

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 7	str. 53-56	Zagreb, 1995.
----------------------------------	--------	------------	---------------

UDK 622.61:622.625.28-83/843.6

Stručni članak

*The project "Advancement of methods of exploitation of bauxite and their application" financed by Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia*

## TENDENCIJA PRIMJENE ELEKTRIČNE UTOVARNO-TRANSPORTNO-ISTOVARNE MEHANIZACIJE U PODZEMNIM PROSTORIJAMA RUDNIKA

Vladimir RENDULIĆ i Siniša DUNDA

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu,  
Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

**Ključne riječi:** Rudnik, Podzemna eksploatacija, Dizelski pogon, Električni pogon

**Key-words:** Mine, Underground mining, Diesel drive, Electric drive

Promijenjeni uvjeti rada u dubokim podzemnim prostorijama rudnika primjenom mehanizacije na dizelski pogon pridonijeli su tendenciji uvođenja električnih utovarno-transportno-istovarnih (Load-Haulage-Dump) strojeva u rudnike.

Međutim, iako je fleksibilnost električne rudarske mehanizacije poboljšana zahvaljujući nastojanjima tvornica rudarskih strojeva, dizelske su jedinice još uvijek fleksibilnije u primjeni, iako u jamskim pogonima skuplje za održavanje.

Changed working conditions in deep mining workings (underground rooms of a mine) have lead, by application of diesel driven mechanization to the tendency of introducing the electric LHD machines in mines.

However, although the flexibility of electric mining machines has been improved due to the efforts of factories producing mining machines, the diesel units are still more flexible in application, although their maintenance in pit drives is more expensive.

### Uvod

Mehanizacija s dizelovim motorima primjenjena je najprije u njemačkim rudnicima 1927. godine jamskom lokomotivom koja je kasnije primijenjena u Engleskoj te ostalim rudnicima Europe i Amerike. Uvođenje suvremene, samohodne LHD mehanizacije te bušaće i servisne opreme s pogonom na naftu u podzemne prostorije rudnika uvjetovalo je povećanje potrebne količine zraka za vjetrenje u cilju zaštite zaposlenih od škodljivih ispušnih plinova iz dizelskih motora. Posljedica rada dizelskih strojeva u podzemnim prostorijama rudnika jesu buka i vibracija, povećava se temperatura i opasnost od požara, a smanjuje se vidljivost.

U ispušnom plinu dizelovog motora utvrđeni su ovi opasni sastojci: ugljični monoksid (CO), dušični oksidi (NO i NO<sub>2</sub>), sumporni dioksid (SO<sub>2</sub>), akrolein (CH<sub>2</sub>CHCHO) i formaldehid (HCHO), koji su otrovni i ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) koji je zagušljiv, te čada kao produkt nepotpunog sagorijevanja u motoru.

Razblaženje ovih komponenata na MDK (maksimalno dozvoljena koncentracija) postiže se povećanjem količine ulaznog zraka odnosno povećanjem njegove turbulencije kod strujanja u jamskim vjetrenim provodnicima (T e p l y, 1990).

Prije uvođenja dizelske opreme u jamske pogone obično treba riješiti dva temeljna problema:

- osigurati dovoljnu količinu zraka za razblaženje ispušnih plinova te na taj način omogućiti nesmetan rad zaposlenih, kao i rad dizelskih motora;
- izraditi jamske vjetrene provodnike veće površine poprečnog presjeka i omogućiti njihovo podgrađivanje i održavanje.

Izabrani dizelski motor mora stvarati takvu koncentraciju opasnih komponenata u ispušnom plinu da se za njihovo razređivanje na MDK troši što manja količina svježeg zraka.

Električni pogoni LHD jedinica u podzemnoj eksploataciji imaju ove prednosti prema dizelskim pogonima:

- nema ispušnih plinova;
- može se dopustiti slabiji intenzitet vjetrenja jamskih prostorija;
- poboljšana je vidljivost u jami;
- strojna jedinica je većeg kapaciteta;
- pogonski elektromotori imaju veću učinkovitost;
- elektromotori razvijaju nižu temperaturu;
- razvija se manja buka kod rada;
- jednostavnost električnih motora omogućuje i lakše održavanje strojeva.

