

# SIMULAČNÍ MODEL PRO POSOUZENÍ ČASOVÉHO VYTÍŽENÍ VĚŽOVÝCH JEŘÁBŮ

## SIMULATION MODEL FOR APPRAISAL THE TIME LOAD OF TOWER CRANES

Jiří Štátný\*,<sup>1</sup>

\*stastny.j@fce.vutbr.cz

<sup>1</sup>Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno

### Abstrakt

Dosavadní využití metodik návrhu stacionárních jeřábů je ve stavební praxi značně omezeno / nevyužito. Závislost na specifických okrajových podmínkách stavby je stěžejní pro vhodný návrh jeřábů. V současnosti používané postupy při návrhu jeřábu vycházejí z různých vstupních ukazatelů, které pouze velmi orientačně charakterizují požadavky pro přepravu materiálů. Cílem inovace je navrhnout simulační model na posouzení vytiženosti věžových jeřábů na stavbě pozemních objektů a jeho počítačové zpracování. Dílčím cílem bude jednak příprava podkladů, okrajových podmínek a vstupních dat pro tento simulační model a dále průzkum možnosti využití existujících simulačních modelů pro řešení tohoto úkolu a jejich případného využití.

### Klíčová slova

Jeřáb, inovace, čas, simulace, model

### Abstract

The existing use of the methodology of stationary crane design is considerably limited / unused in building practice. Dependence on the specific boundary conditions of the building is crucial for a suitable crane design. The currently used crane design procedures are based on a variety of inputs that only very roughly characterize requirements for the transport of materials. The aim of the innovation is to propose a simulation model for the assessment of the tower crane load capacity in the construction of the ground buildings and its computer processing. The partial aim is to prepare the bases, boundary conditions and input data for this simulation model and to explore the possibility of using existing simulation models to solve this task and their possible use.

### Key words

Crane, innovation, time, simulation, model

## 1 ÚVOD

Zvedací prostředky, mezi které řadíme věžové jeřáby a automobilové jeřáby, jsou rozhodujícími mechanismy při realizaci objektů v pozemním stavitelství. Jejich volba a způsob využití má podstatný vliv na průběh celé stavby, především na finanční náklady na výstavbu a dodržování harmonogramu stavby. Přesto je této skutečnosti mezi zhotoviteli a investory věnováno malé pozornosti. Často se stává, že jeřáby jsou na stavbě časově nevytižené nebo naopak nejsou schopny zásobovat v plánovaném tempu výstavby. To může vést k nežádoucím prostojům, zpomalování výstavby a neplnění smluvních podmínek včetně vážných ekonomických důsledků. Z toho důvodu jsme se na Ústavu technologie, mechanizace a řízení staveb rozhodli zabývat možností posouzení časového vytižení věžových jeřábů při realizaci objektů pozemního stavitelství.

Vstupní data, která nám pomohou vytvořit simulační model na posouzení vytiženosti věžových jeřábů na stavbách pozemních objektů, tj. zda sekundární doprava věžovými jeřáby odpovídá požadavkům na přepravu materiálu dle časového plánu probíhajících dílčích stavebních procesů, získáme sledováním časového nasazení zvedacích prostředků na konkrétních stavbách pozemního stavitelství.

## 2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU

Současné metody návrhu zvedacích prostředků vychází z různých vstupních ukazatelů, které orientačně charakterizují požadavky na přepravu materiálů a podle kterých dosahujeme výsledků různé kvality. Tyto výsledky jsou velmi přibližné. Nejsou dostatečně posuzovány kapacitní možnosti navrhovaných jeřábů zásobovat stavební procesy v požadovaném čase. Jedná se např. o metodu odhadu potřebné doby nasazení jeřábu. Tato metoda vychází z obestavěného prostoru stavby a poměrné hmotnosti stavby v  $t/m^3$  pro daný konstrukční systém objektu. Určí se orientační hmotnost objektu. Předpokládá se, že 80% materiálu bude přemístováno jeřábem. Dále se předpokládá, že jeřáb přemístí na konci výložníku 1t v jednom pracovním cyklu za cca 6 minut. Z toho lze vyjádřit čistou potřebnou dobu na přesun materiálu. Tato lhůta se opraví koeficientem skutečných možností využití pracovní doby, případně dalšími koeficienty. V současné době nejsou dostupné metody zcela vyhovující a ukazuje se potřeba hledat způsoby přesnější, podložené skutečnými požadavky na zásobování právě probíhajících stavebních procesů s ohledem na jejich časový průběh [1].

Získání vstupních dat pro simulační model je poměrně pracné a časově náročné. Od roku 1995 se nikdo v České republice systematicky nezabývá zpracováním výkonových norem dílčích stavebních procesů (DSP) a strojohodin.

