

Tvorba regresného modelu na základe experimentálnych skúšok dopravných pásov proti prierazu

Anna Grinčová¹, Štefan Berežný² a Daniela Marasová³

Regression model creation based on experimental tests of conveyor belts against belt rips resistance

Conveyor belt impairing by belt rip can lead to its sequential destruction so that economical costs for operation of belts are rising. Adjusting basic parameters of conveyor belt properties is necessary to assure great belt rip resistance. The paper describes shortly methodology that should be used with experimental tests of conveyor belts regarding to its belt rip resistance. In the paper there is mathematical mentioned model creation describing the forces acting to the belt by falling-down a material. At the end of the paper there are described ways to optimize methodology of measuring process to make costs (financial or time) much lower even in the phase of belt designing.

Key words: conveyor belt, belt rip, belt testing, optimization, approximation, modelling

Úvod

Pri navrhovaní, výrobe a prevádzkovaní dopravných pásov (DP) sa riadime požiadavkami bezpečnosti, hospodárnosti a dlhodobej životnosti. Aby mohli byť tieto požiadavky splnené je potrebné robiť návrh a analýzu dopravných pásov s uvažovaním všetkých rozhodujúcich faktorov, ktoré ovplyvňujú výsledné správanie sa produktu pri jeho nasadení do prevádzky [2].

V ostatnom čase, využívajúc modernú výpočtovú techniku, sa pre analýzu dopravných pásov rozšírilo matematické modelovanie metódou konečných prvkov [5, 7] v kombinácii s experimentálnymi skúškami dopravných pásov. Výsledky experimentálnych skúšok sú vhodné na vytvorenie regresných modelov napínacej a rázovej sily, ktoré sú matematickým vyjadrením správania sa dopravného pásu pri skúške [2, 13].



*Obr. 1. Skúšobné zariadenie na testovanie odolnosti dopravných pásov proti prierazu.
Fig. 1. Experimental stand for testing of conveyor belts breakdown resistance.*

¹ RNDr. Anna Grinčová, FEI TU v Košiciach, Katedra matematiky, Boženy Němcovej 32, 040 01 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 32 46, anna.grincova@tuke.sk

² RNDr. Štefan Berežný, PhD., FEI TU v Košiciach, Katedra matematiky, Boženy Němcovej 32, 040 01 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 24 47, stefan.berezny@tuke.sk

³ prof. Ing. Daniela Marasová, CSc., Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 31 47, daniela.marasova@tuke.sk

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 10. 9. 2009)

Schopnosť matematicky popísať vlastnosti dopravného pásu je snahou mnohých výskumníkov. Doposiaľ bol popísaný matematický aparát pre stanovenie spoľahlivosti pásových dopravníkov [3] s využitím teórie obnovy a metód matematickej štatistiky [11]. Regresné modely v oblasti prierazov dopravných pásov však riešené neboli.

Poškodzovanie dopravného pásu prierazmi vedie k jeho postupnému zničeniu, čím vznikajú používateľovi veľké ekonomické straty, preto je veľmi dôležité sa tejto problematike podrobne venovať.

Problematikou testovania dopravných pásov na skúšobnom zariadení sa podrobnejšie zaoberajú pracovníci Ústavu logistiky priemyslu a dopravy na Fakulte BERG. Napríklad v publikácii [14] sa popisuje modifikácia skúšobného zariadenia na testovanie dopravných pásov proti prierazom.

Na ÚLPaD TU v Košiciach bolo vybudované laboratórium, ktoré slúži na simuláciu a modelovanie konštrukčných častí dopravných zariadení, vrátane dopravných pásov. Súčasťou tohto laboratória je skúšobné zariadenie (obr. 1) na skúšanie dopravných pásov z hľadiska ich odolnosti proti prierazu [12]. Konštrukcia skúšobného zariadenia vychádza zo súčasných požiadaviek vyplývajúcich z doterajších výskumov, ako i z požiadaviek výrobcu dopravných pásov Continental Matador Rubber, Púchov.

Postup pri skúšaní dopravných pásov pri prieraze

Účel skúšky:

Stanovenie odolnosti dopravných pásov proti prierazu.

Parametre, ktoré sa môžu meniť počas samotnej skúšky:

- hmotnosť baranidla m ,
- hlava baranidla,
- výška dopadu baranidla h ,
- typ dopravného pásu.

