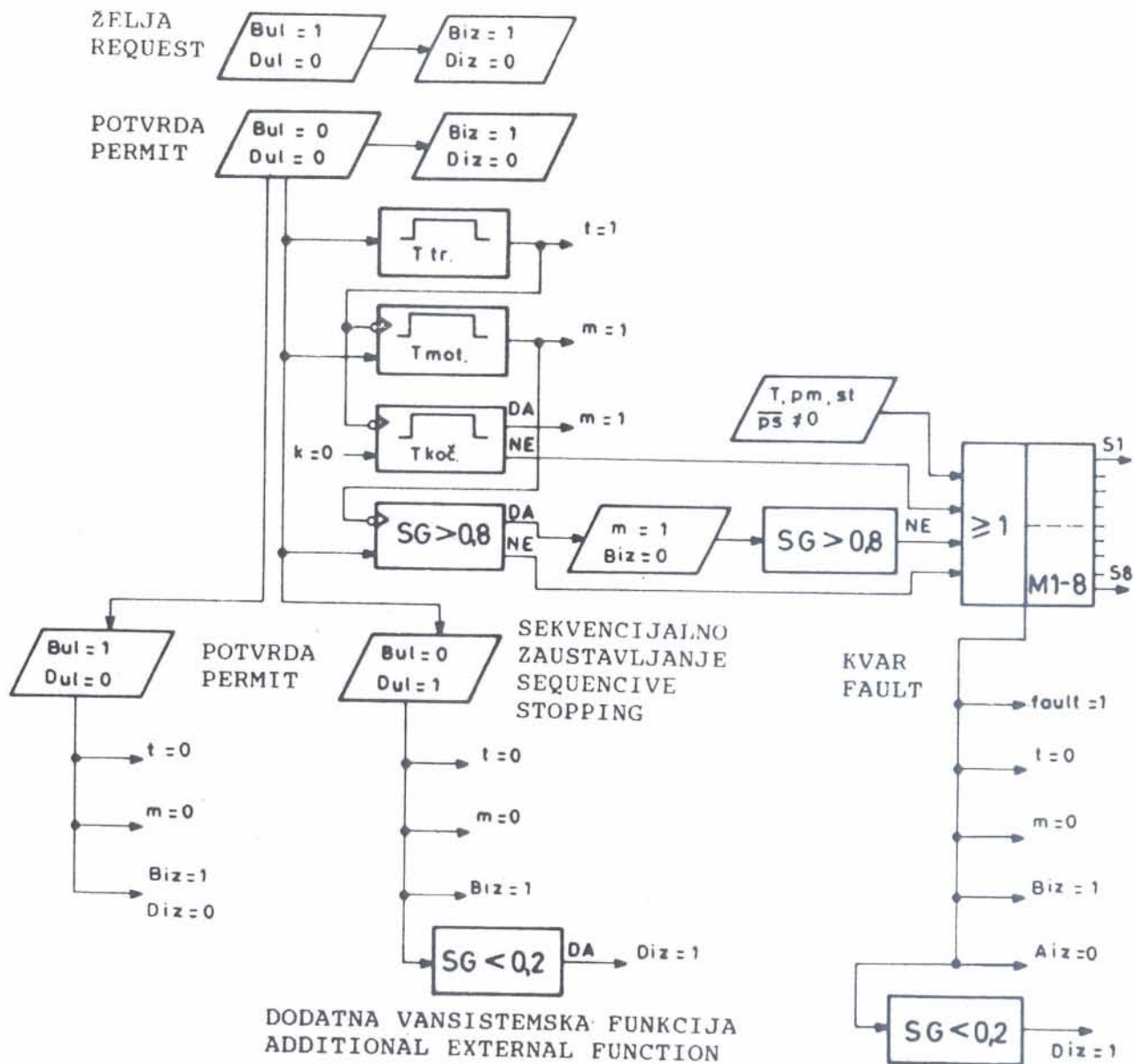
Na slici 3 vidimo polazni podatak »ZELJA« nekog radilišta koji pronalazi optimalan put transportne staze do »POTVRDE« (vidi sl. 2.) utovar-nog mjesta, te započinje procesiranje koje se sastoji u:

- signalu trubom da će transport krenuti,
- otpuštanju kočnice,
- pokretanju motora,
- provjeri uvjeta rada ili zaustavljanje.

