

Aplikácia metódy konečných prvkov pri modelovaní napät'ovo-deformačných stavov v dopravnom páse

Daniela Marasová¹, Jozef Hatala², Michal Maras²

Application of the method finite elements by numerical modeling stress-strain state in conveyor belts

Solving problems connected with damaging a conveyor belt at the transfer points is conditioned by knowing laws of this phenomenon. Acquiring the knowledge on this phenomenon is possible to be gained either by experimental research or by the numerical model GEM 22, which enables to determine the distribution of stresses and strains in a suitably selected cross-section of a conveyor belt. The paper begins by defining the problem, determining the boundary model conditions and continues by modelling the dynamic force acting on the conveyor belt. In the conclusions of the paper there are given table and graphical results of the numerical modelling aimed at solving the problems connected with the damaging of a conveyor belt. By numerical modelling, in this case the finite element method, in the given way can be realized the parametric studies with changing values of input parameters, especially: - stretching force, - thickness of cover layers of the conveyor belt and strain properties of the rubber, - parameters of the steel cord of the conveyor belt.

Key words: conveyor belt, dynamic force, numerical modelling, transfer point.

Úvod

Dopravný pás je najdôležitejším, ale zároveň najdrahším prvkom pásového dopravníka. Po uvedení do prevádzky sú v prvých rokoch požiadavky na jeho výmenu minimálne, ale po určitom časovom období (po 3-5 rokoch) vzniká nežiadúca periodicitá výmen a porúch. Poruchy pásov majú náhodný charakter, relatívne malú početnosť a vysokú časovú náročnosť na ich odstránenie. Miestom, kde dochádza k najväčšiemu namáhaniu dopravného pásu, najrýchlejšiemu opotrebovaniu hornej gumovej krycej vrstvy a k veľkým energetickým stratám je presyp. Maximálne hodnoty zaťaženia pásu v tomto mieste sa vyskytujú v dôsledku rázu ostrohranných kusov dopravovaného materiálu, ktorý je sústredený na malej ploche pásu.

Riešenie problémov súvisiacich s poškodzovaním dopravného pásu v mieste jeho plnenia je podmienené poznaním zákonitostí tohoto javu. Získanie poznatkov o tomto jave je možné dosiahnuť:

- rozsiahlym *experimentálnym výskumom* v laboratórnych podmienkach na zložitých skúšobných zariadeniach vyrobených pre tento účel,
- *matematickým modelovaním* s využitím výkonnej výpočtovej techniky.

V príspevku sú uvedené výsledky matematického modelovania, ktoré boli získané z matematického modelu pre riešenie úloh rovinnej deformácie geotechnického charakteru GEM 22 pre úlohy lineárnej pružnosti (Blaheta et al., 1990).

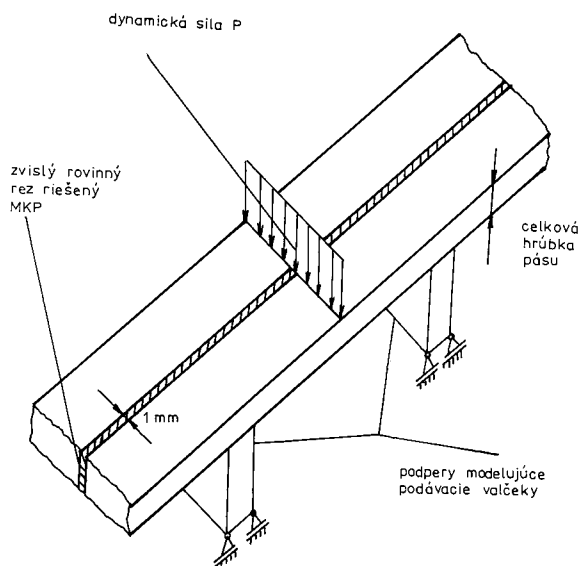
Aplikácia matematického modelovania napät'ovo-deformačných stavov v dopravnom páse

Pretože výpočtový systém metódy konečných prvkov GEM 22 je schopný riešiť len úlohy rovinnej deformácie a rovinnej napätosti, napät'ovo-deformačný stav v dopravnom páse vyvolaný dynamickou bodovou silou bol riešený v rovine zvislého rezu prechádzajúcou pozdĺžnou osou hornej vetvy pásového dopravníka ako úloha rovinnej deformácie (v bezťažovom variante - so zanedbaním síl vyvolaných vlastnou ťažou jednotlivých prvkov dopravného pásu). Použitie tohoto výpočtového

¹ Ing. Daniela Marasová, CSc., Katedra mechanizácie, dopravy a vftania F BERG Technickej univerzity Košice, 043 84 Košice, Park Komenského 14

