

Dynamické sily a skutočné zaťaženie oceľových lán v prevádzke

Ján Boroška¹, Janka Šaderová¹ a Juraj Ritók²

Dynamic forces and an actual load of a wire rope during its operation

Wire ropes are stressed by static and dynamic forces during their operation. The calculation of the wire ropes is based on their static stress. The dynamic forces are influenced by a higher value of safety. The intensity of the dynamic forces can be determined by a calculation, and by a practical measurement. The measurement was realized by the indicator of tension „Talatan“. The experimental work were carried out using the tensometric principle. The out-put of the obtained values is a graphical presentation with using a special software on PC.

The dynamic forces and loads were measured on the hoisting wire rope. From measured data, the value of dynamic coefficient of rope was determined. The obtained measured values were compared with the results of empirical calculations. The knowledge of dynamic forces of ropes is of great importance for their safe operation, service life and economic effect for users.

Key words: wire ropes, static stress, dynamic force, dynamic coefficient, service life.

Úvod

Výpočet rôznych parametrov oceľového lana a jeho bezpečnosti vychádza z predpokladu jeho statického namáhania. V prevádzke ale na lano pôsobia viaceré druhy namáhania. Oceľové lano ako celok i jednotlivé drôty lana sú okrem statického ťahu namáhané tiež na ohyb a krútenie a pri pohybe lana dochádza tiež k jeho dynamickému namáhaniu (Boroška et al., 1982; Boroška et al., 1996).

Dynamické namáhanie oceľového lana a určenie jeho veľkosti

Dynamické namáhanie lán v prevádzke je vyvolané zmenou rýchlosti pohybu bremena pri jeho zdvíhaní alebo spúšťaní. Dynamické sily vznikajú tiež pozdĺžnym a priečnym kmitaním lana, prípadne i pôsobením vonkajších síl.

Veľkosť dynamického namáhania oceľového lana v ľubovoľnom mieste lana i v ľubovoľnom čase je možné vypočítať zo vzťahu (Boroška et al., 1996)

$$\sigma_{\text{DYN}} = E \frac{\delta u(x, t)}{\delta x} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

v ktorom E - modul pružnosti oceľového lana [N.mm⁻²],

u - pomerné posunutie vyvolané kmitaním lana, pre ktoré platí vzťah

$$\frac{\delta u^2}{\delta t^2} - b^2 \left(1 + \frac{\delta}{\delta t}\right) \frac{\delta u^2}{\delta x} = a \quad [\text{m.s}^{-2}] \quad (2)$$

kde a - zrýchlenie pohybu lana [m.s⁻²],

b - rýchlosť šírenia vlny deformácie v smere osi lana [m.s⁻¹],

μ - súčiniteľ vnútorného trenia,

t - čas [s].

¹ Katedra mechanizácie, dopravy a vŕtania F BERG Technickej univerzity, Košice, 043 84 Košice, Park Komenského 14

² Katedra dopravy a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta TU Košice, 041 87 Košice, Letná 9

(Recenzenti: Prof. Ing. Eduard Štroffek, CSc. a Ing. Jozef Hulín, CSc. Revidovaná verzia doručená 24.3.1997)

Okrem tohoto všeobecne platného vzťahu môžeme dynamické sily a dynamické účinky vypočítať pomocou ďalších vzťahov, ktoré zohľadňujú konkrétne spôsoby dynamického namáhania oceľových lán (Šaderová, 1996). Takými sú napr. dynamické namáhanie vznikajúce pri zdvíhaní bremena, dynamické namáhanie lana pri náhlom zabrzdení, rázové dynamické namáhanie lana, dynamické namáhanie pri náhlom zvýšení koncového zaťaženia lana.

Veľmi dobrý obraz o dynamickom namáhaní oceľového lana nám dáva dynamický súčiniteľ, ktorý sa vypočítame podľa vzťahu (Boroška et al., 1982)

