ANALÝZA PRACOVNÍCH CYKLŮ VĚŽOVÝCH JEŘÁBŮ

ANALYSIS OF TOWER CRANES WORKING CYCLES

Dita Kurková^{*,1}

^{*}175865@vutbr.cz

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb, Veverí 331/95, Brno

Abstrakt

Věžové jeřáby jsou velmi často používaným zvedacím mechanismem při realizaci pozemních staveb. Jejich správným návrhem a koordinací je možné dosáhnout časové i finanční efektivnosti výstavby a snížit bezpečnostní rizika vznikající provozem jeřábu. Tento článek se zabývá postupem měření pracovních cyklů věžových jeřábů s cílem provést analýzu zaznamenaných pracovních směn pro vybrané dílčí stavební procesy, stanovit dobu činnosti jeřábu pro jednotlivé dílčí stavební procesy a provést statistické vyhodnocení naměřených hodnot. Naměřené hodnoty budou sloužit jako vstupní data pro následující výzkum, který se bude zabývat návrhem simulačního matematického modelu práce soustavy věžových jeřábů pro posouzení technologické výkonnosti soustavy věžových jeřábů v návaznosti na časový plán výstavby.

Klíčová slova

Věžové jeřáby, zvedací mechanismus, časové plánování výstavby, staveniště, časové posouzení věžového jeřábu

Abstract

Tower cranes are a commonly used lifting mechanism in the field of construction. It is possible to achieve the time and financial efficiency of construction and reduce safety risks by their correct design and coordination. This article describes a procedure of measuring the working cycles of tower cranes in order to analyze the recorded work shifts for selected partial construction processes, determine the duration of crane operation and perform a statistical evaluation of the measured values. The measured values will serve as input data for the following research, which will deal with the design of a simulation mathematical model of the tower crane system to assess the technical performance of the tower crane system in relation to the construction schedule.

Key words

Tower cranes, lifting mechanism, construction scheduling, construction site, time assessment of a tower crane

1 ÚVOD

Věžové jeřáby patří ve stavební výrobě mezi nejčastěji používané typy zvedacích mechanismů. Správné plánování práce věžových jeřábů hraje důležitou roli pro plynulý průběh a finanční efektivitu stavebních projektů. Dále je nutné brát ohled i na bezpečnost práce. Návrh optimálního schématu plánování věžových jeřábů, zvláště při použití více jeřábů na jednom staveništi, se obvykle považuje za složitý optimalizační problém.

Cílem tohoto článku je získání vstupních dat pro následující výzkum, který se bude zabývat návrhem simulačního matematického modelu práce soustavy věžových jeřábů pro posouzení technologické výkonnosti soustavy věžových jeřábů v návaznosti na časový plán výstavby. Těmito vstupními daty jsou doby trvání pracovních cyklů jeřábu pro dílčí stavební procesy související s realizací ŽB nosné konstrukce bytových domů.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉHO ÚKOLU A SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

Časovým plánováním a efektivním využitím stavebních strojů se v minulosti zabývalo mnoho autorů. Co se týče věžových jeřábů, většina zahraničních autorů se věnuje především problematice jejich rozmístění na staveništi

a návrhu jejich typu, minimálně však jejich empirickému návrhu z hlediska efektivního nasazení a časových požadavků na výstavbu.

Příkladem zabývajícím se touto problematikou je práce Ch. Huanga, který ve své studii navrhuje způsob pro výběr a optimalizaci umístění věžového jeřábu v souvislosti s poměrem prefabrikace, za účelem snížení nákladů a zkrácení doby výstavby. Ve studii je navržen model a algoritmus pro určení rozsahu umístění jeřábu na základě lokalizačního vztahu mezi umístěním jeřábu, místem dodávky a poptávky prefabrikovaného břemene a prefabrikačního poměru. Studie zahrnuje i výpočet finančních nákladů na jeřáb a teoretický výpočet doby přepravy břemene [1].

Jedním z autorů v ČR, který se zabývá tématem optimalizace zvedacích mechanismů na staveništi, je J. Šťastný, který ve svém článku představuje software pro usnadnění výběru mezi mobilním a věžovým jeřábem pro konkrétní stavbu, s ohledem na typ budované konstrukce, technologii výstavby a požadavky na dobu výstavby. Mezi další vstupní data patří i hmotnost přepravovaného nákladu a přepravní výška [2].