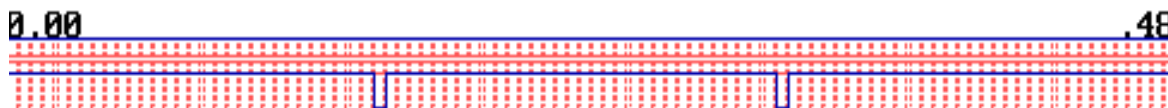
² Prof. Ing. Jozef Hatala, CSc. a Ing. Michal Maras, CSc., Katedra dobývania ložísk a geotechniky, F BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 19
(Recenzenti: Prof. Ing. Peter Bigoš, CSc. a Prof. Ing. Ján Boroška, CSc. Revidovaná verzia doručená 16.7.1997)

systému vyvoláva nutné zjednodušenia a preto ďalej uvedené výsledky presne odpovedajú len stavu schematicky zobrazenému na obr.1. Rovinný model v skutočnosti modeluje zaťažovanie silou pôsobiace na priamke po celej šírke dopravného pásu. Podoprenie dopravného pásu je realizované dvomi odpruženými, ktoré sú modelované dvomi tenkými (hrúbka 5 mm) priečne orientovanými podperami.



Obr.1. Schématické znázornenie pôsobenia dynamickej sily.

dostatočná na to, aby bola dosiahnutá čo najhustejšia sieť konečných prvkov, s ich čo najmenšími rozmermi. Na hustote siete závisí presnosť obdržaných hodnôt napätí a deformácií. Zvolená sieť konečných prvkov je zobrazená na obr.2.



Obr.2. Rovina rovinného matematického modelu dopravného pásu v mieste dopadu materiálu na dopravný pás.

Členenie plochy modelu na konečné prvky je zobrazené obdĺžnikmi o rozmeroch 5 x 2 mm, ktoré sú ešte členené uhlopriečkou na trojuholníky (na grafickom výstupe siete nie sú zobrazované). Z týchto zvolených rozmerov vyplýva, že vrchná krycia vrstva je modelovaná 4 riadkami, spodná 3 riadkami základných obdĺžnikových prvkov. Pretože ide o rovinný model, bolo potrebné oceľový kord modelovať hrúbkou, na ktorú je prepočítaný prierez oceľového kordu na jednotkovej šírke pásu (na šírke 1 mm). Pre modelovaný pás ST 2000 so vzdialenosťou oceľových kordov 12 mm modelová hrúbka kordu je:

$$h_k = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4 \cdot 12} = \frac{3,14 \cdot 5,4^2}{48} = 1,91 \text{ mm} = 2 \text{ mm} \quad (1)$$

Vychádzajúc z tejto úvahy kord je tiež modelovaný jedným riadkom konečných prvkov o hrúbke 2 mm. Podpery modelujúce odpružené valčeky sú modelované dvoma stĺpcami konečných prvkov.

Okrajové podmienky na hranici modelu sú volené nasledovne:

1. Sila v dopravnom páse je modelovaná dvojicou síl P_n na oboch koncoch modelovanej dĺžky pásu pôsobiacich v uzlových bodoch modelovaného oceľového kordu.

2. Statická určitost' systému je zabezpečená vertikálnym upnutím konečných uzlových bodov dopravného pásu a ich uvoľnením v horizontálnom smere. Koncové body podpier sú upnuté vo vertikálnom smere a uvoľnené v horizontálnom smere.
3. Nakoľko výpočtový systém GEM 22 neumožňuje namodelovanie plôch nespojitosti, podpery plynule prechádzajú do dopravného pásu.

Zmiernenie prenosu horizontálnych zložiek posunutí do podpier a tým vyvolávanie nereálnych hodnôt horizontálnych napätí v podperách i v dopravnom páse je dosiahnuté voľbou nízkej hodnoty Poissonovho čísla materiálu podpier ($\mu = 0,01$).

Do výpočtového systému GEM 22 pre riešenie rovinných úloh lineárnej pružnosti sa ako vstupné parametre zadávajú materiálové konštanty modul pružnosti E a Poissonovo číslo μ . Pre uvažované materiály sú zvolené takto:

Gumové krycie vrstvy: vo všetkých riešených variantoch

$$E = 2 \text{ MPa}, \mu = 0,45$$

Oceľový kord: vo všetkých riešených variantoch

$$E = 2 \cdot 10^4 \text{ MPa}, \mu = 0,3$$

Pre pružné podpery: vo všetkých riešených variantoch

$$E = 2 \text{ MPa}, \mu = 0,01.$$

K voľbe hodnoty modulu pružnosti oceľového kordu je potrebné uviesť, že predstavuje najobtiažnejší krok pri použití metódy konečných prvkov pre riešenie napätovo-deformačných stavov v oceľokordových pásoch. Modul pružnosti oceľového kordu používaného pre výrobu oceľokordových pásov sa pohybuje v rozmedzí 1,5 až $1,9 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. Treba zdôrazniť, že táto vysoká hodnota je konštantou úmernosti medzi osovým napätím v lanku a jeho pomerným predĺžením. Ak by sa v riešení napätovo-deformačných stavov pri namáhaní pásu ohybom uvažovalo s touto hodnotou modulu pružnosti, pás by vykazoval nereálne vysokú tuhosť voči ohybu, čo je v ostrom kontraste s vysokou ohybnosťou ukladneného kordu. Z týchto dôvodov bola zvolená hodnota modulu pružnosti modelovaného kordu len ako cca $1/10$ hodnoty pri namáhaní kordu ťahom.

