

EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ TUHOSTI ZDVIHOVÉHO LANA A JEJÍ OVĚŘENÍ TAHOVOU ZKOUŠKOU DLE ČSN 420305

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STIFFNESS WINCH RUNNER AND HER ATTESTATION OF THE TENSION EXAMINATION ACCORDING TO ČSN 42 0305

Leopold Hrabovský¹

Anotace: Článek popisuje návrh modelového zařízení využívaného k experimentálnímu stanovení tuhosti lana při zvedání břemene prostřednictvím lanového navijáku. V příspěvku je dle teoretických úvah o časovém průběhu zdvihu břemene (lanovým kladkostrojem, instalovaném na jednonosníkovém mostovém jeřábu) experimentálně určena tuhost zdvihového lana a ta je srovnávána s tuhostí lana, které bylo podrobena tahové zkoušce na trhacím stroji.

Klíčová slova: tuhost lana, zdvihový mechanismus, mostový jeřáb

Summary: This contribution describes the proposal modelling arrangement exploited to experimental assesment stiffness winch runner at uplift empty weight through cable winch. In due is according to theoretic thinking about time behaviour stroke empty weight (funicular tackle, install on trolley crane) experimentally identified stiffness rope and the is juxtaposition with stiffness ropes, which was amenability tension test for shredder.

Key words: stiffness winch runner, lifting device, trolley crane

ÚVOD

V laboratoři Výzkumu a zkušebnictví, Ústavu dopravních a procesních zařízení, Institutu dopravy, Vysoké školy báňské - Technické univerzity v Ostravě byl instalován jednonosníkový mostový jeřáb délky $L = 5,6$ m, tvořený válcovaným nosníkem HEB 120. Ve středu délky nosníku je na jeho spodní pásnici uchycen lanový naviják typu 360 firmy Güde (viz www.unicore.cz). Prostřednictvím lanového navijáku je manipulováno ve svislém směru s břemenem maximální hmotnosti $m_b = 225$ kg (násobky 25 kg), jež tvoří trakční závaží.

Využitím indukčního snímače pro měření dráhy (posunu a polohy), obchodního názvu WA-T o měřicím rozsahu 0 až 20 mm, zakoupeného u firmy Ing. Ivan Wasgestian HBP, která je výhradním zastoupením firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH se sídlem v Německu, je zaznamenáván průhyb y [m] nosníku mostu v závislosti na hmotnosti m_b [kg] zvedaného břemene.

Z měřených hodnot průhybu y [m] nosníku mostu a úhlu natočení φ [rad] lanového bubnu při zvedání břemene známé hmotnosti m_b [kg], je dle vztahu (43) zdroje(2)

¹ doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Univerzita, Fakulta strojní, Institut dopravy, 17. listopadu 15/2172, 708 33, Ostrava - Poruba, Tel.: +420 597 323 185, Fax: +420 596 916 490, E-mail: leopold.hrabovsky@vsb.cz

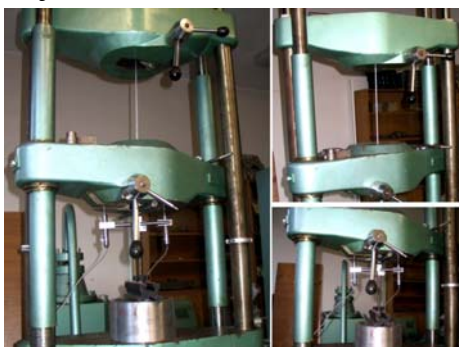
experimentálně stanovena tuhost zdvihového lana k_L [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]. Experimentálně určená tuhost zdvihového lana je srovnávána s tuhostí lana, která je vyčíslena dle vztahu (1), jež bylo podrobena tahové zkoušce na trhacím stroji.

1. URČENÍ TUHOSTI ZDVIHOVÉHO LANA MATERIÁLOVOU ZKOUŠKOU NA TRHACÍM STROJI

Pro účely experimentu bylo využito šestipramenné, protisměrně vinuté, ocelové lano třídy 6 x 19 - WCS, jmenovitého průměru $d = 5$ mm, stupně lana 1770, dle ČSN EN 12385-4.