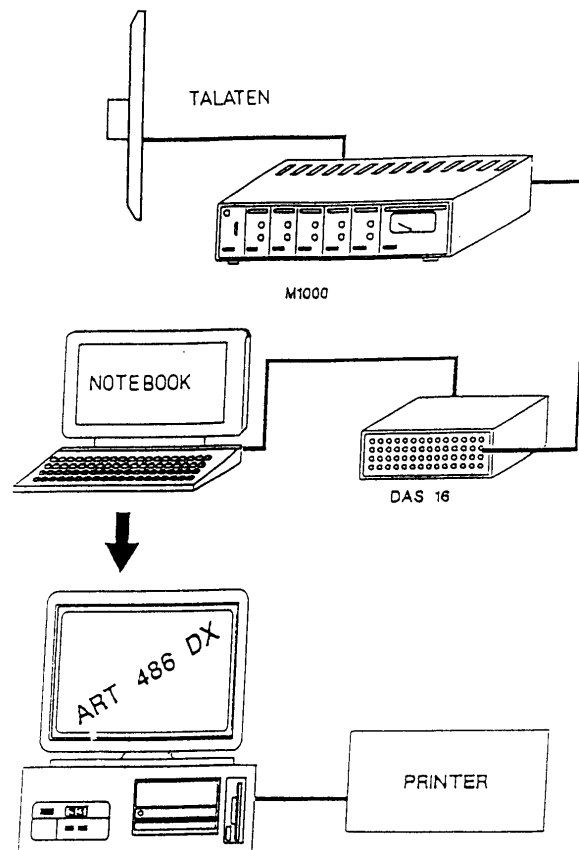
$$k_d = \frac{F_{st\max} + \Delta F_{\max}}{F_{st\max}}, \quad (3)$$

v ktorom $F_{st\max}$ - maximálna skutočná statická sila [N],
 ΔF_{\max} - maximálna amplitúda pôsobiacej sily od maximálnej skutočnej statickej sily [N].

Veľkosť týchto síl, pôsobiacich na oceľové lano, je možné získať meraním.

Meranie zaťaženia oceľového lana

V rámci riešenia grantového projektu, týkajúceho sa problematiky oceľových lán sme sa zamerali na zistenie skutočných síl, ktoré pôsobia na lano počas jeho pohybu. Ako aktívny merací člen skutočného zaťaženia sme použili tenzometrický snímač ťahu v lane TALATEN. Toto zariadenie umožňuje merať skutočné zaťaženie lana v prevádzkových podmienkach. TALATEN pracuje na princípe merania ohybového napätia meracieho nosníka, mechanicky spojeného s oceľovým lanom.



Obr. 1. Schéma meracieho reťazca.

Vznikajúce napätie je snímané tenzometrami, nalepenými na hornej a dolnej strane nosníka. Ohybové napätie nosníka je úmerné ťahu v lane. Signál je zosilňovaný zosilovačom M 1000 a privádzaný

do analógovo-digitálneho prevodníka DAS 16. Digitalizované údaje sú zaznamenávané v pamäťovom médiu počítača a je možné ich graficky znázorniť a následne vytlačiť.

Merací reťazec je znázornený na obrázku číslo 1 (Boroška et al., 1996). K zostaveniu celého zariadenia boli použité prístroje Katedry mechanizácie, dopravy a vŕtania i prístroje Katedry dopravy a manipulačnej techniky.

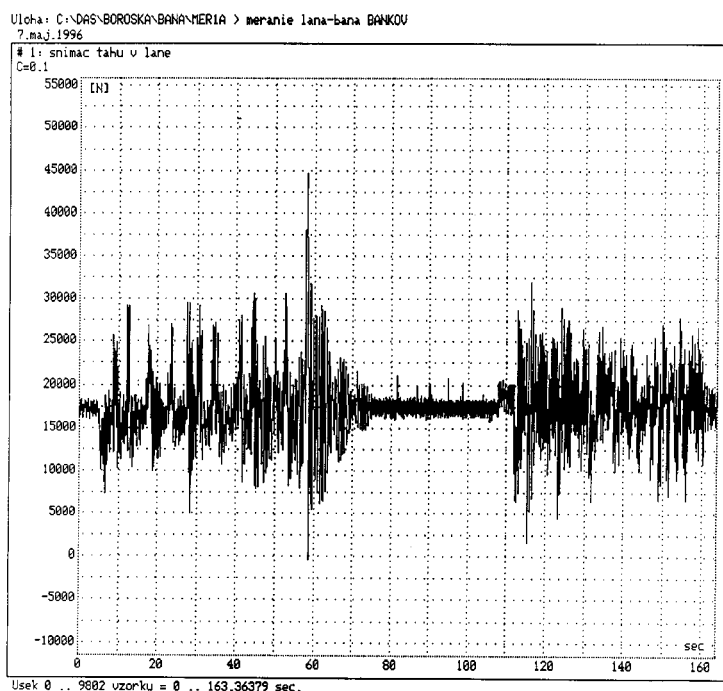
Meranie vyššie popísaným zariadením sme uskutočnili na ťažnom lane jamy Východ na závode Bankov KOMAG Košice. Uvádzame základné parametre oceľového lana a ťažného zariadenia:

