



## EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM ENERGETICKY ÚSPORNÝCH DOPRAVNÝCH PÁSOV

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF ENERGY-SAVING CONVEYOR BELTS

**Hardygora M.<sup>1</sup>, Wozniak D., Komander H., Bajda M., Sawicki W.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> KGHM CUPRUM Ltd CBR Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław; e-mail:  
[m.hardygora@cuprum.wroc.pl](mailto:m.hardygora@cuprum.wroc.pl)

<sup>2</sup> Wrocław University of Technology, Institute of Mining Engineering, Pl. Teatralny 2, 50-051  
Wrocław, Poland, e-mail - [dariusz.wozniak;henryk.komander; miroslaw.bajda;](mailto:dariusz.wozniak;henryk.komander; miroslaw.bajda;)  
[wojciech.sawicki\)@pwr.wroc.pl](mailto:wojciech.sawicki)@pwr.wroc.pl)

**Abstrakt:** Článok popisuje experimentálny výskum v oblasti energeticky úsporných dopravných pásov a skúšky pásu s vylepšenou spodnou krycou vrstvou.

**Kľúčové slová:** pásový dopravník, skúšky gumeny, rezistencia

**Abstract:** This article describes experimental research of energy-saving conveyor belts and tests of the belt with improved bottom cover.

**Key words:** belt conveyor, tests of rubber, resistance

### 1 ÚVOD

Súčasná konštrukcia a technologický vývoj pásových dopravníkov je zameraný najmä na implementáciu riešení na zníženie prevádzkových nákladov. Jednou z politík na dosiahnutie tohto cieľa je hľadanie nových riešení pre zníženie odporov dopravníka v pohybe a v dôsledku toho zníženie energetickej spotreby na pohon dopravníka.

### 1 INTRODUCTION

Present construction and technological development of belt conveyor is focused mainly on implementing the solutions reducing the operation costs. One of the policies aimed to reach that goal is searching new solutions lowering the conveyors' resistances to motion, and in consequence reducing the power energy consumption of the conveyor drive.

Takéto riešenia sú obzvlášť dôležité pre dlhé prepravné trasy. Metódy pre výpočet [2], [4] jednotlivých zložiek odporov pohybu, s prihliadnutím na konštrukčné parametre dopravníka, pásu a vlastnosti prepravovaného materiálu, umožňujú úplne detailne analyzovať dopad týchto parametrov. Teoretické analýzy a experimentálne skúšky ukázali možnosti zníženia valivého odporu pásu cez zmenu elastických vlastností a nastavenie krycích vrstiev pásu.

Valivý odpor dopravného pásu je dôsledkom cyklického stláčania spodnej krycej vrstvy pásu valčekmi. Po prechode napínaním, sa pás vracia do pôvodného tvaru s oneskorením, ktoré vyplýva z doznievania straty stláčania krycej vrstvy, čo zapríčinuje, že počas prechodu valčekmi časť kinetickej energie pásu je stratená a prevedená na teplo. Podľa Gladysiewicz [2] odolnosť pásu na podperných valčekoch je možné vypočítať zo vzťahu:

Such solutions are especially important for long transport routes. Methods for calculation [2], [4] of individual components of motion resistances, taking into considerations construction parameters of conveyor, belt and transported material properties, enable detailed analyzing of impact of those parameters on total. Theoretical analysis as well as experimental tests [1], [3] showed the possibilities of reducing the belt rolling resistance through the change of elastic properties and damping of the belt cover. Resistance of belt rolling on the idlers results from the cyclic compression of bottom cover of the belt by idlers. After passing the idler, belt comes back to initial shape with the delay resulting from the damping losses of tread cover material, causing that during the rolling, part of the kinetic energy of the belt is lost and transferred into heat. According to Gladysiewicz [2] the resistance of the belt on rolling idler may be calculated from the relationship:

$$W_e = 0,463 \cdot T_e \cdot \sqrt[3]{\frac{R_i^4}{D_K^2 \cdot l_{ki} \cdot \lambda_e \cdot c_e}} \quad (1)$$

kde:  $W_e$  – odpor valenia (vtláčanie pásu do valčeka), N;  $T_e$  - súčiniteľ tlmenia, %;  $R_i$  - výsledná normálová sila na valčekoch, N;  $l_{ki}$  - dĺžka styku pásu s valčekom, m;  $\lambda_e$  - bezrozmerný koeficient geometrie ohybu pásu na valčekoch,  $c_e$  – náhradná základná tuhost' pásu,  $N/m^3$ ;  $i$  – index popisujúci valček.