Za účelem srovnání získané hodnoty tuhosti lana k_L [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$] experimentální zkouškou (viz kapitola 5), se skutečnou hodnotou tuhosti lana k_L [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$], byl zkušební vzorek lana délky $L = 0,6$ m podroben tahové zkoušce na trhacím stroji (dle ČSN 420305), viz obr. 1.

Fyzikální závislost, mezi tahovou silou F [N] (působící v laně) a prodloužením ΔL [m] vzorku lana, byla experimentálně určena ve spolupráci s katedrou 347 - Katedra částí a mechanismů strojů, Fakulty strojní, VŠB-TU v Ostravě.

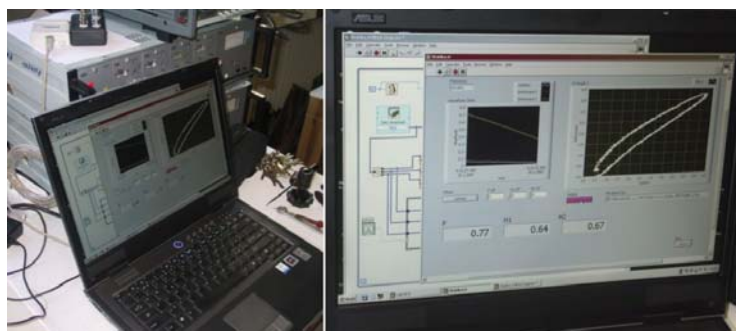


Zdroj: Autor

Obr. 1 - Tahová zkouška lana dle ČSN 420305 na trhacím stroji

Dle Hookova zákona platí, viz (1).

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ [Pa]}, \text{ kde } \sigma = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \text{ [Pa]} \quad (1)$$



Zdroj: Autor

Obr. 2 - Grafický průběh tahové zkoušky drátěného lana 6 x 19 - WCS

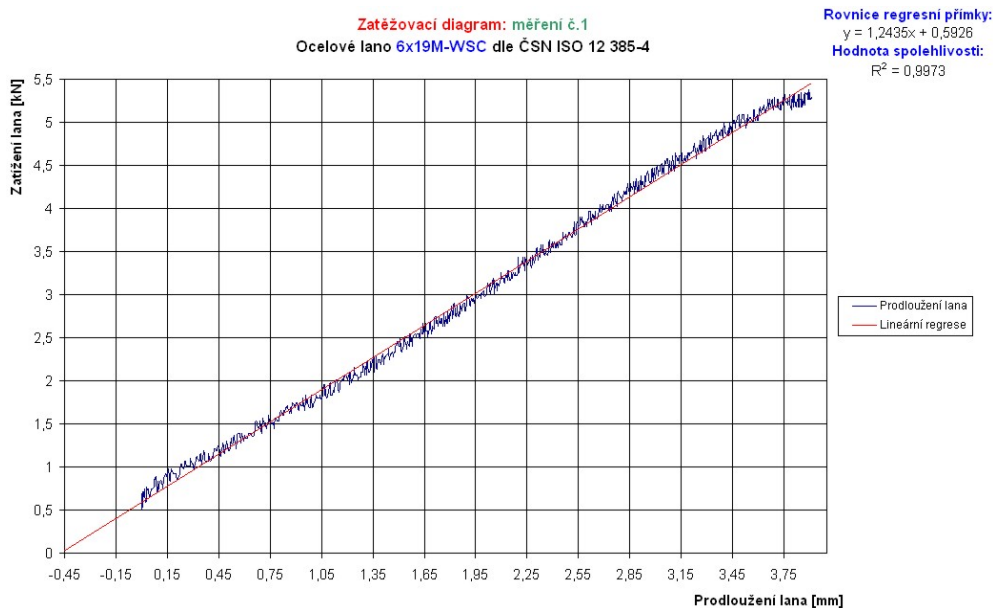
Dle (1, str.27 až str. 28) je možno určit tuhost lana k_L [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$], viz vztah (2).

$$k_L = \frac{1}{\delta} = \frac{S \cdot E}{L} \text{ [N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2)$$

kde δ [m/N] - součinitel poddajnosti, S [m²] - průřez lana, E [Pa] - modul pružnosti lana, L [m] - délka zkušební vzorku lana.

