



FRICITIONLESS – NON POWERED EMERGENCY ARRESTORS FOR MINE HOISTING SYSTEMS

SIGURNOSNI STOPERI ZA RUDNIČKE IZVOZNE SISTEME BEZ ENERGETSKOG NAPAJANJA

Edward PRIBONIC, Marc THOMPSON
Magnetar Technologies, Corp., Seal Beach, USA

Abstract: Mine hoisting systems are universal within the mining industry. They are used in two embodiments, one for material hauling and another for personnel transport. Some are also unusual in that they are primarily used as conveyances of materials but are also used to carry personnel under certain circumstances. This is a very untypical combination of uses for any industry. Thus the hoisting ore skip is sometimes both a material handling device and a passenger vehicle.

As a rule, skips are provided for men-riding only for shaft inspection purposes. However, some material skips are also built with additional cage decks that can be used alternatively for skipping or man riding operations. Material transport and men-riding in the shaft occurs in single or multi-deck cages.

Key words: mine hoisting, material transport

Apstrakt: U rudarstvu se u većini slučajeva primenjuju univerzalni tipovi izvoznih postrojenja koji se mogu podeliti u dve osnovne grupe, za izvoz materijala i prevoz radnika. Međutim, koriste se i nestandardni tipovi izvoznih postrojenja koji prvenstveno služe za transport materijala, ali se u specifičnim uslovima mogu koristiti i za prevoz radnika što nije uobičajeno. Naime, u pojedinim slučajevima izvozni koševi istovremeno služe za transport sirovina i repromaterijala, ali i kao sredstvo za prevoz ljudstva.

Po pravilu, skipovi se koriste za prevoz radnika i to u slučajevima kada je potrebno izvršiti nadzor i kontrolu okna. Međutim, neki skipovi snabdeveni su dodatnim etažama na koševima tako da se alternativno mogu koristiti za izvoz materijala i za prevoz ljudi. Izvoz materijala i prevoz ljudi u oknu mogu se vršiti u više-etažnim koševima.

Ključne reči: izvozna postrojenja, transport materijala

1 INTRODUCTION

Transportation industries monitor their safety performance based on conveyances that carry only passengers. For instance, the following modes of passenger transportation are listed by total passenger-kilometers traveled:

1 UVOD

Kada se govori o bezbednosti u saobraćaju uglavnom se misli na pouzdanost transportnih sredstava koja prevoze putnike. Kao ilustracija, u nastavku su navedeni sledeći vidovi transporta putnika i to posmatrani u funkciju ukupnog broja pređenih kilometara:

Table 1 Transportation fatalities

Tabela 1 Saobraćanje nesreće

Transportation mode	Fatalities per million kilometers traveled
U. S. railroads ¹	0.726
U. S. airlines ²	0.000235
U. S. highways ³	0.0139
EU-25 highways ⁴	0.0098

The U.S. amusement industry reports 0.00133 fatalities per 100 million rides⁵. Mine hoisting overwind accidents occur about 100 times per year in the Republic of South Africa, the United Kingdom and Poland, resulting in about 12 fatalities annually⁶. There are no statistics on the number of persons transported on hoisting equipment, or the number of hoists in use worldwide.

However, some reasonable assumptions on the number of worldwide deep mines, average mine depth and number of personnel transfers to/from the shaft suggests a Fatality ratio of 1.85 per million kilometers traveled.

Comparatively, the mining industry accident rate, due only to overwinds, is significantly greater than conventional transportation systems. Riding a mine hoist can be considered a very risky form of transportation. Certainly everyone within the mining industry is very safety conscious and the industry continues to research methods to improve hoisting safety. However, because the risk is comparatively high, we would like to discuss a very promising and well proven technology that I believe can be very readily applied to mine hoisting systems with minimal impact. In addition, this is a technology that is infinitely re-usable, non-destructive, and requires no power or control system. Furthermore, the devices are essentially maintenance free. This is the technology of *Permanent Magnet Eddy Current Brakes*.

EDDY CURRENT BRAKE (ECB) TECHNOLOGY

ECB technology traces its roots to Heinrich Lenz. In 1834, Russian physicist Heinrich Lenz discovered the directional relationships between

Prema izveštajima koji se dobijaju od industrije zabave 0.00133 nesreća dešavaju se na svakih 100 miliona vožnji⁵. U rudničkom transportu na izvoznim postrojenjima u Južnoj Africi, Velikoj Britaniji i Poljskoj nesreće se dešavaju u proseku 100 puta gosišnje, što iznosi oko 12 udesa godišnje⁶. Statistički podaci vezani za broj ljudi koji se prevezu izvoznim postrojenjima ili o broju izvoznih postrojenja koja su trenutno u upotrebi u svetu ne postoje.

Međutim, ukoliko se uzme u obzir ukupan broj dubokih jama u svetu, njihova prosečna dubina i broj radnika koji se preveze do i sa radilišta, može se izračunati učestalost nesrećnih slučajeva od 1.85 na milion pređenih kilometara.

Poređenja radi, učestalost udesa u rudarstvu samo na izvoznim postrojenjima je mnogo veća nego kod konvencionalni oblika transporta. Naime, vožnja izvoznim postrojenjem može se smatrati veoma riskantnim oblikom prevoza. Svakako, svi zaposleni u rudarskoj industriji su veoma svesni značaja bezbednost na radu pa se neprekidno istražuju nove metode kako bi se unapredila bezbednost izvoznih postrojenja. Međutim, s obzirom da su rizici srazmerno visoki želeli bismo ovom prilikom da detaljnije razmotrimo jednu tehnologiju koja je već oprobana u praksi, a po našem mišljenju može se jednostavno i uz minimalne izmene primeniti na rudničke izvozne sisteme. Osim toga, pomenuta tehnologija ima beskonačnu primenu, nije agresivna i ne zahteva energetska napajanje, kontrolne sisteme, a ni posebno održavanje. Ova tehnologija poznata je pod imenom *Kočioni sistem na bazi permanantne magnetne vrtložne struje*.

KOČIONI SISTEMI NA BAZI VRTLOŽNE STRUJE (ECB)

Začetnik ECB tehnologije je Hajnrih Lenc. Ruski fizičar Hajrih Lenc 1834 godine pronašao je direktnu vezi između indukovanih magnernih

induced magnetic fields, voltage, and current when a conductor is passed within the lines of force of a magnetic field. Lenz's law states:

"An induced electromotive force generates a current that induces a counter magnetic field that opposes the magnetic field generating the current."

For those who may not recall this electro magnetic relationship, or may not be familiar with it, the phenomenon can be simply explained this way: when an electrically conductive material is passed through a magnetic field, an electromotive force (e.m.f.) is induced in the conductor which produces eddy currents, the eddy currents further producing a force that opposes the motion of the conductor.

The ECB takes advantage of this opposing e.m.f. as a braking force. Furthermore, at low speeds, the value of the force is proportional to the velocity of the conductor through the magnetic field. Thus, the faster the conductor traverses the field, the greater the resistance to that motion. Conversely, as the motion decelerates, the resistance decreases. The overall effect is a nearly linear, self controlled deceleration of the conductor. Therefore, attaching a conductor to a moving object in the path of a magnetic field of suitable strength, creates a brake system.

Since Lenz's time many attempts have been made at developing useful ECB's. Most have been linear devices built around the use of electro magnets in order to achieve suitable magnetic field strengths. A drawback to electro-magnetic ECB's is the necessity for a very reliable electrical source and controlling system. Permanent magnet, (PM), ECBs offer many advantages over electro-magnets in safety, reliability, and use in hostile environments. Until recently, PM ECB's were not scalable to industrial use because of the limitations of PM field strength and field retention. With the development of neodymium-iron-boron magnets, and their explosive growth in many industries, including disk drives and electric motors, PM ECB's have become practical and economically feasible on a scale suitable for mining, railways and transportation.

polja, napona i struje pri kretanju provodnika kroz sile magnetnog polja. Lenzov zakon glasi:

«Indukovana elektromotorna sila proizvodi struju koja indukuje oprečno magnetno polje koje se suprotstavlja magnetnom polju koje proizvodi struju»

Za one koji ne poznaju dobro princip funkcionisanja elektromagneta ovaj fenomen se može jednostavno objasniti na sledeći način: kada se materijal koji je provodnik električne energije kreće kroz magnetno polje dolazi do indukovanja elektromotorne sile (e.m.s.) u provodniku koja proizvodi vrtložnu struju što dalje generiše silu koja se suprotstavlja kretanju provodnika.

ECB sistem koristi snagu oprečne elektromotorne sile kao kočionu silu. Osim toga, pri malim brzinama vrednost sile je proporcionalna brzini kretanja provodnika kroz magnetno polje. Prema tome, što je brzina kretanja provodnika kroz magnetno polje veća to je veći otpor njegovom kretanju i obrnuto, pri smanjenoj brzini otpor raste. Krajnji rezultat predstavlja linearno usporavanje provodnika koje je u suštini samo-podesivo. Prema tome, efekat kočenja postiže se jednostavno postavljanjem provodnika na predmet koji se kreće kroz magnetno polje odgovarajuće jačine.

