



The International Journal of
TRANSPORT & LOGISTICS
Medzinárodný časopis
DOPRAVA A LOGISTIKA

ISSN 1451-107X

MOŽNOSTI DYNAMICKÉHO REDUKOVANIA ZAŤAŽENIA V HRABĽOVÝCH DOPRAVNÍKOCH VYBAVENÝCH NRW SYSTÉMOM

POSSIBILITIES OF DYNAMIC LOADS REDUCTION IN A SCRAPER CONVEYOR EQUIPPED WITH NRW SYSTEM

Marian Dolipski, Eryk Remiorz¹

¹ Silesian University of Technology, Faculty of Mining and Geology, Mining Mechanization Institute, Gliwice, Poland, e-mail: marian.dolipski@polsl.pl, eryk.remiorz@polsl.pl

Abstrakt: Stav dynamických zaťažení pohonov a reťazového systému vo výkonných reťazových ohreblových dopravníkoch inštalovaných vo veľmi dlhých stenách sa v porovnaní s konvenčnými mení. Vysoké hodnoty a amplitúdy dynamických zaťažení v ohreblových dopravníkoch môžu vyúsiť do roztrhnutia reťaze a môžu mať taktiež negatívny vplyv na životnosť pohonov. V tejto práci bude predstavený automatický systém počiatočného napnutia reťaze (systém NRW). Takisto budú zahrnuté výsledky počítačom podporovaného výskumu, ktoré ukazujú možnosti zníženia dynamickej zátlače na hrabľovom dopravníku s dĺžkou 400 m.

Kľúčové slová: hrabľové dopravníky, systém NRW, zvyškové počiatočné napnutie reťaze, dynamický model

Abstract: The state of dynamic loads of drives and chain system in heavy duty scraper conveyors installed in high length longwalls changes compare to conventional ones. High values and amplitudes of dynamic loads in scraper conveyors might result in scraper chain breakage and might also have disadvantageous influence on drives life. The automatic initial chain tension system (NRW system) will be presented in this paper. The results of computer aided investigations that show the possibilities of dynamic loads reduction in a 400 m length scraper conveyor will also be included.

Key words: scraper conveyor, NRW system, residual initial chain tension, dynamic model

1 ÚVOD

Ako výsledok existujúcej tendencie ku zmenšeniu počtu dlhých dobývacích stien a konštantného zvyšovania dobývania z jedného porubu sa neustále zvyšuje záťaž na dobývacie stroje. Významnú úlohu medzi porubovými strojmi zohrávajú hrabľové dopravníky. Môžu byť inštalované v stenách s dĺžkou až 400 metrov. Vybavené asynchronnymi motormi s celkovým výkonom až do, alebo dokonca až nad 2×1000 kW umožňujú dosiahnuť efektívnosť presahujúcu 10 000 t/d [2].

Počas činnosti hrabľového dopravníka, v dôsledku existujúcich odporov voči pohybu, premenlivého zataženia v priebehu dobývania a mechanických vibrácií, je reťaz dopravníka vystavená elastickým predĺženiam s neustále sa meniacou hodnotou. V závislosti na vzťahu medzi odporom voči pohybu v hornej a dolnej časti pásu a koeficienta rozdelenia výkonu, sa elastické predĺženia reťazí dopravníka kumulujú do bodu odtahu od hnacieho reťazového kolesa pomocného pohonu, hlavného pohonu, alebo súbežne v susedstve oboch hnacích reťazových kolies. S cieľom kompenzácie elastických predĺžení, ktoré sa vyskytujú počas prevádzky dopravníka, sa reťaz dopravníka na začiatku napne. Hodnota počiatočného napnutia, ktorá je nastavená na dopravníkoch s veľkou dĺžkou, je vo väčšine prípadov príliš nízka a vedie ku stavu pravidelného uvoľnenia reťazí. Toto je najnevýhodnejší dynamický stav reťazí na hrabľovom dopravníku [1].