Měřená hodnota prodloužení ΔL [m] (pomocí indukčního snímače dráhy) zkušební vzorku lana v závislosti na velikosti působící tahové síly F [N] byla zaznamenávána prostřednictvím měřicí karty a graficky zaznamenávána v měřícím programu, viz obr. 2.

Získané hodnoty prodloužení ΔL [m] zkušební vzorku lana v závislosti na velikosti působící tahové síly F [N] byly vyneseny v grafu (viz obr. 3). Z grafického průběhu závislosti obou veličin, byla určena přímka lineární regrese.



Zdroj: Autor

Obr. 3 - Závislost poměrného prodloužení drátěného lana 6 x 19M - WCS na tahové síle

Pro zkušební vzorek drátěného lana (délky $L_0 = 0,6$ m) je možno z grafu (obr. 3) odečíst pro velikost tahové síly v laně $F = 2,31$ kN, hodnotu prodloužení vzorku lana (průměru $d = 5$ mm) $\Delta L = 1,86$ mm.

Poměrné prodloužení lana ε [-] vyčíslíme dle vztahu (3).

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{(L_0 + \Delta L) - L_0}{L_0} = \frac{(0,6 + 1,86 \cdot 10^{-3}) - 0,6}{0,6} = \frac{1,86 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 3,1 \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Dle vztahu (1) vyčíslíme hodnotu modulu pružnosti v tahu E [Pa] zkoušeného vzorku lana, viz (4).

$$E = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2 \cdot \varepsilon} = \frac{4 \cdot 2,31 \cdot 10^3}{\pi \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3,1 \cdot 10^{-3}} = 3,8 \cdot 10^{10} \text{ Pa} \quad (4)$$

Při známé hodnotě délky zkušební vzorku lana $L_0 = 0,6$ m je možno dle vztahu (2) určit tuhost lana k_L [N. m⁻¹], viz vztah (5).

$$k_L = \frac{S \cdot E}{L_0} = \frac{1,96 \cdot 10^{-5} \cdot 3,8 \cdot 10^{10}}{0,6} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ N. m}^{-1} \quad (5)$$

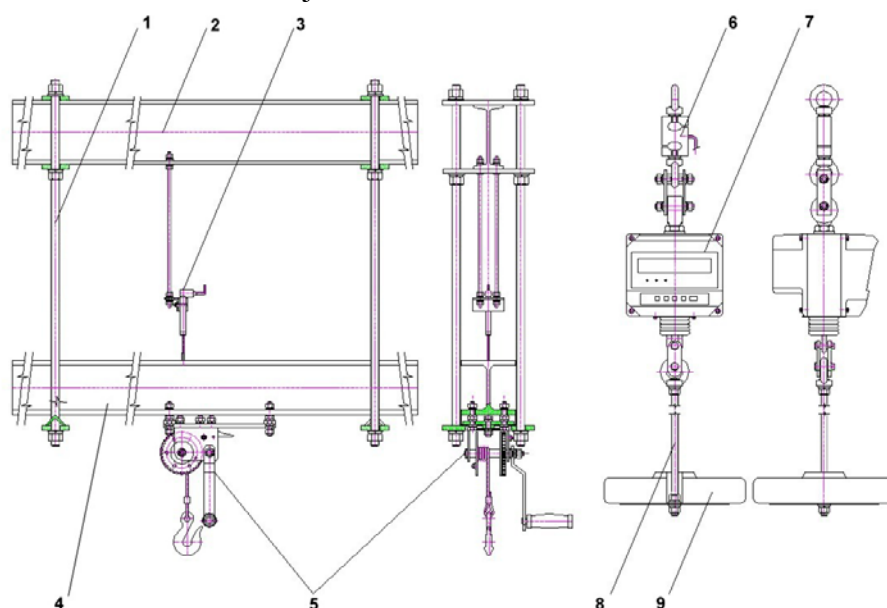
2. POPIS MĚŘÍCIHO STANOVISŤE

Měřicí stanoviště (obr. 4) sestává ze dvou závěsů **1**, které podepírají nosník jeřábového mostu **4**, který je tvořen profilem HEB120 celkové délky 6 m.