Na osnovi ovog dijagrama toka izrađena je logička shema svakog upravljačkog bloka kojeg možemo nazvati AUTOMAT a to je poslužilo kao podloga za dizajniranje u Institutu R. Končar mikro chip-a koji zbog određene namjene nosi uobičajeni naziv ASIC, a ISKRA-MIKROELEKTRONIKA – Ljubljana ga je realizirala u monolitnoj mikroelektroničkoj tehnologiji.

Automat koji se sastoji od mikro chip-a ASIC i neophodnih dodatnih perifernih sklopova kojima je kompletirana funkcija automatizacije, osim izvora napajanja, smješten je u kutiju dimenzija 115 x 90 x 50 mm.

Na slici 4. prikazan je primjer instaliranja jednog transportnog sistema s dvije paralelne grane, i međusobno povezanim automatima i odgovarajućim priborom. Pri tome treba naglasiti da broj paralelnih grana kao i broj transportera u nizu nisu uopće ograničeni te omogućavaju instaliranje bilo kojeg broja transportera, uz uvjet da povezivanje automata mora pratiti povezivanje transportera.



Sl. 3. Dijagram toka automatizacije

Fig. 3. Flow chart of automation

### Automatska regulacija natezanja trake

Iako smo nakon prvih praktičnih primjena automatizacije upravljanja i protupožarnih mjera, očekivali interes za automatsku regulaciju natezanja trake, pripremljena rješenja su, na žalost, ostala bez primjene u našim rudnicima, dok su u međuvremenu u svijetu ta rješenja već primjenjena i pokazuju da minimalno zatezanje traka iznad granice proklizavanja rezultira s prosječno 4-strukim produljenjem vijeka trajanja trake (Marinović i Katunarić, 1983).

