

# ROZJEZD MOSTOVÉHO JEŘÁBU S OHLEDEM NA ÚHEL NÁBĚHU LANA NA DRÁŽKOVANÝ LANOVÝ BUBEN

## START OF AN OVERHEAD CRANE WITH REFERENCE TO FLEET ANGLE ONTO GROOVED WIRE ROPE DRUM

Pavel Vraník<sup>1</sup>

---

*Anotace: Břemeno zavěšené na háku se vlivem setrvačných sil vznikajících při nerovnoměrném pohybu jeřábu, resp. kočky, tj. rozjezdu a brzdění opožďuje, resp. popř. kočku či jeřáb předbíhá. Tento dynamický účinek je v naprosté většině případů nežádoucí a je zapotřebí jej omezovat, zejména z důvodu náběhu lana na lanový buben.*

*Klíčová slova: kývání břemene, lanový buben, úhel náběhu lana*

*Summary: During uneven motions of an overhead crane or wire rope hoist, i.e. starting and braking, originate the centrifugal forces. In consequence of these forces, load suspended on crane hook lags behind or outruns the crane or wire rope hoist. This dynamical effect is in most cases undesirable and is necessary to limit it, particularly by reason of fleet angle of wire rope onto the wire rope drum.*

*Key words: swinging of a load, wire rope drum, fleet angle of wire rope*

### 1. ÚVOD

Při výkyvu břemene ve svislé rovině zavěšeném na jeřábovém háku dochází k mírnému zvednutí břemene a tím zvýšení mechanické, potenciální energie břemene, která je nejvyšší v krajních polohách, stejně jako zrychlení břemene. Při šikmé poloze zdvihového lana dochází ke vzniku vodorovné silové složky urychlující břemeno ve směru pojezdu. V případě brzdění a tím pádem opačného výkyvu dochází ke zpoždování břemene. Rovněž dochází k přetížení, resp. odlehčení příslušné nápravy pojižďecího zařízení. Kývání břemene je v drtivé většině aplikací mostových jeřábů nežádoucí, v oboru hutních jeřábů dokonce nepřijatelné, jak uvádí [1, s. 244 - 245].

Výkyv břemene nabývá největších hodnot při rozjezdu jeřábu, poněvadž jeřáb dosahuje vyšších pojezdových rychlostí než jeřábová kočka. Rozjezd je komplikovanější než brzdění, poněvadž hnací síla není hned zpočátku konstantní, což rovněž nepříznivě ovlivňuje kývání břemene.

Kývání břemene je u běžných a procesních jeřábů nepříznivé zejména z důvodu náběhu lana na drážkovaný buben. Při nadměrném výkyvu může dojít k nežádoucímu a nepříznivému smýkání lana o okraj lanové drážky či otírání o sousední závit lana. Je nutné zajistit, aby se lano nepoškozovalo a aby se nezkracovala jeho životnost, jak bude uvedeno dále.