Još od Lencovog vremena bilo je puno pokušaja da se pronade korisna i praktična primena ove metode. U većini slučajeva to su bili linearni uređaji koji su se zasnivali na upotrebi elektromagneta u cilju stvaranja elektromagnetnog polja odgovarajuće jačine. Nedostatak elektromagnetnih ECB sistema sasoji se u tome što je neophodno obezbediti pouzdano napajanje električnom energijom i odgovarajući sistem upravljanja. ECB sistemi koji se zasnivaju na principu permanentnih magneta (PM) imaju puno prednosti u odnosu na elektromagnetne sisteme kao što su veći stepen bezbednosti, pouzdanosti i mogućnost primene u teškim uslovima. Donedavno, ECB sistemi na bazi permanentnih magneta nisu bili primenljivi u industrijskim uslovima zbog ograničene snage i retencije permanentnog magnetnog polja. Međutim, pronalazak i unapređenje neodimijum-gvožđe-boronskih magneta i njihova intenzivna primena u raznim granama industrije kao na primer kod elektromotora i pogona diskova, ECB sistemi sa permanentnim magnetima počeli su masovno da se koriste kao veoma praktičan i ekonomičan metod u rudarstvu, železnici i transportnoj industriji.

The electro-dynamic description of how the braking force is generated is given as follows: Consider a wire carrying DC current, traveling in the x direction with velocity v over an electrically conducting plate (Figure 1). The wire is infinitely long in the y -direction. The wire creates a moving magnetic flux and induces currents in the plate and hence levitation and drag forces. The magnetic drag force acting on the wire in the $-x$ direction is given by the formula below and graphed in Figure 2:

$$f_b = F_o \frac{v_{pk} v}{v^2 + v_{pk}^2} \quad (1)$$

At low speeds (speeds where $v \ll v_{pk}$) the braking force increases approximately linearly with speed. Force F_o is the "image force," or the force that acts on the wire as if there was an identical wire on the other side of the plate and the plate were removed. As speed is increased, the braking force increases until the "drag peak" velocity v_{pk} is reached. The "drag peak" velocity is given by:

$$v_{pk} = \frac{2}{\mu\sigma T} \quad (2)$$

where σ and μ are the electrical conductivity and magnetic permeability of the plate and T is its thickness. The important functional dependencies of the magnetic drag force are :

- At low velocity, magnetic drag is linearly proportional to velocity.
- The drag force reaches a peak value at a finite velocity v_{pk} .
- Above the drag peak velocity, the drag force decreases as $1/v$.
- The drag peak velocity is lower for a thicker plate.

U nastavku je dat elektrodinamički opis nastanka kočione sile: kroz žicu propušta se jednosmerna struja koja se kreće u smeru x brzinom v kroz ploču koja je elektroprovodnik. U smeru y žica je beskonačno dugačka. Žica stvara poketni magnetni fluks i indukuje struju u ploču što dovodi do nastanka levitacije i sila otpora. Magnetna sila otpora koja deluju na žicu, koja se pruža u smeru x , data je u sledećoj formuli i prikazana na slici 2:

$$f_b = F_o \frac{v_{pk} v}{v^2 + v_{pk}^2} \quad (1)$$

Pri malim brzinama (gde su brzine $v \ll v_{pk}$) kočiona sila raste približno linearno sa brzinom. Sila F_o predstavlja «odraz u ogledalu» odnosno silu koja deluje na žicu kao da postoji identična žica na drugoj strani ploče. S porastom brzine raste i kočiona sila sve do brzine «vršnog otpora» v_{pk} . Brzina «vršnog otpora» data je u:

$$v_{pk} = \frac{2}{\mu\sigma T} \quad (2)$$

gde σ i μ predstavljaju električnu provodljivost i magnetski propustljivost ploče, a T predstavlja debljinu ploče. Značajne funkcionalne zavisnosti magnetskih sila otpora su:

- pri malim brzinama magnetni otpor je linearno proporcionalan sa brzinom,
- sila otpora dostiže vršnu vrednost pri konačnoj brzini v_{pk} .
- kada se brzina vršnog otpora prevaziđe sile otpora se smanjuju, $1/v$.
- brzina vršnog otpora je manja kod ploča koje imaju veću debljinu.

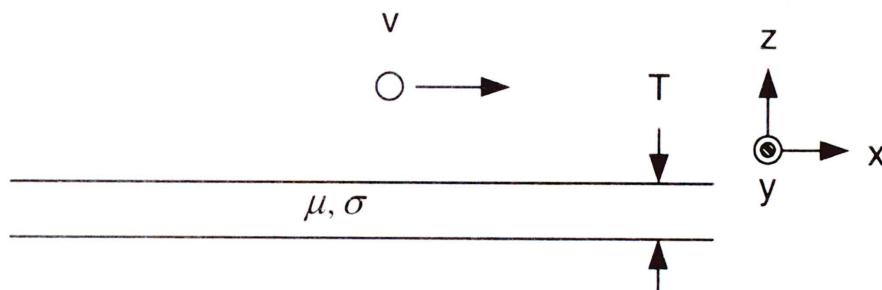


Figure 1 Current-carrying wire traveling over a stationary conducting plate
slika 1 Žica provodnik koja se kreće iznad stacionarne provodničke ploče

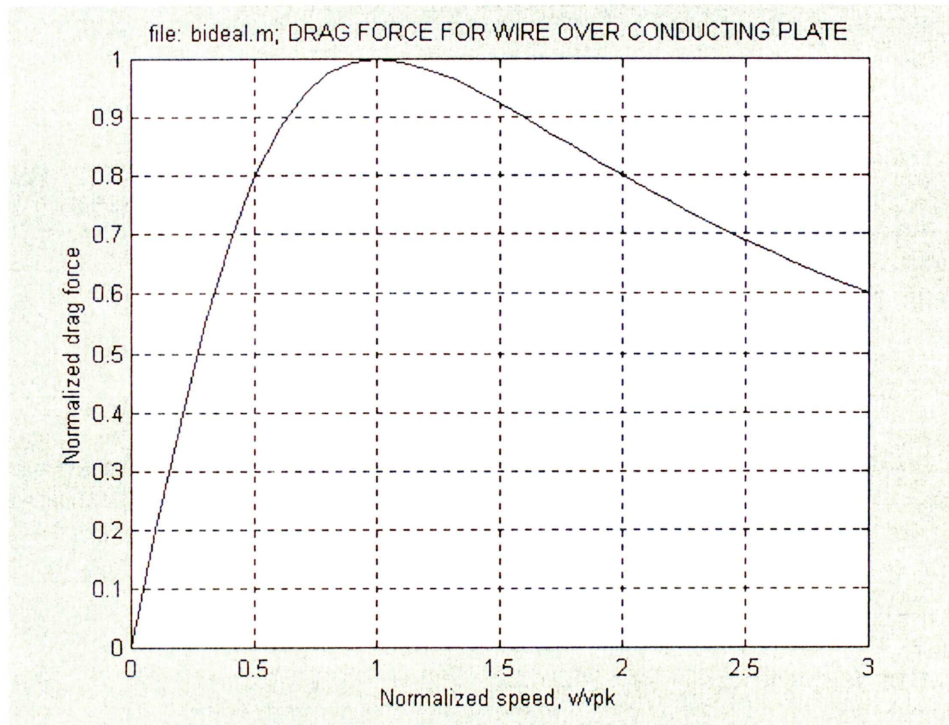


Figure 2. Braking force vs. speed for current-carrying wire traveling over a stationary conducting plate

slika 2 Kočiona sila nasuprot brzini žice provodnika koja se kreće iznad stacionarne provodničke ploče

A magnetic brake may be designed using permanent magnets, as shown in **Figure 3**. Permanent magnets and backiron create a closed magnetic circuit. The magnets have width w_m and pole pitch p . The conducting fin has thickness T and there is a relative velocity v between the magnet array and fin.

Magnetna kočnica može biti konstruisana od permanentnog magneta kao što je prikazana na slici 3. Permanentni magneti i deo sklopa poznat kao «bekajron» koji je smešten između kućišta motora i namotaja statora stvaraju zatvoreno magnetno kolo. Širina magneta je w_m , a razmak između polova p . Debljina provodničkih peraja je T a relativna brzina između magnetnog sklopa i peraja je v .

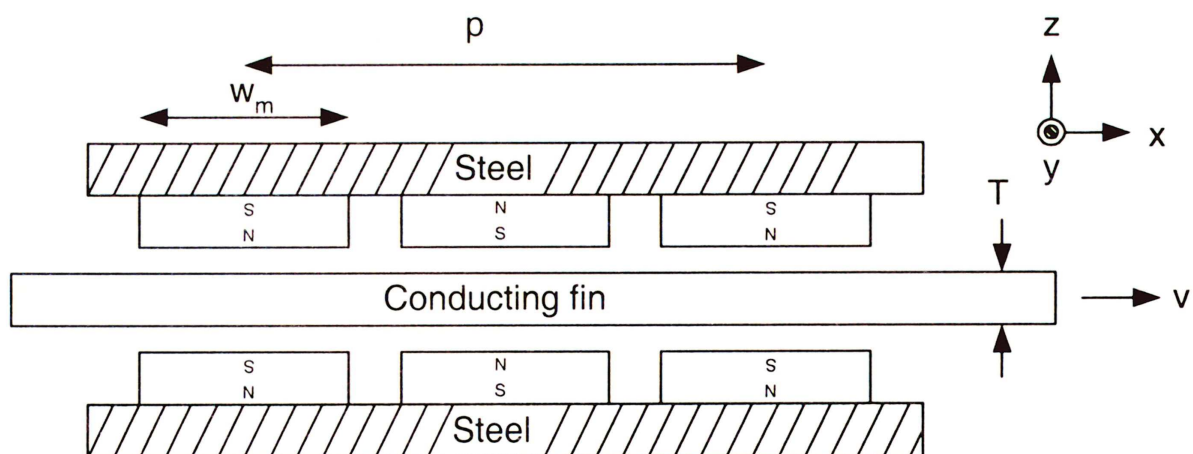


Figure 3 Double sided permanent magnet brake

slika 3 Dvostruki kočioni sistem sa permanentnim magnetima

Similar to a linear induction motor, the pole pitch p , track thickness T and velocity v all affect the magnetic forces. The key is to optimize the brake by varying the magnet pole pitch p and the fin thickness T in order to minimize the mass and cost of the permanent magnet material.