Stanovenie maximálnej veľkosti aktivovanej dynamickej sily zaťažujúcej dopravný pás

Maximálna veľkosť aktivovanej dynamickej sily v dopravnom páse, veľkosť a smery hlavných napätí pri zaťažení dopravného pásu na priamke sú stanovené ako funkcia veľkosti vniknutia padajúceho predmetu do konštrukcie dopravníka a to v troch bodoch pri pružinovej tuhosti $c_1 = 0,667 \cdot 10^6 \text{ N.m}^{-1}$:

- nad nosnými valčekom modelujúcim podoprenie dopravného pásu - bod č. 32,
- v strede medzi dvomi modelovanými nosnými valčekmi - bod č. 49,
- tesne vedľa nosného valčeka - bod č. 33.

Okrajové podmienky

Osová sila v páse: 200 N. mm^{-1} ($1/10$ pevnosti pásu v ťahu).

Miesto pôsobenia dynamickej sily:

- variant 05 - nad nosným valčekom,
- variant 11 - medzi nosnými valčekmi,
- variant 19 - tesne vedľa nosného valčeka.

Pružinová tuhosť: $c = 0,667 \cdot 10^6 \text{ N.m}^{-1}$.

Pri riešení napätovo-deformačného stavu dopravného pásu zaťaženého dynamickou bodovou silou metódou konečných prvkov možno zvoliť *silovú* alebo *deformačnú metódu*. Výsledky matematického modelovania uvedené v tomto príspevku (tabuľka č.1) boli získané z aplikácie deformačného princípu pri riešení 6 úloh (variantov). U troch variantov (05, 11 a 19) bolo uvažované s pružinovou tuhosťou $0,667 \cdot 10^6 \text{ N. m}^{-1}$ a u ďalších troch bola pružinová tuhosť $1,334 \cdot 10^6 \text{ N.m}^{-1}$.

Jednotlivé varianty zohľadňovali miesto dopadu materiálu nad nosný valček, vedľa nosného valčeka a medzi dva nosné valčeky (Štroffek et al., 1996).

Výsledkom riešenia každého variantu je:

- stanovenie veľkosti *vertikálnych* (U_y) a *horizontálnych* (U_x) *posunutí* všetkých uzlových bodov modelu,
- stanovenie *horizontálnych* (σ_x) a *vertikálnych* (σ_y) *napätí* v ťažisku každého trojuholníkového prvku modelu,
- stanovenie *hlavných napätí* (σ_1 a σ_2) v ťažisku každého prvku, smery *hlavných napätí* (σ_1 a σ_2).

Výsledkom riešenia *variantu 05* je *výpis hodnôt posunutí* tých bodov modelu, ktoré sú pre vyhodnocovanie výsledkov zaujímavé a potrebné. Sú to body na 9. riadku uzlov ($J = 9$), na stĺpcoch uzlov $l = 31, 32, 64$ a 65 , na 1. riadku uzlov ($J = 1$), na stĺpcoch uzlov $31, 32$. Vertikálne posunutie týchto uzlov U_y modeluje veľkosť stlačenia pružín na nosných valčekoch a v dopravnom páse. Stlačenie pružiny na 1. nosnom valčeku je reprezentované priemernou hodnotou vertikálneho posunutia (\bar{U}_{y1}) bodov na 31. a 32. stĺpci:

$$\bar{U}_{y1} = \frac{4226 + 4250}{2} = 4238. \mu m = 4,238 mm \quad (2)$$

Stlačenie pružiny na 2. nosnom valčeku \bar{U}_{y2} ako priemerná hodnota vertikálneho posunutia bodov na 64. a 65. stĺpci :

$$\bar{U}_{y2} = \frac{910 + 813}{2} = 862. \mu m = 0,862 mm \quad (3)$$

Na obr.3 je výpis vertikálnych napätí σ_y v oblasti nad 1. valčekom. Na obr.4 je výpis horizontálnych napätí v oblasti 1. valčeka . Hodnoty napätí sú vypísané v MPa. Z obr.3 nás zaujímajú hodnoty vertikálnych napätí σ_y v podperách, ktoré modelujú sily prenášané pružinami valčekov pri vniknutí padajúceho telesa do dopravného pásu. Hĺbka vniknutia je v tomto prípade 6 mm . Súčet týchto síl predstavuje veľkosť dynamickej sily aktivovanej v dopravníku na šírke pásu 1 mm pri vniknutí padajúceho telesa 6 mm do dopravného pásu. V tomto konkrétnom prípade 5. *variantu* veľkosť tejto sily sa stanoví :

$$P = \sigma_{y1} S + \sigma_{y2} S = (\sigma_{y1} + \sigma_{y2}) S = (565,1 + 114,9) \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 3,25 Nmm^{-1} \quad (4)$$

