



OPERATING TESTS OF MOVABLE FENDER BEAMS IN MINE HOISTS

PREVÁDZKOVÉ TESTY POHYBLIVÝCH NÁRAZNÍKOVÝCH ROŠTOV V ŤAŽNÝCH JAMÁCH

Józef HANSEL, Tomasz ROKITA, Marian WÓJCIK
Katedra Dopravných Lán, Univerzita Baníctva a Metalurgie Krakow

Abstract The operating principle of movable fender beams is different from that of fixed beam, the main differences are as follows:

- fender beams are attached at the beginnings, not at the ends, of the free way
- conveyance catchers are connected with movable fender beams
- movable fender beams slide on braking strips of the frictional arresting system and are able to move with the conveyances over the whole free way length

Finally, dynamic loads imposed on fender beams, bearing structures in headframes, conveyance heads, ropes and other hoist elements are considerably lower than those produced when conveyances crash into fixed fender beams

Operating tests and tests in laboratory conditions presented in this study confirm the obvious advantages of movable fender beams.

Resume: Prevádzkový princíp pohyblivých nárazníkových roštov je odlišný od pevných roštov.

Hlavné rozdiely sú:

- nárazníkové rošty sú pripojené na začiatku, nie na konci voľného oddelenia šachty
- dopravné zachyty sú spojené s pohyblivými nárazovými roštami
- nárazníkové rošty sa posúvajú po brzdových pásoch frikčného záchytného systému a sú schopné pohybovať sa dopravným zariadením cez celú dĺžku šachty.

Dynamické zaťaženia pôsobiace na nárazníkové rošty, na nosné konštrukcie v ťažných vežiach, na dopravné chodby, laná a iné ťažné prvky sú značne nižšie ako tie, ktoré sú vyvolané pri narazení dopravného zariadenia do pevných nárazníkových roštov.

Prevádzkové testy a testy v laboratórnych podmienkach prezentované v tejto štúdii potvrdzujú evidentné výhody pohyblivých nárazníkových roštov.

1. INTRODUCTION

In the last few years the number of operating hoists in Polish mines was reduced from 750 to 400 because of mine closures and production cut-backs. Further more mine closures are planned in the future. However, the number of operating hoists will be still large. Shaft hoists remaining in operation will have to carry increased loads, while some shafts will be deepened.

1. ÚVOD

V posledných rokoch bol počet ťažných jám v poľských baniach zredukovaný zo 750 na 400 z dôvodu uzatvárania baní a redukovania výroby. Okrem toho sú však uzatvárania baní plánované aj v budúcnosti. Avšak množstvo ťažných jám bude stále veľké. Zostávajúce funkčné ťažné zariadenia budú musieť uniesť zvýšené zaťaženia a niektoré šachty budú prehĺbené.

Because of increased loads and deeper shafts, hoists will have to be adapted to new operating conditions. This adaptation ought to be cost-effective, yet the required safety standards have to be maintained. This study is concerned with emergency conveyance arresting systems.

Authors provide the description of a novel solution - emergency arrestors in movable fender beams. This solution prevents conveyance crashing into the fixed fender beams at the travel end, which may lead to reduced costs of hoist modernisation as additional headframe reinforcements or reconstruction would not be needed. Furthermore, conveyances and other hoist elements could be lighter.

2. EMERGENCY ARRESTING SYSTEMS AND MOVABLE FENDER BEAMS

The requirements as to design, construction and technical acceptance, operation and maintenance of arrestors in headframes and sumps are set forth in relevant legal documents relative to mining [1, 2].

In accordance with "Requirements as to construction and operation and maintenance of mine hoists" being the part of the regulation issued by the Ministry of Industry and Commerce of 14th April 1995 relating to work safety, operations and fire prevention in underground mines [2], two types of arrestors can be distinguished:

- basic arresting systems
- supplemental emergency arrestors

Basic arresting systems include reinforced wooden guides or frictional arrestors HS2W-1 and HS2W-2 [3].