V súvislosti s týmto by mali byť moderné hrabľové dopravníky vybavené automatickým systémom, ktorý by zmenil hodnotu pôvodného zvyškového napnutia reťaze v bode odtahu od hnacieho reťazového kolesa v závislosti na aktuálnych odporoch voči pohybu na hornej a dolnej vetve, mechanických vibráciách a okamžitých záťažiach podľa prevádzky.

Výhody, ktoré vyplynú z aplikácie

1 INTRODUCTION

As a result of existing tendency to decrease the number of longwalls and constant increase of output from one face, the load of face machines increases constantly. Significant role among face machines is played by scraper conveyors. They might be installed in longwalls 400 m length. Having asynchronous motors with total power up to or even above 2×1000 kW they allow to reach efficiency that exceeds 10 000 t/d [2].

During scraper conveyor operation, as a result of existing motion resistances, variable run-of-mine load and mechanical vibrations, conveyor chain is having elastic elongations with permanently altered value. Depending on relation between motion resistances in top and bottom strands and power distribution factor the elastic elongations of conveyor chains cumulate in the run-off point from the drive sprocket of the auxiliary drive, main drive or simultaneously in the neighborhood of both drive sprockets. In order to compensate elastic elongations that appear during conveyor operation the conveyor chain is initially tensed. The value of initial tension that is set in high length scraper conveyors is in most cases too low and leads to the state of periodical slack of the chains. It is the most disadvantageous dynamic state of chains in a scraper conveyor [1].

In relation with above modern scraper conveyors should be equipped with an automatic system that would change the value of initial residual chain tension in run-off point from the drive sprocket depending on occurring motion resistances in top and bottom strands, mechanical vibrations and instantaneous run-of-mine loads.

The advantages that arise from the application of such a system can be verified theoretically using dynamical model of a scraper conveyor equipped with an automatic residual initial chain tension follow-up system (named NRW system).

takého systému sa môžu teoreticky overiť s použitím dynamického modelu hrabľového dopravníka vybaveného automatickým systémom sledovania zvyškového počiatočného napnutia reťaze (nazvaného systém NRW). Aplikácia počítačových simulácií s použitím dynamického modelu hrabľového dopravníka umožňuje získať dynamickú charakteristiku sledovaného hrabľového dopravníka bez potreby konštrukcie drahých prototypov a experimentálnych výskumov. Matematické modelovanie a počítačové simulácie, ktoré vedú ku zníženiu výdavkov na výskum sú aplikované v banských strojoch ako sú drvíče, frézovacie stroje, systémy štítových výstuží alebo pásové dopravníky.

2 AUTOMATICKÝ SYSTÉM SLEDOVANIA ZVYŠKOVÉHO POČIATOČNÉHO NAPNUTIA REŤAZE

Hodnota zvyškového počiatočného napnutia reťaze v bode odťahu od hnacieho reťazového kolesa v dynamickom modeli hrabľového dopravníka bola zvolená ako diagnostický signál, ktorý umožňuje kontinuálne vyhodnotenie stavu napnutia reťaze dopravníka v meniacich sa prevádzkových podmienkach [1]. Bola aplikovaná ako kontrolný signál v automatickom systéme sledovania zvyškového počiatočného napnutia reťaze (systém NRW). Jeho hodnota sa dá vypočítať s použitím vzorca 2.1. Kontrolovaným signálom na hrabľovom dopravníku vybavenom týmto systémom je dĺžka profilu reťaze.

$$\Delta S_{0K}(t) = S_{0K} + u^* \cdot S_{1KB}^d(t) - (u^* - 1) \cdot S_{2KA}^d(t) - \frac{1}{4j} \left[\frac{1}{2} (S_{1KB}^d(t) + S_{1KA}^d(t) + S_{2KA}^d(t) + S_{2KB}^d(t)) + \sum_{\xi=1}^2 \left[\frac{3}{2} (S_{\xi K1}^d(t) + S_{\xi Kj}^d(t)) + 2 \cdot \sum_{i=2}^{j-1} S_{\xi Ki}^d(t) \right] \right] \quad (2.1)$$