Hmotnosť baranidla sa môže meniť od 50 kg vyššie. Hmotnosť sa mení pridávaním klasických vzpieračských závaží. Hlava baranidla môže mať tvar gule, ihlana a kužela. Pre testovanie bola zvolená guľová koncovka. V minulosti sa realizovali aj merania s kužeľovou koncovkou, pri ktorých bolo zistené, že pri guľovej koncovke dochádza pri rovnakej pádovej výške k väčším rázovým silám ako je to v prípade kužeľovej koncovky [6], [10]. Výška dopadu baranidla na pás je zhora obmedzená výškou veže zariadenia. Maximálna dopadová výška je 2,6 m. Pri skúške je možné použiť ľubovoľný typ dopravného pásu [9].

Príprava skúšobného stola:

Skúška môže byť realizovaná bez podperného systému, teda bez valčekovej stoličky alebo s valčekovou stolicou.

Príprava hlavy baranidla:

Používajúc vyššie spomenuté hlavy baranidla je možné simulovať rôzne druhy dopadajúceho materiálu.

Príprava skúšobnej vzorky dopravného pásu:

Z dopravného pásu sa vyreže vzorka s dĺžkou 1,4 m a šírkou 0,4 m.

Postup pri skúške:

- Dopravný pás sa na oboch koncoch upevní do hydraulicky ovládaných čelustí.
- Pomocou ďalšieho hydraulického zariadenia sa napne silou rovnou 1/10 pevnosti pásu stanovenej výrobcom.
- Baranidlo príslušnej hmotnosti sa pomocou kladkostroja zdvihne na požadovanú výšku, z ktorej je voľným pádom spustené na dopravný pás.
- Po skončení skúšky sa kvôli vyhodnoteniu a prípadnej manipulácii s dopravným pásom, resp. skúšobnou hlavou, baranidlo zdvihne a zabezpečí proti samovoľnému pádu.

Vyhodnotenie meraní

Odolnosť dopravných pásov proti prierazu je klasifikovaná ako schopnosť dopravného pásu pohltiť energiu rázu vznikajúcu pri dopade materiálu na pás, t.j. absorbovať energiu rázu deformačnou prácou dopravného pásu bez toho, aby došlo k jeho poškodeniu [4]. Ak je energia rázu väčšia ako schopnosť dopravného pásu a podpier absorbovať túto energiu, dochádza k poškodeniu dopravného pásu a to najmä jeho

hornej krycej vrstvy v podobe priečnych a pozdĺžnych rýh, vpichov alebo prierazov, kde dochádza aj k poškodeniam kostry dopravného pásu [8].

Vyhodnotenie skúšky v prípade zisťovania prierazu spočíva vo vizuálnej kontrole dopravného pásu. Pričom sa zo záznamu merania určí, pri akej veľkosti napínacej F_N a rázovej sily F_R došlo k prierazu, teda poškodeniu pásu. V prípade tvorby matematicko-fyzikálneho modelu sa namerané údaje ďalej spracovávajú do tabuliek, grafov, kde výstup tvorí závislosť všetkých parametrov ovplyvňujúcich výsledok skúšky. V tomto článku sa k vyhodnoteniu údajov použil k prvotnému spracovaniu softvér Excel a k následnému vyhodnocovaniu softvér Matlab.

Rázové skúšky boli uskutočnené pre 3 typy dopravných pásov: P630/3, P 1000/4, P 2000/4.

Výška h dopadu baranidla sa menila od výšky 0,2 m do výšky 2,6 m s diferenciou 0,2 m.

Hmotnosť m samotného baranidla je 50 kg, pri ďalších meraniach sa hmotnosť menila s diferenciou 10 kg až do hmotnosti 100 kg.

Pri skúške bola použitá koncovka baranidla v tvare gule. Skúška bola vykonaná bez použitia valčekovej stolice. Závislosť rázovej sily a napínacej sily pre ľubovoľné dopadové výšky a ľubovoľné hmotnosti baranidla na čase je znázornená na obr. 2, z ktorého je na prvý pohľad viditeľné, že medzi nimi existuje závislosť, čo bolo overené a potvrdené výpočtom korelačného koeficientu medzi týmito silami (tab. 1.).

Tab. 1. Korelačné koeficienty.

Tab. 1. Correlation coefficients.