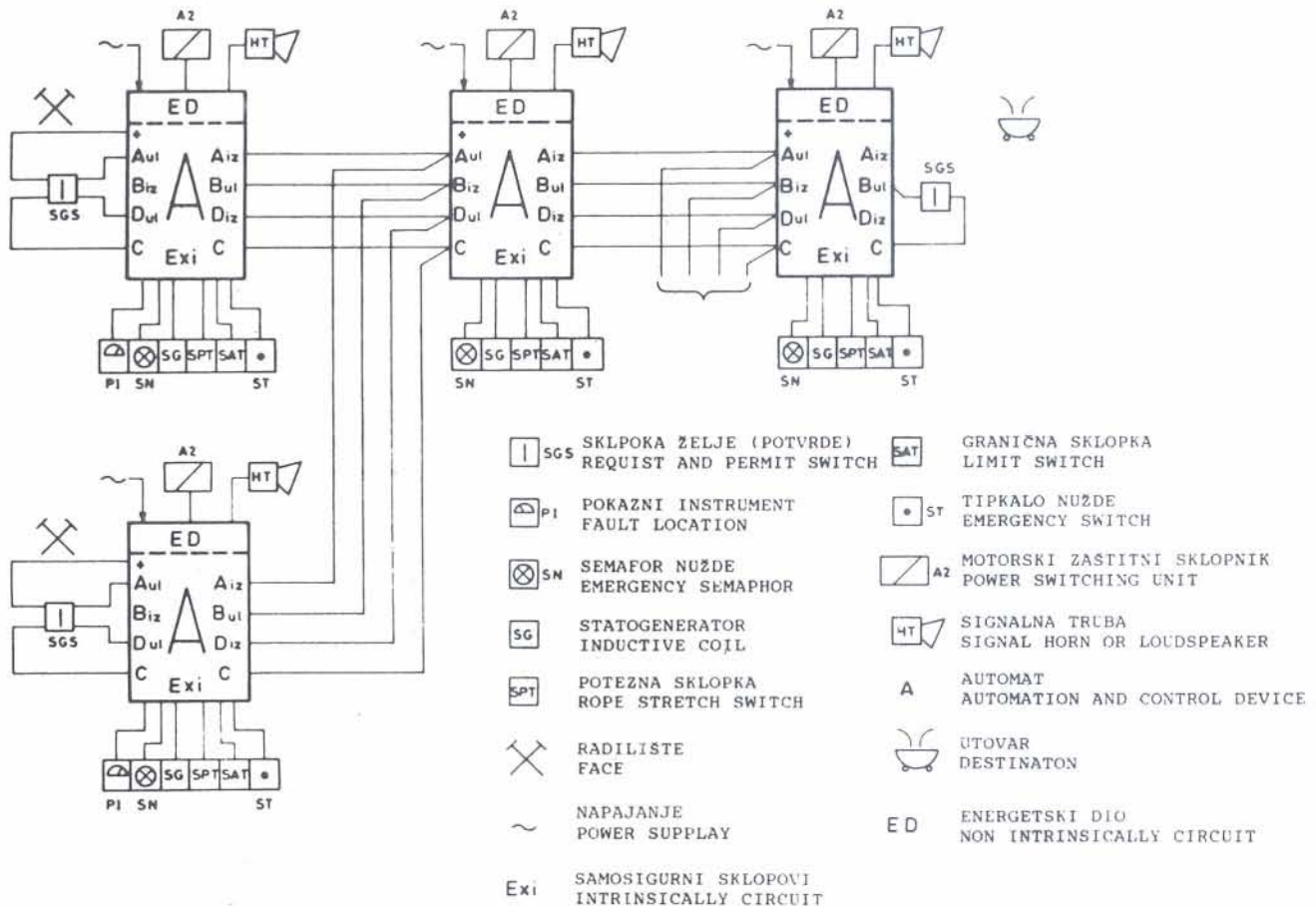
Navedeni rezultati jednostavno nameću pitanje *DA LI SU NAŠI KORISNICI TRANSPORTERA S TRAKOM TOLIKO BOGATI DA IM PRODULJENJE VIJEKA TRAJANJA TRAKE U EKSPLOATACIJI NIJE INTERESANTNO?* Odgovor je, pretpostavljamo, u slabom interesu za automatizacijom upravljanja jer eliminira atraktivna radna mjesta, koja su često zaposjednuta invalidima rada, ali svakako uz nepotrebne troškove.

### Detekcija i lokacija greške valjka

Zaglavljivanje valjka transportera s trakom, ako se ne primjeti na vrijeme, najčešći je razlog oštećenja ili uništenja transportne trake. Zbog toga se redovito obavlja nadzor stanja valjaka te zamjenjuju valjci za koje se, prema iskustvu, pretpostavlja da su im ležaji toliko istrošeni da bi mogli uzrokovati zaglavljivanje valjka.

Danas u svijetu postoje razvijeni robotizirani alati kojima je moguće i u najtežim uvjetima obaviti zamjenu sumljivog valjka bez zaustavljanja transportne trake. Tim alatima upravljaju ljudi koji nadziru transportere s trakom tako da je njihovo iskustvo u procjenjivanju stanja u kojima se nalaze valjci odlučujuće za aktiviranje robotiziranih alata koji zamjenjuju valjke. U krivoj procjeni stanja valjaka krije se opasnost da između dva nadziranja dođe do zaglavljivanja nekog valjka. Da ne bi došlo do toga valjci se nastoje mijenjati prije nego dođu do krajnjih granica svoje upotrebljivosti što kao poslje-





Sl. 4. Instalacija automatizacije transporta

Fig. 4. Transport automation connection

dicu ima slanje na obnavljanje valjaka koji su mogli još dosta vremena biti u upotrebi. Zbog toga se mogu znatno povećati pogonski troškovi transportnih traka (Marinović, 1982).