The operating principle of movable fender beams is described in the patent specification (RP 170049) [4], see Fig 1. Movable fender beams - 1 situated at travel beginnings are installed as sliding over braking strips in frictional arresting devices - 2. Special safety catchers - 3 are incorporated in movable fender beams - 1 and act as gripping devices connecting the conveyances with beams via special catches - 7 attached to the conveyance head - 4. From the moment emergency braking begins, the conveyance is blocked by the brakes so that after the conveyance is brought to rest when the rope is broken, it is suspended on the structure holding the frictional arresting system. As soon as the kinetic energy is absorbed, the conveyance is stopped and the catches will be suspended on arrestor bolts. Friction forces between the friction brakes and braking strips convey the total load of the conveyance with the transported material and the

Z dôvodu vyššieho zaťaženia a prehĺbenia šácht sa budú musieť ťažné jamy adaptovať na nové prevádzkové podmienky. Táto adaptácia by mala byť efektívna z hľadiska finančných nákladov, no taktiež musí byť udržaná požadovaná bezpečnostná úroveň. Táto štúdia sa zaoberá bezpečnostnými dopravnými záchytnými systémami.

Autori poskytujú opis nového riešenia bezpečnostných záchytov v pohyblivých nárazníkových roštoch. Toto riešenie zabraňuje dopravným zariadeniam naraziť do pevných nárazníkových roštov na konci pohybu, čo môže viesť k redukcii finančných nákladov modernizácie ťažby, kým dodatočné zosilnenia ťažnej veže alebo konštrukcie nebudú potrebné. Okrem tohto faktu dopravné zariadenia a ďalšie ťažné prvky by mohli byť ľahšie.

2. BEZPEČNOSTNÉ ZÁCHYTNÉ SYSTÉMY A POHYBLIVÉ NÁRAZNÍKOVÉ ROŠTY.

Požiadavky na dizajn, konštrukciu a technické schválenie, prevádzku a údržbu záchytov v ťažných vežiach a žumpách sú uvádzané v príslušných právnych dokumentoch vzťahujúcich sa na baníctvo [1,2].

Podľa "Požiadavky na konštrukciu, prevádzku a údržbu ťažných zariadení", ktoré sú súčasťou predpisu vydaného Ministerstvom priemyslu a obchodu zo 14. apríla 1995 a vzťahujú sa na bezpečnosť práce, prevádzku a požiaru prevenciu v podzemných baniach [2], sa rozlišujú dva typy záchytov:

- základné záchytné systémy
- doplnkové bezpečnostné záchyty

Základné záchytné systémy obsahujú zosilnené drevené sprievodnice alebo brzdné zachytávače HS 2W-1 a HS2W-2 [3].

Prevádzkový princíp pohyblivých nárazníkových roštov je opísaný v špecifikácii patenta (RP170049) [4]. Vid' obr. 1. Pohyblivé nárazníkové rošty : - 1. situované na začiatku dráhy sú inštalované pri posúvaní sa cez brzdné pásy v trecích záchytných zariadeniach - 2. Špeciálne bezpečnostné záchyty - 3.sú včlenené v pohyblivých nárazníkových roštoch - 1.a fungujú ako upínacie zariadenia spájajúce dopravnú nádobu s nosníkmi cez špeciálne príchytky - 7. pripojené k dopravnej chodbe - 4. V momente začiatku núdzového brzdienia je dopravná nádoba zablokovaná brzdami, takže keď už je bez pohybu v pokoji a lano je pretrhnuté, tak je dopravné zariadenie zavesené na konštrukciu držiacu trecí záchytný systém. Akonáhle je absorbovaná kinetická energia, dopravné zariadenie je zastavené a príchytky budú zavesené na zachytávacie svorníky. Trecie sily medzi trecími brzdami a brzdovými pásmi privedú celkové naloženie dopravnej

balance rope to the overwind structure in the headframe.

The main advantage of this solution is that when a conveyance crashes into movable beams the structural elements of the headframe - 11, conveyance head - 4 and fender beams convey much smaller dynamic forces than those generated when the conveyance crashes into a fixed beam. Therefore, these elements might be lighter than in most classical solutions.

nádoby s transportovaným materiálom a vyrovnávacím lanom k previnutej koštrukcii v ťažnej veži.

Hlavná výhoda tohto riešenia je v tom, že keď dopravná nádoba narazí do pohyblivých roštov, štruktúrne prvky ťažnej veže - 11, dopravná chodba - 4 a nárazníkové rošty udeľujú omnoho menšie dynamické sily ako ktoré vzniknú pri náraze do pevného roštu. A preto tieto prvky môžu byť ľahšie než vo väčšine klasických riešení.