$$S_{1KA}^d = Z_{1KA} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{1KA} \cdot (\phi_A \cdot R_{0KA} - q_{1kj} + x_{Ak}) + h_{1KA} (\dot{\phi}_A \cdot R_{0KA} - \dot{q}_{1kj} + \dot{x}_{Ak}) + S_{1KA}]$$

$$S_{2KA}^d = Z_{2KA} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{2KA} (q_{2K1} - \phi_A \cdot R_{0KA} + x_{Ak}) + h_{2KA} (\dot{q}_{2K1} - \dot{\phi}_A \cdot R_{0KA} + \dot{x}_{Ak}) + S_{2KA}]$$

$$S_{2K1}^d = Z_{2K1} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{2K1} \cdot (q_{2K2} - q_{2K1}) + h_{2K1} (\dot{q}_{2K2} - \dot{q}_{2K1}) + S_{2K1}]$$

The application of computer aided simulations with utilization of dynamical model of a scraper conveyor allows to obtain dynamic characteristics of an investigated scraper conveyor without necessity of building expensive prototypes and carrying experimental investigations. Mathematical modeling and computer aided simulations that lead to reduction of research expenses find application in mining machines such as shearers, road headers, shield support systems or belt conveyors.

2 AUTOMATIC RESIDUAL INITIAL CHAIN TENSION FOLLOW-UP SYSTEM

The value of residual initial chain tension in the run-off point from the drive sprocket in dynamical model of a scraper conveyor was chosen as a diagnostic signal that allows continuous evaluation of state of conveyor chain tension in variable operational conditions [1]. It was applied as a control signal in the automatic residual initial chain tension follow-up system (NRW system). Its value can be computed using formula 2.1. The controlled signal in a scraper conveyor equipped with this system is chain contour length.

$$\begin{aligned}
 S_{2\kappa i}^d &= Z_{2\kappa(i+1)} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{2\kappa i} \cdot (q_{2\kappa(i+1)} - q_{2\kappa i}) + h_{2\kappa i} \cdot (\dot{q}_{2\kappa(i+1)} - \dot{q}_{2\kappa i}) + S_{2\kappa i}] \\
 S_{2\kappa(j-1)}^d &= Z_{2\kappa j} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{2\kappa(j-1)} \cdot (q_{2\kappa j} - q_{2\kappa(j-1)}) + h_{2\kappa(j-1)} \cdot (\dot{q}_{2\kappa j} - \dot{q}_{2\kappa(j-1)}) + S_{2\kappa j}] \\
 S_{2\kappa B}^d &= Z_{2\kappa B} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{2\kappa B} \cdot (\varphi_B \cdot R_{0\kappa B} - q_{2\kappa j} + x_{B\kappa}) + h_{2\kappa B} \cdot (\dot{\varphi}_B \cdot R_{0\kappa B} - \dot{q}_{2\kappa j} + \dot{x}_{B\kappa}) + S_{2\kappa B}] \\
 S_{1\kappa B}^d &= Z_{1\kappa 1} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{1\kappa B} \cdot (q_{1\kappa 1} - \varphi_B \cdot R_{0\kappa B} + x_{B\kappa}) + h_{1\kappa B} \cdot (\dot{q}_{1\kappa 1} - \dot{\varphi}_B \cdot R_{0\kappa B} + \dot{x}_{B\kappa}) + S_{1\kappa B}] \\
 S_{1\kappa 1}^d &= Z_{1\kappa 2} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{1\kappa 1} \cdot (q_{1\kappa 2} - q_{1\kappa 1}) + h_{1\kappa 1} \cdot (\dot{q}_{1\kappa 2} - \dot{q}_{1\kappa 1}) + S_{1\kappa 1}] \\
 S_{1\kappa i}^d &= Z_{1\kappa(i+1)} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{1\kappa i} \cdot (q_{1\kappa(i+1)} - q_{1\kappa i}) + h_{1\kappa i} \cdot (\dot{q}_{1\kappa(i+1)} - \dot{q}_{1\kappa i}) + S_{1\kappa i}] \\
 S_{1\kappa(j-1)}^d &= Z_{1\kappa j} \cdot H[] \cdot [k(l_x)_{1\kappa(j-1)} \cdot (q_{1\kappa j} - q_{1\kappa(j-1)}) + h_{1\kappa(j-1)} \cdot (\dot{q}_{1\kappa j} - \dot{q}_{1\kappa(j-1)}) + S_{1\kappa j}] \\
 i &= 2, 3, \dots, j-1
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

$$\kappa = 1, 2$$

where/ kde:

- h - Equivalent dumping coefficient of additional longitudinal vibration dumpers in chains/
Ekvivalentný tlmiaci koeficient dodatočných pozdĺžnych tlmičov vibrácií v reťaziach,
- H[] - Heaviside's function/ *Funkcia Heaviside'a,*
- $k(l_x)$ - Variable specific rigidity of elastic tie of chain/
Premenlivá špecifická tuhost' elastického reťazca článku,
- q - Translational coordinates/ *Prenosové koordináty,*
- S - Static loads in chains/ *Statické zaťaženia v reťaziach,*
- t - Time measured from the moment of switching the first drive on/
Čas nameraný od momentu zapnutia prvého pohonu,
- u^* - Coefficient that determines link clearance place/
Koeficient, ktorý určuje miesto vôle ohnivka,
- Z - Chains tear coefficient/ *Koeficient opotrebovania reťaze,*
- φ - Rotational coordinates/ *Rotačné koordináty*

Hodnota zvyškového počiatočného napnutia reťaze v bode odtahu od reťazového hnacieho kolesa môže patriť k jednej z troch zón, ktoré boli spomenuté. V prípade, že všetky body dynamických charakteristik zvyškového počiatočného napnutia reťaze založených na čase patria do zóny číslo jedna, tak bola reťaz dopravníka príliš napnutá. Prevádzka takéhoto hrabľovom dopravníka je charakterizovaná zvýšenými odporom voči pohybu na krivočiarych segmentoch, zvýšenou spotrebou energie, rýchlejším abrazívny opotrebovaním reťaze ako výsledok rastúcej trecej sily v spojoch, zvýšenej záťaže ložísk reťazového kolesa a hnacích rámov.

The value of residual initial chain tension in the run-off point from the drive sprocket might belong to one of the three zones that were distinguished. If all points from the time based dynamic characteristics of residual initial chain tension belong to the zone number one, the conveyor chain was strained too much. The operation of such a scraper conveyor is characterized by increased motion resistances on curvilinear segments, increased power consumption, faster chain abrasive wear as a result of growing friction force in joints, increased loading of chain sprocket bearings and drive frames.

The second zone is the area where a scraper conveyor operates properly. If all

Druhou zónou je oblasť, kde hrabľový dopravník pracuje normálne. V prípade, že všetky body dynamických charakteristik zvyškového počiatočného napnutia reťaze založených na čase sú konštantne v týchto zónach, tak to znamená, že počiatočné napnutie reťaze bolo správne nastavené pre aktuálne podmienky zaťaženia hrabľového dopravníka.

Ak všetky body zvažovanej dynamickej charakteristiky patria do zóny tri, potom bola hodnota pôvodného napnutia reťaze nastavená počas odstávky dopravníka príliš nízka.

V závislosti na zóne, ktorá obsahuje body z dynamických charakteristik zvyškového počiatočného napnutia reťaze založených na čase, príslušný aktivátor spôsobí zmenu profilu reťaze nadvhnutím hnacieho rámu. Ak je hodnota zvyškového počiatočného napnutia reťaze v bode odťahu od hnacieho reťazového kolesa príliš nízka (zábra tri), potom aktivátor systému NRW predĺži dĺžku profilu reťaze zdvihnutím hnacieho rámu smerom von z dopravníka. Ak je hodnota kontrolného signálu príliš vysoká (zábra jedna), aktivátor nadvhne hnací rám smerom dovnútra dopravníka, čím sa spôsobí kontrakcia profilu. V zóne dva sú hodnoty zvyškového počiatočného napnutia reťaze zodpovedajúce pre aktuálne podmienky zaťaženia hrabľového dopravníka, preto sa profil dĺžky reťaze nemení a hnacie rámy zostanú stacionárne.

