
Návrh elektrického mechanizmu otáčania výložníka stĺpového žeriava pre manipuláciu s kalovými čerpadlami

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Denis Molnár, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2563

A design of an electric rotating mechanism of a pillar jib crane for manipulation with sludge pumps

Abstract: The article is a continuation of the issue of the technical solution of the hinge for handling sludge pumps in the *Jaslovské Bohunice* nuclear power plant. The main goal is the design of the electric jib rotating mechanism. It was based on the previous proposal for placing the boom consisting of a dimensional calculation of the new support column and the proposal for placing the boom on this column. The save consisted of two bonds. The upper support of the boom was solved using a rolling bearing fixed in the upper part of the column. The bottom bearing contains an axial plain bearing and a fixed gear as part of the rotating mechanism. In the next step, it is necessary to design the attachment of the selected electric motor with a planetary gearbox and a pinion for this construction. The priority in the design will be mainly to observe the axial distance of the gears, but also to consider the mounting method given by the manufacturer and the torque generated by the engine. A holder in which the motor is attached and then attached to the structure will be designed. Thanks to this, the axial distance will be fulfilled. In addition to supporting the motor, the holder also serves as a radial bearing lock, preventing the bearing from being accidentally pulled out. The result of calculations and designs will be 2D diagrams and 3D visualization of the new construction.

Keywords: pillar crane, manipulation, design, functional calculation, loading capacity

ÚVOD

V prevažnej väčšine pracovných oborov, hlavne technických, je nutné v menšej či väčšej miere premiestňovať materiál rozličného charakteru, značne rozdielnej hmotnosti, prepravnej vzdialenosti, pohybujúcej sa od najmenších, približne centimetrových, až do značne veľkých. Zdvíhanie alebo spúšťanie uvažujeme, pokiaľ je smer dopravy

bremien zvislý.

V raných dobách vývoja ľudskej spoločnosti boli tieto práce vykonávané len ľudskou silou, a to spravidla priamym pôsobením. Postupom času so vzostupom požiadaviek vznikali pomocné prostriedky a zariadenia, hlavne na premiestňovanie ťažších bremien, ktorými si človek prácu značne uľahčoval alebo vôbec umožňoval. Týmto zariadeniam dodávali hnaciu silu spočiatku ľudia alebo ťažné zvieratá a to

ešte v dobe, kedy už bola známa možnosť využitia veternej energie alebo energie vody.



Obr. 1. 3D CAD model pôvodného závesu (vľavo) a po úprave s elektrickým otáčaním (vpravo)

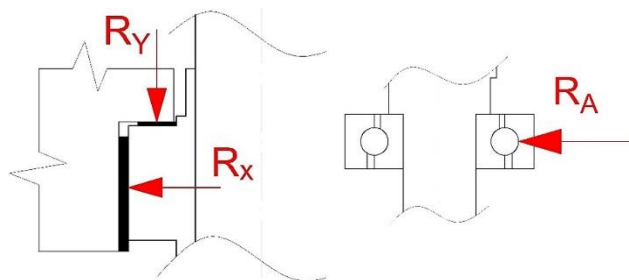
Dnes je situácia pochopiteľne iná. Od ľuďmi a zvieratami poháňaných zariadení, cez vodou poháňané navijaky, parné pohony až po elektrické pohony sme dnes svedkami obrovského rozmachu a rýchleho technického vývoja týchto zariadení. Jeden z najdôležitejších prvkov, ktoré tento vývoj výrazne posunuli vpred, je elektrický pohon. Boli skonštruované výkonné stroje pre najrôznejšie využitie; nosnosť niekoľko sto ton nie je dnes žiadnou zvláštnosťou. Dá sa povedať, že dodnes nie je vývoj zdvíhacích zariadení ukončený, pokiaľ ide o nové typy a druhy strojov, prispôbované novovznikajúcim úkonom transportnej techniky alebo ak ide o spôsob ich obsluhy a vzájomnú koordináciu práce jednotlivých zdvíhacích, resp. dopravných zariadení, ktoré na seba pracovne nadväzujú.

Vertikálna doprava, čiže aj zdvíhacie zariadenia majú v oblasti dopravnej techniky mimoriadny význam. Prudký rozvoj jednotlivých vedných disciplín, výrobných technológií a ich široké uplatnenie v priemysle sa musí nutne prejavovať v koncepcii technického riešenia žeriavov. Všeobecnou snahou je tento rozvoj rešpektovať a vytvárať podmienky pre racionálnu konštrukciu a hospodárnu výrobu žeriavov, rešpektujúcu nové smery v technológii žeriavov a taktiež nové požiadavky na bezpečnosť, estetiku a hygienu práce. Preto je celá konštrukcia výložníka (obr. 1) navrhovaná v duchu šetrenia financií, technologickej nenáročnosti výroby či následnej údržby a taktiež s možnosťou ďalších zmien. Nová konštrukcia by sa po návrhu elektrického navijacieho mechanizmu a ovládania mohla používať napríklad ako diaľkovo ovládaný, jednoúčelový záves na zavádzanie manipulátorov slúžiacich ku kontrole jednotlivých častí parogenerátorov v prostredí s vysokým stupňom rádioaktívneho zamorenia.

