

## SNÍMÁNÍ SIL V LANECH TĚŽEBNÍHO BAGRU

### FORCES MEASUREMENT IN EXTRACTION DIGGER ROPES

Josef ŠTOREK<sup>1</sup>, Jan ŘEZNÍČEK<sup>2</sup>, Milan RŮŽIČKA<sup>2</sup>

#### *Abstrakt*

Obsahem tohoto příspěvku je návrh, vývoj, kalibrace a praktické nasazení snímačů pro stanovení sil v lanech v průběhu těžby. Protože celý systém těžního bagru je poměrně složitý, je vhodné provést jeho optimalizaci. Mezi nejdůležitější patří síly přenášené lany během vytahování břemene z vody. Je třeba identifikovat zatížení jednotlivých lan resp. symetrii těchto zatížení vzhledem ke svislé ose drapáku. K těmto účelům byla vyvinuta dvojice siloměrných členů na bázi odporové tenzometrie, které jsou schopny uvedené síly spolehlivě měřit

**Klíčová slova:** těžba, lano, měření sil, tenzometr.

#### *Abstract*

This paper contains ideas, evolution, calibration and practical use of transducers for ropes forces prediction. The main question of optimize big constructions as this excavator is loading exact identification. The most important forces are forces in ropes in the time of putting the load out of the water. Two force transducers must describe forces in whole process of extraction and describe their symmetry to the vertical axes. The transducers are based on strain gage technology.

**Keywords:** extraction, rope, force measurement, strain gage.

### ÚVOD

Celý tento vývoj byl vyvolán potřebou určité optimalizace celé konstrukce jeřábu, který nese mechanický drapák pro těžbu písku ze dna pískovny. Pro sestavení optimalizačních algoritmů celé konstrukce jeřábu je nutné nejprve přesně popsat její namáhání.

V případě zkoumaného jeřábu dochází logicky k největším rázům a tím k rozkmitání celé konstrukce při vytahování břemena (drapáku s pískem) z vody. Průběh vytahování drapáku z vody můžeme shrnout do tří základních bodů:

1. Největší ráz působí na konstrukci jeřábu při odtržení drapáku ode dna.
2. Během vytahování působí na drapák hydrodynamický odpor vody v závislosti na rychlosti zdvihání a současně hydrostatický vztlak vody s ohledem na zaplavené části zařízení.
3. Při přechodu břemene v úrovni hladina – atmosféra dojde jednak k poklesu zatížení vlivem odtoku vody z drapáku, jednak ke vzniku dynamických sil vzájemným působením vody a ocelové konstrukce drapáku a jednak k zániku hydrostatického vztlaku.

### PŮVODNÍ ŘEŠENÍ

Již dříve výrobce jeřábu síly v lanech měřil, ale pouze staticky při ustáleném chodu těžních lan. Tehdy používaný snímač vycházel z principu ohybu těžních lan přes trojici kladek.

<sup>1</sup> Ing. Josef ŠTOREK, FS ČVUT v Praze, [josef.storek@fs.cvut.cz](mailto:josef.storek@fs.cvut.cz)

<sup>2</sup> doc. Ing. Jan ŘEZNÍČEK, CSc., prof. Ing. Milan RŮŽIČKA, CSc., ÚMBaM, FS ČVUT v Praze, [jan.reznicek@fs.cvut.cz](mailto:jan.reznicek@fs.cvut.cz), [milan.ruzicka@fs.cvut.cz](mailto:milan.ruzicka@fs.cvut.cz)

Lektoroval: prof. Ing. Peter BIGOŠ, CSc., Sjf TU v Košiciach, [peter.bigos@tuke.sk](mailto:peter.bigos@tuke.sk)

Střední kladka byla poměrně složitě umístěna na ohybovém členu, který byl osazen odporovými tenzometry. Protože původní snímače byly konstruovány pro jiný jeřáb a jiné průměry lan, nebylo možné je pro nové měření použít. Předchozí měření byla prováděna pouze na laně hlavního zdvihu a nikoliv na lanech uzavíracího mechanismu drapáku, což však nedávalo objektivní popis skutečných sil, kterými drapák působí na těleso jeřábu.