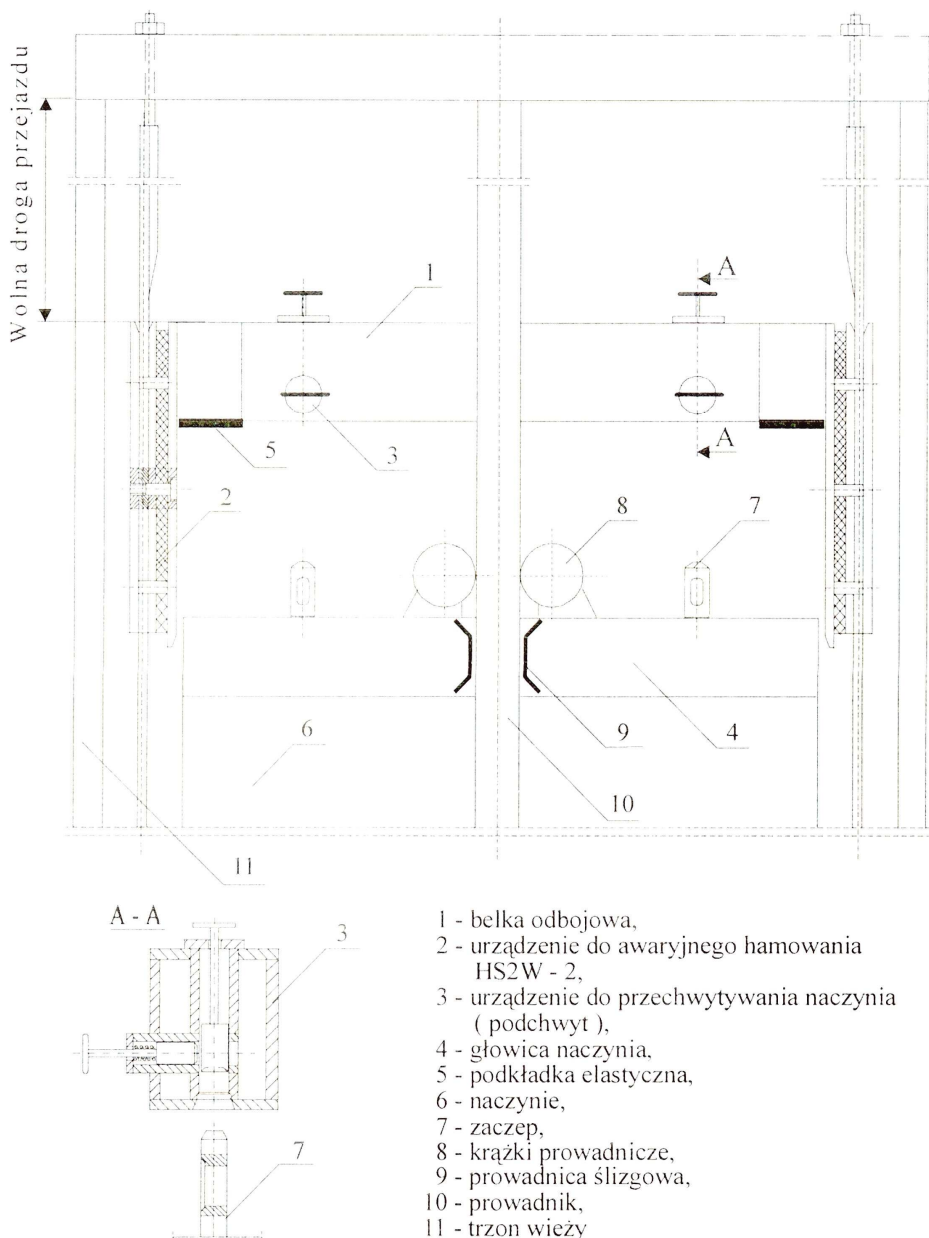


Figure 1 Emergency system for conveyance braking HS2W-2 in movable fender beams [4]

1 - fender beam, 2 - emergency arresting device HS2W-2, 3 - safety catcher, 4 - conveyance head, 5 - elastic element, 6 - conveyance, 7 - catch, 8 - guide rollers, 9 - sliding guide, 10 - guide shoe, 11 - overwind structure in headframe