Riešený záves kalového čerpadla je navrhnutý pre nosnosť 250 kg (obr. 1 vpravo). To je z dôvodu, aby nebol v prevádzke poškodený ako súčasný s nosnosťou 120 kg (obr. 1 vľavo).

1 NÁVRH ELEKTROMOTORA

Zo známych zaťažení, ktoré boli predstavené v [1] pôsobiacich v oboch ulohzeniach výložníka a účinností boli vypočítané trecie sily a následne moment, ktorý musí elektromotor prekonať.



Obr. 2. Normálové sily v klznom ulohzení (vľavo) a normálová sila vo valivom ulohzení (vpravo)

Ako prvé boli vypočítané trecie sily v klznom a valivom ulohzení (1) (obr. 2):

$$T = R \cdot f, \quad (1)$$

kde T [N] je trecia sila,

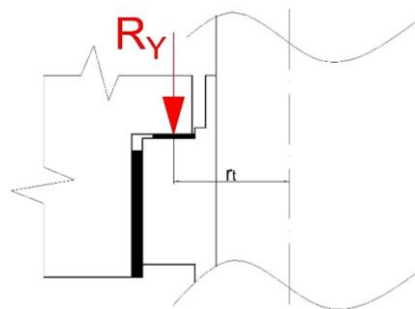
R [N] je normálová sila,

f [-] je súčiniteľ trenia.

Pre klzné ložiská je možné uvažovať súčiniteľ trenia $f_k = 0,04$, pre valivé ložiská $f_v = 0,02$. Dosadením príslušných veličín do vzťahu (1) dostávame:

$$\begin{aligned} T_Y &= R_Y \cdot f_k = 2452,5 \cdot 0,04 = 98,1 \text{ N}, \\ T_X &= R_X \cdot f_k = 3322 \cdot 0,04 = 132,88 \text{ N}, \\ T_A &= R_A \cdot f_v = 3322 \cdot 0,02 = 66,44 \text{ N}. \end{aligned} \quad (2)$$

Ďalším krokom potrebným na výpočet momentu bolo zistiť trecí polomer axiálneho klzného ložiska r_t (obr. 3).



Obr. 3. Zobrazenie trecieho polomeru axiálneho ložiska

Použil sa vzťah (3):

$$r_{ty} = \frac{r_v + r_m}{2}, \quad (3)$$

kde r_{ty} [mm] je hľadaný trecí polomer,

r_v [mm] je veľký polomer ložiska (vonkajší),

r_m [mm] je malý polomer ložiska (vnútorný).

Po dosadení príslušných hodnôt do vzťahu (3) dostávame:

$$r_{ty} = \frac{r_v + r_m}{2} = \frac{65 - 45}{2} = 55 \text{ mm} . \quad (4)$$

Trečí polomer radiálneho ložiska (pre silu R_v) je $r_{rx} = 67,5$ mm a valivého ložiska (pre silu R_A) je $r_{ra} = 18$ mm. Na určenie momentov sa použil vzťah (5):

$$M = T \cdot r_t, \quad (5)$$

kde M [Nm] je hľadaný trečí moment,

T [N] je trecia sila,

r_t [mm] je trečí polomer, na ktorom pôsobí trecia sila.

Dosadením príslušných hodnôt do vzťahu (5) dostávame:

$$M_Y = T_Y \cdot r_{ty} = 98,1 \cdot 0,055 = 5,4 \text{ Nm},$$

$$M_X = T_X \cdot r_{rx} = 132,88 \cdot 0,0675 = 8,97 \text{ Nm}, \quad (6)$$

$$M_A = T_A \cdot r_{ra} = 66,44 \cdot 0,018 = 1,2 \text{ Nm}.$$

Celkový moment M_t [Nm], ktorý treba pri otáčaní prekonať, sa potom rovná (7):

$$M_t = \sum M,$$

$$M_t = M_z + M_x + M_A, \quad (7)$$

$$M_t = 5,4 + 8,97 + 1,2 = 15,57 \text{ Nm}.$$

Vďaka vypočítanému momentu M_t sa mohol ďalej vypočítať výkon P (W), ktorý motor musí mať (8):

$$P = M_t \cdot \omega, \quad (8)$$

kde P [W] je nutný výkon motora otáčacieho ústrojenstva,

ω ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) je uhlová rýchlosť motora.