Ak K je konštanta, ktorej hodnota nie je relatívna k vlastnostiam pásu, bude mať vzťah (1) tvar:

where:  $W_e$  – rolling resistance (indentation of the belt in the idler), N;  $T_e$  – damping coefficient, %;  $R_i$  – resultant normal force on idler, N;  $l_{ki}$  – length of contact of the belt with idler, m;  $\lambda_e$  – dimensionless coefficient of bend geometry of the belt on the idler set;  $c_e$  – substitute elementary stiffness of the belt,  $N/m^3$ ;  $i$  – index describing the idler.

Introducing the K constant, which value is not relative to the belt properties the relationship (1) will be as follows:

$$W_e = K \cdot \frac{T_e}{\sqrt[3]{E_e}} \quad (2)$$

Kde: K – koeficient nevzťahovaný ku vlastnostiam gumy, ale ku zataženiu, geometria ohýbania pásu na valčekoch, priemer valčeka, hrúbka krycích vrstiev.

where: K – coefficient not relative to rubber properties but relative to load, bend geometry of the belt on the idler, idler diameter, cover thickness.

Vlastnosti elasticity a zmien stláčania pásu závisia od konštrukcie pásu a od použitých materiálov. Tak, odolnosť rolovaného pásu na valčekoch a spotreba elektrickej energie pri pohybe dopravníka môžu byť redukované optimálnym výberom spodnej krycej vrstvy pásu a jej konštrukciou. Laboratórium pásovej dopravy Inštitútu banského inžinierstva na Wroclawskej Technologickej Univerzite vykonáva výskum energeticky úsporných pásov niekoľko rokov. Vlastné výskumné metódy boli vyvinuté a bolo skonštruované skúšobné zariadenia. Hlavným cieľom týchto skúšok je výber gumy pre spodnú kryciu vrstvu pásov, ktorá by mala najnižší možný valivý odpor pre celkový rozsah okolitej teplôt, za predpokladu, že jeho pevnosť v tahu, oteruvzdornosť a tvrdosť budú zachované. Skúšky sa vykonávajú v dvoch fázach: skúšky gumy pre spodný kryt pásu a skúšky pásu s vylepšeným spodným krytom.

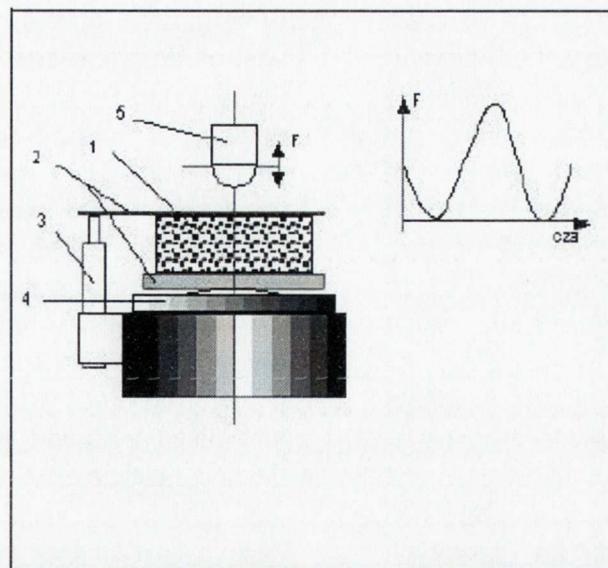
Elasticity properties and damping of the belt change depending on the belt construction and materials used. Thus, resistance of rolling the belt on idlers and power energy consumption by the conveyor drive can be reduced by optimal selection of the bottom cover of the belt and its construction. Laboratory of Belt Transportation the Institute of Mining Engineering on Wroclaw University of Technology has been carrying out investigation on energy saving belt since several years. Own investigation methods have been developed and testing stands have been constructed. Main target of these tests is to select the rubber for bottom cover of the belt, which will have the lowest possible rolling resistance for total range of ambient temperature, assuming that its tensile strength, abrasion resistance and hardness will be maintained. The tests are carried out in two stages: tests of rubbers for bottom cover of the belt and tests of the belt with improved bottom cover.