3 POČÍTAČOVÉ VÝSKUMY

Predmetom počítačom podporovaných výskumov bol vysokovýkonný hrabľový dopravník vybavený hlavným pohonom a pomocným pohonom. Dĺžka dlhej steny kde bol inštalovaný, bola 400 m. Celkový výkon asynchronných motorov v pohonoch sa rovnal 2x1000 kW. Bol vybavený dvojitou reťazou s rozmermi 2x42x146. Počiatočné napnutie reťaze nastavené počas odstávky dopravníka sa rovnalo $S_0(t=0)=1200$ kN. Horná vetva bola zaťažená vytáženým materiálom v rozsahu 200 kg/m. Naštartovanie

points from the time based dynamic characteristics of residual initial chain tension are constantly inside this zone it means, that initial chain tension was set correctly for current loading conditions of a scraper conveyor.

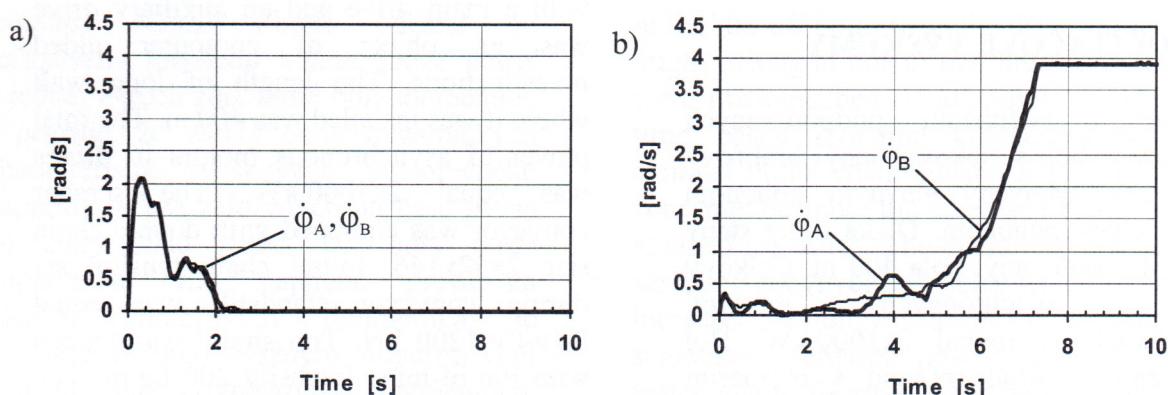
If all points from the considered dynamic characteristics belong to the zone three, then the value of initial chain tension set during conveyor standstill was too low. Depending on the zone, which contains points from the time based dynamic characteristics of residual initial chain tension, appropriate actuator causes change of chain contour by shifting a drive frame. If a value of residual initial chain tension in the run-off point from the drive sprocket is too low (zone three) then the NRW system actuator extends the length of chain contour by shifting drive frame toward out-conveyor. If value of control signal is too high (zone one), the actuator shifts drive frame toward in-conveyor causing chain contour contraction. In zone two, values of residual initial chain tension are proper for current loading conditions of a scraper conveyor, therefore chain contour length is not altered and drive frames remain stationary.