Glavni nedostatak električnih LHD strojeva je ograničeno kretanje i dodatni troškovi zbog kratkog životnog vijeka povlačnog kabela.

Neke kompanije u svijetu vjeruju u automatizaciju i elektrifikaciju podzemnog transporta pa su kao rezultat toga proizvedeni automatski izvozni kamioni AHT (Automatic Haulage Truck) s trolejem i daljinskom kontrolom (C h a d v i c k, 1992).

### Dizelski motor i kvaliteta ispušnog plina

Sustav dizelovog motora sastoji se od uvođenja čistog zraka u cilindar gdje ga klip snažno komprimira na tlak od 25 do 40 bara. Na kraju kompresije postiže se temperatura paljenja goriva od 550 do 700<sup>0</sup>C, koje se ubrizgava u cilindar posebnom visokotlačnom pumpom. Uslijed izgaranja goriva povećava se tlak u cilindru na 60 do 100 bara, koji služi za obavljanje rada (K r a u t, 1982). Kod dizelovog procesa nema opasnosti od samozapaljenja

(detonacije) goriva u cilindru pa se može izabrati viša kompresija što je i razlog da se gorivo znatno bolje iskorištava.

Gorivo za dizelske strojeve zaposlene u podzemnim prostorijama rudnika mora zadovoljiti ove temeljne kriterije:

- sadržaj sumpora mora biti ispod 0,5%;
- temperatura paljenja goriva treba biti što viša;
- gorivo mora imati konstantni elementarni sastav;
- gorivo treba sadržavati što manje nečistoća i vlage.

Rashladno djelovanje na ispušne plinove imaju vodeni prečistači koji dobro prečišćavaju aldehide. Posljednjih godina oksid-katalitički prečistači ispuha u kombinaciji s filterima za čađu eliminiraju preko 90% zagađivača.

Kako je poznato, dizelski motori s "dvostupanjskim sagorijevanjem", tj. motori s pretkomorom, namijenjeni su za rudnike s podzemnom eksploatacijom jer u ispušnom plinu sadrže manju koncentraciju škodljivih komponenti nego motori s "direktnim ubrizgavanjem" goriva. Koeficijent razblaživanja (K) pojedinih komponenata ispušnog plina tada je manji i računa se iz odnosa sadržaja komponente i njezine vrijednosti za MDK, na primjer:

$$K_{CO_2} = \frac{CO_2}{MDK_{CO_2}}$$

gdje su:

CO<sub>2</sub> - koncentracija ugljičnog dioksida, %;

MDK<sub>CO<sub>2</sub></sub> - maksimalno dozvoljena koncentracija ugljičnog dioksida, %.

Dvokomorno miješanje goriva omogućuje potpunije sagorijevanje zbog čega nastaje manja koncentracija opasnih komponenata u ispušnom plinu dizelskog motora, iako je potrošnja goriva nešto veća. Kod ispravno usklađenog dizelskog motora sve su komponente u ispušnom plinu količinski ovisne od opterećenja motora.

Mjerilo ispravnosti rada dizelskog motora je sadržaj čađi i ugljičnog monoksida u ispušnom plinu. Svako pogoršanje sagorijevanja i povećanje dodatka goriva izaziva povećanje sadržaja ugljičnog monoksida.

Za motore s dvostupanjskim sagorijevanjem, koji su predviđeni za uporabu u podzemnoj eksploataciji, usklađivanje se motora izvodi na određenu graničnu vrijednost ugljičnog monoksida (CO), kao što je to praksa u Njemačkoj.

Na kvalitetu ispušnog plina utječu i mnogi drugi čimbenici, a najviše odnos gorivo-zrak. Kada je taj težinski omjer u motoru ispod 0,06, smjesa sadrži više zraka nego što je potrebno za sagorijevanje, pa se mijenja kvaliteta plina, a glavni je sastojak ispušnog plina ugljični dioksid, koji nije otrovan.

Usklađivanje odnosa gorivo - zrak je karakteristično za motore s direktnim ubrizgavanjem goriva, kao što je praksa u Americi, Švedskoj, Engleskoj i drugdje.