Ve střední vzdálenosti mezi závěsy **1** nosníku **2** (válcovaný profil I 140) je na závitové tyči M10 uchycen indukční snímač dráhy **3**, který zaznamenává průhyb mostu **4** v závislosti na hmotnosti zvedaného jmenovitého břemene.

Ve středu spodní pásnice nosníku **4** HEB120 je umístěn lanový naviják Güde 360 **5**, na jehož zdvihové lano (průměru 5 mm) je zavěšen (přes tenzometrický snímač tahové síly **6** a elektronickou závěsnou váhu **7**) závěs **8** pro umístění jmenovitého břemene **9**.

Realizace měřicího stanoviště je uvedena na obr. 5.

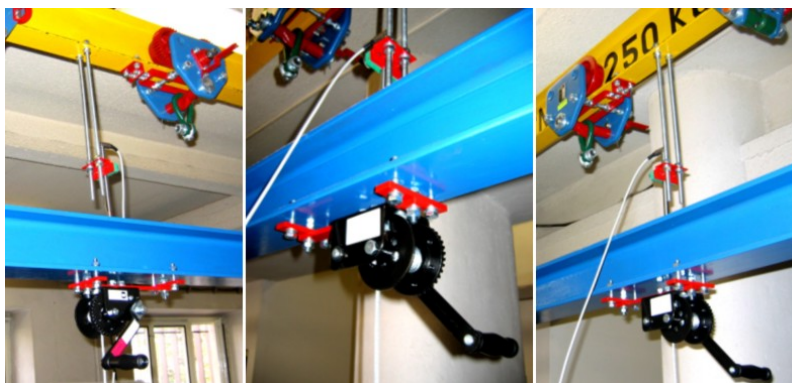


Zdroj: Autor

Obr. 4 - Návrh měřicího stanoviště pro určení tuhosti zdvihového lana

3. EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ TUHOSTI ZDVIHOVÉHO LANA

Dle teoretické úvahy a matematického vyjádření II. fáze zdvihu břemene prostřednictvím zdvihového lana navíjeného na lanový buben, byla v příspěvku (2), vztah (43) odvozena tuhost zdvihacího lana k_L [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$], viz vztah (6).



Zdroj: Autor

Obr. 5 - Lanový naviják Güde 360 uchycený na nosníku mostu HEB120

$$F_{IL} = k_L \cdot y_{IL} = \frac{m_b \cdot g}{n} = k_L \cdot \left(\frac{R_b \cdot \varphi_1}{n} - y_{st} \right) \Rightarrow k_L = \frac{\frac{m_b \cdot g}{n}}{\frac{R_b \cdot \varphi_1}{n} - y_{st}} = \frac{m_b \cdot g}{R_b \cdot \varphi_1 - n \cdot y_{st}} \text{ [N/m]} \quad (6)$$

kde R_b [m] - poloměr lanového bubnu, φ_1 [rad] - úhel potočení lanového bubnu v okamžiku ukončení II. fáze zdvihu břemene, n [-] - počet nosných průřezů zdvihového lana, y_{st} [m] - statický průhyb nosníku od jmenovitého břemene, v okamžiku ukončení II. fáze zdvihu břemene.

Měřicí stanoviště znázorněné na obr. 4 a obr. 5, bylo využito k experimentálnímu vyjádření tuhosti k_L [N.m⁻¹] zdvihového lana, která byla následně verifikována s tuhostí lana určenou materiálovou zkouškou na trhacím stroji (blíže viz kap. 1).