Na výpočet vzťahu (8) bolo potrebné vedieť veľkosť uhlovej rýchlosti ω . Tá bola vypočítaná pomocou vzťahu (9). Ešte pred tým však boli zvolené maximálne otáčky výložníka $n = 1,5 \text{ min}^{-1}$:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}, \quad (9)$$

kde n (min^{-1}) sú maximálne dovolené otáčky výložníka s kalovým čerpadlom.

Po dosadení príslušných hodnôt do vzťahu (9) a (8) dostávame:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1,5}{60} = 0,157 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (10)$$

$$P = M_t \cdot \omega = 15,57 \cdot 0,157 = 2,5 \text{ W}.$$

Na základe vypočítaných hodnôt sa vybral z katalógu firmy RAVEO [4] jednosmerný motor typu DC s planétovou prevodovkou PM32 LN EC.016.240. Parametre motora s prevodovkou sú uvedené v tab. 1.



Obr. 4. Rôzne pohľady na uchytenie elektromotora do držiaka



Obr. 5. 3D CAD model mechanizmu otáčania výložníka

Tab. 1. Parametre vybraného motora s prevodovkou

DC motor			Planétová prevodovka PM32 LN EC.016.240		
Výkon P_m [W]	Otáčky n_m [min^{-1}]	Výstupný moment motora M_m [Nm]	Prevodový pomer [-]	Výstupné otáčky prevodovky n_p [min^{-1}]	Výstupný moment prevodovky M_p [Nm]
16	3000	35	720,98	4	16,4

Po vytypovaní elektromotora bolo možné zhotoviť jeho 3D vizualizáciu spolu s komponentami potrebnými na jeho uchytenie o konštrukciu výložníka (obr. 4) a tiež model zostavy s predbežným počtom zubov ozubených kolies (obr. 5).

2 NÁVRH OZUBENÉHO PREVODU

Keďže výstupné otáčky z motora s prevodovkou boli $n_p = 4 \text{ min}^{-1}$ a požadované otáčky výložníka boli $n = 1,5 \text{ min}^{-1}$, bola potreba ich dodatočne upraviť pomocou ozubeného súkolesia s určitým prevodovým pomerom. Požadovaný prevodový pomer sa vypočítal pomocou vzťahu (11):

$$i = \frac{n_p}{n}, \quad (11)$$

kde i je potrebný prevodový pomer navrhovaného súkolesia,

n [min^{-1}] sú požadované otáčky výložníka,

n_p [min^{-1}] sú otáčky na výstupe prevodovky.

Po dosadení do vzťahu (12) dostávame:

$$i = \frac{n_p}{n} = \frac{4}{1,5} = 2,666. \quad (12)$$

Pre návrh ozubeného súkolesia bolo potrebné najskôr zistiť veľkosť sily potrebnej na otáčanie výložníka zo vzťahu (13):

$$F_o = \frac{M_t}{r_o}, \quad (13)$$

kde M_t [Nm] je celkový trecí moment, ktorý treba prekonať,

r_o [mm] je rameno na ktorom pôsobí potrebná otáčacia sila,

F_o [N] je sila potrebná na otočenie naloženého výložníka v uvažovanom pôsobisku sily.

Veľkosť ramena z navrhovanej konštrukcie vychádza s hodnotou $r_o = 60 \text{ mm}$. Potom dostávame:

$$F_o = \frac{M_t}{r_o} = \frac{15,57}{0,06} = 259,5 \text{ N}. \quad (14)$$

Modul zubov určíme z podmienky podľa Bacha (15):

$$m = \sqrt{\frac{3 \cdot 74 \cdot F_o}{\Psi_m \cdot \sigma_{oD}}}, \quad (15)$$

kde m [mm] je potrebný modul použitých ozubených kolies,

Ψ_m je koeficient šírky zuba,

F_o [N] je sila potrebná na otočenie naloženého výložníka v uvažovanom pôsobisku sily,

σ_{oD} [MPa] je dovolené ohybové napätie materiálu ozubených kolies.