## 3 METODIKA

Tvorba simulačního modelu je rozdělena na teoretickou část a experimentální část. V teoretické části stanovíme teoretickou dobu pracovního cyklu zvedacího prostředku. V experimentální části bude provedeno ověření teoretického výpočtu pracovního cyklu pro jednotlivé DSP.

### Teoretická část

V teoretické části simulačního modelu stanovíme spotřebu času zvedacího prostředku, která je nutná pro zhotovení uceleného záběru.

Čas je členěn na: - čas práce s jeřábem –  $t_c$ ,  
- čas práce bez jeřábu –  $t_p$

$$T_T = t_c + t_p \quad (1)$$

Postup teoretické části:

- schematicky zakreslit řešenou ucelenou část,
- výpis spotřeby materiálu pro jednotlivé DSP,
- stanovit počet cyklů jeřábu,
- stanovení pracovní čety,
- postup organizace práce – v členění na pracovní pochody na konkrétní ucelené části.

V závislosti na zvolených výkonových normách bude stanovena:

- celková spotřeba času pro ucelenou část,
- rozdělení jednotlivých pochodů na práci s a bez jeřábu,
- časově ohodnotit spotřebu času pro jednotlivé pochody s členěním času na práci s a bez jeřábu.

Výsledkem teoretické části bude určení časů  $t_c'$  a  $t_p'$  pro jednotlivé pochody, stanovíme vzorový cyklus pro DSP a určíme celkovou spotřebu času  $T$  pro ucelenou část.

### Experimentální část

V experimentální části simulačního modelu ověříme teoretickou část v praxi. Ověříme čas přesunu břemene, a to následujícím způsobem:

- na výkresu situace stavby znázorníme polohu zvedacího prostředku a polohu řešeného břemene,
- určíme způsob a dobu uvázání břemene,
- změříme dobu přesunu materiálu,
- změříme dobu odpojení úvazu s břemenem,
- změříme dobu vracení výložníku a závěsu do výchozí polohy.

Jakmile budou známy jednotlivé doby, stanovíme dobu pracovního cyklu zvedacího prostředku:  $T_E = t_c + t_p$ .

Teoretickou dobu pracovního cyklu zvedacího prostředku  $T_T$  porovnáme s experimentálně určenou dobou pracovního cyklu zvedacího prostředku  $T_E$ . Zjištěné doby pracovního cyklu budou archivovány podle jednotlivých DSP a následně budou použity pro zhotovení simulačního modelu.

V současné době se pracuje na shromažďování vstupních dat a jejich vyhodnocení, jedná se o časově velmi náročnou práci. Jakmile bude shromážděno dostatečné množství vstupních dat, bude vypracována metodika pro simulační model [2].

### Shromažďování vstupních dat

Data jsou získávána pomocí časosběrného snímkování, která zachycuje jednotlivé činnosti věžového jeřábu. Naměřená data jsou zapisována do formuláře – Formulář sledování práce jeřábu. Formulář je rozdělen na dopolední a odpolední měření. Ve formuláři jsou zachyceny veškeré řešené DSP, tj. bednění stěn, bednění sloupů, bednění stropů, vyztužování, betonáž, odbednění stěn, odbednění sloupů, odbednění stropů, zdění a jiné činnosti. Podrobně jsou sledovány především bednicí práce, které se ve velké míře neobejdou bez zvedacích prostředků. Jsou sledovány i prostoje zvedacích prostředků. Jednotlivé dílčí stavební procesy je možné sledovat souběžně na dvou pracovních záběrech, v případě většího počtu záběrů by byla tabulka o další záběr doplněna. Každý formulář bude doplněn o identifikační údaje stavby a dále budou zachycena množství vykonané práce během směny. Formulář pro sledování práce zvedacích prostředků je zobrazen na Obr. 1.

FORMULÁŘ: SLEDOVÁNÍ PRÁCE JEŘÁBU (PRO STUDIJNÍ ÚČELY)  
 TYP JEŘÁBU: MOBILNÍ / VĚŽOVÝ

DATUM: \_\_\_\_\_ MĚŘENÍ PROVEDL: \_\_\_\_\_  
 MÍSTO: \_\_\_\_\_ POČASÍ: \_\_\_\_\_

Č.Č.	DSP	ZÁBĚRY	TYP/KCE	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>
1.	BEDNĚNÍ					
1.1	BEDNĚNÍ STĚN	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
1.2	BEDNĚNÍ SLOUPŮ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
1.3	BEDNĚNÍ STROPŮ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
2.	PROSTOJ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
3.	VÝZTUŽ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
4.	BETONÁŽ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
5.	ODBEDNĚNÍ					
5.1	ODBEDNĚNÍ STĚN	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
5.2	ODBEDNĚNÍ SLOUPŮ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
5.3	ODBEDNĚNÍ STROPŮ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
6.	ZDĚNÍ	ZÁBĚR Č. 1				
		ZÁBĚR Č. 2				
7.	JINÉ:					

MĚŘENÍ PROVEDENO BĚHEM JEDNÉ PRACOVNÍ SMĚNY DNE \_\_\_\_\_ CELKEM HODIN \_\_\_\_\_

Obr. 1 Ukázka části formuláře pro sledování práce jeřábu.