3 COMPUTER AIDED INVESTIGATIONS

A heavy duty scraper conveyor equipped with a main drive and an auxiliary drive was an object of computer aided investigations. The length of long wall where it was installed was 400 m. The total power of asynchronous motors in drives was equal 2x1000 kW. The scraper conveyor was equipped with double chain size 2x42x146. Initial chain tension set during conveyor standstill was equal $S_0(t=0)=1200$ kN. Top strand was loaded with run-of-mine intensity 200 kg/m. The start-up of conventional scraper conveyor loaded this way was ineffective (fig. 1a). In such a case, in industrial conditions in a coal mine, the top strand needs to be unloaded by hand using shovels. Having

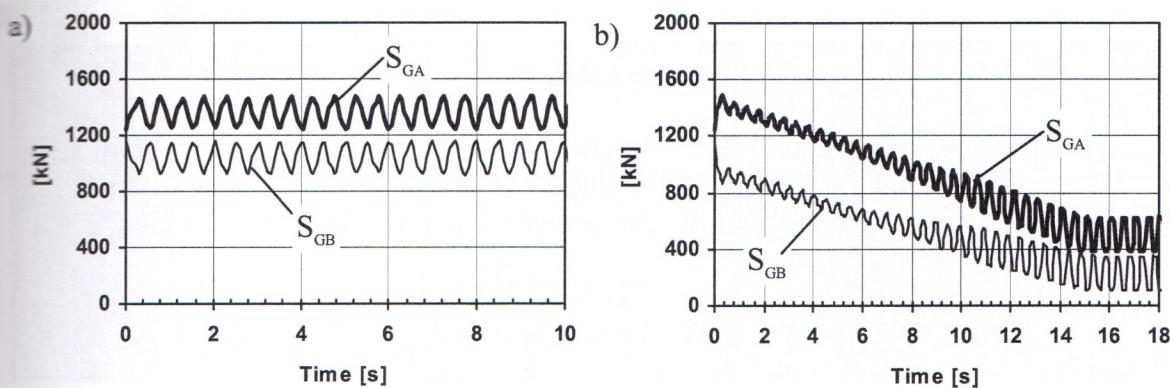
konvenčného hrabľového dopravníka zaťaženého týmto spôsobom bolo neúspešné (obr. 1a). V takomto prípade, v priemyselných podmienkach uholnej bane, musí byť horná vetva vyložená ručne s použitím lopát. Ak je tá istá horná vetva zaťažená tým istým vyťaženým materiálom a tým istým počiatočným napnutím reťaze, tak v prípade hrabľového dopravníka vybaveného systémom NRW je možné dosiahnuť efektívne naštartovanie (obr. 1b). Po odbremenení hornej vety hrabľového dopravníka ($m_U=0$ kg/m) sa požadovaná hodnota počiatočného napnutia reťaze zníži. Ako výsledok, v konvenčnom hrabľovom dopravníku sa vyskytujú príliš vysoké hodnoty dynamického zaťaženia v reťaziach. V skúmanom konvenčnom hrabľovom dopravníku (s odbremenenou hornou vetvou) sa špičková hodnota dynamického zaťaženia v bode odťahu na hnacom reťazovom kolese hlavného pohonu rovnala 1476 kN v stacionárnom pohybe dopravníka (obr. 2a). Dynamické zaťaženia na reťazi sa dajú znížiť aplikáciou systému NRW. Maximálna hodnota dynamických zaťažení v reťaziach (v rozbehovom bode hnacieho reťazového kolesa hlavný pohon pohonu) na hrabľovom dopravníku vybavenom systémom NRW sa znížila na 621.4 kN (obr. 2b).

the same top strand load with run-of-mine and the same initial chain tension, in a case of a scraper conveyor equipped with NRW system, it is possible to achieve effective start-up (fig.1b). After unloading the top strand of a scraper conveyor ($m_U=0$ kg/m) the required value of initial chain tension decreases. As a result, in a conventional scraper conveyor, too high values of dynamic loads in chains appear. In the investigated conventional scraper conveyor (with unloaded top strand) the peak-value of dynamic loads in chain in run-on point onto the drive sprocket of the main drive was equal 1476 kN in stationary motion of the conveyor (fig.2a). The dynamic loads in chain might be reduced by application of NRW system. The maximum value of dynamic loads in chains (in run-on point onto the drive sprocket of the main drive) in a scraper conveyor equipped with NRW system was reduced down to 621.4 kN (fig.2b).