Obrázok 1 Núdzový systém pre brzdenie dopravnej nádoby HS 2W-2 v pohyblivých nárazníkových roštach [4]
 1 - nárazníkový rošt, 2 - núdzové zachytné zariadenie HS 2W-2, 3 - bezpečnostný zachytávač, 4 - dopravná chodba, 5 - elastický prvok, 6 - dopravné zariadenie, 7 - prichytka, 8 - vodiace valčeky, 9 - príklopné vodiče, 10 - vodiace potrubie, 11 - previnutá koštrukcia v ťažnej veži

3. THE SCOPE AND OBJECTIVES OF INDUSTRIAL TESTS

The main objective was to find the real parameters of simulated overwind travels when the conveyance is brought to rest at movable fender beams. Emergency braking during simulated overwind travels (between the levels of loading and unloading) of a conveyance with nominal load of 9000 kg moving at the speed 0,5 - 2 m/s² was carefully examined.

In order to determine the real parameters of emergency braking at movable fender beams the following parameters were measured:

- forces acting upon braking slips of the frictional arresting systems
- forces acting upon hoisting ropes
- cage deceleration during braking
- conveyance head displacement during braking

Industrial testing involved four overwind travels of the cage at the velocity 0,5; 1,0; 1,5 and 2 m/s². Recorded values of dynamic forces measured in hoisting ropes and braking strips are presented in Fig 2 and 3.

4. ANALYSIS OF RESULTS

The analysis of thus obtained results leads us to the conclusion that the maximal dynamic force both in the ropes and in the braking strips would always appear when the frictional arresting systems reached the maximal braking power. The maximal values of measured dynamic forces generated in the elements of the decelerated systems are:

- dynamic forces acting upon hoisting ropes:
 - 123 kN - at 0,5 m/s²
 - 262 kN - at 1,0 m/s²
 - 292 kN - at 1,5 m/s²
 - 333 kN - at 2,0 m/s²
- dynamic forces acting upon braking strips
 - 158 kN - at 0,5 m/s²
 - 264 kN - at 1,0 m/s²
 - 365 kN - at 1,5 m/s²
 - 406 kN - at 2,0 m/s²

Forces acting upon hoisting ropes and braking strips are nearing the value of the calculated force for the frictional arresting system (360 kN). We have to bear in mind that the full braking power is achieved when the conveyance moves at 1,5 m/s². For velocities less than 1,5 m/s the kinetic energy of the hoist is too small and the nominal braking force of the braking system could not be produced. As far as deceleration is concerned, the values of the order 20-80 m/s² were obtained for cage stopping and 80-200 m/s² for the system of movable fender beams. These are maximal

3. ROZSAH A CIELE PREVÁDZKOVÝCH TESTOV

Hlavným cieľom bolo určenie skutočných parametrov simulovaných previnutých dráh, keď je dopravné zariadenie bez pohybu v pokoji v pohyblivých nárazníkových roštoch. Núdzové brzdenie počas simulovaných previnutých dráh (medzi úrovňami zaťaženia a vyloženia) dopravnej nádoby s nominálnym zaťažením 9 000 kg pohybujúcim sa rýchlosťou 0,5 - 2 m/s² bolo dôkladne preskúmané.

Na určenie skutočných parametrov núdzového brzdienia v pohyblivých nárazníkových roštoch boli zmerané nasledujúce parametre:

- sily v rámci brzdových pásov trecích záchytných systémov
- sily v rámci ťažných lán
- spomaľovanie kliečky počas brzdienia
- posunutie dopravnej chodby počas brzdienia

Prevádzkové testovanie zahŕňalo 4 previnuté dráhy kliečky pri rýchlosti 0,5; 1,0; 1,5 a 2 m/s². Zaznamenané hodnoty dynamických síl namerané v ťažných lanách a brzdových pásoch sú zobrazené na obrázkoch 2 a 3.