Do návrhů efektivního využití strojů a jejich lokalizace vstupuje i BIM technologie. B. Dasović ve svém příspěvku prezentuje využití BIM technologie pro optimální umístění věžových jeřábů a skladovacích ploch na staveništi. Vstupními parametry optimalizačního modelu jsou souřadnice skladovacích ploch materiálu a míst dodávek materiálu, souřadnice možných poloh věžového jeřábu, počet a typ dostupných věžových jeřábů, souřadnice budovy a obvod staveniště. Cílem je zkrácení pracovního cyklu jeřábu a úspora finančních nákladů [3].

K. Wu a B. García de Soto ve své studii [4] navrhují časoprostorové modelování plánování úkolů zvedání pro věžové jeřáby. Cílem je návrh optimálního plánování úkolů zvedání z hlediska minimálního celkového času. Za tímto účelem byl vytvořen optimalizační model plánování úkolů zvedání s vyhledáváním zakázaných oblastí pro pohyb jeřábu a struktury alternativního řešení v případě jednoho a více věžových jeřábů. Dále je zde zavedena metoda zobrazení plánování úkolů zvedání pomocí 4-D simulace, tj. s využitím BIM. Toto umožňuje intuitivně a efektivně zobrazit informace o zvedaných břemenech a vztahů mezi úkoly zvedání [4].

V jiném článku K. Wu navrhuje rámec založený na BIM pro generování požadavků na vertikální dopravu během výstavby výškových budov. Rámec je založen na stanovení informací o vertikální přepravě stavebních materiálů, generování informací o vertikální přepravě dočasných stavebních materiálů, propojení plánu projektu se stavebními materiály, generování informací o vertikální přepravě stavebních dělníků, určení způsobu vertikální dopravy stavebních materiálů a generování požadavků na vertikální dopravu [5].

Výše uvedení autoři při časovém plánování jeřábu vycházeli ze vstupních dat získaných především výpočtem při zohlednění např. rychlosti zvedání břemene, rychlost výložníku, vzdálenost místa upevnění břemene a místa vyložení a další. V projektu, který navazuje na tento článek, bude vycházeno i z hodnot naměřených na skutečném staveništi, které poslouží k porovnání s hodnotami výpočtovými. Metody pro řešení tohoto projektu jsou analýza okrajových podmínek a vstupních dat pro vytvoření metodiky a pro matematické modelování, porovnání naměřených a teoreticky určených hodnot vstupních dat, vlastní modelování a simulace práce věžových jeřábů. Dále implementace okrajových podmínek do matematického modelování a programování pro softwarové zpracování simulačního modelu.

Jako související práce lze považovat i práce zabývající se plánováním jiných stavebních mechanismů, jako např. strojů pro zemní práce.

K. Tijanić provedl výzkum s cílem prozkoumat rozdíly mezi plánovanou a skutečnou efektivitou práce rypadel při nakládání zeminy na nákladní automobily. Dalším cílem bylo vyhodnotit, jak souvisí finanční efektivita při provádění zemních prací s udržitelností [6].

H. C. Lee se zabýval návrhem výpočetní metody Eco-Economic Excavator Configuration (E3C), která vybírá nejprůběžnější konfiguraci velkých rypadel na základě skupiny (pracovního balíčku) zemních prací a pracovních podmínek. Vstupní data pro E3C jsou získány z externích databází a na jejich základě jsou odvozeny vzorce pro výpočet výkonu rypadel (např. výkon, termín dokončení procesu a finanční zisk) [7].

3 METODIKA URČENÍ PRACOVNÍCH CYKLŮ

V této části je popsán způsob určení pracovních cyklů jeřábu pro jednotlivé dílčí stavební procesy (dále DSP) při realizaci ŽB monolitických konstrukcí (stěny, sloupy, strop). Jedná se o 3 kroky: (1) získání vstupních dat, (2) zpracování naměřených hodnot do šablony a (3) statistické vyhodnocení naměřených hodnot. Získání vstupních dat. Referenční stavbou, na které byla měření provedena, je novostavba tří bytových domů, které jsou součástí projektu Maloměřické nábřeží v Brně (Obr. 1). Bytové domy jsou o půdorysných rozměrech cca 60 × 20 m o jednom podzemním a čtyřech nadzemních podlaží. Konstruktivní systém BD je kombinovaný (ŽB monolitické sloupy a stěny). Stropy jsou tvořeny ŽB monolitickými deskami. Obvodový plášť BD je zděný z keramických tvárnic.

Obr. 1 Objekt bytového domu a záznam z časosběrného zařízení pořizujícího sekvenční snímky.