Aj keď sa táto hodnota dynamickej sily zdá veľmi nízka, v skutočnosti celá šírka dopravného pásu B je zaťažená dynamickou silou P_{cel} :

$$P_{cel} = P \cdot B = 3,25 \cdot 2000 = 6500 N \quad (5)$$

0.1255											0.1823 [m]											LMM HOU CSAU		
19	12	-59	226	-361	-4880	-4871	-365	225	-59	12	19	12	-59	226	-361	-4880	-4871	-365	225	-59	12			
-9	28	144	19	-1129	-4089	-4084	-1125	18	144	28	-9	28	144	19	-1129	-4089	-4084	-1125	18	144	28			
-2	7	140	5	-1340	-3814	-3812	-1337	7	140	7	-2	7	140	5	-1340	-3814	-3812	-1337	7	140	7			
-37	9	-79	57	-626	-4309	-4306	-622	59	-78	9	-37	9	-79	57	-626	-4309	-4306	-622	59	-78	9			
2221	-2365	2354	-2901	1969	-5048	-2607	1936	-3338	2995	-3126	28	2221	-2365	2354	-2901	1969	-5048	-2607	1936	-3338	2995	-3126	28	
-4	-26	64	-195	-1464	-2473	-1327	-132	-71	13	-16	-4	-26	64	-195	-1464	-2473	-1327	-132	-71	13	-16			
-6	29	55	-243	-1375	-2488	-1552	-154	70	10	6	-6	29	55	-243	-1375	-2488	-1552	-154	70	10	6			
14	18	-11	-130	-1221	-2730	-1512	-191	83	19	3	14	18	-11	-130	-1221	-2730	-1512	-191	83	19	3			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0			
0	0	0	0	0	-5649	0	0	0																

O. 1264											O. 1768 [m]											LMM HOU CSAU		
0	-110	-222	-378	-323	-504	-2328	-2310	-501	-322	-378														
	-68	-129	-247	-659	-1249	-1382	-1376	-1243	-657	-247														
	-2	-57	-156	-577	-1366	-1455	-1453	-1363	-575	-156														
	43	35	-72	-154	-861	-2501	-2499	-859	-152	-71														
	99611	999975	1000686	1002227	1005901	1011015	1009998	1004343	1001543	1000446	99													
	117	93	79	-210	-787	-1530	-990	-41	16	109												I(nformace)		
	117	94	-1	-306	-698	-1078	-816	-252	8	93												M(azani)		
	131	72	-13	-118	-532	-1361	-634	-184	12	95												T(isk)		
	0	0	0	0	0	332	0	0	0	0												B(arva vzor)		
	0	0	0	0	0	116	0	0	0	0												D(etail)		
	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0												P(redchozi)		
	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0												C(elek)		
	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0												R(ozhrani)		
	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0												J(ednotky)		
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0												S(it)		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												Z(akresleni)		

Obr.4. Výpis horizontálních napětí v MPa v oblasti nad 1. nosným valčekom .

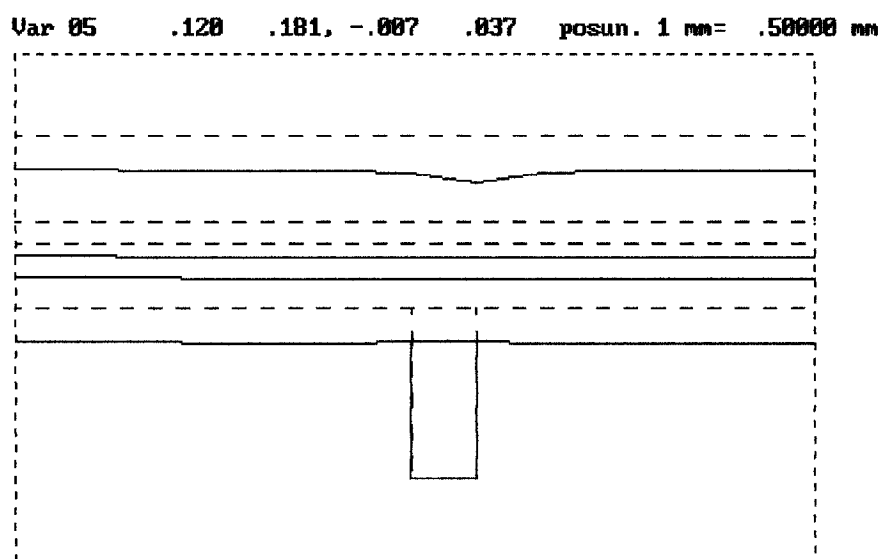
Na obr. 5 a 6 je uvedený výpis veľkostí hlavných napätí (σ_1 a σ_2) z oblasti 1. nosného valčeka, nad ktorý dopadá padajúce teleso. Z tohoto obrázku sú pre nás dôležité najmä hodnoty hlavných napätí aktivovaných v horných gumových krycích vrstvách a to v bezprostrednej blízkosti bodu, v ktorom dynamická sila pôsobí. Treba predpokladať, že maximálne hodnoty týchto hlavných napätí spôsobujú priraz gumových krycích vrstiev a v nepriaznivejšom prípade aj poškodenie kostry dopravného pásu. Vo variante 05 sú to hodnoty: $\sigma_1 = 510,3 \text{ kPa}$ a $\sigma_2 = 208,6 \text{ kPa}$.