Hodnota koeficienta šírky zuba $\Psi_m = 10$ bola volená z intervalu $\Psi_m = \langle 10 \div 30 \rangle$. Dovoľené ohybové

napätie bolo volené podľa materiálu ozubených kolies, t. j. oceľ C45 (STN 12 500), $\sigma_{oD} = 110 \text{ MPa}$. Dosadením príslušných hodnôt do vzťahu (15) vyšiel modul:

$$m = \sqrt{\frac{3 \cdot 74 \cdot F_o}{\Psi_m \cdot \sigma_{oD}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 74 \cdot 259,5}{10 \cdot 110}} = 0,93 \text{ mm}. \quad (16)$$



Obr. 6. Detail klzného uloženia spolu s mechanizmom otáčania výložníka (hore) a celkový pohľad na navrhnutú konštrukciu (dole)

Zvolený bol modul $m = 1$ mm. Z technologického hľadiska pripevnenia ozubeného kolesa o nosnú časť (lisovanie, zváranie) bolo vybrané koleso z katalógu firmy FISATECH [5] s počtom zubov $z_1 = 120$. Pastorok z hľadiska dodržania požadovaného prevodového pomeru $i = 2,666$ vyšiel s počtom zubov $z_2 = 45$. Posledným výpočtom dôležitým pre umiestnenie elektromotora s pastorkom bola osová vzdialenosť a (17):

$$a = \frac{(z_1 - z_2) \cdot m}{2}, \quad (17)$$

kde a (mm) je navrhovaná osová vzdialenosť ozubených kolies,

z_1, z_2 sú počty zubov jednotlivých kolies.

Dosadením príslušných hodnôt do vzťahu (17) dostávame:

$$a = \frac{(z_1 - z_2) \cdot m}{2} = \frac{(120 - 45) \cdot 1}{2} = 82,5 \text{ mm}. \quad (18)$$

Po výpočtoch bolo možné uskutočniť 3D vizualizácie konštrukčného návrhu (obr. 6).

ZÁVER

Článok je pokračovaním výskumu a návrhu optimálneho závesného a manipulačného prostriedku použitého v jadrovej elektrárni *Jaslovské Bohunice*. Tento prostriedok slúžil a bude slúžiť pre manipuláciu s kalovými čerpadlami. Doteraz bol vykonaný opis pôvodného riešenia a boli definované problémy vzniknuté v praxi. Bol uskutočnený výpočet sily na kľuke navijacieho zariadenia potrebnej na zdvih bremena. Pretože je požiadavka daný záves navrhnuť s elektrickým otáčaním, bolo v tomto článku potrebné v prvom rade navrhnuť uloženie výložníka. To je jednak aj z dôvodu nevyhovujúceho stavu pôvodnej konštrukcie. Problém s nosnosťou žeriava, ktorý sa objavil v praxi počas riešenia práce, poskytol možnosť zakomponovať riešenie tohto problému do obsahu práce. Riešenie pozostávalo z dimenzionálneho návrhu nového nosného stĺpa, keďže sa logicky uvážilo, že chybou pôvodnej

konštrukcie bolo hlavne nadmerné namáhanie na ohyb práve v miestach vertikálnych častí konštrukcie. Konštrukcia pôvodného výložníka ostala rovnaká. Po nadimenzovaní nového nosného stĺpu sa pokračovalo v návrhu uložení. Horné uloženie výložníka bolo vyriešené prostredníctvom valivého uloženia, ktoré predstavovalo valivé ložisko vložené spolu s poistným krúžkom a tesnením v ložiskovom bloku prichytenom na vrhnej časti stĺpa. Spodné uloženie bolo navrhované s cieľom vytvoriť spoločný blok obsahujúci jednak samotné uloženie výložníka a taktiež mechanizmus otáčania výložníka. Výsledkom návrhu bola nosná neotočná konštrukcia pripevnená z vonkajšej časti o stĺp, schopná prenášať sily od výložníka do stĺpu, ktorá obsahuje axiálne klzné ložisko a pevné ozubené koleso. Druhú časť bloku tvorí otočná časť spojená s výložníkom, nesúca radiálne, klzné ložisko. Návrh ozubeného kolesa bol cieľom daného príspevku. Cieľ možno považovať za splnený.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu KEGA 031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

LITERATÚRA

- [1] BLATNICKÝ, M. (2015): *Dopravné a manipulačné zariadenia: riešené príklady*. 1. vyd., Žilina: Žilinská univerzita, 120 s. ISBN 978-80-554-1625-0.
- [2] REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. a kol. (1974): *Jeřáby*, 1. díl. Praha: SNTL, 645 s.
- [3] REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. a kol. (1975): *Jeřáby*, 2. díl, Praha: SNTL, 562 s.
- [4] RAVEO (2023): *Elektromotory*. Online: <https://www.raveo.cz/motory>.
- [5] FISATECH (2023): *Ozubené diely*. Online: <https://www.fisatech.sk/kategorie-produktu/ozubene-kolesa-ozubene-tyce/>.