K dispozici byly záznamy od 19. 4. 2018 do 5. 12. 2019, které byly pořízeny časosběrnými zařízeními pořizujícími sekvenční snímky umístěnými na staveništi. Ve většině případů jeden záznam obsahuje jednu pracovní směnu. Vyjíměčně je jedna pracovní směna rozdělena do dvou záznamů. V dosavadním bodě tohoto výzkumu bylo prozatím vyhodnoceno 16 záznamů.

Základním předpokladem získání vstupních dat je cyklická práce jeřábu. Jeden pracovní cyklus jeřábu můžeme rozdělit na upínání břemene v místě A, přesun břemene z místa A na místo B, odepínání břemene na místě B, přesun prázdného jeřábu na výchozí místo A (Obr. 2 a Obr. 3). V případě odbedňování se bude jednat o přesun břemene z místa B na místo A.

Obr. 2 Pracovní cyklus jeřábu.

Obr. 3 Grafické znázornění pracovního cyklu VJ

Řešenými prováděnými DSP jsou montáž bednění, výztuž, betonáž a odbednění. Sledovanou hodnotou je doba pracovních cyklů jeřábu T_t . Pro výpočet doby T_t byl použit vztah (1).

$$T_t = t_m + t_r \quad (1)$$

kde T_t je celková doba jednoho pracovního cyklu jeřábu (total). t_m je čas, kdy jeřáb obsluhuje ve sledovaném cyklu konkrétní DSP (manipulation), resp. doba od začátku upínání břemene na místě A po konec odepnutí břemene na místě B. t_r je čas, kdy jeřáb již neobsluhuje ve sledovaném pracovním cyklu konkrétní DSP (return),

vrací se zpět k bodu zavěšení (A), resp. doba od konce odepnutí břemene v bodě B po dokončení návratu vežového jeřábu do místa A (výchozí bod).

Zpracování naměřených dat do šablony

Po prohlédnutí všech 16 záznamů a zaznamenání časů začátků a konců t_m a t_r bylo provedeno odečtení těchto časů s výsledkem dob trvání t_m a t_r . Tyto hodnoty byly pro každý cyklus sečteny a získány hodnoty T_i . V tabulce se zapsanými pracovními cykly pro každý záznam byly tyto cykly rozděleny dle jednotlivých DSP. např. u provádění stropu se jedná o montáž bednění stropu, vyztužování stropu, betonáž a demontáž bednění stropu. Stejně rozdělení platí pro ŽB sloupů a ŽB stěn. Rozdělené hodnoty byly zpracovávány do vzorových šablon.

Pro bednění stropních konstrukcí bylo použito nosníkové stropní bednění MULTIFLEX od firmy Peri s r.o. Jeřábem byly přepravovány palety se stropními stojkami, nosníky a bednicími deskami. Pro bednění sloupů a stěn bylo použito rámové bednění TRIO, také od firmy Peri s r.o. V tomto případě byly přepravovány buď samostatné stěnové panely po jednom, nebo více stěnových panelů, které byly již dopředu spojeny v jeden větší panel. Betonáž byla prováděna bádii na beton o objemu 1000 l. Výztuž byla přepravována po svazcích.

Statistické vyhodnocení naměřených dat

Získané soubory hodnot T_i , t_m a t_r byly statisticky vyhodnoceny. Ze všech hodnot pro každý DSP zvlášť byly vypočteny následující statistické údaje: vážený průměr, minimální hodnota, maximální hodnota, modus, medián a směrodatná odchylka.

4 VÝSLEDKY

V této části jsou uvedeny vybrané základní statistické údaje souboru naměřených hodnot hodnot T_i , t_m a t_r . Průměrné doby trvání pracovních cyklů jeřábu v minutách pro jednotlivé DSP jsou uvedeny v Tab. 1. Zde jsou uvedeny i počty měřených pracovních cyklů pro každý DSP. Dále jsou v Tab. 2 jsou uvedeny hodnoty mediánů a nejčastěji vyskytující se hodnoty (modus).

Tab. 1 Vážené průměry pracovních cyklů jeřábu pro jednotlivé DSP v minutách vč. počtu naměřených cyklů.

	Počet cyklů	t_m	t_r	T_i
Montáž bednění stěn	262	5	5	10
Demontáž bednění stěn	138	5	1	6
Výztuž stěn	15	3	10	13
Montáž bednění stropu	80	4	8	12
Výztuž stropu	53	3	8	12
Montáž bednění sloupů	6	12	5	17
Betonáž sloupů	7	6	2	9

Tab. 2 Hodnoty mediánů a modusů pracovních cyklů jeřábu pro jednotlivé DSP v minutách.