The brake design requires optimizing these parameters as well as the airgap, length, and the aspect ratio of the permanent magnets. At low speeds, the braking force is proportional to velocity and may be simply approximated as:

$$f_b \propto B^2 Av \quad (3)$$

Note that braking force is linearly proportional to fin velocity and braking area.

Building on these fundamental principals, Magnetar Technologies has applied improved magnetic pole orientations to increase the density of the magnetic flux density, B . The result is that a brake can be constructed without the use of back iron, thus removing excess weight from the device.

Analysis of magnetic circuit designs and performance predictions carried out with 3-D finite element analysis (FEA) correlate closely with field trials of full scale brakes. Subsequent corrections made to derived parameters are re-introduced into our simulation software to further enhance the design accuracy.

A performance simulation generated for a 30 ton (27,273 kg) ore skip, arrested from a speed of 15.8 meters/second is reproduced below as **Figure 6**. One of the parameters was to maintain the deceleration forces at 1g or below. The final speed is below 1 m/s and quite manageable for the spring shock absorbers to stop the skip at the bottom of the shaft. The energy of the deceleration is converted into heat within the conductors, and there is no rebound from the ECB's, and no stored energy as a result. The ECB arrestors work without any damage and are capable of being re-used immediately without any type of reset.

Slično kao kod linearnog indukcionog motora razmak između polova p i debljina kanala T i brzina v utiču na magnetne sile. Ključna karakteristika je mogućnost optimizacije kočionog sistema variranjem razmaka između magnetnih polova p i debljine perja T u cilju maksimalnog smanjenja mase i troškova materijala za permanentni magnet.

Prilikom projektovanja kočionog sistema neophodno je izvršiti optimizaciju ovih parametara kao i dužinu vazdušnog zazora i proporcije permanentnih magneta. Pri niskim brzinama kočiona sila je proporcionalna brzini i može se jednostavno izraziti kao:

$$f_b \propto B^2 Av \quad (3)$$

Ovde treba zapaziti da je kočiona sila linearno proporcionalna brzini peraja i kočnoj površini.

Polazeći od ovih osnovnih principa «Magnetar Tehnologije» primenila je usavršenu orijentaciju magnetnih polova u cilju povećanja gustine magnetnog fluksa, B . Uvođenjem ove novine kočnica se može konstruisati bez «bekajrona» čime se smanjuje težina celog uređaja.

Analiza konstrukcije i funkcionisanja magnetnog kola koje su urađene u 3-D analizi konačnih elemenata (FEA) u uskoj su korelaciji sa ispitivanjima koje su vršene na kočnicama. Naknadne korekcije koje su urađene na izvedenim parametrima su unete u softver za simulaciju procesa kako bi se unapredila preciznost konstrukcije.

Simulacija rada 30-tonskog (27,273 kg) skipa koji je zaustavljen pri brzini od 15.8 metara/sekundi data je ispod **slike 6**. Jedan od datih parametara odnosio se na održavanje sila negativnog ubrzanja (usporenja) na vrednosti od 1g ili niže. Konačna brzina je ispod 1 m/s što predstavlja brzinu koju lako mogu savladati elastični amortizeri skipa na dnu okna. Energija negativnog ubrzanja u provodniku transformiše se u toplotu, a da pri tome nema odskakanja ni akumulacije energije. ECB stoperi funkcionišu bez ikakvog oštećenja i mogu se u svakom trenutku upotrebiti bez potrebe za naknadnim podešavanjem.

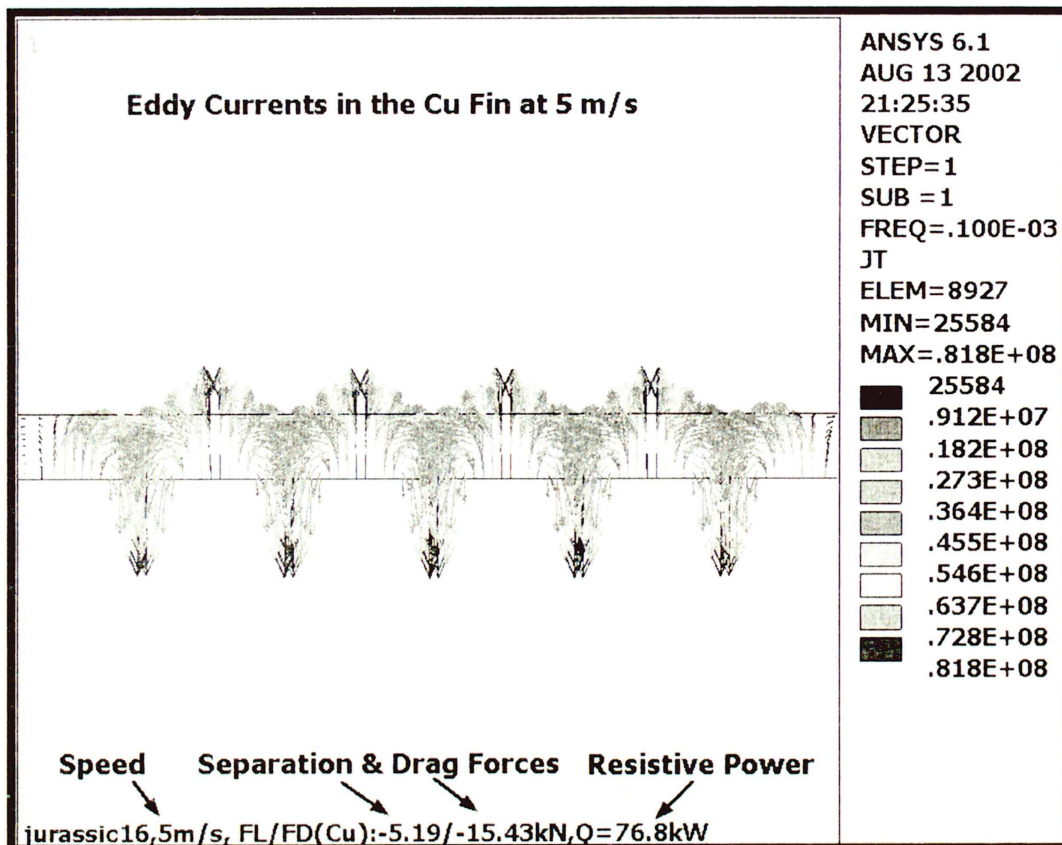


Figure 4 3D FEA analysis of magnetic field distribution is part of the design process.
 slika 4 3-D analiza konačnih elemenata rasprostiranja magnetnog polja je deo procesa projektovanja

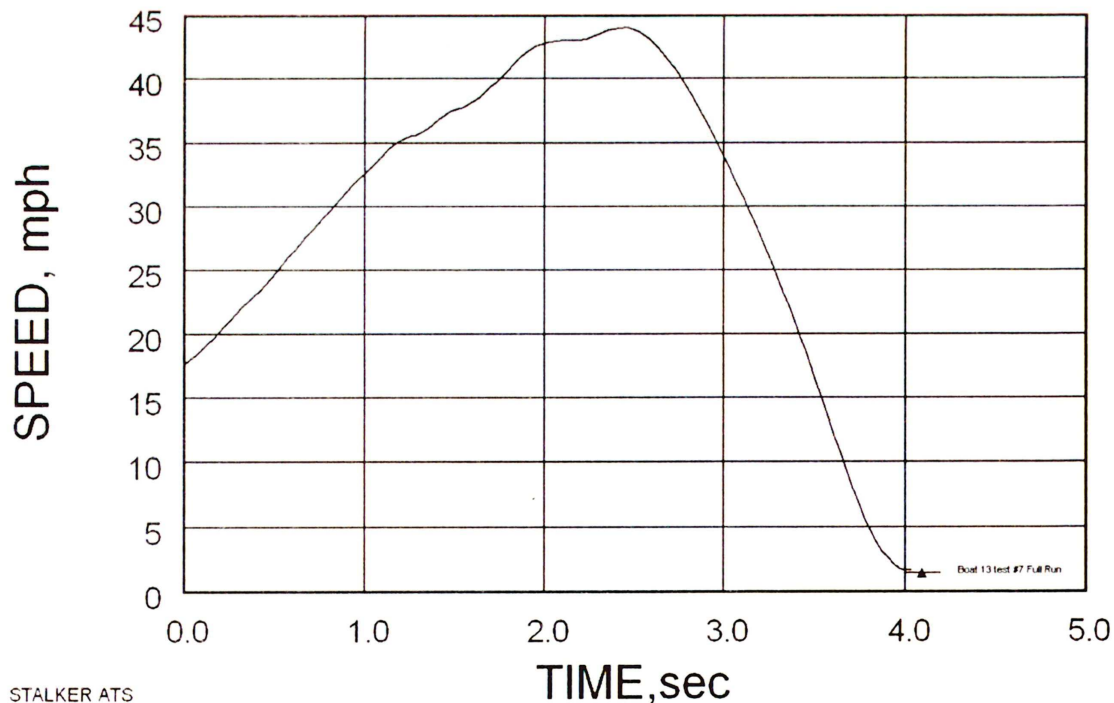


Figure 5 Radar velocity curve for 6,600 kg vehicle with magnetic brakes. Until time $t=2.5$ seconds, the vehicle is accelerating. At time $t=2.5$ seconds the vehicle enters the magnetic brake.