## NOVÉ ŘEŠENÍ

Požadavky na nové měření byly rozšířeny o dynamické měření celého průběhu těžby a také o kontrolu symetrie silových účinků vzhledem ke svislé ose drapáku. Optimální by tak byla výroba čtyř snímačů (2 těžní a 2 ovládací lana), ale po předběžném rozboru dějů bylo rozhodnuto o použití dvou mobilních snímačů, které budou střídavě přestavovány. Právě z tohoto důvodu byl velký důraz kladen na jednoduchost a snadnou manipulovatelnost obou snímačů. Základem konstrukce je „tuhý“ rám tvořený U-profilem. Osy obou pevných kladek na koncích rámu jsou snadno demontovatelné a umožňují instalaci jiných kladek pro jiné průměry lana. Nosič střední-měřicí-kladky je výškově stavitelný, což umožňuje měnit „zesílení“ snímače a také vlastní kladku je možné změnit podle průměru použitého lana. Princip měření pomocí odporových tenzometrů byl i v nové konstrukci zachován pro možnost jeho poměrně jednoduchého následného zpracování.

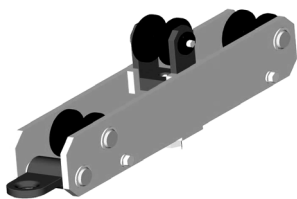


Obr.1 Rameno jeřábu vhodné k umístění snímačů

## NÁVRH SILOMĚRŮ

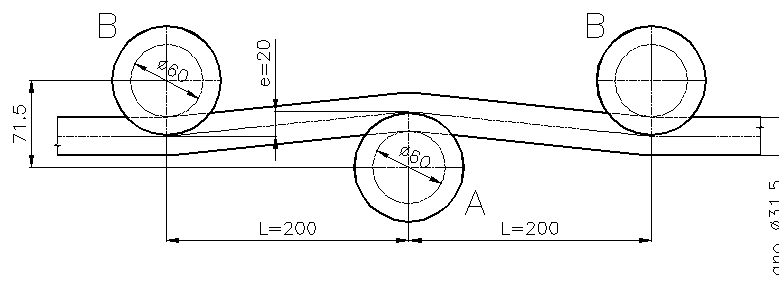


Obr.2 Nosič střední kladky



Obr.3 CAD návrh snímače

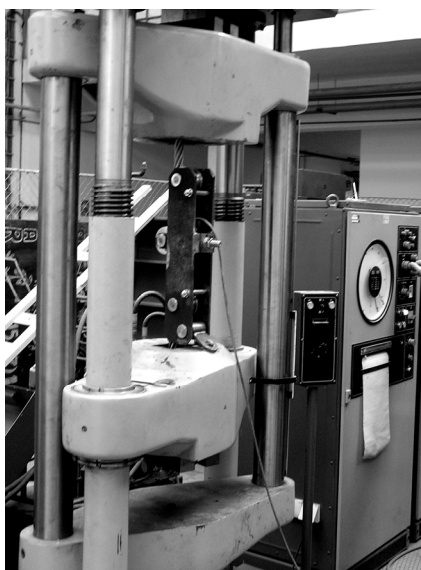
Nosič střední-měřicí-kladky je tvořen šroubem M30, který zajišťuje jeho polohu vůči oběma pevným kladkám. Tento šroub je dominantně namáhán tlakem s možností přídavného ohybu. Ten je vyvozen nedokonalostí resp. třením v lanové kladce. Po předběžném výpočtu na základě statického rozboru a výsledků předchozích měření byl tento šroub ve své horní části zeslaben na průměr  $d = 20$  mm. S ohledem na teplotní samokompenzaci celého snímače a také s ohledem na předpokládané připojení k měřicí aparatuře Spider firmy HBM byly jako měřicí členy pro každý snímač zvoleny vždy dva tenzometrické kříže HBM XY91-1,5/120. Po jejich instalaci na protilehlých stranách průměru zeslabení dřívku přibližně do neutrálné osy možného přídavného ohybu a jejich zapojení do celého mostu, měří tyto tenzometrické kříže již pouze osovou silou. Velikost této síly závisí jednak na síle v laně a jednak na vyosení střední měřicí kladky vůči oběma krajním pevným kladkám. Obrázek nosiče střední kladky včetně jeho zeslabení je na obr.2, celkový pohled na těleso snímače je na obr.3 a výpočtové schéma působení tlakové síly je na obr.4.