4. ANALÝZA VÝSLEDKOV

Analýza takto získaných výsledkov nás vedie k záveru, že maximálna dynamická sila pri lanách aj pri brzdových pásoch sa vždy objavila, keď trecie záchytné systémy dosiahli maximálnu brzdiacu silu. Maximálne hodnoty nameraných dynamických síl vzniknutých v prvkoch spomaľovaných systémov sú:

- dynamické sily v rámci ťažných lán:
 - 123kN - pri 0,5 m/s²
 - 262kN - pri 1,0 m/s²
 - 292kN - pri 1,5 m/s²
 - 333kN - pri 2,0 m/s²
- dynamické sily v rámci brzdových pásov
 - 158kN - pri 0,5 m/s²
 - 264kN - pri 1,0 m/s²
 - 365kN - pri 1,5 m/s²
 - 406kN - pri 2,0 m/s²

Sily v rámci ťažných lán a brzdových pásov sú blízke hodnote vypočítanej sily pre trecí záchytný systém (360 kN). Musíme však mať na zreteli, že celková brzdiaca sila sa dosiahne, keď je pohyb dopravnej nádoby 1,5 m/s². Pri rýchlostiach nižších než 1,5 m/s² je kinetická energia ťažby príliš malá a nominálna brzdiaca sila brzdového systému nemôže byť produkovaná. Akonáhle je spomaľovanie zahájené, boli dosiahnuté hodnoty spomaľovania 20-80 m/s² na zastavenie kliečky a 80-200 m/s² pre systém

instantaneous values of deceleration, maintained for short periods only (0,02 - 0,03). The whole braking process (i.e. till the conveyance was brought to rest) lasted about 0,3 s. For the purpose of this analysis certain criteria had to be assumed:

- admissible deceleration of vibrations
- admissible upper frequency limit.

pohyblivých nárazníkových roštov. To sú maximálne okamžité hodnoty spomaľovania, ktoré sa udržia len krátku dobu (0,02 - 0,03 s). Celkový brzdiaci proces (t.j. pokiaľ nie je dopravná nádoba bez pohybu v pokoji) trval okolo 0,3s. Za účelom tejto analýzy musia byť prijaté určité kritéria:

- prípustné spomalenie vibrácií,
- prípustný horný limit frekvencie.

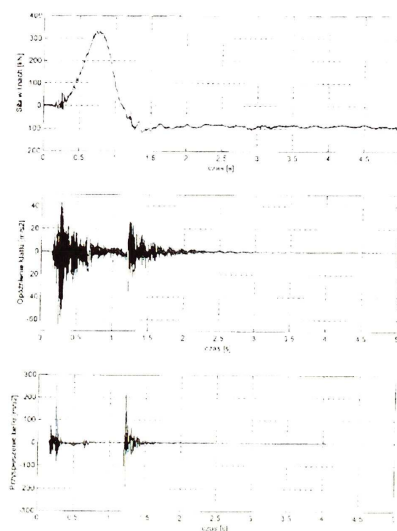


Figure 2 Recorded values of dynamic forces acting upon hoisting ropes, cage deceleration and acceleration of movable fender beams at the instant the cage reaches the arrestor at 2,0 m/s²
 Obrázok 2 Zaznamenané hodnoty dynamických sil pre ťažné laná, spomaľovanie kletky a akceleráciu pohyblivých nárazníkových roštov v okamihu, keď kletka dosiahne zachytávač pri 2,0 m/s²

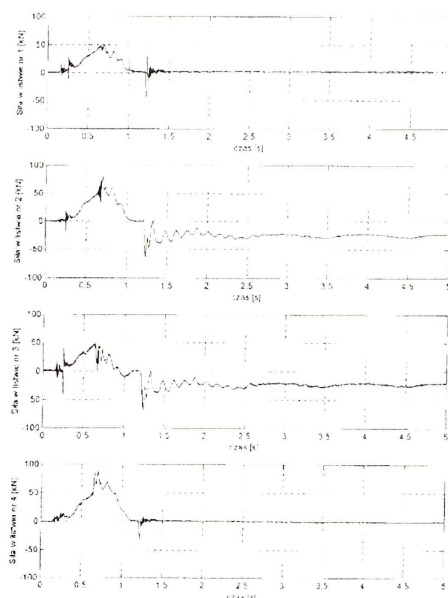


Figure 3 Recorded values of dynamic forces acting upon four braking strips at the instant the cage reaches the arrestor at 2,0 m/s².
 Obrázok 3 Zaznamenané hodnoty dynamických sil v rámci 4 brzdivých pásov v okamihu, keď kletka dosiahne zachytávač pri 2,0 m/s².