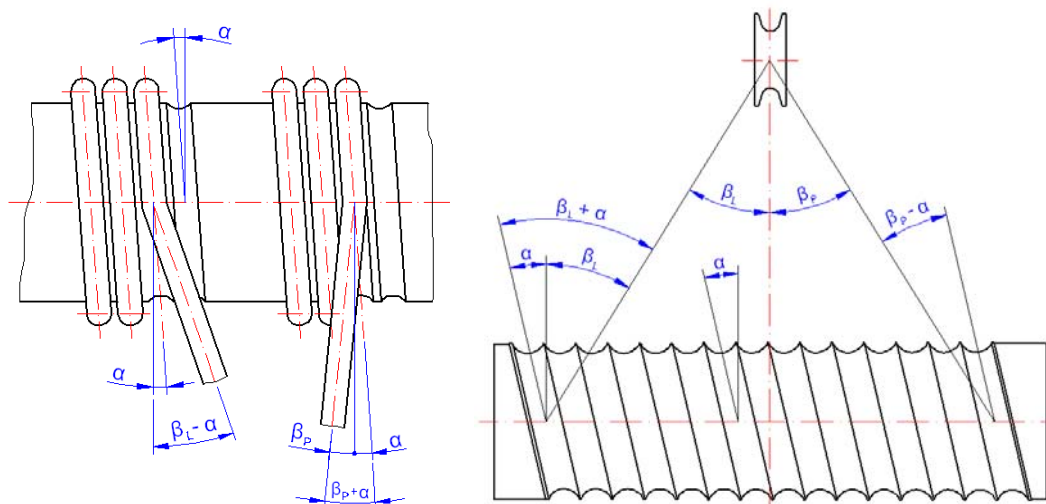
---

<sup>1</sup> Ing. Pavel Vraník, VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ústav dopravních a procesních zařízení, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba, Tel.: + 420 597 321 719, E-mail: [pavel.vranik.st1@vsb.cz](mailto:pavel.vranik.st1@vsb.cz)

## 2. OMEZENÍ VYPLÝVAJÍCÍ Z KÝVÁNÍ BŘEMENE

### 2.1 Náběh lana na drážkovaný lanový buben

Zdvihové ocelové lano, které je navíjeno, resp. odvíjeno z drážkovaného lanového bubnu, resp. lano které je vedeno přes kladky pod určitým úhlem náběhu, se bude zkrucovat odvalováním dolů po boku žlábků v drážce na lanovém bubnu či v kladce, viz obr. 1 [1, s. 110], [2, s.17].



Zdroj: Autor

Obr. 1 – Náběh lana na drážkovaný buben dvou různých provedení

Touto nežádoucí činností se mění stoupání vinutí zdvihového lana a to vede k nepříznivému únavovému zatěžování a nevhodnému navíjení, což snižuje únosnost lana. V krajním případě může dojít až k poruchám konstrukce lana, [2, s.16].

Z těchto důvodů je kladen požadavek na co možná nejnížší náběhové úhly. Dle [2] by náběhové úhly v lanových systémech neměly nabývat hodnot větších než 4 [deg], resp. 2 [deg] u lan netočivých. Navíjí-li se lano na buben ve více vrstvách, což je typické pro jeřáby s vysokou hodnotou výšky zdvihu, je požadováno, aby náběhový úhel u přírub nepřesáhl hodnotu 0,5 [deg] a nedocházelo tak k nahromadění lana.

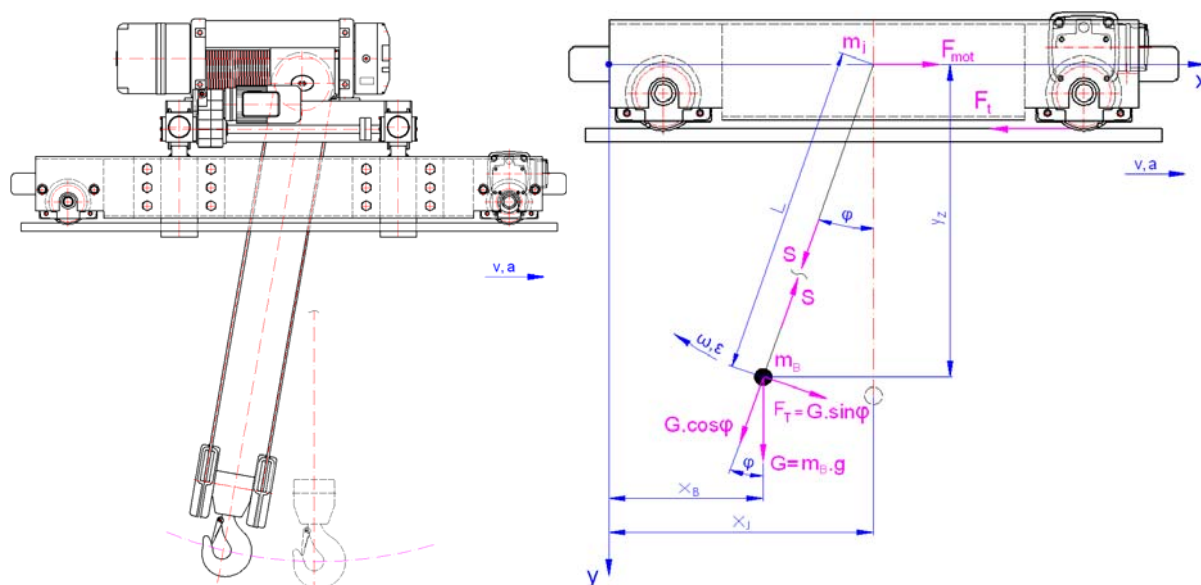
Konstrukční řešení snížení úhlu náběhu může být realizováno:

- zmenšením délky bubnu, popř. zvětšením průměru bubnu
- zvýšením osové vzdálenosti mezi bubny a kladkami
- přesným řízením rozběhu jeřábu  $\Rightarrow$  omezením kývání břemene...

### 2.2 Kývání břemene při rozjezdu mostového jeřábu

Jak již bylo uvedeno v úvodu tohoto příspěvku, břemeno se vlivem setrvačných účinků při rozjezdu jeřábu zpožďuje, což působí nepříznivě na lanový systém. Tento dynamický účinek lze popsat matematickými vztahy dle níže uvedených obrázků obr. 2 a obr. 3.

Nutno ovšem podotknout, že u jeřábů s visutou kočkou není nebezpečnější rozjezd jeřábu, nýbrž kočky, poněvadž při rozjezdu jeřábu bez ohledu na zrychlení nedochází k příčnému vychýlení lan z drážky, nýbrž jen podélnému, což je však přeci jen přijatelnější.



Zdroj: Autor

Obr. 2 – Kývání břemene při rozjezdu mostového jeřábu (zjednodušený model, bez měřítka)

Dle výše uvedeného obr. 2. mají pohybové rovnice následující tvar:

Pohybová rovnice jeřábu:

$$m_j \cdot \ddot{x}_j = F_{mot} - F_t - S \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

Pohybová rovnice břemene ve směru osy  $x$

$$m_B \cdot \ddot{x}_B = S \cdot \sin \varphi - F_T \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Pohybová rovnice břemene ve směru osy  $y$

$$m_B \cdot \ddot{y}_Z = m_B \cdot g - S \cdot \cos \varphi - F_T \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

Dílní vztahy pro vychýlení břemene

$$x_B = x_j - L \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

$$y_Z = L \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

Dílní vztahy (4) a (5) po první a druhé derivaci

$$\dot{x}_B = \dot{x}_j - L \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \quad \text{a} \quad \ddot{x}_B = \ddot{x}_j + L \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 - L \cdot \cos \varphi \cdot \ddot{\varphi} \quad (6)$$

$$\dot{y}_Z = -L \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \quad \text{a} \quad \ddot{y}_Z = -L \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 - L \cdot \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi} \quad (7)$$

Dosazením dílních vztahů po druhé derivaci (6) a (7) do vztahů (2) a (3) dostáváme

$$m_B \cdot (\ddot{x}_j + L \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 - L \cdot \cos \varphi \cdot \ddot{\varphi}) = S \cdot \sin \varphi - F_T \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

$$m_B \cdot (-L \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 - L \cdot \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi}) = m_B \cdot g - S \cdot \cos \varphi - F_T \cdot \sin \varphi \quad (9)$$

Výše uvedené pohybové rovnice břemene upravím tak, abych vyjádřil  $\ddot{\varphi}$  a  $\ddot{x}_j$ .

$$\ddot{\varphi} = \frac{F_{mot} \cdot \cos \varphi - F_T \cdot \cos^2 \varphi - F_t \cdot \cos \varphi - m_B \cdot L \cdot \dot{\varphi}^2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi + (m_B + m_j) \cdot \frac{F_T}{m_B}}{L \cdot (m_B + m_j) - m_B \cdot L \cdot \cos^2 \varphi} - \frac{(m_B + m_j) \cdot g \cdot \sin \varphi}{L \cdot (m_B + m_j) - m_B \cdot L \cdot \cos^2 \varphi} \quad (10)$$

$$\ddot{x}_j = \frac{F_{mot} - F_t - m_B \cdot g \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - m_B \cdot L \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}^2}{m_j + m_B \cdot (1 - \cos^2 \varphi)} \quad (11)$$

což jsou nelineární diferenciální rovnice druhého řádu. Rovnice však lze linearizovat aplikací vztahů platných pro malé úhly. Např. v [5] se uvádí, že při linearizaci  $\sin \varphi \cong \varphi$  pro úhel  $\varphi \leq 14$  [deg] nabývá chyba hodnoty do 1 [%], což je bezesporu přijatelné, poněvadž výkyv břemene by neměl být větší než 6 [deg], jak je uvedeno v [6].