Obr.4 Výpočtové schéma snímače

## KALIBRACE SILOMĚŘŮ

Po vyrobení obou snímačů bylo třeba stanovit jejich přesné charakteristiky. Kalibraci obou snímačů jsme prováděli na zatěžovacím stroji (obr.5), který je k dispozici v laboratořích Ústavu mechaniky, biomechaniky a mechatroniky na FS ČVUT v Praze K tomuto účelu jsme použili část lana shodného s lanem použitým jeřábu, kde měla proběhnout vlastní měření. Lano bylo na jednom konci zalito do „kostky“, která umožňovala jeho uchycení do čelistí stroje a druhý konec byl opatřen okem pro jednoduché provlečení horním nosníkem zatěžovacího stroje a jeho zajištění ocelovou tyčí. Před kalibrací byl proveden vždy jeden „stabilizační“ a jeden kontrolní cyklus. Vlastní kalibrace, která sestávala (z důvodu možnosti statistického zpracování) vždy ze tří měřicích cyklů, probíhala v rozmezí 0 – 200 kN s krokem 20 kN. Pomocí lineární regrese byla pro každý snímač stanovena vlastní kalibrační „křivka“. Podle očekávání byly výsledky obou snímačů v celém rozsahu 0 – 200 kN lineární s koeficientem regrese  $R \rightarrow 1$  a navzájem velmi podobné. Také posunutí cejchovní křivky vůči počátku bylo po linearizaci minimální – viz tabulka 1.



Obr.5 Kalibrace snímače

### Kalibrační přímky snímaču

Tabulka 1

1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus	linearizace	R
<b>SNÍMAČ 1</b>				
$y = 132,81 \cdot x + 0,1104$	$y = 133,36 \cdot x + 0,8979$	$y = 133,13 \cdot x + 0,4996$	$y = 133,1 \cdot x + 0,501$	0,998
<b>SNÍMAČ 2</b>				
$y = 131,14 \cdot x + 0,7617$	$y = 132,67 \cdot x + 0,8369$	$y = 131,13 \cdot x + 0,9231$	$y = 131,4 \cdot x + 1,071$	0,997

## VLASTNÍ MĚŘENÍ

Pro vlastní měření bylo nejprve třeba zvolit vhodnou lokalitu, kde je řešený jeřáb při těžbě písku používán. V České republice je mnoho firem, které se zabývají těžbou písku a šterkopísků, ale převážná většina z nich používá při těžbě do hloubek okolo 10 metrů bagry

korečkové. Pouze v lokalitách, kde jsou dostatečná ložiska písku i ve větších hloubkách, se používají bagry drapákové. Lokality tohoto typu jsou Mohelnice (Alas Morava s.r.o.), dále Tovačov (Českomoravské štěrkovny, a.s.), Hulín (Českomoravské štěrkovny, a.s.), Náklo (GZ Sand s.r.o.) a Ostrožská Nová Ves (Dobet, spol. s.r.o.). Jako nejvhodnější z nich byla vybrána provozovna Tovačov, kde rozhodovala zejména možnost snadného uchycení měřicích členů na konstrukci jeřábového bagru a dobrý přístup k těžebním lanům.