## **2 SKÚŠKY GUMY PRE SPODNÝ KRYT PÁSU**

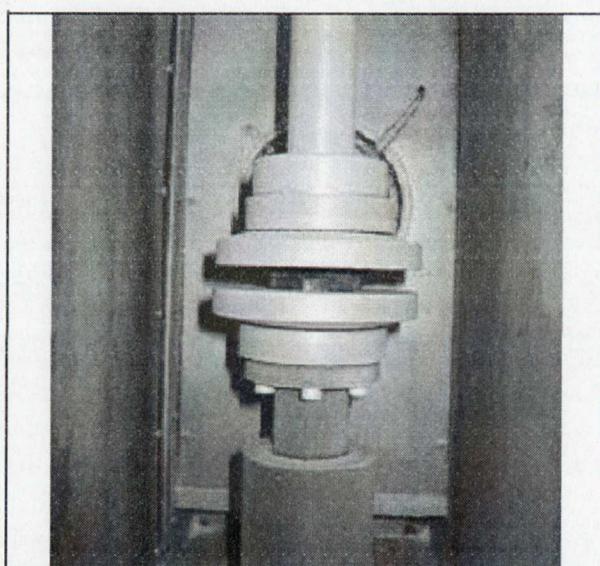
Rozdielne zmesi gumy pre spodnú kryciu vrstvu pásu boli testované pre identifikovanie ich parametrov, t.j. koeficient tlmenia a modul pružnosti počas periodického namáhania. Skúšky boli vykonané na špeciálnom skúšobnom zariadení v klimatizovanej komore. Táto časť skúšok naznačovala gumárenské zmesi s nízkym koeficientom tlmenia a vysokým modulom. Tieto parametre boli začiatočným bodom pre druhú etapu skúšok. S cieľom stanoviť koeficient tlmenia gumy a elastický modul počas periodického namáhania, výskum bol vykonaný na skúšobnom zariadení, ktoré je prezentované na obrázku 1 a 2.

## **2 TEST OF RUBBER FOR BOTTOM COVER OF THE BELT**

Different mixtures of rubber for bottom cover of the belt were tested to identify their parameters i.e. damping coefficient and elastic modulus during the periodical stress. Tests were made on special stand in the climate chamber. This part of tests let to indicate the rubber mixtures with low damping coefficient and high modulus. Those parameters were the starting point for the second stage tests. In order to determine the damping coefficient of the rubber and the elastic modulus during the periodical stress, the investigation were carried out on the test stand, presented on figures 1 and 2.



**Obr. 1 Schématický diagram zariadenia pre testovanie elastickej vlastnosti a stláčania gumy**  
**Fig. 1. Schematic diagram of stand for testing the elastic properties and damping of rubber**



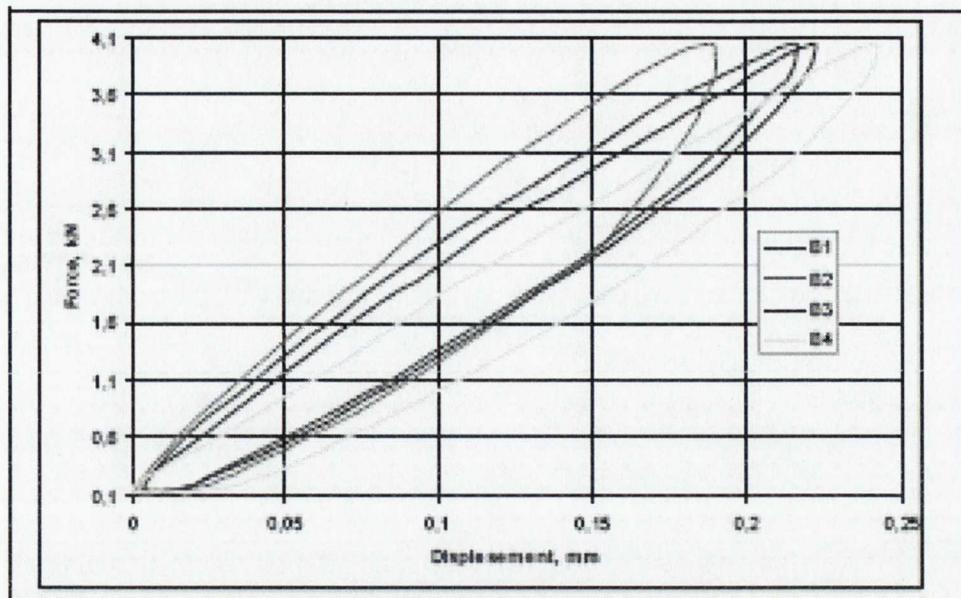
**Obr. 2 Zariadenie pre testovanie gumy v klimatizovanej komore**  
**Fig. 2. Stand for rubber testing in climate chamber**