Po linearizaci a dílčích matematických operacích mají již lineární diferenciální rovnice druhého řádu následující tvar:

$$\ddot{\varphi} = \frac{F_{mot} - F_T - F_t - (m_B + m_j) \cdot g \cdot \varphi + (m_B + m_j) \cdot \frac{F_T}{m_B}}{m_j \cdot l} \quad (12)$$

$$\ddot{x}_j = \frac{F_{mot} - F_t - m_B \cdot g \cdot \varphi}{m_j} \quad (13)$$

Dle [3] by měla rovnice popisující chování motoru tento tvar

$$\dot{F}_{mot} = k_1 k_2 u - k_2 k_4 \dot{x}_j - k_3 \cdot F_{mot} \quad (14)$$

Jak uvádí [3], je dále vhodné použít pro řízení polohy modelu jeřábové kočky stavové řízení. Řízení je však již nad rámec jak tohoto článku, tak přímo oboru, resp. zaměření, a tudíž zde nebude uváděno.

### 3. ZÁVĚR

Kývání břemene při rozjezdu mostového jeřábu, resp. jeřábových koček (zejména u visutých koček) je děj, který vždy bude součástí jakékoli změny z klidového stavu či rovnoměrného pohybu, jak uvádí 1. Newtonův pohybový zákon. Vhodným řízením, resp. v první řadě uvědoměním a pochopením dynamických účinků a s pomocí konstrukčních řešení výše uvedených lze bezesporu docílit takové rychlosti rozjezdu, popř. brzdění, aby při jakékoli hodnotě odvinutého lana nedocházelo ke zkrucování lana či kontaktu s ostatními závitů a tím ke snižování životnosti.

Co nejvyšší hodnoty zrychlení, resp. zpomalení, samozřejmě s ohledem na uvedenou problematiku, vedou k vyšší efektivitě jeřábu, vyšší přesnosti manipulace, přičemž zmíněné skutečnosti se projeví obzvláště v případě dlouhých jeřábových drah, na kterých jsou dvounosíkové mostové jeřáby často vzhledem ke své výkonnosti instalovány. A konečně vyšší výkonnost může být a je v dnešní uspěchané době opravdu vítaným prvkem.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F. *Jeřáby, I.díl*. Praha: SNTL, 1974.
- [2] ČSN ISO 4308-1: *Jeřáby a zdvihací zařízení – Výběr ocelových lan – Část 1: Všeobecně*. Český normalizační institut, 2004. ICS 53.020.30.
- [3] NOSKIEVIČ, P., VANĚK, M., STRNAD, K.: *Použití programu MATLAB-Simulink a Virtual Reality toolboxu při návrhu a experimentálním ověření řízení jeřábové kočky*. VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení.
- [4] HRABOVSKÝ, L.: Zdvihací zařízení v teorii a praxi. *Kývání břemene při rozjezdu jeřábového vozíku*, č. 3/2008, s. 28 - 32, ISSN 1802 - 2812, dostupné online z <<http://www.id.vsb.cz/zdvihacizarizeni/default.htm>>
- [5] PODEŠVA, J.: *Dynamika v příkladech*. Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2005, s. 65. ISBN 80-7078-678-7.
- [6] HRABOVSKÝ, L.: Zdvihací zařízení v teorii a praxi. *Volba pojezdového mechanismu, návrh a kontrola příčnicku jednonosíkového mostového jeřábu*, č. 1/2006, s. 30, ISSN 1802-2812, dostupné online z <<http://www.id.vsb.cz/zdvihacizarizeni/default.htm>>
- [7] Kladkostroj GIGA GHM s dvoukolejnicovým pojezdovým vozíkem – katalogový list. Dostupné z <<http://www.gigasro.cz/ke-stazeni-katalogy.html>>