	Medián			Modus		
	t_m	t_r	T_t	t_m	t_r	T_t
Montáž bednění stěn	4	1	5	2	0	4
Demontáž bednění stěn	4	0	4	4	0	4
Vyztužování stěn	2	1	3	2	1	3
Montáž bednění stropu	3	2	5	3	1	4
Vyztužování stropu	3	3	6	2	1	3
Montáž bednění sloupů	12	2	14	14	1	15
Betonáž sloupů	6	3	9	4	4	11

Obr. 4 Bodový graf statistického vyhodnocení hodnot T_t v minutách.

5 DISKUZE

Z výsledků je patrné, že hodnoty medián a modus pracovních cyklů jeřábu pro jednotlivé DSP dosahují podobných hodnot, a proto je možné tyto hodnoty považovat relevantní. Naopak hodnoty vážených průměrů se od hodnot mediánů a modusů často liší, a to z důvodu občasných delších prostojů práce jeřábů.

Výsledky získané statistickým vyhodnocením skutečně naměřených hodnot nesplňují předpoklad, že by doba t_m pro montáž bednění stěn měla být výrazně delší, než pro vyztužování. U montáže bednění stěn se předpokládá navýšení doby t_m z důvodu nutnosti natření stěnového panelu odbedňovacím přípravkem, zatímco je upnut na

jeřábu, a po přesunu na místo montáže stabilizace tohoto prvku. Naopak u vyztužování se jedná pouze o upnutí svazku výztuže, přesun a odepnutí. Z tohoto důvodu by bylo vhodné před statistickým vyhodnocením z naměřených originálních dat vypustit například maximální a minimální hodnoty, které se nadměrně liší od vážených průměrů. Dále by bylo vhodné provést obdobné měření pro další referenční stavby.

6 ZÁVĚR

Výstupem úvodní části výzkumu věnující se časovému plánování a koordinaci věžových jeřábů je statisticky vyhodnocený soubor hodnot, které představují doby pracovních cyklů jeřábů. Tyto hodnoty jsou vstupními daty pro následující výzkum, který se bude zabývat návrhem simulačního matematického modelu práce soustavy věžových jeřábů pro posouzení technologické výkonnosti soustavy věžových jeřábů v návaznosti na časový plán výstavby. Po statistickém vyhodnocení naměřených originálních dat bylo zhodnoceno, že by se z originálních dat před dalším zpracováním a pokračováním výzkumu měly vypustit některé maximální a minimální hodnoty.

Poděkování

Výsledky uvedené v článku byly získány v rámci řešení projektu specifického výzkumu FAST-S-21-7374 fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Použité zdroje

- [1] HUANG, Chunlei a kol. Optimal selection and location of tower crane for the construction of prefabricated buildings with different prefabrication ratios. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. Kavala Institute of Technology, 2019, 12(6), 173–181. ISSN:1791-9320. Doi: 10.25103/jestr.126.22
- [2] ŠTASTNÝ, Jiří a MOTYČKA, Vít. Design Optimization of Lifting Mechanisms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/471/6/062032
- [3] DASOVIĆ, Borna, GALIĆ, Mario a KLANŠEK, Uroš. Active BIM Approach to Optimize Work Facilities and Tower Crane Locations on Construction Sites with Repetitive Operations. *Buildings*. MDPI, 2019, 9 (1), ISSN: 20755309. Doi: 10.3390/buildings9010021
- [4] WU, Keyi a GARCÍA DE SOTO, Borja. Spatiotemporal Modeling of Lifting Task Scheduling for Tower Cranes With a Tabu Search and 4-D Simulation. *Frontiers in Built Environment*. Frontiers Media S.A., 2020, 6. ISSN 22973362. Doi:10.3389/fbuil.2020.00079
- [5] WU, Keyi a kol. Automatic generation of the vertical transportation demands during the construction of high-rise buildings using BIM. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC*. 2019, 99–106.
- [6] TIJANIĆ, Ksenija a kol. Analysis of the Construction Machinery Work Efficiency as a Factor of the Earthworks Sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019, 222 (1). ISSN 17551307. Doi: 10.1088/1755-1315/222/1/012009
- [7] LEE, Hong-chul a kol. Eco-economic excavator configuration method. *Automation in Construction*. Elsevier, 2018, 86, 138–149. ISSN: 09265805. Doi: 10.1016/j.autcon.2017.11.006