O. 1246											O. 1814 [m]											LMM HOU CSAU		
0	25	15	-59	270	-132	-2092	-2081	-131	270	-59	15													
	17	59	152	19	-425	-777	-776	-425	19	152	60													
	69	63	239	132	-1195	-1393	-1393	-1196	133	239	64													
	88	150	182	467	364	-2132	-2134	363	467	183	151													
	999627	999992	1000703	1002248	1005916	1011095	1010012	1004366	1001575	1000473	999900	99												
	122	116	215	191	-609	-1505	-734	163	125	135	119											I(nformace)		
	119	122	81	-236	-572	-1048	-729	67	134	99	132											M(azani)		
	132	76	6	-25	-470	-1325	-589	-58	83	98	135											T(isk)		
	0	0	0	0	0	332	0	0	0	0	0											B(arva vzor)		
	0	0	0	0	0	116	0	0	0	0	0											D(etail)		
	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0											P(redchozi)		
	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0											C(elek)		
	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0											R(ozhrani)		
	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0											J(ednotky)		
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0											S(it)		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											Z(akresleni)		

Obr.5. Výpis minimálních hlavných napätí σ_1 v MPa v oblasti nad 1. nosným valčekom.

O. 1145											O. 1823 [m]											LMM HOU CSAU			
0	-11	-48	-115	-225	-378	-367	-733	-5115	-5100	-734	-367	-379	-225	-11											
	-13	-33	-94	-161	-255	-659	-1953	-4695	-4684	-1944	-658	-255	-161	-13											
	-13	-41	-73	-114	-256	-705	-1511	-3876	-3872	-1504	-701	-255	-114	-13											
	-26	-36	-83	-106	-333	-564	-1851	-4678	-4672	-1844	-561	-332	-106	-26											
	2015	-2270	2205	-2382	2337	-2922	1953	-5128	-2621	1913	-3370	2968	-3154	2015											
	-1	-10	-10	-49	-73	-596	-1642	-2497	-1583	-336	-181	-13	-20	-1											
	-1	1	-8	0	-26	-314	-1501	-2518	-1639	-473	-56	4	2	-1											
	2	2	13	14	-30	-223	-1283	-2766	-1556	-317	12	15	2	2											
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									I(nformace)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									M(azani)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									T(isk)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									B(arva vzor)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									D(etail)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									P(redchozi)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									C(elek)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									R(ozhrani)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									J(ednotky)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									S(it)		
	0	0	0	0	0	0	0	-5649	0	0	0	0	0	0									Z(akresleni)		

Obr.6. Výpis maximálních hlavných napätí σ_2 v MPa v oblasti nad 1. nosným valčekom.

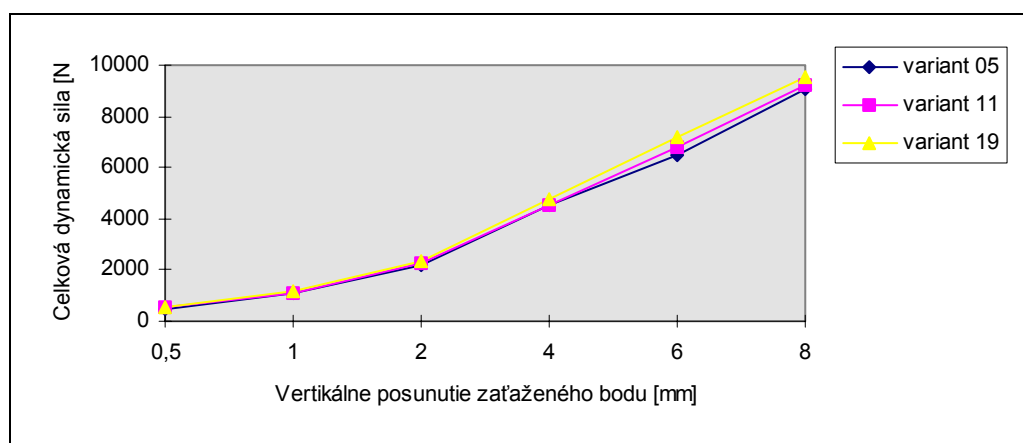


Obr.7. Vykreslenie posunutí dopravného pásu a valčeka.