V testoch na obr. 1, použité vzorky gumy majú tvar valčekov (1). Vzorky sú umiestnené medzi dve kovové dosky (2). Pod spodnou doskou je senzor sily (4), ktorý meria pôsobiacu silu  $F$  na vzorku (5). Deformácia vzorky  $\varepsilon$  ako výsledok použitého zaťaženia je meraný pomocou výmenného senzora (3). Proces stláčania krycej vrstvy je simulovaný vratným pohybom zarážky.

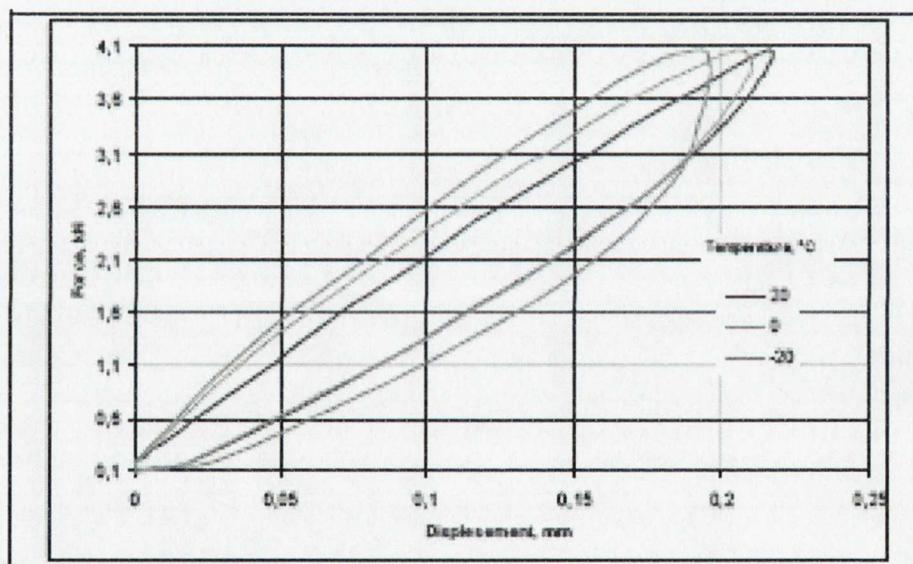
In tests showed on fig. 1, the rubber samples, having the shape of idler, are used (1). The samples are placed between two metal plates (2). Under the bottom plate there is a force sensor (4) which measures the action force  $F$  of stamp (5) on the sample. Deformation of sample  $\varepsilon$  as a result of load used is measured by replacement sensor (3). Process of rubber cover indentation is simulated by reciprocating movement of stamp.