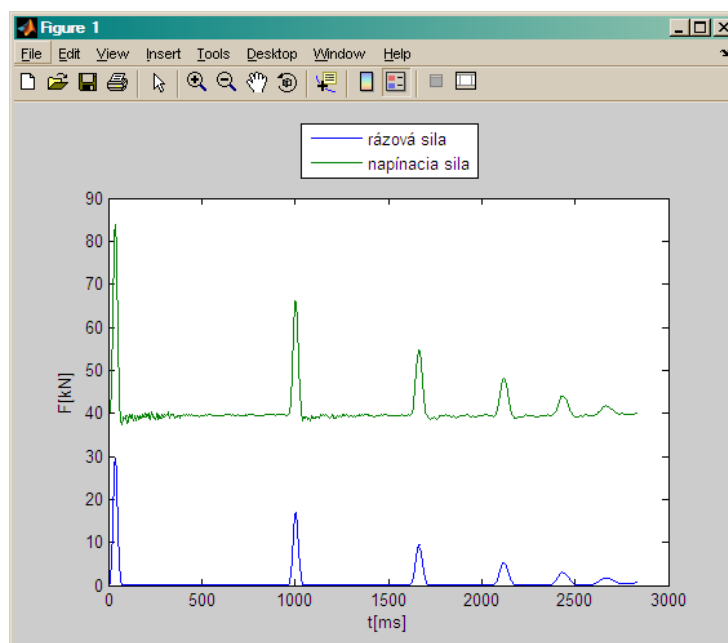
	r_{F_R, F_N}	$r_{F_R, h}$	$r_{F_N, h}$	$r_{F_R, m}$
P630/3	0.991510	0.811213	0.864066	0.421235
P1000/4	0.993093	0.842849	0.873647	0.381534
P2000/4	0.994276	0.841981	0.879057	0.340555

Hodnoty korelačných koeficientov, tak ako je to uvedené v tab. 1. sa blížia k jednotke. Na základe toho bola vytvorená lineárna funkčná závislosť medzi napínacou a rázovou silou (tab. 2).

Tab. 2. Modely regresných závislostí napínacej a rázovej sily.

Tab. 2. Models of the regression of the impact force and the stretching force.

	$F_N = a_0 + a_1 \cdot F_R$
P630/3	$F_N = 26.7207 + 1.2088 \cdot F_R$
P1000/4	$F_N = 42.0105 + 1.4404 \cdot F_R$
P2000/4	$F_N = 41.7325 + 1.4678 \cdot F_R$



Obr. 2. Závislosť rázovej sily a napínacej sily na čase.

Fig. 2. Dependence of the Impact force and the stretching force on a time.

Regresný model

Regresnú funkciu sme zvolili vo všeobecnom tvare mnohonásobného nelineárneho regresného modelu

$$y = \beta_0 x_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n, \quad (1)$$

kde premenné x_i boli zvolené takto:

$$x_0 = 1, x_1 = h, x_2 = m, x_3 = h^2, x_4 = m^2, x_5 = h \cdot m \quad (2)$$

a po úprave má regresný model tvar

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot m + \beta_3 \cdot h^2 + \beta_4 \cdot m^2 + \beta_5 \cdot h \cdot m, \quad (3)$$

pričom $y = F_R$, resp. $y = F_N$.

Odhad parametrov β_i bol urobený metódou najmenších štvorcov. Pre každý typ dopravného pása sú vyjadrené regresné modely a k nim sú vypočítané indexy determinácie I^2 uvedené v tab. 3., kde index determinácie

$$I^2 = \frac{S_T}{S_y} = 1 - \frac{S_R}{S_y}, \quad (4)$$

pričom

$$S_R = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \quad (5)$$

je reziduálny súčet štvorcov,

$$S_T = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 \quad (6)$$

je súčet štvorcov odchýlok

$$S_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (7)$$

je teoretický súčet štvorcov odchýlok a \bar{y} je aritmetický priemer nameraných hodnôt premennej y a Y je vektor vypočítaných hodnôt z modelu.