Zhrnutie výsledkov matematického modelovania

Výsledky získané v takejto štruktúrnej stavbe možno ďalej spracovať a upraviť do podoby, ktorá pre riešenie problému má vyššiu vypovedaciu schopnosť. Najvhodnejší je nasledovný postup:

1. **Zobraziť veľkosť dynamickej sily P_{cel} ako funkčnú závislosť veľkosti posunutia zaťaženého bodu.** Na obr.8 je vynesená táto závislosť pre silu zaťažujúcu dopravný pás nad 1. valčekom pre 3 rôzne varianty pri rovnakej pružinovej tuhosti.



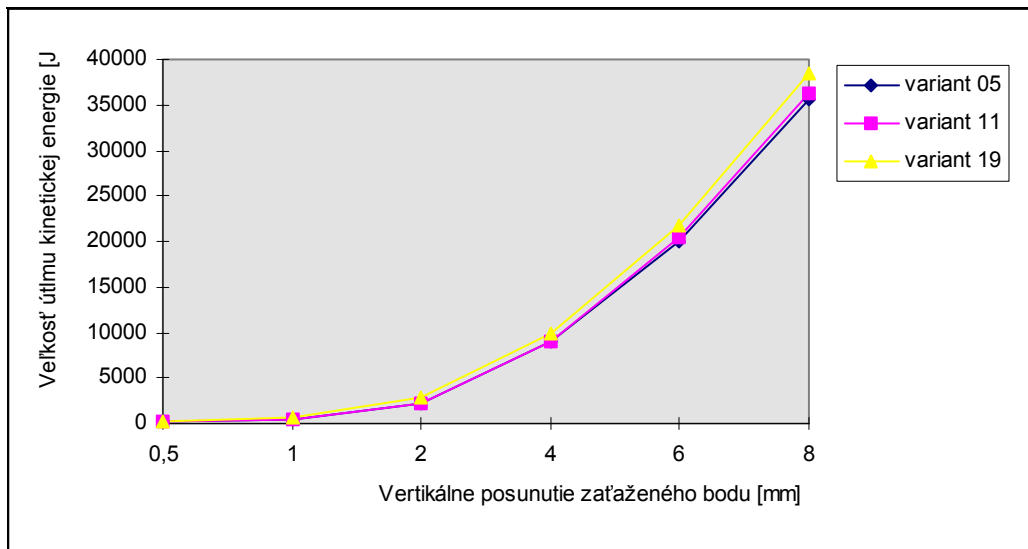
Obr.8. Závislosť vertikálnej sily na veľkosti posunutí.

2. Narastajúcim odporom pásu proti vnikaniu padajúceho telesa dochádza k útlmu jeho kinetickej energie. Preto je vhodné **znázorniť veľkosť útlmu kinetickej energie (A_k) ako funkčnú závislosť vertikálneho posunutia U_y zaťažovaného bodu (obr.9).**

Veľkosť kinetickej energie A_k vypočíta podľa vzťahu :

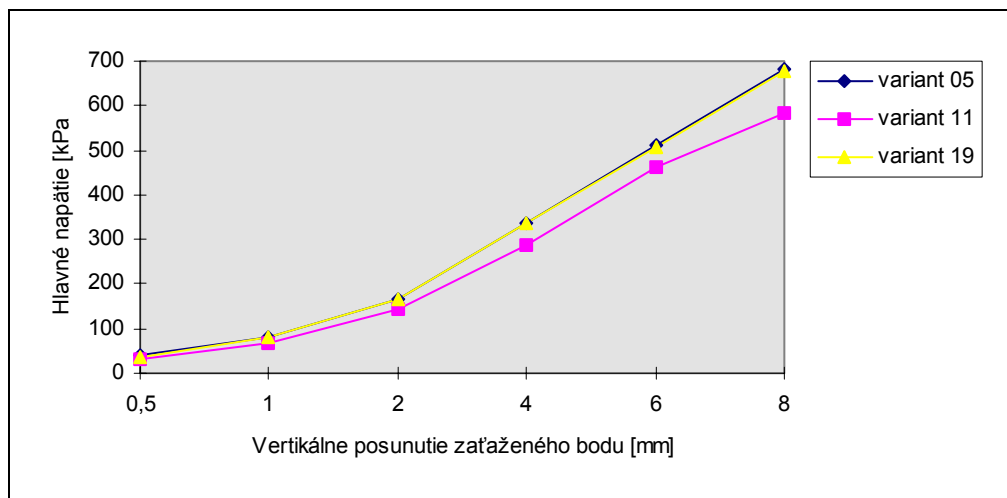
$$A_k = \left[\frac{P_1^{k-1}}{2} U_Y^1 + \frac{P_1 + P_2}{2} (U_Y^2 - U_Y^1) + \frac{P_2 + P_3}{2} (U_Y^3 - U_Y^2) + \frac{P_3 + P_4}{2} (U_Y^4 - U_Y^3) \right] \cdot B$$