Naš važeći Pravilnik o tehničkim normativima za strojeve s dizelskim motorima koji se upotrebljavaju pri podzemnim rudarskim radovima u nemetanskim jamama (Zakon o preuz. zakona, 1991) propisuje indiciranje ugljičnog monoksida u ispušnom plinu dizelskog stroja na početku svake smjene. Ako se indiciranjem utvrdi da je vrijednost ugljičnog monoksida (CO) 0,12% ili više, stroj se mora isključiti iz uporabe.

#### Dizelski LHD utovarači

Proizvodnjom LHD strojeva na dizelski pogon velikih snaga i učinaka započine 1962. tvrtka Wagner (J o h n s t o n e, 1975), a istovremeno i tvrtke Eimco, Yoy, Caterpillar, Allis-Chalmers i Euclid. Današnje standardne izvedbe LHD utovarača s dizelskim pogonom imaju volumen lopate: 2,0, 3,8, 7,0 i 10,0 m<sup>3</sup> i nosivost: 3,8, 7,3, 12,0 i 15,0 t.

Glavne opasnosti kod uporabe strojeva s pogonom na naftu u podzemnim prostorijama rudnika jesu:

- nezdravi uvjeti u atmosferi otrovnih sastojaka ispušnog plina dizelskog motora;
- eksplozije i zapaljenja jamske atmosfere uslijed zagrijanih dijelova stroja;
- eksplozije i upale nafte kod pretakanja, transporta i uskladištenja u jamskim uvjetima;
- zagađivanje jamske atmosfere ispušnim plinovima i čađom uslijed intenzivnih radova dizelskih strojeva.

Veća količina potrebnog zraka za vjetrenje jamskih prostorija uzrokuje porast troškova koji predstavljaju značajan odjeljak u ukupnim troškovima po toni mineralne sirovine. Radi smanjenja troškova vjetrenja i radi zaštite radne okoline, naročito u dubokim jamama, kvaliteti ispušnih plinova dizelskih strojeva daje se sve veća pozornost.

#### LHD jedinice s električnim pogonom

Elektrificirana LHD oprema u rudnicima često znači veće investicije, ali nudi niže troškove eksploatacije. Veća snaga ovih jedinica omogućava za od 20 do 30% veći utovar od dizelskih, pa su one produktivnije. Zbog toga se može i smanjiti potreban broj jedinica, što znači manje troškove održavanja i manje potrebnih rezervnih dijelova. Poznato je da električni motori imaju učinkovitost oko 95%, a dizelski motori samo od 40 do 45%.

Veliki uspjesi u konstrukciji električnih LHD-a ostvareni su u kompanijama Tamrock Toro, Eimco i Wagner, gdje smatraju da električne jedinice imaju prednost pred dizelskim, naročito u pogledu izdvajanja topline. Električni motori rade na temperaturi približno 38<sup>0</sup>C, a dizelski približno 98<sup>0</sup>C s temperaturom ispuha do 540<sup>0</sup>C. Smatra se da električne LHD jedinice imaju ove glavne nedostatke:

- ograničeno kretanje;
- dodatni troškovi kablova i svitaka;

- nedostatak stručnosti u održavanju strojeva.

Spomenuto je da su električni LHD-i produktivniji, jer se dodatne cijene kablova isplate većom učinkovitosti.

Tipični LHD na dizelski pogon proizvodi prosječno 2 kW, a maksimalno 3 kW topline za instalirani kW motora. Električni LHD, npr. Eimco 913 E, proizvodi 0,6 kW, maksimalno 1 kW topline za instalirani kW motora. Prema tome električna jedinica proizvodi trećinu topline koju bi u podzemnom rudarskom okolišu proizvela dizelska, pa će se ona upotrebljavati prvenstveno zbog tišeg rada, manjeg zagađivanja i manje potrebe zraka za vjetrenje.

Kabelska električna na LHD stroju naročito je pogodna za rad u podzemnom, ograničenom prostoru, jer nema ispušnih plinova, a mali su troškovi servisiranja.