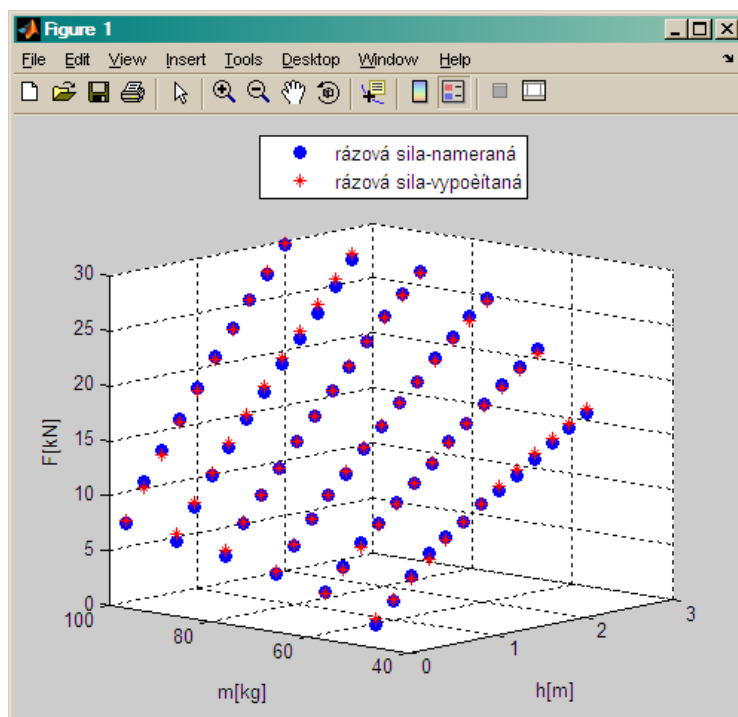
S použitím nameraných hodnôt sme získali konkrétne modely závislosti rázovej sily F_R na hmotnosti baranidla a dopadovej výške pre každý typ dopravného pása. Tieto modely majú tvary:

$$Y_R = -11.0285 + 2.5929 \cdot x_1 + 0.2974 \cdot x_2 - 0.6693 \cdot x_3 - 0.0014 \cdot x_4 + 0.1129 \cdot x_5, \quad \text{pre DP P630/3,}$$

$$Y_R = -7.7197 + 3.7816 \cdot x_1 + 0.2111 \cdot x_2 - 0.8864 \cdot x_3 - 0.0008 \cdot x_4 + 0.1259 \cdot x_5, \quad \text{pre DP P1000/4,}$$

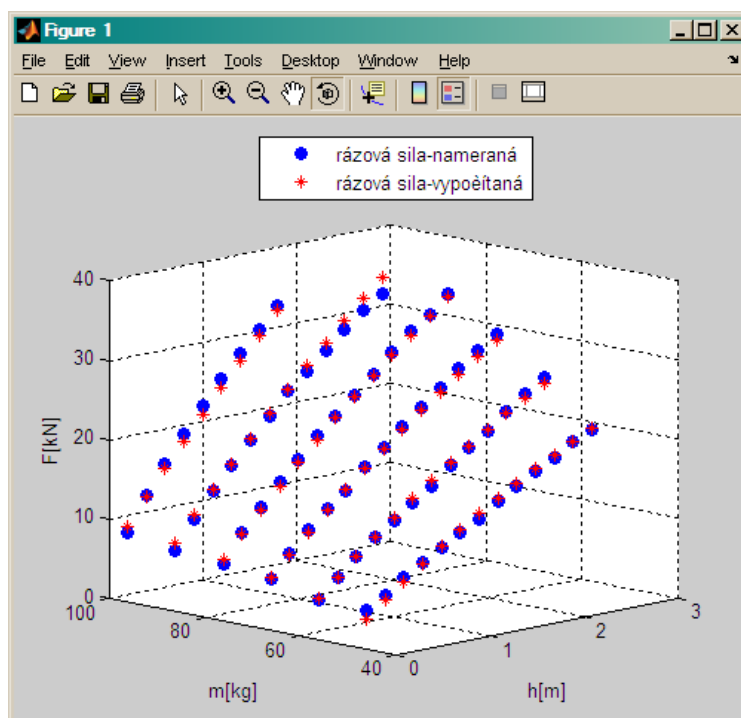
$$Y_R = 4.2920 + 4.8555 \cdot x_1 - 0.1309 \cdot x_2 - 1.1058 \cdot x_3 + 0.0015 \cdot x_4 + 0.1171 \cdot x_5, \quad \text{pre DP P2000/4.}$$

Pre uvedené modely boli vytvorené grafy, ktoré dobre znázorňujú diferencie medzi skutočnými nameranými a modelovými hodnotami rázovej sily (obr. 3-5).