Buben lanového navijáku (viz obr. 5) je opatřen na svém okraji ozubeným kolem s 35 vnějšími zuby, rovnoměrně rozloženými po obvodu kola, do kterých zapadá zpětná zubová západka, která brání samovolnému odvinutí lana z bubnu, při přerušení síly na klice. Vlivem působení síly na kliku, dochází k pootočení lanového bubnu o úhel φ [rad]. Při posunu západky o „n“ zubů po obvodu ozubeného kola, je možno stanovit úhel φ [rad] pootočení lanového bubnu a délku L_B [m] navinutého lana na buben, dle vztahu (7).

$$\varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{35} \text{ [rad]}, L_B = (R_B + z \cdot d) \cdot \varphi \text{ [m]} \quad (7)$$

kde z [-] - počet závitů lana navinutých na lanovém bubnu, d [m] - průměr lana

Měřicí metoda experimentálního vyjádření tuhosti k_L [N.m⁻¹] zdvihového lana je založena na stanovení počátečního $y_{poč}$ [m] a konečného y_{kon} [m] průhybu nosníku mostu, při jim odpovídajícím hodnotám působící síly v laně F_L [N], která závisí na nárůstu velikosti břemene v průběhu II. fáze zdvihu břemene.

Nárůst velikosti síly v laně (odpovídající počátečnímu průhybu $y_{poč}$ [m] nosníku mostu $F_{L(poč)}$ [N] a konečnému y_{kon} [m] průhybu nosníku mostu $F_{L(kon)}$ [N]), závisí na délce navinutého lana L_B [m] na lanový buben, tj. pootočení lanového bubnu (poloměru R_b [m]) o známou hodnotu φ [rad]. Síla v laně $F_{L(kon)}$ však nemůže dosáhnout hodnoty $F_{L(kon)} = m_b \cdot g$ [N], neboť by v tomto okamžiku nastalo odpoutání břemene hmotnosti m_b [kg] od úrovně podlahy.

Na hák konečného zdvihového lana je zavěšen závěs **8** přes tenzometrický snímač tahové síly **6** a elektronickou závěsnou váhu **7** (viz obr. 4), hmotnost celé této soustavy nabývá hodnoty $m_z = 13,3$ kg, tj. $G_z = m_z \cdot g = 13,3 \cdot 9,81 = 130,5$ N.

Z důvodu maximálního omezení délky navinutého zdvihového lana na lanový buben od nepředepjatého lana, tj. prověšené délky lana, je počáteční síla v laně $F_{L(poč)}$ [N] pro experimentální měření tuhosti lana stanovena jako hodnota, která nabývá vyšší hodnoty, než je tíha závěsu G_z [N]. Prakticky je počáteční síla v laně $F_{L(poč)}$ [N] určena tak, že na závěs **8** je umístěno jmenovité břemeno hmotnosti m_b [kg] a prostřednictvím kliky lanového navijáku je lano předepnuto na hodnotu $F_{L(poč)}$ [N], viz vztah (8), která je dána součtem tíhy závěsu G_z [N] a velikosti síly F [N] odečítané na tenzometrickém snímači tahové síly **6** a kontrolované na elektronické závěsné váze **7**.

$$F_{L(\text{poč})} = G_z + F \text{ [N]} \quad (8)$$

Při známé hodnotě počáteční síly v laně $F_{L(\text{poč})}$ [N] je odečtena hodnota počátečního průhybu $y_{\text{poč}}$ [m] nosníku mostu. Následně je prostřednictvím kliky pootočeno ozubeným kolem, které je pevně spojeno s bubnem lanového navijáku o „n“ zubů, čímž dochází k navíjení lana na lanový buben a nárůstu síly v laně na hodnotu $F_{L(\text{kon})}$ [N], která splňuje předpokládanou podmínku (9), tzn. že konečná síla v laně $F_{L(\text{kon})}$ [N] musí nabývat hodnoty nižší než je tíha břemene G_b [N].

$$F_{L(\text{kon})} \leq G_b = m_b \cdot g \text{ [N]} \quad (9)$$

Pro konečnou hodnotu síly v laně $F_{L(\text{kon})}$ [N] je odečtena hodnota průhybu mostu y_{kon} [m].