slika 5 Radarska kriva brzine vozila teškog 6,600 kg sa magnetnim kočnicama. Do vremena $T=2.5$ sekundi, vozilo se ubrzava. U vremenu $T=2.5$ sekundi vozilo prelazi na magnetno kočenje

- At low velocity, magnetic drag is linearly proportional to velocity
 - The drag force reaches a peak value at a finite velocity v_{pk}
 - Above the drag peak velocity, the drag force decreases as $1/v$
 - The drag peak velocity is lower for a thicker plate
- Pri malim brzinama magnetni otpor je linearno proporcionalno brzini
 - Sile otpora dostižu maksimalnu vrednost pri konačnoj brzini v_{pk}
 - Iznad maksimalne vrednosti otpora, sila otpora počinje da opada, $1/v$
 - Brzina maksimalnog otpora je manja kod debljih ploča

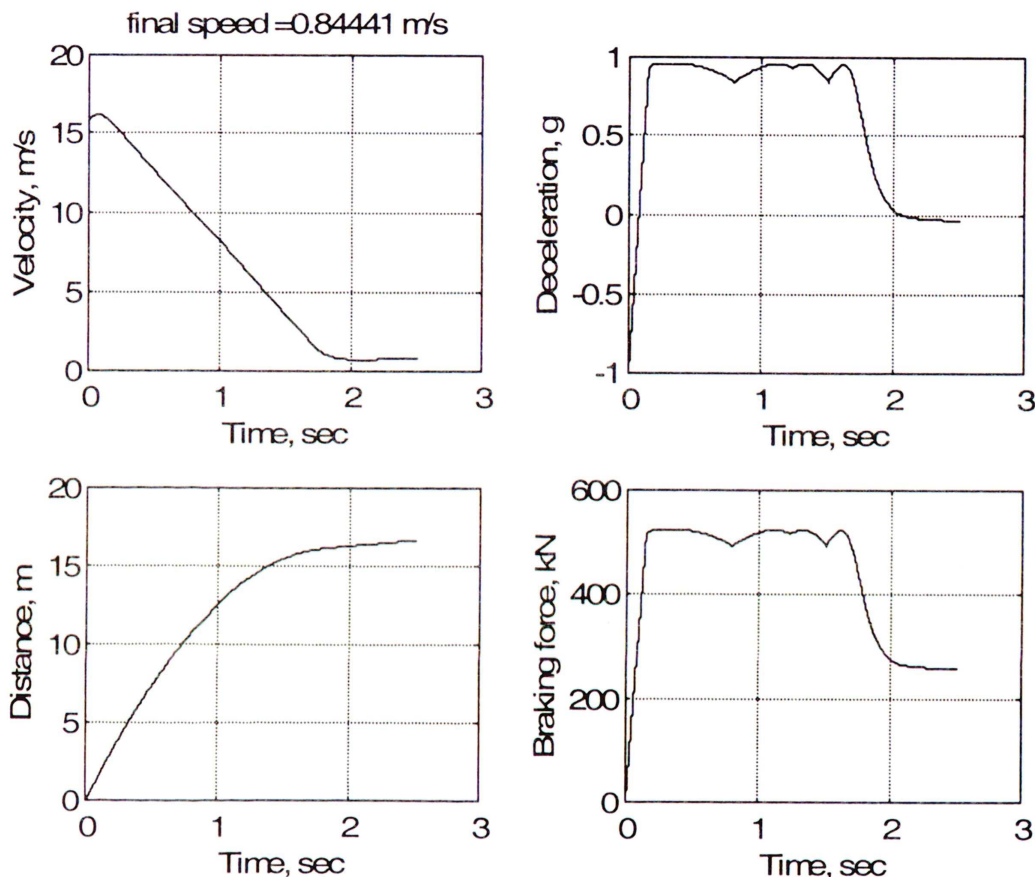


Figure 6 Simulated 30 ton ore skip deceleration
slika 6 Simulacija negativnog ubrzanja 30-tonskog skipa

BASIC OPERATING FEATURES OF ECB's

- SMOOTH DECELERATION
- NO POWER NEEDED TO OPERATE
- NO CONTROL SYSTEM NEEDED
- NO CONTACT / NO FRICTION
- NO WEAR / NO MAINTENANCE
- NO NOISE – COMPLETELY SILENT OPERATION
- NO JERKY OR HARD STOPS
- COMPLETELY FAIL SAFE

OSNOVNE RADNE PERFORMANSE ECB SISTEMA

- LAGANO USPORAVANJE
- NIJE POTREBNO OBEZBEDITI ENERGETSKO NAPA JANJE
- NIJE POTREBNO OBEZBEDITI SISTEM UPRAVLJANJA
- BEZ KONTAKTA / BEZ TRENJA
- BEZ HABANJA / BEZ ODRŽAVANJA
- BEZ BUKE – POTPUNO BEŠUMAN RAD
- BEZ TRZANJA I NAGLIH KOČENJA
- POTPUNO BEZBEDAN

LIMITATIONS OF ECB's

- As with any device, permanent magnetic brakes cannot do everything. They operate with 100% reliability within a range of performance. The important criteria to understand are:
- As speed increases, braking force increases, up to the maximum power capability of the brake.
- A heavy conveyance will penetrate the brake set further than a lighter conveyance traveling at the same speed. Thus for operations, you will have a variation in deceleration depending upon vehicle weight.
- If the brake is to allow the conveyance to pass through it after reducing its speed, that exit speed will vary with vehicle weight.
- An ECB cannot grasp and hold a conveyance since there are no moving parts and no contact between conductor fin and magnetic brakes. A conveyance at an incline will force itself out of the ECB at a very slow rate if the incline is steep enough to overcome rolling friction of the conveyance.
- A clamping brake located at the exit end of the ECB's, to secure the conveyance using the conducting fins, is a feasible addition to the system if holding is necessary.

PRESENT USES OF LARGE LINEAR ECB's

The wider acceptance of ECB's has been in an industry where safety is not only its first concern, but also where a perceived lack of safety can immediately and directly have a serious negative impact on company profitability. I am speaking of the amusement ride industry.

Here the amusement industry is essentially placing people on large, high speed machinery. Amusement rides operate, in many instances, 20 times per hour, 14 to 16 hours per day, 350 days per year. In this period, a single large thrill ride has the capacity to carry nearly 10,000,000 passengers and must do so without incident. By comparison, a single mine personnel hoist would cycle perhaps 10,000 times per year and carry approximately 750,000 passengers in that time.

OGRANIČENJA ECB SISTEMA

- Kao i svi drugi uređaji i kočnice sa permanentnim magnetima imaju svoja ograničenja. U svom opsegu pouzdanost rada je 100%. Važno je imati u vidu nekoliko značajnih kriterijuma:
- Kočiona sila raste sa povećanjem brzine do maksimalnog energetskeg kapaciteta kočnice.
- Teže prevozno sredstvo će više opteretiti kočioni sistem od lakšeg vozila pri istoj brzini. Prema tome u toku rada doći će do variranja u negativnom ubrzanju zavisno od težine vozila.
- Ukoliko kočnica ne zaustavi prevozno sredstvo posle smanjenja brzine, ta izlazna brzina će varirati zavisno od težine vozila.
- ECB sistem nije u mogućnosti da mehanički zaustavi prevozno sredstvo, jer nema pokretnih delova ni kontakta između provodničkih peraja i magnetnih kočnica. Pri nagibu vozilo će biti istisnuto iz ECB sistema pri maloj brzini, ukoliko je nagib dovoljno velik da savlada kotrljajno trenje vozila.
- Kao opcioni dodatak može se predvideti kočiona stega koja bi se postavila na izlaznom kraju ECB sistema ukoliko se ukaže potreba za mehaničkim zaustavljanjem.

AKTUELNA PRIMENA VELIKIH LINEARNIH ECB SISTEMA

ECB sistemi su našli široku primenu u industrijama gde sigurnost nije samo pitanje bezbednosti, već može imati ozbiljne ekonomske implikacije odnosno uticati na profitabilnost. Reč je o industriji zabave.

U lunaparkovima i sličnim objektima ljudi se voze u velikim i veoma brzim mašinama koje vrlo često imaju po 20 vožnji na sat, 14 do 16 časova na dan, 350 dana godišnje. U ovom periodu samo jedna velika mašina ima kapacitet da poveže 10,000,000 putnika i to bez ikakvih havarija. Poređenja radi, jedno izvozno postrojenje za prevoz radnika može da realizuje oko 10,000 transportnih ciklusa odnosno da preveze oko 750,000 radnika u navedenom periodu.

The amusement industry has embraced the ECB technology as a significant improvement in safety and performance. It has also received the acceptance and approval of industry safety agencies in the U.S., the U.K. and Europe, (TÜV). The reliability of ECB's nearly can be compared to the reliability of gravity. The brake will work without fail, every time. It cannot be turned off. Unless the device is physically destroyed, it will function fully and effectively.

The widest use of ECB's in the amusement industry is on "Drop Towers" shown in **Figure 7**. This is a device, a tower, up to 65 meters in height, which has a passenger carriage attached. The carriage is hoisted to the top of the tower and then allowed to free fall toward the ground. Needless to say, the effect on the passengers as they plummet from 65 meters is sometimes more than thrilling. Near the bottom of the tower, the carriage engages a series of ECB's and is gently brought to a safe stop, ready to go again in a few minutes.