Opravanost automatizacije detekcije i lokacije greške valjka postojat će samo onda kad će oprema koja to omogućava biti jeftinija od robotizirane zamjene neispravnih valjaka bazirane na iskustvu čovjeka, rukovodaca robotom, te rizika koje takvo održavanje, zbog subjektivnosti procjene i dugog intervala između dva nadziranja, u sebi nosi.

Osnovni problemi koje je potrebno savladati su sadržani u velikim dimenzijama transportera s trakom i vrlo velikom broju dijelova koje treba nadzirati, što izuzetno komplicira određivanje mjesta kvara, te u relativno jako izraženim smetnjama koje otežavaju prepoznavanje karakteristika kvara a odale i njegovo pojavljivanje.

Jedna od ključnih polaznih točaka je definiranje stanja valjka koje se proglašava pojavom kvara. Kao ekonomski najopravdanije stanje nameće se stanje valjka blizu zaglavlivanja. O mogućnosti pouzdanog određivanja tog stanja ovisit će i ekonomičnost i pouzdanost primijenjene detekcije.

Samu pojavu kvara na valjcima moguće je detektirati prema nekim pojavama koje kvar redovito prate, kao što su:

- povećanje otpora kotrljanju u ležaju,
- povećanje razine dijela spektra uzrokovanog udarcima u ležaju,

- smanjivanje brzine vrtnje valjka u odnosu na referentnu,
- pojavljivanje klizanja trake po valjku,
- pojavljivanje spektra karakterističnog za klizanje trake po valjku,
- povišenje temperature trake i valjka.

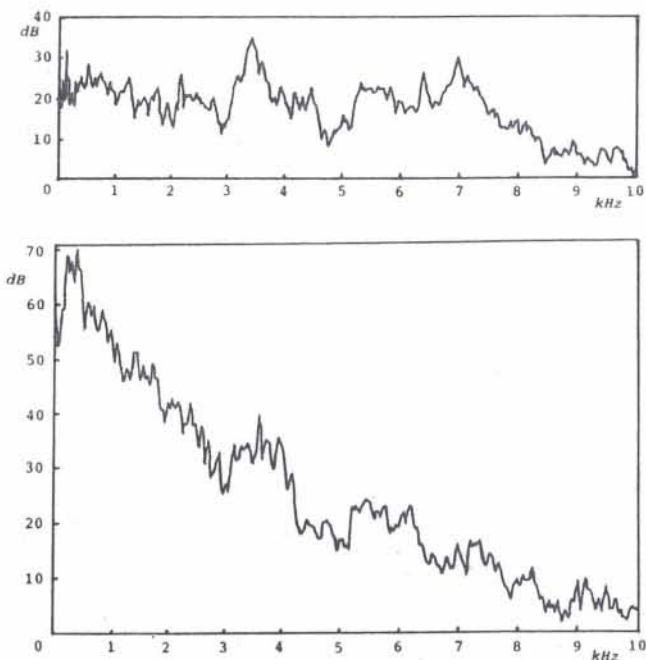
Za određivanje trenutka kada proglašavamo neki valjak neispravnim neophodno je definirati granične uvjete po apsolutnoj vrijednosti, ali također je potrebno pratiti i gradijent promjene karakteristika valjka jer iz odnosa tih dviju veličina ovisit će i hitnost kojom je potrebno reagirati.

Na slici 5.a) prikazan je karakteristični frekvencijski spektar okvira u kojem se nalazi »pokvareni« valjak, a na slici 5.b) prikazan je karakteristični frekvencijski spektar »pokvarenog« valjka.

Problem određivanja mjesta na kojem se pojavio kvar na valjku vrlo je izražen zbog velikog broja valjaka koje je potrebno nadzirati, te velike dužine transportera s trakom.