Obr.1 Rotačná rýchlosť reťazových kolies v hlavnom a pomocnom pohone hrabľového dopravníka: a) konvenčného, b) vybaveného systémom NRW

Fig. 1. Rotational speed of chain sprockets in main and auxiliary drives in a scraper conveyor: a) conventional, b) equipped with NRW system



Obr. 2 Dynamické zaťaženia na reťazi dopravníka v rozbehovom bode hnacieho reťazového kolesa hlavný pohon pohonu (S_{GA}) a v bode odťahu od hnacieho reťazového kolesa pomocného pohonu (S_{GB}) v hrabľovom dopravníku: a) konvenčnom, b) vybavenom systémom NRW

Fig. 2. Dynamic loads in a conveyor chain in the run-on point onto the drive sprocket of the main drive (S_{GA}) and the run-off point from the drive sprocket of the auxiliary drive (S_{GB}) in a scraper conveyor: a) conventional, b) equipped with NRW system

4 ZÁVER

Aplikácia systému NRW v hrabľových dopravníkoch umožňuje automatickú zmenu hodnoty zvyškového počiatočného napnutia v bode odťahu z hnacieho reťazového kolesa ako odozvu na zmenu v zaťažení hrabľového dopravníka vytvoreným materiálom, zmenu zaťaženia dolnej vetvy nákladom jemného uhlia, ako aj zmenu odporov pohybu a vyskytujúcich sa mechanických vibrácií.

Na základe výsledkov počítačom podporovaných výskumov sa zistilo, že aplikácia systému NRW na hrabľovom dopravníku umožňuje naštartovanie hrabľového dopravníka v prípade, keď bola príčinou predchádzajúceho neúspešného naštartovania vysoká hodnota počiatočného napnutia reťaze nastavená počas odstávky dopravníka. Použitie systému NRW na hrabľovom dopravníku umožnilo zníženie dynamických zaťažení v reťazích a hnacích systémoch, hľavne počas stacionárneho pohybu hrabľového dopravníka a umožnilo kompenzovať zaťaženia hlavného a pomocného pohonu.

4 CONCLUSION

The application of NRW system in scraper conveyors enables automatic alteration of value of residual initial chain tension in run-off point from the drive sprocket as a response to change of run-of-mine load of a scraper conveyor, change of fine coal load of bottom strand as well as change of motion resistances and occurring mechanical vibrations.

On the basis of results of computer aided investigations it was found that the application of NRW system in a scraper conveyor makes it possible to facilitate the scraper conveyor start-up in the case when the reason for ineffective start-up was excessive value of initial chain tension set during conveyor standstill. The operation of NRW system in a scraper conveyor made it possible to reduce dynamic loads in chains and drive systems particularly during scraper conveyor stationary motion and made it possible to compensate loads of main and auxiliary drives.

Literatúra / References

- [1] Dolipski M, Remiorz E.: Nachträgliche Anpassung der restlichen Kettenvorspannung im Strebförderer. Glückauf Forschungshefte 62 (2001), Nr. 1
- [2] Traud W.: Innovative Prozesse im deutschen Steinkohlenbergbau. Glückauf 2005, Nr. 11

Recenzia/Review: Ing. Peter Bindzár, PhD.

Práca v ťažobnej a výrobcnej priemysle je v súčasnosti významnou sférou výskumu a vývoja. Významné sú výskumy a vývoj nových procesov a technológií, ktoré umožnia zlepšenie výkonnosti a bezpečnosti práce v týchto oblastiach. V tomto článku sú uvedené dve referencie, ktoré sa sústredia na výskumy a vývoj nových procesov v ťažobnej a výrobcnej priemysle. Prvá referencia je o tom, ako následne po vložení nového materiálu do ťažobnej lôžky môže byť zlepšený výkon ťažobnej lôžky. Druhá referencia je o tom, ako nové technológie môžu byť použité pre zlepšenie výkonnosti a bezpečnosti práce v ťažobnej a výrobcnej priemysle. Oba články sú významné pre výskumy a vývoj nových procesov v ťažobnej a výrobcnej priemysle.