Industrija zabave prihvatila je ECB tehnologiju kao značajno unapređenje kako po pitanju bezbednosti tako i funkcionalnosti. Njihova upotreba je odobrena i atestirana od strane agencija za industrijsku bezbednost u SAD-u, Belikoj Britaniji i Evropi (TÜV). Pouzdanost ECB sistema može se takoreći porediti sa pouzdanošću gravitacije. Mogućnost otkazivanja kočnice ne postoji. Ona se ne može isključiti i ako se uređaj mehanički ne ošteti kočioni sistem će funkcionisati besprekorno i efikasno.

Najširu primenu ECB sistema u industriji zabave nalazimo kod „Džinovskih tobogana“ koji su prikazani na **slici 7**. Ova instalacija ustvari predstavlja toranj koji dostiže visinu do 65 metara i na koga su prikačena kolica koja prevoze putnike. Kolica se izdižu na vrh tornja a zatim se spuštaju u slobodnom padu. Nepotrebno je naglašavati kakav efekat ovakvo obrušavanje sa visine od 65 metara ima na putnike. Pri dnu tornja kolica aktiviraju niz ECB sistema koji omogućavaju lagano i bezbedno zaustavljanje kolica koja su spremna da za nekoliko minuta ponovo krenu do vrha.



Figure 7 Drop tower, (44m), amusement ride utilizing ECB's.
slika 7 Džinovski tobogan (44m), primena ECB sistema za vožnju u zabavnom parku

APPLICATIONS OF LINEAR ECB's TO MINE HOISTING

The fundamental problem that rail cars, amusement rides and ore skips have in common is the need to be slowed and stopped safely and reliably. The other thing they have in common is the use of rails or wire rope guides to support and/or guide them. It is easy to recognize the relationship and to see the application of ECB's to mine conveyances. The motion is linear, and vertical, just as is the Drop Tower ride. The mine conveyance is guided at either end of its travel, which fulfills the need to guide the conductor into the magnetic field. And finally, ECB's can be manufactured in the appropriate scale to arrest even the largest ore skip at very high speeds.

The configuration of the ECB is generally that of two parallel, square tubes, with a gap between them. Figure 8 shows an ECB configuration used to decelerate a 6,600 kilogram vehicle from 20 meters/second to 2 meters/second with a deceleration of approximately 1g.

PRIMENA LINERANIH ECB SISTEMA ZA RUDNIČKA IZVOZNA POSTROJENJA

Osnovni problem koji je zajednički za sva šinska vozila u zabavnim parkovima i rudničkim skipovima je potreba da se obezbedi njihovo bezbedno i pouzdano usporavanje i zaustavljanje. Druga zajednička karakteristika je upotreba šina ili vodiča za žičanu užad koja imaju funkciju nosača i/ili upravljača. Lako se može uočiti međusobni odnos i primena koju ECB sistemi mogu imati u rudničkom transportu. Kretanje je linearno i vertikalno kao i kod „Džinovskih tobogana“. Kontrola transporta može se vršiti na oba kraja putanje što omogućava lako usmeravanje provodnika u magnetno polje. I konačno ECB sistemi mogu se proizvesti u bilo kojoj dimenziji tako da budu podesni za primenu čak i kod najvećih skipova u kojima se transport vrši na veoma velikim brzinama.

ECB sistemi su u većini slučajeva konstruisani kao dve paralelne, kvadratne cevi između koji postoji određeni razmak. Na slici 8 prikazana je konstrukcija ECB sistema koji usporava kretanje vozila teškog 6,600 kilograma sa brzine od 20 metara u sekundi na brzinu od 2 metra u sekundi uz negativno ubrzanje od oko 1g.

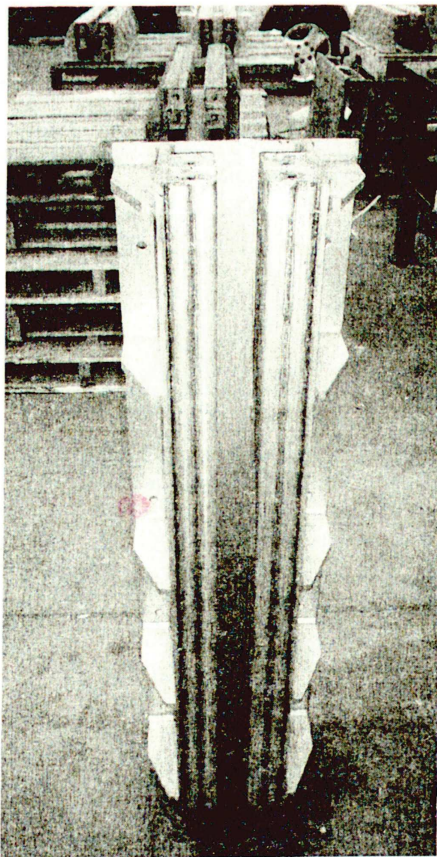


Figure 8 1 meter long eddy current brake section. Notice the very wide air gap.
slika 8 ECB sekcija dužine od 1 metra. Treba obratiti pažnju na veoma dugačak vazdušni zazor

A concept for installing ECB arrestors to an ore skip is proposed in Figure 9, below. Note that the conductor “fins” are mounted on the skip while the arrestors are installed adjacent to the skip guide track and corresponding to the positions of the fins. This arrangement keeps the extra weight of the arrestors from burdening the skip and reducing the payload. However, because only a relative motion between conductor fins and arrestors is necessary to produce the braking force, the opposite arrangement of arrestors on the skip and fins stationary can also be arranged, if necessary, with equal performance results.

Na slici 9 prikazana je koncepcija koja predlaže instaliranje ECB stopera na skipove za izvoz rude. Treba obratiti pažnju na to da su „peraja“ provodnici montirana na skip dok su stoperi montirani neposredno uz kolosek skipa i odgovaraju poziciji „peraja“. Ovakvo rešenje omogućava da težina stopera ne opterećuje skip čime se umanjuje ukupno opterećenje. Međutim, s obzirom na to da je za stvaranje kočione sile potrebno samo uzajamno kretanje između provodnika i stopera i suprotan raspored sa stoperima na skipu i stacionarnim «perajima» će imati isti učinak.

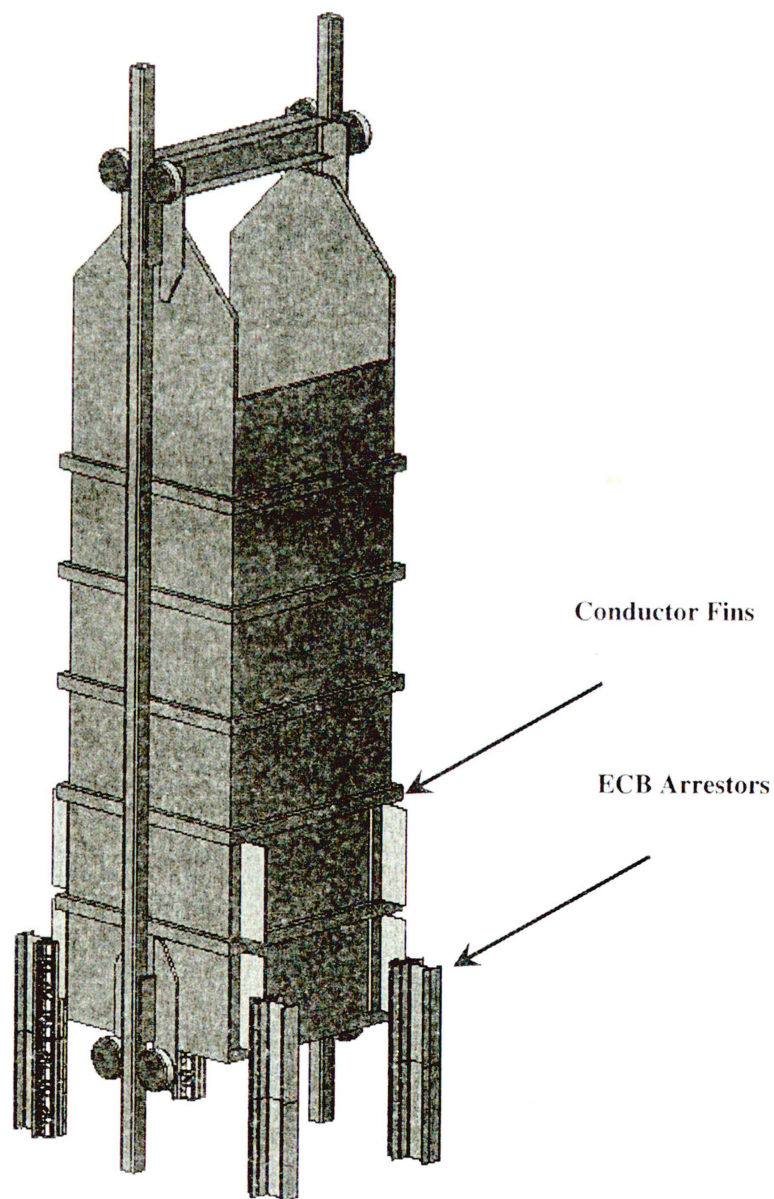


Figure 9 Ore skip brake conceptual design
slika 9 Idejno rešenje sistema za kočenje skipova za izvoz rude