- konštrukcia lana HERKULES	252,0	drôtov (STN 024372.45),
- menovitý priemer lana	25,0	mm,
- menovitý nosný prierez lana	275,6	mm ² ,
- menovitá pevnosť drôtov	1570,0	Mpa,
- menovitá nosnosť lana	432,7	kN,
- skutočná nosnosť lana	444,07	kN,
- dĺžková hustota lana	2,49	kg.m ⁻¹ ,
- ťažné zariadenie		dvojbubnové,
- dopravná nádoba		klietka,
- hmotnosť klietky s úväzkom	1425,0	kg,
- hmotnosť prázdneho vozíka	490,5	kg,
- hmotnosť užitočného zaťaženia	1750,0	kg,
- maximálne statické zaťaženie lana vypočítané	49,83	kN,
- rýchlosť jazdy	6,0	m.s ⁻¹ ,
- zrýchlenie	0,8 - 1,2	m.s ⁻² ,
- vypočítaná bezpečnosť ťažného lana	7,2.	

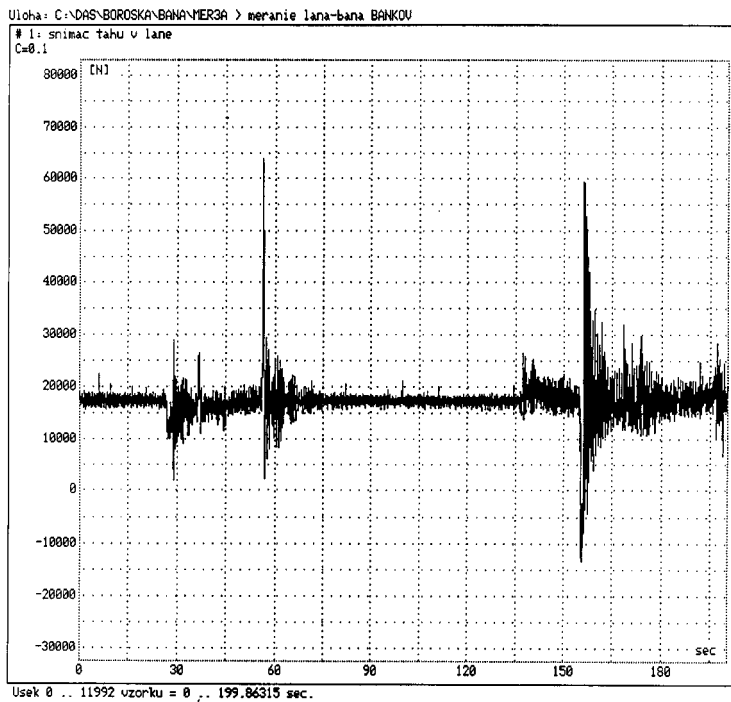
Skutočné zaťaženie lana sme merali v rôznych režimoch jeho pohybu:

- rozjazd,
- rovnomerná jazda,
- dojazd,
- náhle zabrzdzenie.

Hlavnú pozornosť sme venovali tým režimom, pri ktorých sa menila rýchlosť pohybu ťažného lana. Tieto zmeny vedú k vzniku dynamických síl najmä v smere jeho osi. Príklady získaných záznamov sú na obrázkoch číslo 2 a 3.



Obr. 2. Priebeh zaťaženia ťažobného lana.



Obr. 3. Zaťaženie lana pri máhlom zabrzdení.

Veľkosť statického zaťaženia ťažného lana bola počas všetkých meraní rovnaká 16,3 kN. V tabuľke číslo 1 sú uvedené namerané hodnoty, z ktorých sme vypočítali veľkosť dynamického namáhania ocelového lana, veľkosť dynamického súčiniteľa a veľkosť skutočnej bezpečnosti ťažného lana.

Vyhodnotenie meraní

Dynamické namáhanie ťažného lana sme vypočítali podľa vzťahu

$$\sigma_{DYN} = \frac{F_{vyp.}}{S} \cdot \frac{a}{g} \cdot c \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

kde F_{vyp} - veľkosť zaťaženia získaná výpočtom [N],
 S - menovitý nosný prierez lana [mm^2],
 a - zrýchlenie, resp. spomalenie ťažného zariadenia [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
 c - koeficient závislý na hmotnosti lana a bremena.

Dynamický súčiniteľ namáhania ocelového lana sme vypočítali podľa vzťahu (3).