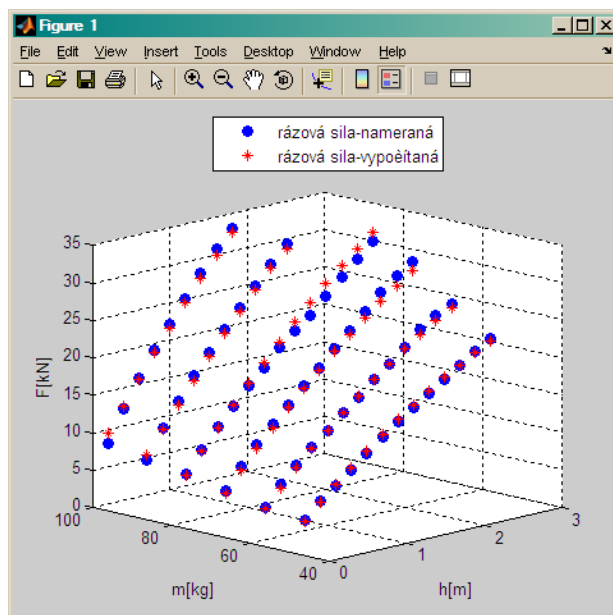
Obr. 3. Závislosť $F_R(h, m)$ pre DP P630/3.

Fig. 3. Dependency $F_R(h, m)$ for DP P630/3.



Obr. 4. Závislosť $F_R(h, m)$ pre DP P1000/4.

Fig. 4. Dependency $F_R(h, m)$ for DP P1000/4.



Obr. 5. Závislosť $F_r(h, m)$ pre DP P2000/4.

Fig. 5. Dependency $F_r(h, m)$ for DP P2000/4.

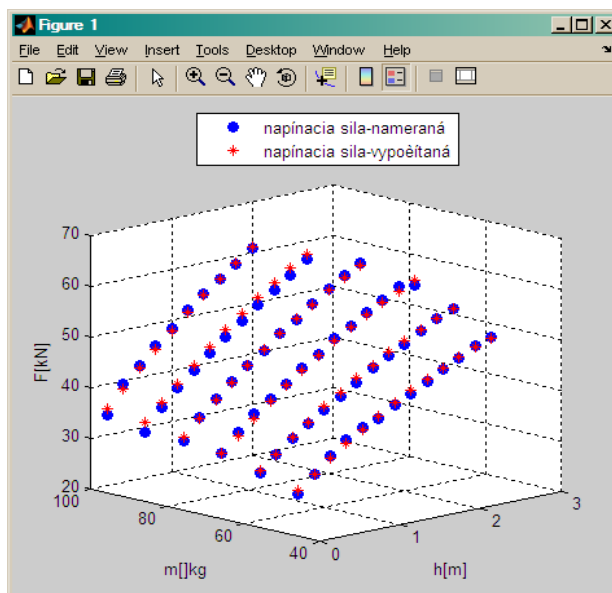
Pre napínicu silu boli vytvorené mnohonásobné nelineárne regresné modely vyjadrené vzťahmi:

$$Y_N = 11.0103 + 9.3098x_1 + 0.3556x_2 - 1.5735x_3 - 0.0015x_4 + 0.0866x_5, \text{ pre DP P630/3,}$$

$$Y_N = 7.5032 + 13.8410x_1 + 0.8655x_2 - 2.2730x_3 - 0.0046x_4 + 0.1070x_5, \text{ pre DP P1000/4,}$$