Koeficient pozdĺžnej pružnosti  $E_e$  rovnako ako koeficient tlmenia  $T_e$  závisí od tlakovej sily F, frekvencii tlaku f, počtu zatážení n a okolitej teploty T. Vzorky gumy sú namáhané zátážou so sínusovým priebehom, kde rozsah zatáženia je rovnaký ako zátáž na stredný valček štandardného banského dopravníka na jednotku plochy gumy. Frekvencia zátáží je rovnaká ako vtláčací proces pásu do valčekov pri pôvodne predpokladanej rýchlosťi pásu a vzdialosti medzi valčekmi. Pre gumu je typická taká zmena hysteréznej slučky, ktorej stabilizácia priebehu sa vykoná až po mnohých cykloch. Analyzovala sa hystéreza z posledných 200 zatážovacích cyklov. Koeficient tlmenia sa počíta ako podiel plochy hysteréznej slučky (striedavá energia) a plochy pod zatáženou vtvorou (energia z deformácie gumy). Zároveň modul pružnosti gumy sa počíta na základe uhlu sklonu hysteréznej slučky. Testy boli vykonané pri teplotách od -30 °C do + 40 °C. Výsledky testu sú uvedené na obr. 3 a 4. Výskum ukázal, že zmena zloženia gumových zmesí umožňuje získať gumy s rozdielnymi elastickými vlastnosťami a tlmením. Obrázok 5 prezentuje hysteréznu slučku pre štyri vzorky s rozdielnym zložením gumenej zmesi. Boli získané hysterézne slučky s rozdielnymi sklonmi a rozdielnymi oblastami. Tiež bolo zistené, že zníženie teploty má negatívny vplyv na hodnoty valivého odporu pri prechode po valčekoch. Pri znížení teploty sa zvyšuje modul pružnosti (obr. 4), čo by malo zlepšiť podmienky prechodu pásu po valčekoch, ale zároveň sa zvyšuje koeficient tlmenia. Pretože valivý odpor lineárne závisí na koeficiente tlmenia a exponenciálne, s  $1/3$  exponentom, klesá s nárastom modulu pružnosti pásu, potom výsledkom je, že so znižujúcou sa teplotou, valivý odpor pásu sa podstatne znižuje.

Longitudinal elasticity coefficient  $E_e$  as well as damping coefficient  $T_e$  depend on the pressure force F, pressure frequency f, number of loading series n and ambient temperature T. Rubber samples are stressed by load with sinusoidal course, where range of load is equal to the load of central idler of standard mine conveyors for the surface unit of the rubber. Frequency of loads is the same as indentation process of the belt by idlers at previously assumed speed of the belt and the spacing between idlers. The typical for the rubber is such movement of the hysteresis loop that the stabilization of its course takes place only after many cycles. The hysteresis from the last 200 loading cycle is analyzed. Damping coefficient is calculated as a quotient of hysteresis loop area (alternated energy) and the area under loading branch (energy of rubber deformation). At the same time the rubber elasticity modulus is calculated basing on the slope angle of hysteresis loop. Tests were carried out in the temperatures from -30°C to +40°C. Example test results are presented on figures 3 and 4. Research showed that modification of rubber mixes composition allows to obtain rubber with different elastic properties and damping. Figure 5 presents the hysteresis loops for four samples with different composition of rubber mixes. The hysteresis loops with different inclinations and different field areas have been obtained. It was also found that decreasing of temperature has negative impact on values of belt rolling on idlers resistance. With temperature reduction the elasticity modulus rises (fig. 4) what should improve the conditions of rolling belt on idlers, but at the same time the damping coefficient increases. Since the rolling resistance linearly depends on damping coefficient and exponentially, with  $1/3$  exponent, decrease with the increase of belt elasticity modulus, than as a result, with the temperature reduction, the rolling resistance of belt increases significantly.



*Obr. 3 Hysterézne slučky pre rozdielne gumy  
Fig. 3 Hysteresis loops for different rubbers*