Režim pohybu	Smer pohybu	F_{vyp} [kN]	F_{str} [kN]	F_{str} F_{vyp}	F_{max} [kN]
rozjazd rovnomerný dojazd náhle zabrzdzenie	dole	16,30	17,58	1,07	20,13 43,21 63,870
	hore	16,30	17,58	1,07	21,21 22,35 59,48

Tabuľka 1. Namerané hodnoty zaťaženia lana, F_{vyp} - vypočítané statické zaťaženie ťažného lana [kN], F_{str} - stredná hodnota zaťaženia lana nameraná pri určitom režime jeho práce [kN], F_{max} - maximálna hodnota zaťaženia lana nameraná pri určitom režime jeho práce [kN], F_{min} - minimálna hodnota zaťaženia lana nameraná pri určitom režime jeho práce [kN].

Veľkosť bezpečnosti ťažného lana pri rôznych režimoch jeho pohybu sme stanovili podľa vzťahu

$$b = \frac{N}{F} \quad (5)$$

v ktorom N - menovitá alebo vypočítaná nosnosť lana [N],

F - zaťaženie lana v uvažovanom režime jeho pohybu [N].

Vypočítané hodnoty týchto parametrov pre rôzne režimy a rôzne zaťaženia uvádza tabuľka číslo 2.

Režim pohybu	Smer pohybu	σ_{DYN} [MPa]	b_{vyp}	b_{str}	b_{DYN}	k_d	% F_{vyp}
rozjazd		13,00			21,50	1,23	23
rovnorný dojazd	dole	39,014	7,2	24,61	10,10	2,65	165
náhle zabrzdzenie		130,05			6,77	3,91	291
rozjazd		13,00			20,40	1,30	30
rovnorný dojazd	hore	39,014	7,2	24,61	19,36	1,37	37
náhle zabrzdzenie		130,05			7,27	3,60	264

Tabuľka 2. Dynamické charakteristiky a bezpečnosť ťažného lana

Záver

Namerané a vypočítané hodnoty rôznych veličín dávajú veľmi dobrú predstavu o namáhaní ťažného lana počas jeho prevádzky. Z ich veľkosti vyplývajú viaceré dôležité konštatovania:

Z hľadiska zaťaženia oceľového lana statickými alebo dynamickými silami ich veľkosť okrem prípadu náhleho zabrzdzenia nevyvolá pokles bezpečnosti ťažného lana pod predpisom stanovenú hranicu. Takáto situácia je ale v prípade zaťaženia lana prázdnu klietkou a jej hornou polohou. Pri ďalších meraniach sa zameriame na kritickú situáciu, ktorú predstavuje dolná poloha klietky s plným vozíkom.

Dynamický súčiniteľ je ovplyvňovaný režimom práce ťažného stroja i smerom pohybu dopravnej nádoby a z jeho veľkosti je zrejmé, že sa mení v pomerne veľkom rozsahu. Vzhľadom na to, že dynamické sily majú často rozhodujúci vplyv na životnosť oceľových lán, ich poznanie je veľmi dôležité a odstránením činiteľov, ktoré sú iniciátormi vzniku dynamických síl môžeme pozitívne životnosť ovplyvňovať. Zvýšenie životnosti prináša používateľovi oceľových lán ekonomické efekty (Boroška et al., 1991). Navrhnutá a použitá metodika zisťovania skutočného zaťaženia lán v prevádzke s následným vyhodnotením dynamického namáhania je preto vhodná nielen pre poznanie prevádzkového režimu a namáhania oceľových lán, ale i pre využitie získaných poznatkov pri projektovaní zariadení, na ktorých oceľové laná pracujú.

Literatúra

- Boroška, J., Hulín, J. a Lesňák, O.: Oceľové laná. *Alfa Bratislava*, 1982, s. 479.
- Boroška, J., Šaderová, J. a Ritók, J.: Možnosti stanovenia dynamických síl skutočného zaťaženia oceľových lán zdvíhacích zariadení. In: *Zdvíhacie zariadenia v teórii a v praxi. Katedra dopravy a manipulačnej techniky Sjf TU v Košiciach. Štrbské Pleso 1996*, s. 100 -105.
- Boroška, J. a Marasová, D.: Ekonomické aspekty optimalizácie kovového prierezu oceľových lán. In: *Výskum, výroba a použitie oceľových lán. Dom techniky Košice, 1991*.
- Šaderová, J.: Dynamické namáhanie ťažných lán v prevádzke. In: *Výskum, výroba a použitie oceľových lán. Katedra mechanizácie, dopravy a vŕtania F BERG TU Košice, Vydavateľstvo Štroffek, Vysoké Tatry 1996*, s. 44-50.
- Boroška, J., Pinka, J. a Šaderová, J.: Nové konštrukcie oceľových lán pre priemysel. *Acta Montanistica Slovaca*, 1, 1996, s. 43-49.