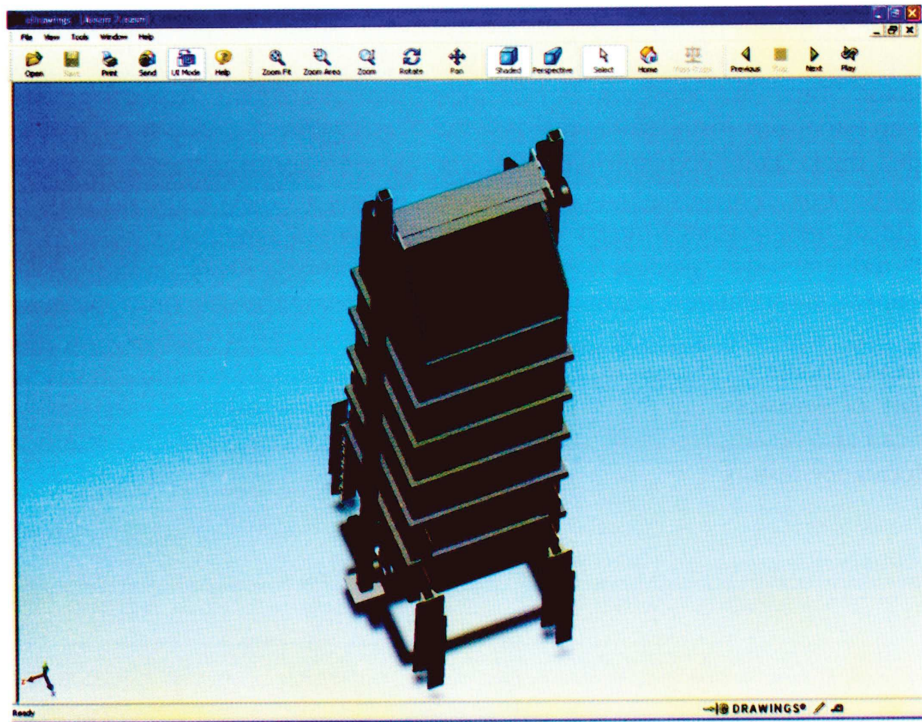


Figure 10 This concept was devised for a 30 ton (27,273kg) capacity skip. It consists of eight (8) ECB arrestors positioned around the corners of the skip. The arrestors are mounted to a stationary structure at either end of the shaft. The conductor fins are mounted rigidly to the skip.
slika 10 Ovo rešenje projektovano je za skip kapaciteta od 30 tona (27,273kg). Sastoji se od (8) ECB stopera koji su postavljeni oko uglova skipa. Stoperi su postavljeni na stacionarnu konstrukciju na bilo koji kraj. «Peraja» su nefleksibilno postavljene na skip

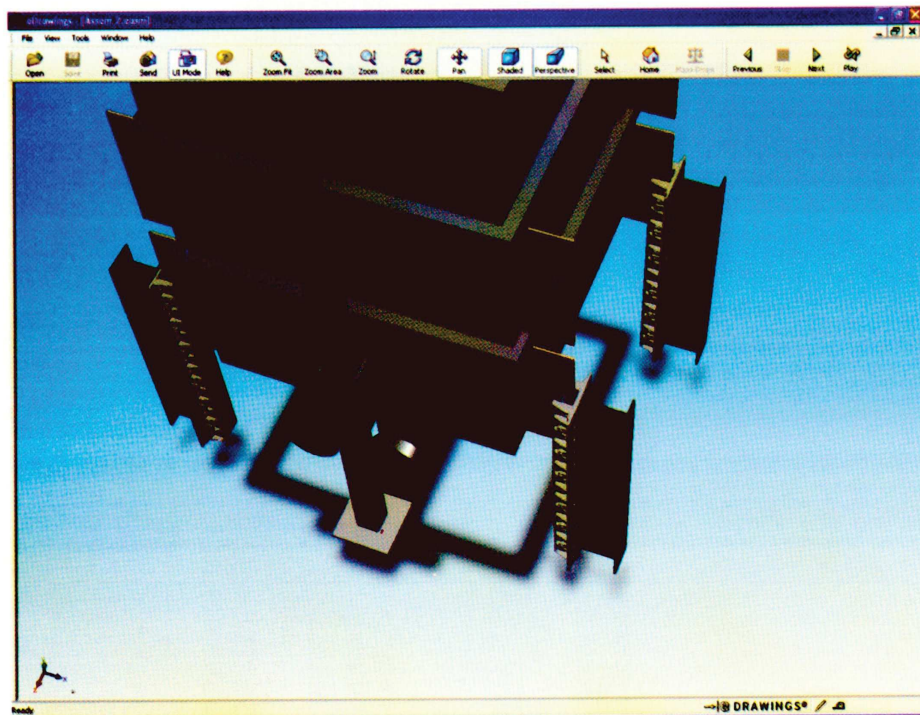
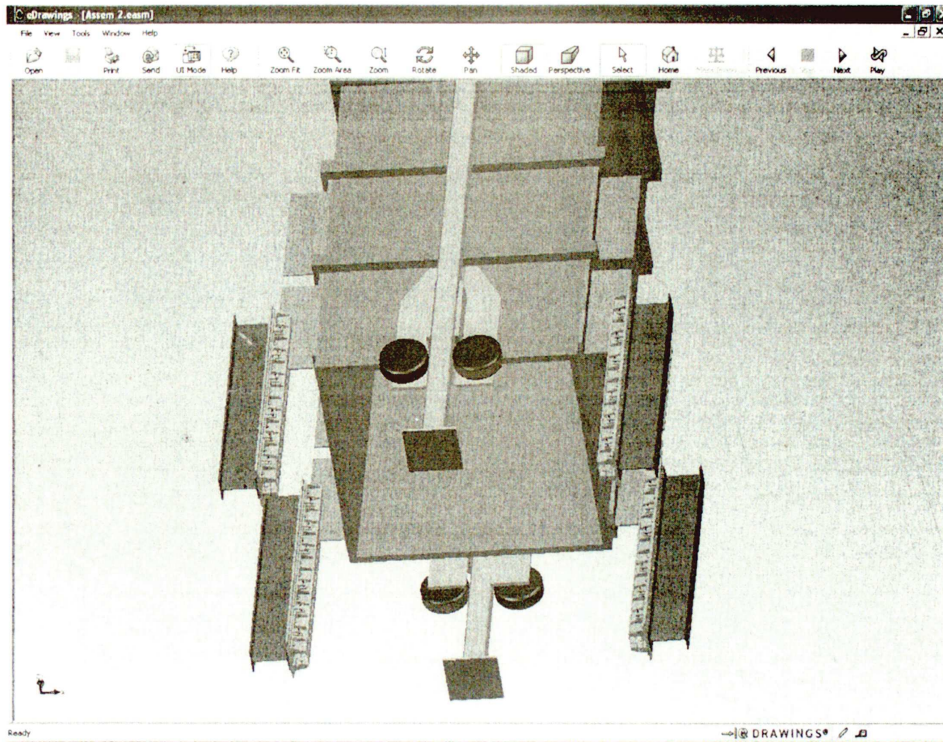
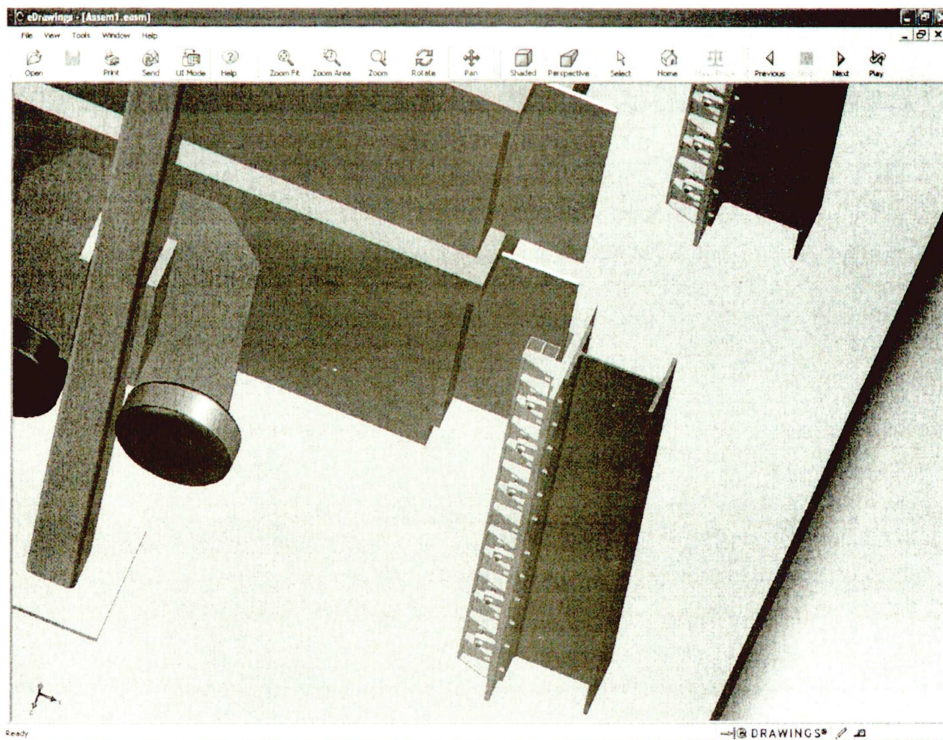


Figure 11 This view shows the proper engagement of the conductor fins into the magnetic gap.
slika 11 Iz ovog ugla zapaža se aktiviranje „peraja“ provodnika u magnetnom zazoru



*Figure 12 Another view of the arrestor arrangement.
Slika 12 Aktiviranje stopera posmatrano iz drugog ugla*