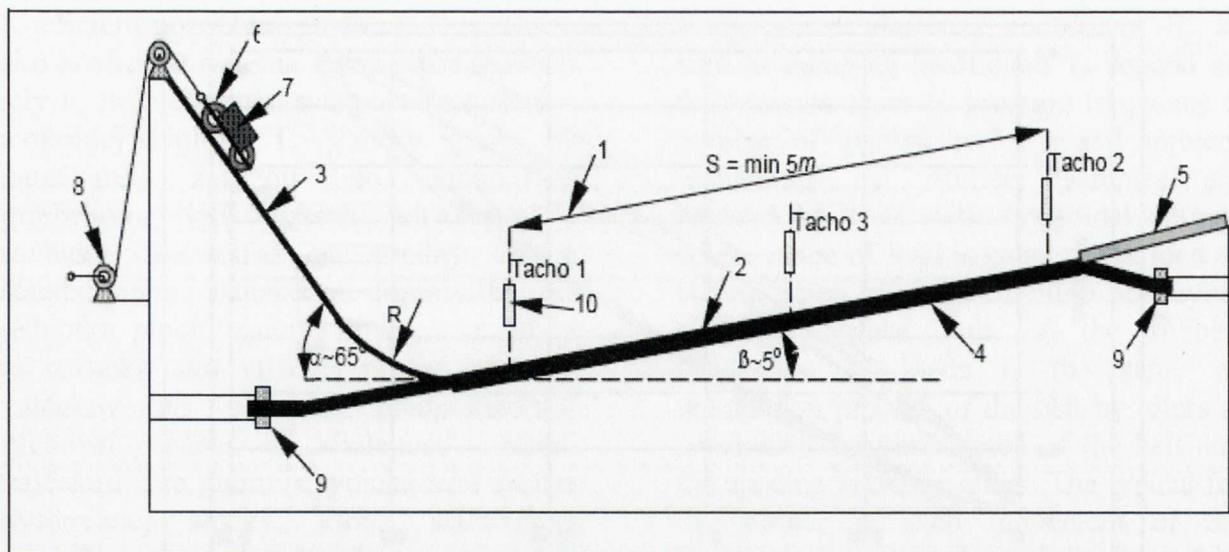
*Obr.4 Zmeny elastickej hysterézy gumy ako výsledok zmien okolitej teploty  
Fig. 4 Changes of elastic hysteresis of rubber as a result of ambient temperature changes*

### 3 SKÚŠKA PÁSU S VYLEPŠENOU SPODNOU KRYCOU VRSTVOU

Laboratórne skúšky prvého stupňa umožňujú vybrať gumené zmesi pre spodnú kryciu vrstvu segmentov pásov s oceľovými kordami, ktoré boli ďalej testované na stanovenie valivého odporu pásu na valčekoch. Valivý odpor na valčekoch bol určený na stande, ktorý je prezentovaný na obr. 5 a 6.

### 3 TEST OF THE BELT WITH IMPROVED BOTTOM COVER

Laboratory tests of the first stage have allowed to select the rubber mixes for bottom cover of steel cord belt segments, which were further tested to establish the rolling resistance of the belt on idlers. Rolling resistance of the belt on idlers were determined on testing stand, presented on figures 5 and 6.

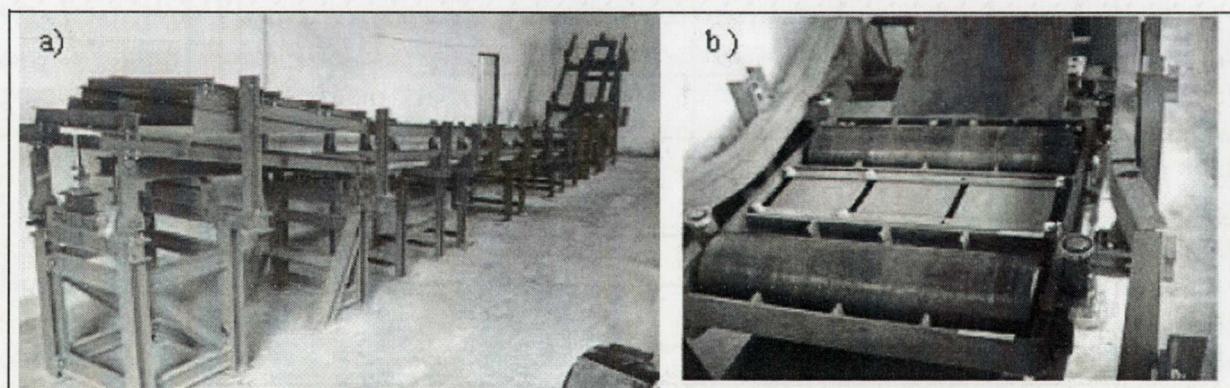


**Obr. 5** Schématický diagram zariadenia pre testovanie odolnosti rolovaného pásu na valčekoch

1 – testovacia sekcia, 2 – vzorka pásu, 3 – naklonená rovina pre urýchlenie vozíka s valčekmi, 4 – základná trasa, 5 – sekcia pre oddelenie vozíka, 6 – vozík s dvoma valčekmi, 7 -, 8 – systém pre zdvihanie vozíka, 9 -, 10 – fotometrické sondy

**Fig. 5** Schematic diagram of stand for testing the resistance of belt rolling on idlers

1 – tested section, 2 – sample of the belt, 3 – inclined plane for accelerating the cart with idlers, 4 – track base, 5 – section for breaking the cart, 6 – car with two idlers, 7 – cart extenders, 8 – system for cart lifting, 9 – system for belt stretch, 10 – photometric probes.