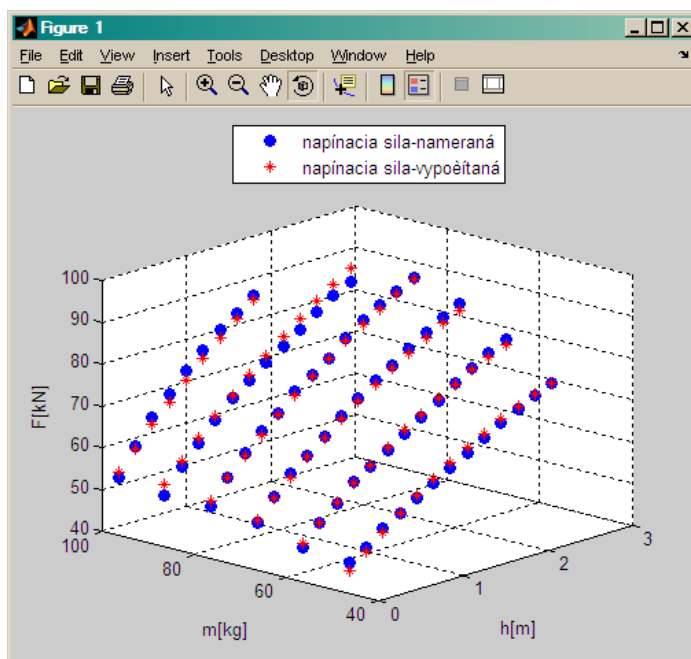
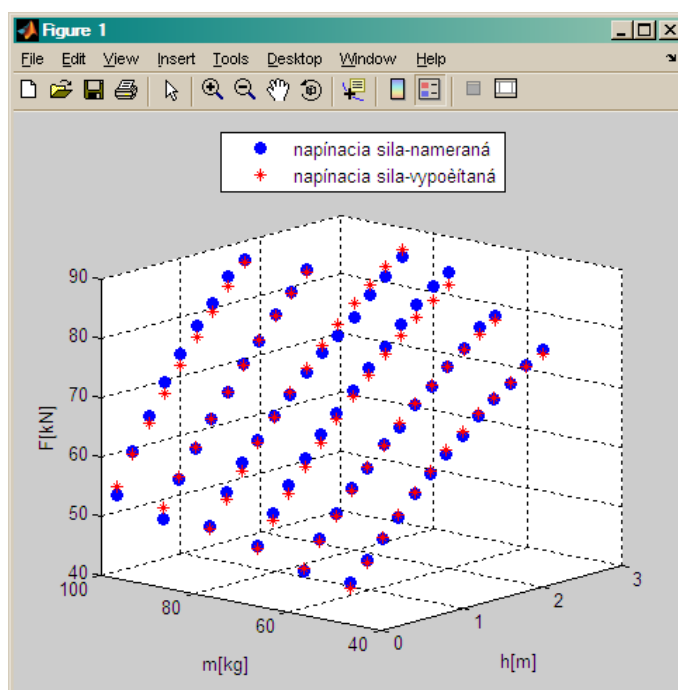
$$Y_N = 34.5391 + 14.3368x_1 + 0.1081x_2 - 2.4095x_3 + 0.0004x_4 + 0.1058x_5, \text{ pre DP P2000/4.}$$

Grafické znázornenie diferencií medzi skutočnými nameranými a modelovými hodnotami napínacej sily je na obrázkoch (obr. 6-8).



Obr. 6. Závislosť $F_N(h, m)$ pre DP P630/3.

Fig. 6. Dependency $F_N(h, m)$ for DP P630/3.

Obr. 7. Závislosť $F_N(h, m)$ pre DP 1000/4.Fig. 7. Dependency $F_N(h, m)$ for DP 1000/4.Obr. 8. Závislosť $F_N(h, m)$ pre DP P2000/4.Fig. 8. Dependency $F_N(h, m)$ for DP P2000/4.Tab. 3. Indexy determinácie rázovej F_R a napínacej F_N sily na výške dopadu h a hmotnosti baranidla m .
Tab. 3. Indexes of determination.

I^2	$F_R(h, m)$	$F_N(h, m)$
P630 - guľa	0.9979	0.9933
P1000 - guľa	0.9947	0.9893
P2000 - guľa	0.9927	0.9910

Záver

Vzhľadom na zobrazené grafy, vypočítané indexy determinácie a korelačné koeficienty môžeme skonštatovať, že navrhnuté regresné modely veľmi dobre popisujú reálne správanie sa rázovej a napínacej sily pri testovaní dopravných pásov pri prieraze.

Dobré vlastnosti a presnosť tohto matematického modelu sú výborným predpokladom pre ďalšie softvérové spracovanie dosiahnutých výsledkov. Tie sa môžu využiť pri nastavení parametrov, ktoré súvisia s odolnosťou dopravných pásov proti prierazu pre dopravníky prepravujúce rôznorodé druhy materiálu.

Na základe dosiahnutých výsledkov pre guľovú koncovku baranidla má zmysel sa v budúcnosti zaoberať aj modelmi pre alternatívne koncovky.