Vlastní měření bylo uskutečněno v říjnu ve firmě Českomoravské štěrkovny, a.s., provozovna Tovačov na jeřábu označení DB 6,3 – viz obr.6. Na tomto jeřábu je pro těžbu využíván dvoulanový drapák o dvou nosných lanech a dvou zavíracích lanech.

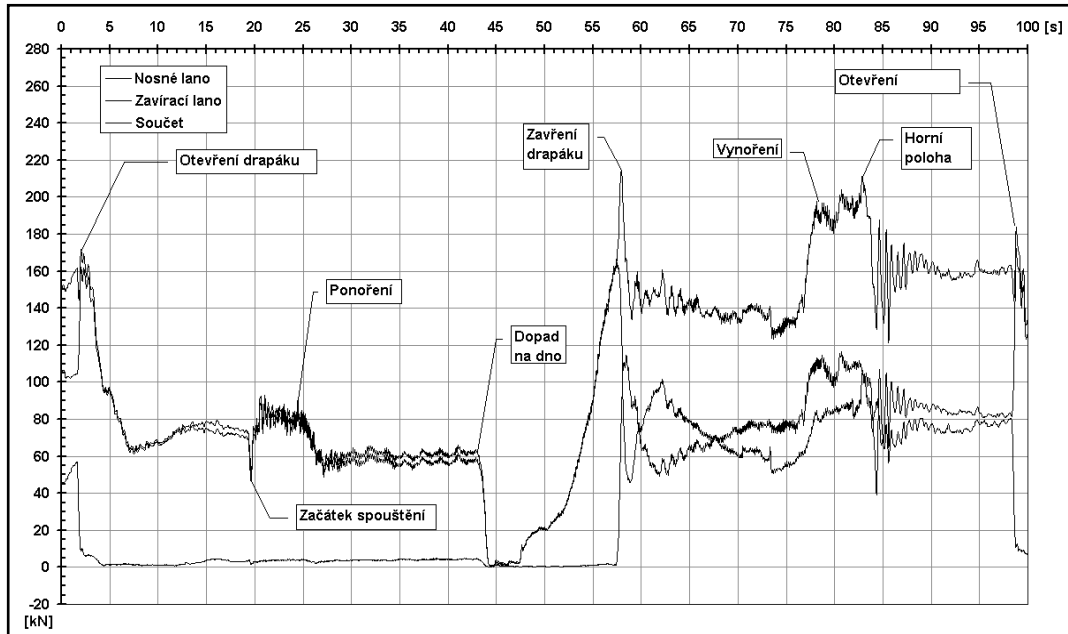


Obr.6 Celkový pohled na jeřáb DB 6,3 v lokalitě Tovačov

## VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Problémem při měření bylo zejména nastavení nulové hodnoty síly v laně, což by bylo možné pouze v případě, že by drapák byl položen na odkládací desku, kde se běžně provádí údržba drapáku. Celá tato operace je ale časově náročná a značně by narušila provoz. Proto byla vzata za základ nulová hodnota síly lana při dopadu drapáku na dno.