kde: P_1, P_2, P_3, P_4 sú sily vypočítané v tabuľke č.3 a č.4 pri vertikálnom posunutí zaťažovaného bodu. Za vertikálne posunutie U_y sa dosadzujú tieto hodnoty: 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 6 mm.



Obr.9. Závislosť veľkosti útlmu kinetickej energie na veľkosti posunutí.

3. **Graficky znázorniť nárast hodnôt hlavných napätí σ_1 a σ_2 tiež ako funkciu U_y** podľa tabuľky č.1, alebo hodnotu stanovenú z ich veľkosti, vypočítanú podľa podmienky medzného stavu porušenia povrchu dopravného pásu, t.j. krycích vrstiev (obr.10). Ak pre dopravný pás o daných vlastnostiach poznáme medznú hodnotu hlavných napätí, pri ktorej k porušeniu dochádza, z grafických závislostí môžeme odčítať medznú hodnotu U_y , pri ktorej **dôjde k prerazeniu pásu v danom bode.**



Obr.10. Závislosť hlavných napätí na vertikálnom posunutí posunutí.

Z popísaného postupu vyhodnotenia výsledkov matematického modelovania metódou konečných prvkov vyplýva, že sila P_{cel} aktivovaná v pásovom dopravníku nie je rozhodujúcou, ale len sprostredkujúcou veličinou riešenia. Tým sa tento postup vyhodnotenia výsledkov matematického modelovania odlišuje od väčšiny používaných matematických modelov.

Záver

Výhodou matematického modelovania metódou konečných prvkov je, že môžeme s oveľa menšou prácou a pri nižších nákladoch overiť mieru vplyvu každého parametra, ktorý do riešenia vstupuje a vývoj dopravných pásov i konštrukcií podávacích stolíc usmerniť na zmenu tých vstupných parametrov, ktorých miera vplyvu je najväčšia. Už z odhadov možno predpokladať, že najväčší vplyv na utlmenie kinetickej energie v dopravníku má miesto dopadu prepravovaného materiálu. Tento

predpoklad potvrdzujú aj výsledky modelovania variantov uvedených v *tabuľke č. 1*, ktoré modelujú pôsobenie dopadu telesa v bode nad valčekom, vedľa valčeka a medzi valčeky. Z porovnania hodnôt parametrov σ_1 , σ_2 , σ_{y1} , σ_{y2} , P a P_{cel} pre rôzne varianty (*tabuľka č.1*) jednoznačne vidieť mieru vplyvu miesta dopadu prepravovaného materiálu na dopravný pás. Z analýzy závislostí vyplýva, že hodnoty síl pôsobiacich medzi dopravným pásom a dopadajúcim materiálom v prípade dopadu bezprostredne nad valček sú väčšie než pri dopade medzi valčeky. Ak materiál dopadne do tesnej blízkosti valčeka vzniká najnepriaznivejší prípad namáhania dopravného pásu.