Današnje izvedbe LHD utovarača s električnim pogonom imaju volumen lopate: 2,0, 3,8, i 6,0 m<sup>3</sup>, i nosivost: 3,8, 7,3 i 12,0 t. Akcijski radius novijih konstrukcija proizvodnje Eimco povećan je na približno 400 m. Bujanj s namotanim kablom smanjuje fleksibilnost LHD stroja. Taj je nedostatak otklonjen kombinacijom svitaka kablova s trolejnim vodom. Takav povlačno-kabelski trolejni sustav dozvoljava nešto veću fleksibilnost, ali ima mali udio u strojnoj opremi današnjih podzemnih rudnika, osim kod eksploatacije ugljena. Načelno, može se istaknuti, da će električne LHD jedinice i u budućnosti ostati za specijalne namjene bez obzira na ekološke razloge koji će utjecati na potiskivanje uporabe dizelske opreme u podzemnim rudnicima.

Akumulatorska električna u podzemnoj eksploataciji ima sve prednosti zatvorenog izvora snage bez zagađivanja okoline i s niskim troškovima održavanja. Jednostavni sustav izmjene akumulatora (Eimco) i odgovarajući razmak stanica za punjenje u jami povećava efikasnost strojeva s akumulatorima u jamskom transportu.

#### LHD jedinice i kamioni u jamskom transportu

Nastojanja na daljinskoj kontroli jamskih LHD-a i kamiona s površine, rezultirala su do sada s najvećom jedinicom u podzemnom transportu. Kamion bez vozača na glavnom izvozu rudnika (Automatic Haulage Truck) praktički je sanduk bez čela i začelja, duljine 10,5 m, visine 3 m, a proizvod je Inco Canada (C h a d i c k, 1992). Maksimalna brzina kamiona je 14,5 km/h, a energiju za pogon dobiva preko trolejskog voda napetosti 575 V.

Instrukcije ova transportna jedinica dobiva radijom kodiranim markerima duž izvoznog puta. Kamion se preko video kamera kontrolira i vizualno.

Električni kamioni u podzemnim rudnicima imaju nekoliko prednosti pred dizelskim jedinicama, a to su: čistoća i tišina u radu čime se osigurava zdravija radna okolina; manje pokretnih dijelova kod kamiona čini održavanje lakšim i jeftinijim;

efikasnost motora, kapacitet utovara i brzine kretanja su veće nego kod dizelskih jedinica, pa to omogućuje veću produktivnost.

Pokusi s Inco kamionom još su u tijeku, međutim kamion predstavlja danas najnaprednije vozilo za podzemni rudarski transport u svijetu, jer:

- sustav kontrole pomoću kompjutera dozvoljava neovisan rad;
- kamion je projektiran za rad na kosini do 20%;
- sustav može imati potpuno automatski utovar, izvoz i istovar uporabom automatskih šipki ili specijalnih strojeva za kontinuirani proces.

Slične prednosti i postavljanje zahtjeva na električne LHD, proizvod Wagnera i Tamrock Toro, opisane u časopisu Mining Magazine iz kolovoza 1992. Kako nema ispušnih plinova, manja je potrebna količina zraka za vjetrenje, veća je vidljivost i zdraviji radni okoliš; uslijed konstantne snage elektromotora brže je punjenje lopate utovarača, čime se postiže veći kapacitet.

Nedostaci ovih LHD-a na električni pogon jesu, prvenstveno, ograničeno kretanje; dodatni troškovi svitaka kablova; potrebno je osigurati adekvatnu opskrbu električnom energijom.

U spomenutom časopisu iz prosinca 1992. opisana je primjena jamskog kamiona (Mamut 120), kapaciteta 120 t u rudniku željezne rude LKAB Malmberget u Švedskoj. Mamut 120 je superteški izvozni kamion nosivosti 120 t. Posebno ojačana karoserija praktički je novi koncept takvog kamiona. Hidraulika i ovjes također su novo projektirani.

Tehnologija rada u podzemnoj eksploataciji sve se više razvija u smjeru primjene kompleksne mehanizacije. S tim u svezi dolazi u obzir primjena jedne vrste energije, a to je danas obično električna. Kada su uvjeti povoljni primjenjuje se mehanizacija s dizelskim pogonom, zbog izrazite prednosti u pogledu autonomnosti.

#### Zaključak

Električna je energija praktički ovladala današnjom rudarskom mehanizacijom, iako njezin pohod po rudnicima nije bio tako munjevit kao što je to bilo s parnom energijom. Razlog je tome bio postojanje potencijalne opasnosti od upala i eksplozija u podzemnim rudnicima. Opazilo se da su električni uređaji opasni za uporabu u jamama s opasnim plinovima i opasnom ugljenom prašinom. Upravo su rudnici ugljena, kao glavni nosioci industrijalizacije u pojedinim zemljama, postali nepodesni za primjenu električne energije. Što se tiče rudnika metala električnu se energiju u podzemlju moglo primjenjivati bez opasnosti.