*Figure 13 Conductor fin engagement into the arrestor. Some reasonable accuracy of skip travel is required through the use of guides. The air gap can be made as wide as 50mm.
slika 13 Aktiviranje „peraja“ provodnika u stoperu. Neophodno je obezbediti relativno preciznu putanju skipa. Vazdušni zazor može biti širok do 50mm.*

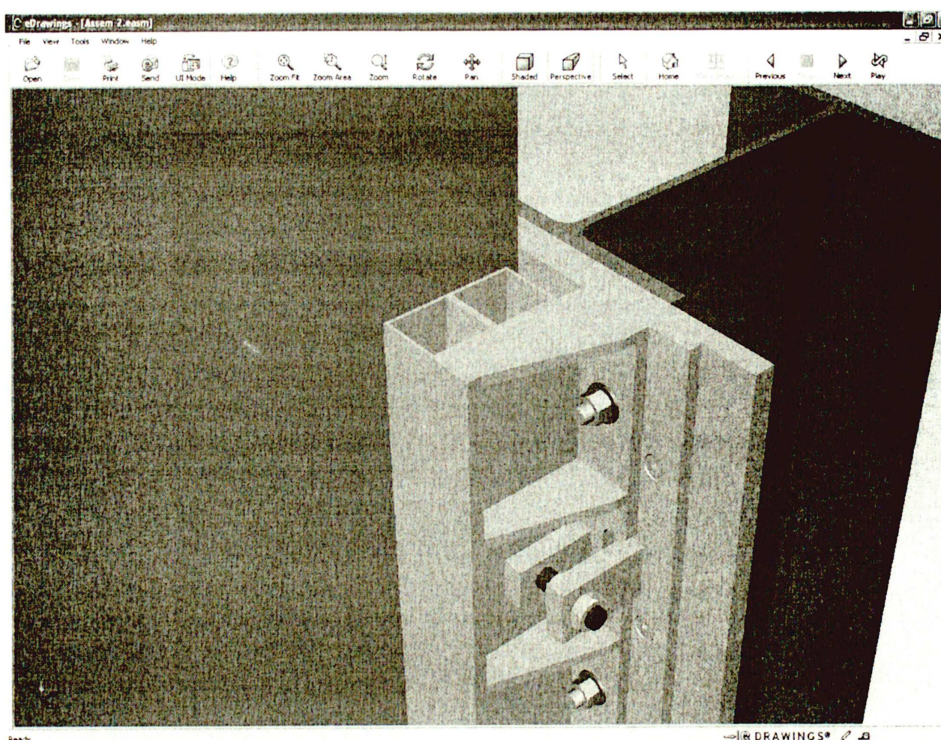


Figure 14 A bottom clearance is also arranged for the conductor fin.
slika 14 Za provodnik u obliku peraja obezbeđen je podložni zazor

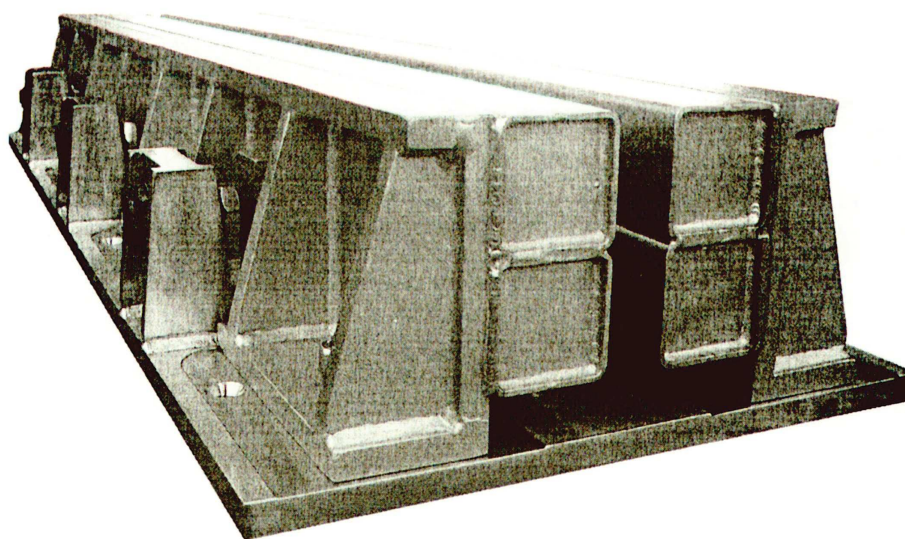


Figure 15 This is an ECB unit similar to those shown in the concept drawings. It was built for a U.S. installation. It is beginning it's fourth year of operation in an underwater environment. It has a duty cycle of up to 120 uses per hour. The performance of these units was shown in Figure 5. To date there have been no performance or maintenance issues of any type. Magnet field strength is tested regularly and has not diminished since the installation.

slika 15 Ovaj ECB sistem je sličan onom koji je prikazan na idejnim nacrtima. Konstruisan je za objekat u SAD-u i u funkciji je već četiri godine u podvodnoj sredini. Predviđen radni režim je 120 ciklusa na sat. Rad ovog uteđaja prikazan je na slici 5. Do danas nije bilo potrebe za bilo kakvim intervencijama ni održavanjem. Jačina magnetnog polja redovno se proverava i od puštanja u rad nije dolazilo do pada vrednosti.

COMPARISON OF ECB DEVICES TO CURRENT ARRESTING DEVICES

As pointed out in my opening comments, overwind, (and underwind), accidents remain a constant possibility in mine operations. I would like to present the methods for solving the predominant causes of hoisting accidents through the use of ECB's.

I would like to contrast the capabilities of the ECB arrestor to those of various arresting systems currently available to the industry. My understanding is that the primary causes for hoisting accidents are:

- Reversal of motion or application of power at the beginning of wind.
- Hoisting at full speed is carried too far.
- Excessive deceleration.
- Time lag in braking caused by the tripping gear and conveyance response.

A study, "Hoist Plant Study Report" prepared for PCS Lanigan in 2000, listed several types of retardation systems. I offer a comparison of the ECB arrestors to each of the listed systems.

1. Tapered Wooden Guides

Functional Requirements:

- A. Reinforced skip body to sustain the large bottom forces during deceleration
- B. Requires long and strong tapered guides
- C. The gap between guide shoe liners and tapered guides must be maintained in good condition for safe operation

Failure to meet Functional Requirements:

- A. Damage / Destruction of skip bottom
- B. Improper taper greatly delays the onset of braking, requiring much higher braking forces in the remaining taper guides.
- C. Loss or wear of liners greatly reduces braking ability, and contamination can destroy the friction coefficient making the retarder useless.

POREĐENJE ECB SISTEMA SA STOPERIMA KOJI S TRENUTNO U UPOTREBI

Kao što je naglašeno u uvodnom delu mogućnost udesa i nesrećnih slučajeva na izvoznim postrojenjima u rudniku uvek postoji. U radu su prikazana primena ECB sistema za sprečavanje osnovnih uzroka nesreća pri radu izvoznih postrojenja.

Istovremeno ću prikazati uporednu analizu mogućnosti ECB stopera sa nekoliko sistema za zaustavljanje koji se trenutno koriste u rudarstvu. Po mojim saznanjima osnovni uzroci udesa pri radu izvoznih postrojenja su:

- Promena pravca kretanja ili upotreba sile na početnom delu vitla.
- Izvoz pri punoj brzini isuviše dugo traje.
- Preveliko negativno ubrzanje.
- Kočenje sa zadržkom do koga dolazi zbog poskakivanja zupčanika i reakcije vozila

Studija pod nazivom „Studija o izvoznim postrojenjima“ koja je izrađena za potrebe PCS Lanigana 2000-te godine navodi nekoliko vrsta kočionih sistema. U nastavku ćemo uporediti performanse ECB sistema sa svakim od navedenih kočionih sistema.

1. Konusne drvene vođice

Funkcionalni zahtevi:

- A. Ojačana konstrukcija skipa kako bi bio u stanju da izdrži podnožne sile pri usporavanju.
- B. Neophodno je obezbediti dugačke i jake konusne vođice.
- C. Razmak između obloge papučice i konusnih vođica mora se održavati u dobrom stanju da bi se obezbedio bezbedan rad sistema.

Neispunjavanje funkcionalnih zahteva dovodi do:

- A. Oštećenje/uništenje dna na skipu.
- B. Neodgovarajući konus u mnogome odlaže iniciranje procesa kočenja zbog čega je potrebno obezbediti mnogo veće sile kočenja u preostalim vođicama.
- C. Propadanje ili habanje obloge u mnogome smanjuje sposobnost kočenja, a kontaminacija može eliminisati koeficijent trenja usled čega će kočioni sistem postati neupotrebljiv.

ECB Parameters:

- A. **Braking loads are applied as tensile and shear loads to the skip frame along a vertical axis. No bottom loads are applied.**
- B. **No taper required.**
- C. **No liners required, no wearing parts are used and no friction is generated.**

2. Cutter Dogs

Functional Requirements:

- A. Applicable to small loads only

ECB Parameters:

- A. **ECB's have no load limit**

3. Frictional Clamps

Functional Requirements:

- A. The Goodwin Warren system is a destructive friction system which relies on deformation of the arrestor. Replacement of the system and repairs to the skip are necessary following an overwind incident.
- B. Polish System with Flat Bars and Rubber Friction has the same requirements as the Goodwin Warren system.

ECB Parameters:

- A. **The ECB system is non contact and frictionless. No damage occurs to either the arrestors or the skip. ECB's are immediately re-usable.**

4. Selda System

Functional Requirements:

- A. Selda requires installation and maintenance of mechanical rollers, bearings and other components within a corrosive environment.
- B. Deformation strips must be discarded and replaced following the arresting of an overwind.
- C. The system is not easily "re-settable". It requires a large reversing force to pull the strips back through the rollers.