The criterion of admissible deceleration of vibrations was specified in accordance with [2], so that the maximal deceleration of the cage during emergency braking in headframe should not exceed 10 m/s^2 . As far as upper frequency limits were concerned, two cases were distinguished:

- impacts of vibrations on people in the cage
- impacts of vibrations on structural elements of the headframe

In the first case the standard [5] was applied. Accordingly, it is assumed that in this case the upper frequency limit should be 20 Hz, which means that vibrations should not be harmful to people inside the cage if the admissible deceleration criterion (i.e. 10 m/s^2) should be met throughout the frequency range 0-20 Hz.

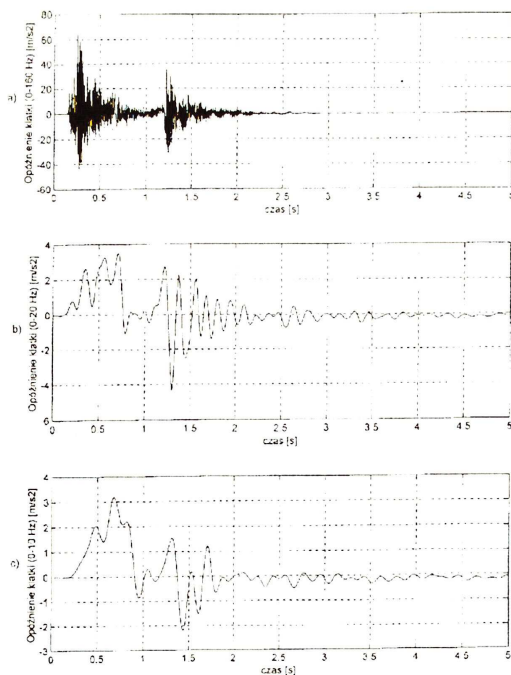
The standards [6, 7] were used to evaluate the impacts of vibrations on the headframe structure. Accordingly, the upper frequency limit is 10 Hz. It is sufficient then that the criterion of admissible deceleration (10 m/s^2) should be met throughout the frequency range 0-10 Hz. Recorded deceleration obtained from measurements over the range 0-160 Hz are presented in Fig 4a. Low-pass filters with upper frequency limits 20 and 10 Hz were then applied and the results are shown in Fig 4b and 4c.

Kritérium prípustného spomaľovania vibrácií bolo špecifikované podľa [2], takže maximálne spomaľovanie kletky počas núdzového brzdenia v ťažnej veži by nemalo prekročiť 10 m/s^2 . Akonáhle horné limity frekvencie boli účastné, rozlíšili sa 2 prípady:

- nárazy vibrácií na ľudí v kletke,
- nárazy vibrácií na štrukturálne prvky ťažnej veže.

V prvom prípade bola použitá norma [5]. Podľa toho sa predpokladá, že v tomto prípade horný limit frekvencie by mal byť 20 Hz, čo znamená, že vibrácie by nemali byť škodlivé na ľudí vo vnútri kletky, ak by kritérium prípustného spomaľovania (t.j. 10 m/s^2) reagovalo po celom rozsahu frekvencie 0 - 20Hz.

Normy [6,7] boli použité na ohodnotenie nárazov vibrácií na konštrukciu ťažnej veže. Podľa toho je horný limit frekvencie 10Hz. Je potom dostačujúce, že kritérium prípustného spomaľovania (10 m/s^2) by reagovalo v celom rozsahu frekvencie 0-10 Hz. Zaznamenané spomaľovania získané z meraní pri rozsahu 0-160 Hz sú zobrazené na obrázku číslo 4. Nízko prieschodné filtre s konkrétnymi limitmi frekvencie 20 a 10 Hz boli potom použité a výsledky sú zobrazené v obrázkoch 4b a 4c.



Obrázok 4 Priebeh zrýchlenia kletky počas brzdenia vo vodiacich kladkách Rýchlosť vjazdu je 2 m/s.

It follows from Fig 4a and 4b that the admissible deceleration criterion as set forth in relevant standards [2] is fully met still leaving nearly 100% margin both throughout the range of frequencies damaging to the headframe structure (0-10 Hz) and harmful to people (0-20 Hz).

Z obrázku 4a a 4b vyplýva, že kritérium prípustného spomaľovania, zakotvené v relevantných normách [2], je plne uplatňované, ale stále zanecháva takmer 100% rezervu v celom rozsahu frekvencií škodlivých pre konštrukciu ťažnej veže (0 - 10 Hz) a škodlivých pre ľudí (0 - 20 Hz).