**Obr. 6** Skúšobné zariadenie (a), nakladací vozík (b)

**Fig. 6** Testing stand (a), loading cart (b)

Základný odpor pásu prechádzajúceho po valčekoch  $W_e$  sa počíta podľa nasledujúceho vzorca:

Elementary resistance of the belt rolling on the idlers  $W_e$  is calculated from the following formula:

$$W_e = \left[ \left( m + 2 \frac{I_r}{r^2} \right) a - W_k - W_p \right], \frac{N}{m} \quad (3)$$

kde:  $W_p = m \cdot g \cdot \sin \beta$

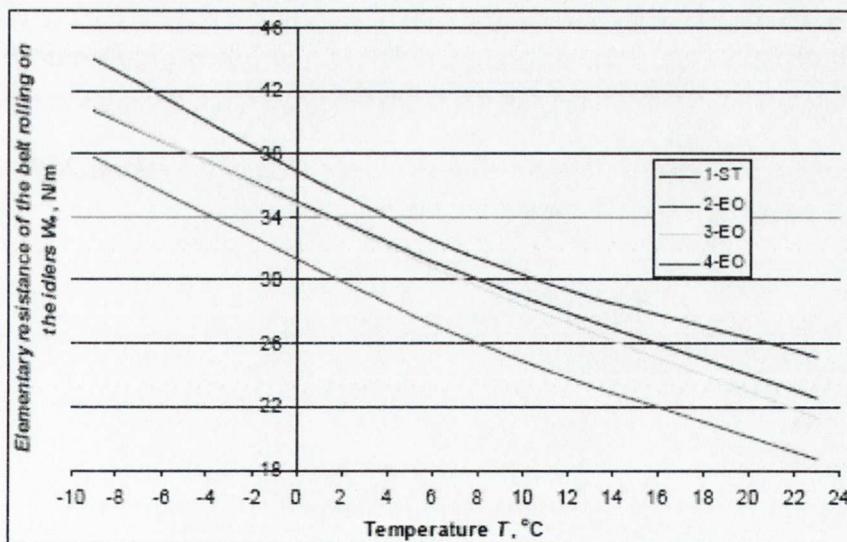
where:  $W_p = m \cdot g \cdot \sin \beta$

$W_k$  – súčet dynamických odporov dvoch rotujúcich valčekov, N;  $W_p$  – odpor proti zdvívaniu vozíka, N; m – hmotnosť vozíka, kg; a – spomalenie,  $m/s^2$ ;  $I_r$  – moment zotrvačnosti podperného valčeka,  $kg \cdot m^2$ ; r – polomer valčeka, m; g – gravitačné zrýchlenie,  $m/s^2$ ;  $\beta$  – uhol sklonu testovanej časti roviny, b – šírka pásu, m.

Na začiatku testovania vzorka pásu so šírkou 500 mm a dĺžkou 7500 mm je namontovaná na držiaky a je napnutá silou rovnou pevnosti pásu. Naložený vozík ide hore po naklonenej rovine do výšky umožňujúcej dosiahnuť požadovanú rýchlosť na prvom bode, kde je meraná rýchlosť. Po začatí spomaľovania, fotometrické meradlá zaznamenávajú períodu pohybu vozíka pozdĺž pásu. Pred meraním je vzorka podmienená vhodnou teplotou. Meranie sa vykonáva pri upravenej teplote. Čas prechodu vozíka pozdĺž pásky je meraná pomocou troch fotometrických meradiel. Použitie týchto výsledkov odporu podperných valčekov na pásse je počítané podľa vzťahu (3). Rovnaký výsledok odporu valenia získame pri rozdielnych teplotách, ako to znázorňuje obr. 7.