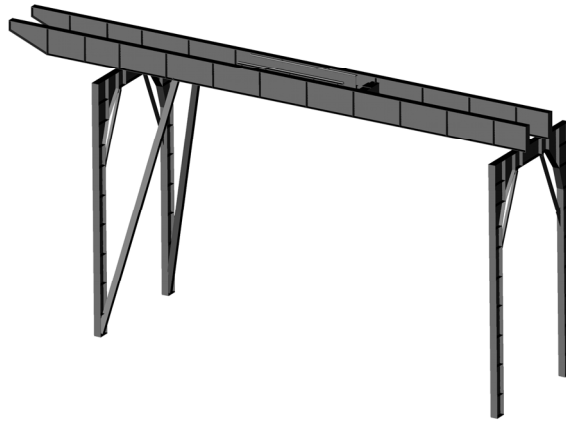
Dalším problémem se ukázalo být zpracování získaných údajů, neboť vzorkování bylo nastaveno na 100 hodnot za sekundu, takže jsme získali pro jedno měření více než 60 tisíc hodnot pro jeden snímač. Protože zobrazení takového objemu dat v programu MS Excel není možné (zobrazuje pouze cca 32 tisíc hodnot), byla z definovaného časového úseku (v tomto případě 0,5 s) vybrána nejvyšší a nejnižší hodnota pro každou měřenou sílu a jí odpovídající čas. V získaném čase byla současně odečtena hodnota pro druhou sílu. Tak byly za daný časový interval (0,5 s) získány 2 maximální a 2 minimální hodnoty (z obou měřených sil) a další 4 hodnoty odečtené v odpovídajícím čase na druhém snímači. Celkem tedy byla všechna měření během půl sekundy nahrazena 8 hodnotami resp. jedna sekunda 16-ti hodnotami. Tím se datový soubor zredukoval na necelých 10 tisíc hodnot, které si však zcela zachovaly svoji vypovídací schopnost. Tímto způsobem zpracovaná data již bylo možno zobrazit v programu MS Excel. Protože první měření ukázala velmi dobrou silovou symetrii jak v obou hlavních lanech tak i v obou pomocných lanech obsluhujících zavírání drapáku, byla vždy výsledná síla stanovena jako dvojnásobek naměřených hodnot. Příklad jednoho měřicího cyklu je na následujícím obr.7.



Obr.7 Jeden měřicí cyklus zatížení nosného a zavíracího lana

## ZÁVĚR

Všechny naměřené hodnoty sil v lanech během těžby odpovídají realitě. Tuto skutečnost lze ověřit z uvedených charakteristik, ať už se jedná o platnost Archimédova zákona, či realitě odpovídající statickému zatížení těžebních lan hmotností drapáku. S pomocí dosažených výsledků můžeme přesně určit, kdy dochází k největším rázům do konstrukce jeřábu. Maximální síla vzniká ve fázi, kdy se čelisti drapáku dovřou a začíná odtrhávání drapáku ode dna. Druhým největším rázem je zpočátku neuvažované dojetí drapáku do horní polohy nad vodní hladinou. Obě síly jsou dynamického charakteru a působí po krátký časový interval. Na počátku projektu uvažovaná fáze přechodu z vodní hladiny do atmosféry neměla na konstrukci jeřábu tak významný vliv.



Obr.8 MKP model konstrukce celého jeřábu

Velikost sil v lanech dosahuje v některých cyklech krátkodobě až 500 kN, což je více jak dvojnásobek nosnosti bagru, která je 20 t. Tento fakt vede k systematickému poškozování ocelové konstrukce jeřábu. Vliv uvedeného přetížení na konstrukci jeřábu bude možné určit MKP výpočtem – viz obr.8.

### LITERATURA

- [1] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: *Jeřáby*. 1.Díl. SNTL Praha, 1974
- [2] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: *Jeřáby*. 2.Díl. SNTL Praha, 1975
- [3] JENČÍK, J., VOLF, J.: *Technická měření*. ČVUT Praha, 2000
- [4] BRZKOVSKÝ, K.: *Experimentální metody měření*. ČVUT Praha, 1993
- [5] SLIVKA, V.: *Těžba a úprava silikátových surovin*. Silikátový svaz, 2002
- [6] MUNSON, B.R., YOUNG, D.F., OKIISKI, T.H.: *Fundamentals of fluid mechanics*. John Wiloy & Sons New York, 1994
- [7] MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT Praha, 2001
- [8] CVEKL, Z., JANOVSÝ, L., PODIVÍNSKÝ, V. – TALÁCKO, J.: *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. ČVUT Praha, 1988
- [7] HERBICH, J.B.: *Handbook of dredging engineering*. Osborne-McGraw-Hill New York, 1992