Variant	Podvariant	Bod pôsobeni a sily	U _y [mm]	N [kN]	E _p [MPa]	σ ₁ [kPa]	σ ₂ [kPa]	U _{1y} [μm]	U _{2y} [μm]	σ _{1y} [kPa]	σ _{2y} [kPa]	Σσ _y [kPa]	U _y [μm] Vertikálne posunutie nad bodmi				P [N.mm ⁻¹]	P _{cel} [N]
													31	32	64	65		
05 dopad telesa nad valček	05 - 05	32	0,5	100	2	38,5	6,0	318	62	42,4	8,2	50,6	317	318	65	58	0,253	506
	05 - 1	32	1,0	100	2	81,3	24,5	674	134	89,9	17,9	107,8	672	676	142	126	0,539	1078
	05 - 2	32	2,0	100	2	167,0	61,4	1387	280	184,9	37,3	222,2	1383	1391	295	264	1,111	2222
	05 - 4	32	4,0	100	2	338,7	135,0	2813	571	375,0	76,1	451,1	2805	2820	603	538	2,255	4510
	05 - 6	32	6,0	100	2	510,3	208,6	4238	862	565,1	114,9	650,0	4226	4250	910	813	3,250	6500
	05 - 8	32	8,0	100	2	682,0	282,1	5664	1153	755,2	153,7	908,9	5648	5679	1218	1088	4,545	9090
11 dopad telesa medzi valčeky	11 - 05	49	0,5	100	2	31,7	0,2	177	206	23,6	27,5	51,1	171	183	212	200	0,255	510
	11 - 1	49	1,0	100	2	68,2	11,5	381	438	50,7	58,3	109,0	368	393	450	425	0,545	1090
	11 - 2	49	2,0	100	2	141,8	33,7	786	901	104,9	120,0	224,9	760	812	926	875	1,124	2248
	11 - 4	49	4,0	100	2	289,2	77,8	1599	1826	213,2	243,5	456,7	1546	1652	1878	1774	2,284	4568
	11 - 6	49	6,0	100	2	463,7	121,9	2411	2753	321,8	367,0	688,5	2331	2491	2831	2674	3,386	6772
	11 - 8	49	8,0	100	2	584,2	165,9	3224	3678	429,8	490,4	920,2	3117	3339	3783	3573	4,601	9202
19 dopad telesa vedľa valčeka	19 - 05	33	0,5	100	2	38,1	2,3	326	80	43,4	10,6	54,0	324	327	83	76	0,270	540
	19 - 1	33	1,0	100	2	79,8	14,4	691	165	92,2	22,0	114,2	687	695	173	156	0,571	1142
	19 - 2	33	2,0	100	2	163,8	38,2	1422	335	189,6	44,7	234,3	1414	1430	353	317	1,172	2343
	19 - 4	33	4,0	100	2	335,4	88,0	2883	677	384,5	90,3	474,8	2867	2899	712	642	2,274	4748
	19 - 6	33	6,0	100	2	507,2	137,8	4346	1018	579,3	135,8	715,1	4321	4370	1072	965	3,576	7151
	19 - 8	33	8,0	100	2	678,8	187,5	5807	1360	774,2	181,3	955,5	5774	5839	1431	1288	4,778	9555

Vysvetlivky k tabuľke:

U _y [mm]	- vertikálne posunutie zaťaženého bodu
N [kN]	- napínacia sila
E _p [MPa]	- modul pružnosti valčeka
σ ₁ , σ ₂ [kPa]	- minimálne a maximálne hlavné napätie
U _{1y} [μm]	- vertikálne posunutie na 1. valčeku
U _{2y} [μm]	- vertikálne posunutie na 2. valčeku
σ _{1y} [kPa]	- vertikálne napätie v oblasti 1. valčeka
σ _{2y} [kPa]	- vertikálne napätie v oblasti 2. valčeka
Σσ [kPa]	- suma vertikálnych napätí
P [N.mm ⁻¹]	- dynamická sila pre jednotlivé podvarianty
P _{cel} [N]	- celková dynamická sila

Tabuľka č.1. Výsledky matematického modelovania.

Matematickým modelovaním metódou konečných prvkov je možné uvedeným postupom realizovať parametrické štúdie aj pri zmene veľkosti hodnôt ostatných vstupných parametrov, a to hlavne:

- zmeny veľkosti napínacej sily v páse,
- zmeny hrúbky krycích vrstiev dopravného pásu a pretvárných vlastností pásoviny,
- zmeny parametrov ocelového kordu dopravného pásu.

Literatúra

- Antoniak, J.: Obliczenia przenośników taśmowych. *Skrypty Uczelniane, Nr.1683, Gliwice, 1992, 195 s.*
- Bahke, E.A.: New Developments in Belt Conveying Technology. *Bulk Solids Handling, Volume 6, Number 1, February 1986, pp. 361-365.*
- Ballhaus, H.: Stress and Wear of Conveyor Belts by Loading Point Impact. *Bulk Solids Handling, Volume 3, Number 1, March 1983, pp. 347-353.*
- Blaheta, R., Malík, J., Kohut, R. a Slíva, J.: GEM 22. Uživatelský popis systému. *Hornický ústav ČSAV - LMM Ostrava, 1990, 41 s.*
- Hardygóra, M.: Podstawy racjonalnego doboru parametrów taśm przenośnikowych z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych górniczych przenośników. *Monografia, Wrocław, Wydawnictwo politechniki Wrocławskiej, 1990.*
- Marasová, D., Boroška, J. a Štroffek, E.: Odolnosť dopravných pásov proti prierazom. *In: Medzinárodná vedecká konferencia pri príležitosti 50 let pôsobení VŠB v Ostravě. Září 1995, s. 311-318.*
- Štroffek, E., Hatala, J., Boroška, J., Marasová, D. a Maras, M.: Matematické modelovanie namáhania dopravného pásu priečnym rázom. *Výskumná správa, Košice, december 1996, 30 s.*