ECB Parameters:

- A. **The ECB system has no mechanical components and requires no maintenance. ECB's require no re-setting.**

Parametri ECB sistema:

- A. **Sile kočnja deluju kao sile na istežanje i na smicanje na konstrukciju duž vertikalne ose skipa. Dno skipa ne trpi nikanvo opterećenje.**
- B. **Nisu potrebne konusne konstrukcije.**
- C. **Nisu potrebne obloge, nema habajućih delova i ne stvara se trenje**

2. Hvataljke

Funkcionalni zahtevi:

- A. Mogu se koristiti samo kod malih tereta

Parametri ECB sistema:

- A. **Kod ECB sistema ne postoji ograničenje tereta.**

3. Frikcione klamfe

Funkcionalni zahtevi:

- A. Gudvin-Vorenov sistem predstavlja agresivni frikcionni sistem koji se zasniva na deformaciji stopera. Posle udesa neophodno je zameniti sistem i popraviti skip.
- B. Kod poljskog sistema sa pljosnatim šipkama i frikcionim sistemom sa gumom, funkcionalni zahtevi su isti kao i kod Gudvin-Vorenovog sistema.

Parametri ECB sistema:

- A. **Kod ECB sistema ne postoji nikakav kontakt ni trenje. Ne dolazi do oštećenja bilo stopera bilo skipa. ECB sistemi u svakom trenutku spremni za upotrebu.**

4. Selda sistem

Funkcionalni zahtevi:

- A. Za ovaj sistem neophodna je montaža i redovno održavanje mehaničkih rolni, ležajeva i ostalih elemenata i tu u visoko korozivnom okruženju.
- B. Deformisane trake treba odstraniti i zameniti odmah posle prinudnog zaustavljanja izvoza.
- C. Ponovno podešavanje sistema je komplikovano. Neophodna je velika povratna sila za ponovno provlačenje traka kroz rolne.

Parametri ECB sistema:

- A. **ECB sistem ne poseduje mehaničke komponente koje zahtevaju održavanje.**
- B. **ECB sistem nije potrebno ponovo podešavati.**

5. Stretch Rods

Functional Requirements: NO
INFORMATION AVAILABLE

6. Elastomeric or Pneumatic Buffers:

- A. Require multiple hydraulic cylinders and wire rope slings to capture and arrest the conveyance.
- B. Visco-elastic system provided and no system configuration is available.

ECB Parameters:

A. No cylinders, wire rope or mechanical components are required.

PROPOSED ARRESTOR DESIGN CRITERIA

A series of functional requirements for arrestors discussed by Konopka are:

- Be reliable, dependable and robust, but cheap to make and install
ECB's are absolutely reliable and structurally robust. Installation is usually by bolted connections. Cost is expected to be the same or less than currently available systems.
- Remain in good working order with a minimum of maintenance
ECB arrestors are always in working order as there are no moving parts to fail. All materials are corrosion resistant and maintenance is not necessary. Visual inspections for the security of structural attachments, damage or obstructions are all that is required.
- Be ready for instant use independent of human initiation.
ECB arrestors are ready at all times and do not depend on electricity, hydraulics of any control signal or emergency actuating device.
- Dissipate energy, not store it, to avoid rebound.

5. Elastične šipke

Funkcionalni zahtevi: NEMA
RASPOLOŽIVIH PODATAKA

6. Elastometrički ili pneumatski baferi

- A. Neophodno je obezbediti niz hidrauličkih cilindara i žičanu užad kako bi se omogućilo hvatanje i zaustavljanje vozila.
- B. Viskozno-elastičan sistem. Nema raspoloživih podataka o konfiguraciji sistema.

Parametri ECB sistema:

A. Nema cilindara, žičane užadi ni mehaničkih komponenti.

PREDLOŽENI KRITERIJUMI ZA KONSTRUKCIJU STOPERA.

Za stopere koje predlaže Konopka postoji niz funkcionalnih zahteva:

- Stoperi moraju biti pouzdani, sigurni i robusne konstrukcije ali njihova izrada i montaža ne sme biti skupa.
ECB sistemi su robusne konstrukcije i apsolutno pouzdani. Montaže se obično vrši pomoću zavrtnja. Troškovi izrade i montaže su isti ili manji od troškova izrade i montaže sistema koji su trenutno na raspolaganju.
- Stoperi moraju biti konstantno u funkcionalnom stanju uz minimum održavanja
S obzirom da nema pokretnih komponenti koje bi mogle otkazati ECB sistemi su uvek u funkcionalnom stanju. Materijali koji se koriste u izradi ECB sistema su otporni na koroziju tako da održavanje nije potrebno. Potrebno je izvršiti jedino vizuelnu kontrolu kako bi se proverila pouzdanost konstruktivnih elemenata i ustanovilo postojanje eventualnih oštećenja ili prepreka.
- Stoperi moraju u svakom trenutku biti spremni da se aktiviraju bez intervencije operatera
ECB sistemi se mogu u svakom trenutku aktivirati jer ne zavise od električne energije, hidraulike ili bilo kakvog kontrolnog signala ili sigurnosnog uređaja.
- Stoperi moraju odavati a ne akumulirati energiju kako bi se izbeglo odskakanje vozila.

All energy absorbed by the ECB arrestors is converted directly to heat. No rebound is possible.

- Cause minimum damage to the conveyance in the event of an arresting incident

The ECB arrestors will cause no damage what so ever.

- After stopping the conveyance, the device must prevent the conveyance from falling down the shaft.

ECB arrestors cannot hold a conveyance as there is no moving part or friction. A secondary device such as a clamping brake or shock absorber must be in place at the ends of the arrestors.

- Mechanical devices are preferred to electrical or hydraulic.

There are no electrical, hydraulic, pneumatic or control requirements for ECB arrestors. It is a fully passive device.

- Retard the traveling conveyance at a reliably predictable rate without exposing its occupants to the risk of injury.

For the specified maximum speed, the deceleration can be accurately configured within a small range, which is dictated by the difference in weight of the conveyance with and without a payload.

- To prevent injuries to people transported, the maximum deceleration for the conveyance is 1g upward and 2.5g's downward.

The deceleration can be accurately configured within a small range, which is dictated by the difference in weight of the conveyance with and without a payload.

SUMMARY

ECB devices are a proven system of reliable brake mechanisms. They offer great potential for significant advances in the area of mine hoist arrestors.

Magnetar Technologies has developed and patented worldwide, a number of ECB's and ECB science. We are actively engaging various

Sva energija koju apsorbuje ECB sistem pretvara se direktno u toplotu. Mogućnost odskakanja ne postoji.

- U slučaju iznenadnog zaustavljanja oštećenja na vozilu moraju biti minimalna.

ECB sistem neće prouzrokovati nikakva oštećenja

- Nakon zaustavljanja vozila uređaj mora sprečiti pad vozila niz osovinu.

ECB stoper nije u stanju da zadrži vozilo zbog odsustva trenja i pokretnih delova. Zbog toga treba na krajeve stopera postaviti neki sekundarni uređaj kao što je kočioni stega ili amortizer.

- Mehanički uređaji su bolje rešenje od električnih ili hidrauličnih

Ovo je potpuno pasivan uređaj, nema nikakvih električnih, hidrauličkih, pneumatskih ili kontrolnih mehanizama.

- Ritam usporavanja vozila mora biti ujednačen, pouzdan i predvidljiv bez izlaganja putnika bilo kakvom riziku od povrede.

Za određenu maksimalnu brzinu, ritam usporavanja mora biti precizno definisan, mora se kretati malom opsegu koji diktira razlika između težine vozila sa i bez tereta.

- Kako bi se sprečile povrede ljudi koji se prevoze maksimalno usporenje vozila je 1g prilikom kretanja na gore i 2.5g prilikom kretanja na dole.

Ritam usporavanja može se precizno konfigurirati u malom opsegu koji diktira težina vozila sa i bez tereta.

REZIME

ECB sistemi je kočioni mehanizam koji je apsolutno proveren i pouzdani. Imaju veliki razvojni potencijal i predstavljaju značajan napredak u oblasti stopera za rudnička izvozna postrojenja.

«Magnetar Tehnologije» je kompanija koja je na svetskom nivou razvila i patentirala veliki broj ECB sistema i dala veliki doprinos u razvoju nauke u ovoj oblasti. Kompanije iz mnogih industrijskih grana

industries to offer companies improved safety and reduced costs.

aktivno su uključene u primenu ove tehnologije čime se unapređuje bezbednost i smanjuju troškovi.

Today's introduction to Eddy Current Braking technology is intended to inspire thinking within the mining industry and find new solutions to old problems with the help of ECB technology.

Uvođenje tehnologije kočenja uz pomoć vrtložne struje u oblast rudarstva ima za cilj da pokrene nova istraživanja za pronalaženje inovativnih rešenja za stare probleme.

REFERENCES / LITERATURA

- [1] *United States Federal Railroad Administratio, Office of Safety Analysis*
- [2] *U.S. National Transportation Safety Board. Aviation Safety Statistics, 1985 through 2004.*
- [3] *U.S. National Highway Transportations Safety Agency. 2003 National Statistics*
- [4] *European Union Road Federation. EU-25 1995-2002*
- [5] *International Association of Amusement Parks and Attractions. (IAAPA)*
- [6] Konopka, J.: *Thyssen Mining. 2409 Albert St. N., Regina, SK S4P 3E1*

Reviewal / Recenzija: prof. dr Miloš Grujić