$W_k$  – sum of dynamic resistances of two rotating idlers, N;  $W_p$  – resistance of the lifting cart, N; m – weight of cart, kg; a – deceleration,  $m/s^2$ ;  $I_r$  – idler moment of inertia,  $kg \cdot m^2$ ; r – radius of idler, m; g – gravity acceleration,  $m/s^2$ ;  $\beta$  – inclination angle of testing section of plane; b – width of the belt, m.

At the beginning of the test the belt sample 500mm wide and 7500mm long is mounted on holders and is stretched by the force adequate for the belt strength. The loading cart goes up on the inclined plane to the height enabling to achieve the desired speed at the first point where velocity is measured. After starting the slowing-down set, photometric gauges record the period of cart movement along the belt. Before the measurement the sample is conditioned in appropriate temperature. The measurement is carried out in conditioning temperature. Time of cart passage along the tape is measured by three photometric gauges. Using these results resistance of idlers rolling on the belt is calculated from the formula (3). Sample results of rolling resistance, obtained at different temperatures are shown on figure 7.



Obr. 7 Základný odpor podperného valčeka na pásse  $W_e$  [N/m] ako funkcia v závislosti od teploty 1-ST štandardný pás, 2-EO, 3-EO a 4-EO energeticky úsporné pásy

Fig. 7 Elementary resistance of idlers rolling on the belt  $W_e$  [N/m] as a function of temperature 1-St –standard belt, 2-EO, 3-EO and 4-EO – energy saving belts

Testy ukázali, že je možné použiť pásy s oceľovými kordami, ktoré majú o 18 % nižší odpor valenia (pás 4-EO) v porovnaní s normálnym pásmom (pás 1-ST).

The tests showed that it is possible to use belts with steel wires which have 18 % lower rolling resistance (belt 4-EO) comparing to normal belts (belt 1-ST).

### **3 ZHRNUTIE**

Dopravné pásy v závislosti na ich štruktúre a použitých materiáloch môžu generovať rozdielny pohybový odpor dopravníka. Na základe vyššie uvedených skúšok je možné povedať, že používaním pásu s modifikovanou spodnou krycou vrstvou a štruktúrou, je možné znížiť valivý odpor dopravníka o 10 až 12 percent v porovnaní s tradičnými pásmi. Široké použitie energeticky úsporných pásov môže byť ďalším krokom pre zvýšenie konkurencieschopnosti dopravy pásovými dopravníkmi vo vztahu k ostatným druhom dopráv. Prezentované testovacie metódy umožňujú hodnotiť gumové zmesi a štruktúry pásu v porovnaní s ich spotrebou energie. Dvojstupňový postup skúšok optimalizuje náklady. Výsledky testu, ktorý bol vykonaný na skúšobnom zariadení, popísanom v článku, zachovali vysokú opakovateľnosť v rámci celého rozsahu aplikovaných teplôt.

### **3 SUMMARY**

Conveyor belts depending on their structure and materials used may generate different resistance to motion of the conveyor. Basing on the above tests it has been stated that using the belt with modified bottom cover and structure it is possible to reduce the rolling resistance of conveyor by ten to twenty percent comparing to the traditional belts. Wide usage of energy saving belts will be the next step increasing the competitiveness of belt conveyor transport with relation to other means of transport. Presented testing methods make possible to evaluate of rubber mixes and belt structures against their energy consumption. Two-stage procedure of tests optimizes their costs. Results of test carried out on the stands described in the paper have high repeatability within the whole range of applied temperatures.

*This paper was financially supported by State Committee for Scientific Research 2009–2012 as research project.*

*Článok bol finančne podporený Štátnej Komisiou pre Vedecký Výskum 2009-2012 ako výskumný projekt.*

**Literatúra / References**

- [1] Bajda M., Hardygora M., Gladysiewicz L.: The influence of parameters of rubber mix on energy consumption of belt conveying, Transport Przemysłowy, nr 3, 2007.
- [2] Gładysiewicz L.: Przenośniki taśmowe teoria i obliczenia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [3] Hager M., and Hintz A.: The energy-saving design of belts for long conveyor systems. Bulk Solids Handling, vol.13 No. 4 (1993) , p 749.
- [4] Hager M., and Hintz A.: The energy-saving design of belts for long conveyor systems. Bulk Solids Handling, vol.13 No. 4 (1993) , p 749.

**Recenzia/Review:** prof. Ing. Daniela Marasová, CSc.