Intenzivnim istraživanjima i postupnim uklanjanjem slabosti uporabe električne energije, a naročito povoljnoj cijeni, može se zahvaliti vraćanje njene uporabe u rudniku.

Međutim, razvile su se i tehnologije koje se oslanjaju na izvanredne mogućnosti i fleksibilnost te potpunu autonomnost dizelske mehanizacije.

Pogon dizelskim motorima je skuplji nego elektromotorni. Međutim, kada se uzmu u obzir troškovi za mrežu i razvoj električne energije do potrošača, prije donošenja odluke o vrsti energije, ukupne troškove treba odrediti detaljnom ekonomskom analizom i to posebno za svaki pojedinačni slučaj.

Može se istaći da su dizelski pogoni uglavnom ograničeni na manje jedinice, ili na strojeve gdje je primarni zahtjev maksimalna autonomnost.

Primljeno: 23.II.1995.

Prihvaćeno: 20.VI.1995.

#### LITERATURA

- Chadwick, J. (1992): Diesel or Electric? *Mining Magazine*, 167, 92 - 99, London
- Johnstone, H.A. (1975): Trends in trackless mining. *Mining Magazine* 1, 44 - 50.
- Kraut, B. (1982): Strojarski priručnik. Tehnička knjiga Zagreb. 684 pp, Zagreb.
- Teply, E. (1990): Rudnička ventilacija. Sveučilište u Zagrebu, 356 pp, Zagreb.
- ..... (1978): Pravilnik o tehničkim normativima za strojeve s dizelskim motorima koji se upotrebljavaju pri podzemnim rudarskim radovima u nemetanskim jamama. Zakon o preuzimanju zakona N.N. br. 53/91, Zagreb.

### Tendency of Applying LHD Mechanization in Mining Workings

V. Rendulić and S. Dunda

The introduction of modern automatic mechanization and oildriven (diesel-driven) drilling and service equipment in mining workings needs amounts of air for ventilation. Besides, the activities of this mechanization in underground rooms cause noise and vibrations, increase temperature and danger of fire and decrease visibility.

In the blown-off gas of diesel-engine there are dangerous components which have to be thinned by ventilation to undangerous quantity. In performing this, two basic problems need to be principally solved:

- to provide sufficient amount of air for thinning of gases,
- to construct mine air conductors with larger cross-sections.

Electrically driven LHD (Load-Haulage-Dump) units in underground mining have the advantage when compared with diesel-driven LHD units:

- there are no blown-off gases,
- slighter intensity of workings ventilation can be allowed,
- visibility in workings is improved,
- machinery unit has bigger capacity,
- driving electric motors are more efficient,
- driving electric motors develop lower temperature,
- less noise is developed during activities,
- simple construction of electric motors enables easier maintenance of machines.

The main disadvantage of electric LHD machines is restricted moving ability and additional costs due to short duration of pulling line.

Fuel for diesel-machines driven in mining workings has to satisfy the following basic criteria:

- sulfur content must be under 0,5%,
- temperature of fuel ignition has to be as high as possible,
- fuel must have constant elementary system,
- fuel has to contain as few impurities and moisture as possible.

Our "Statute on Technical Normatives for Diesel-Engine Machines Used in Underground Mining Activities in Non-Methane Pits" prescribes indication of carbon monoxide (CO) in blown-off gas of a diesel-machine at the beginning of each shift. If the indication proves the carbon monoxide value to be 0,12% or more, the machine has to be excluded from the use.

The main dangers in using the diesel-driven machines in mining workings are:

- unhealthy conditions due to toxic components in blown-off gas,
- explosions and ignitions of pit atmosphere due to heated parts of machines,
- explosions and inflammations of oil during pouring, transportation and storage in mine conditions,
- pollution of pit atmosphere with gases and soot.

Diesel-drive in mines is more expensive than electric drive. However, if the costs of electric energy network and distribution are considered, total costs need to be determined for each case separately after detailed economic analysis and then the decision can be made on the type of energy to be used in drive.