Experimentálně získané hodnoty (počáteční a konečná síla v laně, počáteční a konečný průhyb nosníku mostu, počet zubů „n“ pootočení ozubeného kola) jsou zaznamenávány v tabulce (viz Tab. 1, kap. 4) a z těchto hodnot je vyčíslena dle vztahu (10) hodnota tuhosti zdvihového lana v průběhu II. fáze zdvihu břemene.

$$k_L = \frac{F_{L(\text{kon})} - F_{L(\text{poč})}}{(R_b + z \cdot d) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{35} - n_L \cdot (y_{\text{kon}} - y_{\text{poč}})} \text{ [N.m}^{-1}] \quad (10)$$

4. PRAKTICKÁ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Experimentálně získané hodnoty průhybů y [m] nosníku mostu jeřábu (výše specifikovaným postupem a metodou), odečítané z měřicího programu, viz obr. 6, pro působící zatížení v laně, jež závisí na velikosti zvedaného břemene jmenovité hmotnosti m_b [kg] v průběhu II. fáze zdvihu, jsou uvedeny v tabulce 1.

Príslušné hodnoty průhybů y [m] nosníku mostu jeřábu, odpovídající velikosti zvedaného jmenovitého břemene, resp. síle v laně, byly dosazovány do vztahu (10), dle kterého byla určena tuhost zdvihacího lana.

Srovnáváme-li experimentálně stanovenou tuhost zdvihacího lana s tuhostí lana určenou tahovou zkouškou na trhacím stroji, dospějeme k závěru, že tuhost zdvihacího lana vyčíslena z experimentálně získaných hodnot dosahuje hodnot nižších.

Tab. 1 - Experimentálně získané hodnoty průhybu nosníku a síly v laně

č.m.	m_b [kg]	$F_{L(\text{poč})}$ [N]	$y_{\text{poč}}$ [m]	$F_{L(\text{kon})}$ [N]	y_{kon} [m]	n	φ [rad]	φ [deg]	z	k_L [N.m ⁻¹]
1	200	789,435	15,1	$1,461 \cdot 10^3$	13,2	2	0,359	20,571	1	$3,09 \cdot 10^5$
2		769,822	15,1	$1,966 \cdot 10^3$	12,8	2	0,359	20,571	1	$4,39 \cdot 10^5$
3		627,626	15,4	$1,755 \cdot 10^3$	12,8	2	0,359	20,571	1	$4,65 \cdot 10^5$
4	175	686,465	15,3	$1,549 \cdot 10^3$	13,6	1	0,180	10,286	1	$1,06 \cdot 10^6$
5		254,973	16,1	$1,706 \cdot 10^3$	13,3	2	0,359	20,571	1	$6,52 \cdot 10^5$
6		671,756	15,4	$1,554 \cdot 10^3$	13,5	1	0,180	10,286	1	$3,96 \cdot 10^5$
7	150	475,623	16,2	$1,446 \cdot 10^3$	14,9	1	0,180	10,286	1	$4,60 \cdot 10^5$
8		362,846	16,1	$1,339 \cdot 10^3$	14,8	1	0,180	10,286	1	$4,62 \cdot 10^5$
9		406,976	16,1	$1,393 \cdot 10^3$	14,7	1	0,180	10,286	1	$4,90 \cdot 10^5$
10	100	264,780	16,1	$1,015 \cdot 10^3$	14,7	1	0,180	10,286	1	$3,73 \cdot 10^5$
11		225,553	16,2	$1,025 \cdot 10^3$	14,7	1	0,180	10,286	1	$4,18 \cdot 10^5$

12		264,780	16,1	$1,035 \cdot 10^3$	14,6	1	0,180	10,286	1	$4,23 \cdot 10^5$
13	75	196,133	16,1	706,079	15,0	1	0,180	10,286	1	$2,21 \cdot 10^5$
14		201,843	16,1	661,949	14,8	1	0,180	10,286	1	$2,14 \cdot 10^5$
15		199,230	16,2	671,756	14,9	1	0,180	10,286	1	$2,28 \cdot 10^5$