Pri vytváraní väčšej databázy údajov, pre tvorbu ďalších modelov vzhľadom na širokú škálu typov dopravných pásov, je dôležité zaoberať sa aj optimalizáciou procesu samotných experimentálnych skúšok v laboratóriu. Povaha týchto meraní umožňuje využívať pri optimalizácii týchto činností matematické modely a algoritmy, ktoré sú popísané v článku [1].

Literatúra - References

- [1] Berežný, Š., Lacko, V.: Balanced problems on graphs with categorization of edges. In: *Discussiones Mathematicae Graph Theory. vol. 23, (2003), p. 5-21. ISSN 1234-3099.*
- [2] Bindzár, P.: Modelovanie dopravných pásov metódou konečných prvkov. In: *Doprava a logistika. č. mimoriadne (2006), 5 s. ISSN 1451-107X.*
- [3] Bindzár, P.: Impact cradle the most critical place regarding to failure of conveyors belt. In: *Development of new technologies and equipment for mine and hoisting: 5th international symposium on Mine Haulage and Hoisting : Beograd-Vrdnik, 25.-27. september 2002. Belgrade: Faculty of mining and geology, 2002. s. 110-112. ISBN 86-7352-096-7.*
- [4] Bindzár, P.: Hyperelastické vlastnosti gumy. In: *Slovak rubber conference: 14. ročník medzinárodnej konferencie. Púchov : Matador, a.s., 2002. 5 s.. ISBN 80-968099-7-0.*
- [5] Bindzár, P., Grinčová, A.: Príspevok k modelovaniu prvkov s hyperelastickými vlastnosťami. In: *Doprava a logistika. č. mimoriadne (2007), 4 s. ISSN 1451-107X.*
- [6] Boroška, J., Bindzár, P., Marasová, D.: Results of puncture experimental tests of conveyor belts. In: *Nowoczesne przenośniki dla węglowego górnictwa podziemnego systemu transportu kopalnianego : 4. Miedzynarodowa konferencja : Ustroń, 21.-22.06.2001. Ustroń : Politechnika Slaska, 2001. p. 175-178. ISBN 83-909662-5-5.*
- [7] Bindzár, P., Grinčová, A., Ristic, I.: 3D mathematical model of conveyor belt subjected to a stress loading. In: *Podzemni Radovi. vol. 13, no. 15 (2006), p. 179-188. Internet: ISSN 0354-2904.*
- [8] Bindzár, P., Marasová, D.: Meranie odolnosti dopravných pásov proti prierazu: *Výskumná správa. Košice : Katedra logistiky a výrobných systémov F BERG TU v Košiciach, 2002. 11 s.*
- [9] Grinčová, A., Hlúbiková, A., Krešák, J.: Metodika skúšania dopravných pásov pri prieraze, *Doprava a logistika, Košice, 2008. ISSN 1451-107X.*
- [10] Hlúbiková, A., Marasová, D., Bindzár, P.: Vyhodnotenie experimentálnych meraní odolnosti dopravných pásov proti prierazu. In: *Loado 2001 : Logistika & doprava: 1. medzinárodná konferencia : Hotel Permon-Vysoké Tatry, June 6th-8th 2001. Košice : Katedra logistiky a výrobných systémov FBERG TU Košice, 2001. s. 267-270. ISBN 80-7099-584-X.*
- [11] Marasová, D., Bindzár, P.: Basic mathematic apparatus for determination of conveyor belt reliability. In: *Development of new technologies and equipment for mine haulage and hoisting : 6th international symposium on mine haulage and hoisting : Proceedings : Budva, 23-25 maj 2005. Belgrade : Faculty of mining and geology, 2005. p. 53-57. ISBN 86-7352-141-6.*
- [12] Marasová, D., Kopas, M., Bindzár, P.: Návrh experimentálneho standu na prierazové skúšky pneumatík: Prehľad súčasného stavu v oblasti testovania pneumatík. Košice : TU-FBERG, 2002. 11 s.
- [13] Marasová, D., Bindzár, P., Molnár, V.: Experimentálne skúšky dopravných pásov : *Výskumná správa. Košice : Katedra logistiky a výrobných systémov F BERG TU v Košiciach, 2004. 11 s.*
- [14] Najajreh, A., Molnár, V., Bindzár, P.: Modifikácia standu pre prierazové skúšky dopravných pásov. In: *Výrobné inžinierstvo. roč. 2, č. 2-3 (2003), s. 44-46. ISSN 1335-7972-01.*