Što je nadziranje spuštено bliže valjku to je pojavljivanje kvara jednostavnije povezivo s mjestom na kojem je on nastao, ali je za to potrebno više opreme (mjernih pretvarača i opreme za prijenos signala), što naravno znači i veću cijenu. Udaljavanjem od pojedinog valjka, odnosno grupiranjem valjaka ili okvira u cjeline koje se nadziru s jednim ili dva mjerna pretvarača, komplicira se i otežava točno lociranje mjesta na kojem se javlja kvar ali i znatno smanjuje cijena potrebne opreme.





Sl. 5. a) Frekvencijski spektar okvira s »pokvarenim« valjkom; b) Frekvencijski spektar »pokvarenog« valjka

Fig. 5. a) Frequency spectrum of idler roll carrier containing damaged idler roll; b) Frequency spectrum of damaged idler roll

Kompromis između jednostavnosti određivanja mjesta na kojem se javlja kvar i cijene potrebne opreme bit će odlučujući pri izboru najprikladnije metode za lokaciju greške na valjcima.

Analiziranje problema detekcije i lokacije greške na valjcima transportera s trakom naveli su nas da se detaljnije pozabavimo tim problemom tako da su mogućnosti pouzdane detekcije i lokacije već neko vrijeme predmet istraživanja koja se provode na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Institutu »Rade Končar« i Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Dosadašnji rezultati ukazuju da postoji mogućnost jednoznačnog prepoznavanja pojave greške na valjcima dok problem jednoznačnog lociranja mjesta kvara koji bi bio dovoljno jeftin još uvijek nije dao zadovoljavajuće rezultate (Zorić i Ivančević, 1989).

Glavni problemi s kojima se susrećemo u istraživanju povezani su uz nedostatak potrebne opreme za analiziranje i simulaciju te pomanjkanje sredstava neophodnih za obavljanje mjerenja na terenu iako postoji zainteresiranost pojedinih radnih organizacija za primjenu automatiziranih sistema detekcije i lokacije grešaka valjaka.

## Zaključci

Automatizacija upravljanja transportnim trakama je do danas uspjela riješiti cijeli niz problema koji su sadržani u prirodi procesa i komponenata kojima se taj proces može realizirati. Za sagledane probleme kao što su: sekvencijalno upuštanje i sekvencijalno zaustavljanje transportera s trakom, automatsko biranje optimalnog transportnog puta, nadzor položaja trake, nadzor brzine trake, nadzor proklizavanja trake po pogonskom bubnju, jednostavno logičko povezivanje svih navedenih dijelova u cjelinu neovisnu o konfiguraciji transportnog puta, standardizacija upravljačkih komponenata, izrada standardnog automata s predviđenom mogućnošću centralizirane obrade podataka i natezanje transportne trake na vrijednost tik iznad pojave klizanja, pronađena su uspješna rješenja koja se mogu povezati u funkcionalnu cjelinu, što je potvrđeno i u praksi.

Kao i pri svakom automatiziranju pojedinih tradicionalnih procesa javljaju se poteškoće u primjeni kvalitetnih rješenja. Najveće teškoće javljaju se kod ljudi koje automatizacija izbacuje iz tehnološkog procesa, iako ona omogućuje rad u sigurnijim i humanijim uvjetima.

Pored navedenih uspješno savladanih problema još uvijek je ostao neriješen problem efikasne detekcije pojave i lokacije kvara na nosećim valjcima transportera s trakama. Zbog toga se upravo tom problemu sada posvećuje najveća pažnja.

Primljeno: 25. I. 1990.

Prihvaćeno: 4. VI. 1990.