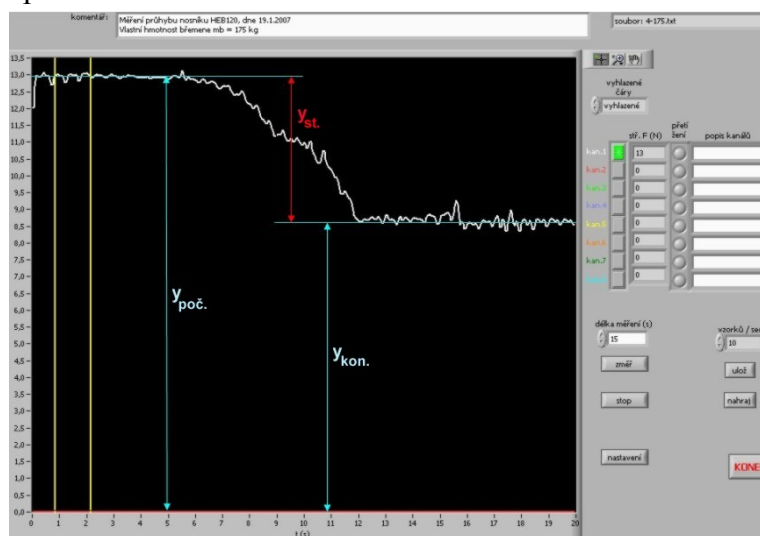
Tuto skutečnost je možno vysvětlit tím, že není možno přesně odečítat hodnotu navinuté délky lana L_B [m] na lanový buben. Lanový buben je, vzhledem k průměru voleného lana, malého průměru (blíže viz vztah (11), čímž dochází k nedostatečnému přilnutí navíjeného lana na povrch bubnu a tím k navýšení odečítané hodnoty úhlu potočení lanového bubnu.

Vlivem pootočení kliky o jeden zub pastorku, dochází k potočení bubnu o úhel φ cca 10,29 deg (0,18 rad), což odpovídá navinutí zdvihového lana na lanový buben o délku $\Delta L = R_b \cdot \varphi = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,18 = 1,62$ mm, při průměru bubnu lanového navijáku $D_b = 18$ mm a první navíjené vrstvě lana na buben.

Současně je nutno dodat, že využívaný lanový naviják o průměru bubnu $D_b = 18$ mm není k experimentu vhodně volen. Dle normy (3) je v kapitole 7 definováno, že minimální průměr roztečné kružnice bubnu má být volen, dle vztahu (11).

$$D_1 \geq h_1 \cdot t \text{ [mm]} \quad (11)$$

kde h_1 [-] - součinitel výběru pro buben (poměr průměru roztečné kružnice bubnu k vypočítanému průměru lana), dle tab.2 [3], je na základě klasifikace mechanismu M1 až M8 volen součinitel h_1 v rozmezí 11,2 až 25, t [-] - součinitel typu lana podle tabulky 3 viz. (3), d [mm] - minimální průměr lana.



Zdroj: Autor

Obr. 6 - Měřené hodnoty průhybu nosníku v závislosti na hmotnosti zvedaného břemene v průběhu II. fáze zdvihu

Teoreticky odvozený vztah (10) pro určení tuhosti lana experimentální metodou v průběhu II. fáze zdvihu břemene umožňuje stanovit hodnotu tuhosti zdvihového lana s požadovanou přesností pouze v případě, kdy je možno přesně stanovit navinutou délku zdvihového lana na lanový buben.

ZÁVĚR

V předloženém příspěvku je popisováno modelové zařízení využívané k experimentálnímu stanovení tuhosti lana v laboratorních podmínkách při zvedání břemene prostřednictvím lanového navijáku, dle teoretických úvah o časovém průběhu zdvihu břemene v průběhu II. Fáze zdvihu. Článek předkládá experimentálně určenou tuhost zdvihového lana a její verifikaci s tuhostí lana, které bylo podrobena tahové zkoušce na trhacím stroji.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) HÁJEK, E., REIF, P., VALENTA, F.: *Pružnost a pevnost I.* SNTL/ALFA 1988.
- (2) HRABOVSKÝ, L.: *Určení tuhosti zdvihového lana z úvahy o časovém průběhu zdvihu břemene mostovým jeřábem.* Elektronický odborný časopis o konstrukci a provozu zdvihacích, manipulačních a transportních zařízení a dopravních prostředků „Zdvihací zařízení v teorii a praxi“. Číslo 2/2006, prosinec 2006. ISSN 1802-2812, str.28-34.
- (3) ČSN ISO 4308-1. *Jeřáby a zdvihací zařízení - výběr ocelových lan - Část 1: Všeobecně.* Říjen 2004.