5. CONCLUSIONS

1. Industrial tests show that kinetic energy of a conveyance can be safely absorbed over the travel path using movable fender beams.
2. Thanks to the application of movable fender beams, the dynamic forces acting upon overwind structures in the headframe, conveyance heads, ropes and other hoist elements during emergency braking are significantly lower than dynamic forces produced when a conveyance crashes into fixed fender beams
3. Measured values of dynamic forces acting upon the braking strips and hoisting ropes are nearing the nominal values for frictional arresting system.
4. Tests show that the criterion of admissible deceleration of vibrations, set forth in work safety standards for mining, is fully met throughout the frequency range of vibrations that negatively impact on the headframe structure (0-10 Hz) and those harmful to people (0-20 Hz).
5. Considerable vibrations appearing when the conveyance is brought to rest are produced by oscillating balance ropes.
6. Relatively large dynamic forces acting upon the braking strips (100-200 kN) are generated also after braking, when the conveyance is already suspended by safety catchers.

5. ZÁVERY

1. Prevádzkové testy ukazujú, že kinetická energia dopravného zariadenia môže byť bezpečne absorbovaná počas dráhy s použitím pohyblivých nárazníkových roštov.
2. Vďaka aplikácii pohyblivých nárazníkových roštov sú dynamické sily v rámci previnutých konštrukcií v ťažnej veži, dopravných chodieb, lán a ďalších ťažných prvkov počas núdzového brzdenia významne nižšie než sily produkované pri náraze dopravného zariadenia do pevných nárazníkových roštov.
3. Namerané hodnoty dynamických síl v rámci brzdových pásov a ťažných lán sú blízke nominálnym hodnotám pre trecí záchytný systém.
4. Testy ukazujú, že kritérium prípustného spomaľovania vibrácií v pracovných bezpečnostných normách pre baničstvo, je plne uplatňované v celom frekvenčnom rozsahu vibrácií, ktoré negatívne pôsobia na konštrukciu ťažnej veže (0 - 10Hz), a ktoré sú škodlivé pre ľudí (0 - 20Hz)
5. Značné vibrácie objavujúce sa, keď sú dopravné nádoby bez pohybu v pokoji, sú produkované oscilujúcimi vyrovnávacími lanami.
6. Relatívne rozsiahle dynamické sily v rámci brzdových pásov (100 - 200kN) sú tiež vytvorené po brzdení, keď je už dopravná nádoba zachytená bezpečnostnými záchytnými.

REFERENCES / LITERATÚRA:

- [1] Geological and Mining Law of 14th February 1994 (Journal of Laws, RP no 27 of 1st March 1994)
- [2] Requirements as to construction, operation and maintenance of mine hoists - a supplement no 17 to the regulation of the Minister of Industry and Commerce of 14th April 1995 relating to work safety, operation and fire prevention and protection in underground mines (Journal of Laws, RP appendix to no 67, item 342 of 19th June 1995)
- [3] Patent RP (Republic of Poland) 139894 "System for reducing kinetic energy of a conveyance on a free way" Patent Office, Republic of Poland, 1985. Authors: J. Hansel, M. Wójcik, A. Wójcicki, Z. Śmiałek
- [4] Patent RP (Republic of Poland) no 170049 "System for reducing the kinetic energy of a conveyance in fender beams". Patent Office, Republic of Poland, 1996. Authors: J. Hansel, Z. Kaweckí, M. Wójcik, S. Parysiewicz, W. Bochenek, J. Zub, Z. Śmiałek
- [5] Polish standard PN-83/N/-01354. *Vibrations. Admissible values of vibrations acceleration - impacts on human body.* Equivalent to ISO 2631 "Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibrations"
- [6] Polish standard BN-84/8902-05. *Overwind structures in headframes. Static calculations and design principles.*
- [7] Polish standard PN-89/G/05500. *Tower-type headframes. Machine support structures. Measurement and evaluation of vibrations.*
- [8] Hansel, J, Rokita T, Wójcik M.: *Operating tests of movable fender beams in mine hoists.* Journals of the Department of Applied Mechanics of the Silesian Polytechnic no 13/2000. Gliwice, 2000.