## LITERATURA

- Marinović, N. (1982): Rudarska elektrotehnika (Electrotechnics in Mine). Školska knjiga, Zagreb.
- Marinović, N. i Katunarić, N. (1981): Automatizacija kontinuiranog transporta standardnim kontrolnicima (Automation of Continuous Transport by Standard Controllers). Simpozij »Preventivna zaštita u rudarstvu i metalurgiji«, Zenica.
- Marinović, N. and Katunarić, N. (1983): Automation of Continuous Transport in Mines. International Conference of Mines Transport, ABMECK 83, Bretby, UK.
- Marinović, N. i Katunarić, N. (1984): Automatizacija transporta u rudnicima (automation of Continuous Transport in Mines). »KONČAR« Stručne informacije br. 3, Zagreb.
- Marinović, N. i Katunarić, N. i Zorić, I. (1989): Transportne trake (Conveyor Belt). Bilten S komisije, broj 2, vol. 34, godište 17, Zagreb.
- Marinović, N. and Vranić, P. (1971): Automation of Continuous Transport in Underground Mines in High Logic Technique. International Conference of Safety in Mines Research, referat C2, Doneck, USSR.
- Zorić, I. i Ivančević, B. (1989): Mekane cijevi kao zvukovodi u detekciji kvarova (Soft Hosepipes as Sound Channels for Damage Detecting). JUREMA 9. Simpozij mjerenja u komunikacijskim sustavima, Dubrovnik.

## Automation of Conveyor Belt Transport

N. Marinović, N. Katunarić and I. Zorić

Specially for mines with underground exploitation the configuration of transport routes changes depending on the development of work in the mine. Consequently, the length of individual transport routes and the number of routes are often changed. Namely, very often some winning face are closed and new ones are opened, so that the scheme of transport can be changed. Starting from this standpoint the automation should be solved in such way that the transport devices in no case depend on the configuration of the transport nor on the number of conveyors in the transport barnch.

With belt conveyor besides checking whether the belt slides on the driving drum, it is also necessary to check the position of the belt, and in case of its deviation the transport should be stopped, and the conveyor is considered to be in fault. In case of double-chain conveyor the breaking of only one chain should be considered as fault and the driving of conveyor should be immediately stopped.

It seems that technologically the most suitable and at same time also the most efficient system is signalling and control from the winning face and allowing from destination, because only transport route which has the substance available for transport and possibility that at the end of the transport route the substance can be transferred or stored, will be in operation.

This way of control of transport and automation enables full flexibility in choosing and utilization of the transport route indispensable for unhindered work of individual faces and destination (loading place). This applies both to the transport consisting of conveyors in line, regardless the number of conveyors, and also to one complex transport configuration regardless of the number of conveyors and branches.

In case of belt conveyors in addition to checking the speed of belt movement we have also to check the correct position of the belt because deviation of the transport belt from the proper position can disturb the transport in the same way as stopping of one conveyor. Checking of the transport belt position is effec-

ted by the so called »transport belt limiter« which consists of one end switch activated by deviation of the transport belt.

Control sets or devices of individual conveyors comprise, in addition to assemblies for the processing of the received data, also executive elements for the control of electrical power circuits either for signalling or for conveyors motor drive. With regard to the technological requirements of the control of the whole system we distinguish three kinds of control sets.

If it is a question of mines endangered with methane or explosive coal dust, the control sets should be protected by flameproof enclosure the same as the switching apparatuses and all other electrical equipment. Control electrical circuits in the control cable are intrinsically safe, so that breaking or short circuiting of cores in control cable cannot ignite the explosive mixture. This also applies to the electrical circuit for emergency stopping and to measuring circuit for fault location.

Data received by the transducers i.e. tachogenerator are also intrinsically safe, so that they cannot ignite the explosion mixture. Consequently, also the emergency pushbuttons need not be specially protected because they are connected to intrinsically safe current circuits.

In addition to conveyor belt sliding on the driving drum and its deviation from the position there is the problem of idler roll sticking that can cause the serious damage of the conveyor belt. For a complete automation of the conveyor belt transport, an automatic replacement of the damaged idler roll will be necessary. To make all these possible it is necessary to define the measurable characteristics of the idler roll as well as to define the method for locating the position of the just-to-be-stuck idler roll. Huge number of the idler rolls in conveyor belts transport is one of the reasons for a very difficult and complex detecting of the damage on each and every idler roll, as well as its locating. The research that has been in progress aims at the efficient way for finding out the damaged idler roll and its location.