## 4 VÝSLEDKY

Naměřené hodnoty jsou vyhodnoceny a zaznamenány do formuláře – Vyhodnocení naměřených hodnot. Formulář je členěn na část identifikační, ve které jsou obsaženy základní údaje o měření, tj. číslo měření, název stavby, zpracovatel měření a vyhodnocení, datum měření, typ DSP, velikost ucelené části, doby trvání jednotlivých směn a typ bednění. V další části formuláře následuje vyhodnocení směny, tj. zaznamenání časů jednotlivých pracovních cyklů –  $t_p$  (čas práce bez jeřábu),  $t_c$  (čas práce s jeřábem),  $T$  (celkový čas). Následuje vyhodnocení měření, kde je zaznamenaná výkonnost m.j/hod, počet cyklů na ucelenou část, počet cyklů za hodinu, průměrný cyklus  $t_p$ ,  $t_c$ ,  $T$  a průměrný počet cyklů ve směně. Na Obr. 2 je znázorněn vyplněný formulář při sledování práce jeřábu při bednění sloupu.

**VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT Č. 4**

(SLEDOVÁNÍ NASAZENÍ ZVEDACÍCH MECHANIZMŮ)

STAVBA:	BD OBŘÁNY		
VYHODNOTIL:	Jiří Štátný		
DATUM:	19.09.2018		
DSP:	bednění sloupu		
VELIKOST UCELENÉ ČÁSTI:	12 m <sup>2</sup>		
DOBA TRVÁNÍ (POČET SMĚN):	Směna č.1	23.05.2018	8,0 hod
BEDNĚNÍ:	rámové sloupové bednění		
KONKRÉTNÍ TYP:	DOKA FRAMAX XLIFE		

SMĚNA Č.:

DATUM:  POČET CYKLŮ:

DOBA TRVÁNÍ:

VYHODNOCENÍ SMĚNY Č.:

CYKLUS Č.	t <sub>p</sub> [min]	t <sub>c</sub> [min]	T [min]
1	13	81	94
2	11	75	86
3	16	85	101
4	12	80	92
PRŮMĚR:	13	80,25	93,25

**VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ:**

1. VÝKONNOST M <sup>2</sup> /HOD	0,62
2. POČET CYKLŮ/UCELENOU ČÁST:	4
3. POČET CYKLŮ/100 M <sup>2</sup>	40
4. POČET CYKLŮ/HOD	0,64
5. PRŮMĚRNÝ CYKLUS t <sub>p</sub> /t <sub>c</sub> /T	13/80,25/93,25

Obr. 2 Formulář s vyhodnoceným měřením.

Obdobným způsobem se sledují, zaznamenávají a vyhodnocují i další dílčí stavební procesy, které vyžadují obsluhu věžových jeřábů, a to především při výstavbě monolitických železobetonových objektů. Snahou je získat dostatečně velký soubor těchto vstupních dat, aby byl využitelný pro statistické vyhodnocení a matematické modelování.

## 5 DISKUZE

Sledované a vyhodnocované údaje o časových požadavcích jednotlivých dílčích stavebních procesů na obsluhu jeřábem jsou využívána jako vstupní data při tvorbě simulačních modelů práce jeřábů na stavbě. Tyto simulační modely budou sloužit pro posouzení a zhodnocení časové efektivity nasazení především věžových jeřábů. Protože stavební výroba má svá výrazná specifika a je velmi obtížné až nemožné přesně předvídat skutečný průběh výstavby včetně časových nároků na obsluhu jeřáby, budou pro simulační modely určeny a jasně definovány okrajové zjednodušující podmínky výstavby a obsluhy DSP jeřáby, které jejich tvorbu zjednoduší a umožní tak dostatečně přesně posoudit časové nároky na stavební jeřáby.

## 6 ZÁVĚR

V návaznosti na simulační model bude provedeno vytvoření nového algoritmu a výpočetního programu, který bude odzkoušen na reálných stavbách železobetonových monolitických konstrukcí. Výpočetní program by měl uživatelům pomoci při výběru vhodného zvedacího prostředku pro konkrétní stavbu a zamezit možným problémům při realizaci stavby spojených s dopravou materiálu na staveništi. Tyto problémy mohou vést k prodlužování termínů a nárůstu finančních nákladů na stavbu.

### Poděkování

Článek vznikl za podpory Standardního specifického výzkumu s registračním číslem FAST-S-185286.

### **Použité zdroje**

- [1] ĎUBEK, Marek, MAKÝŠ, Peter. Harmonogramy v stavebnictve a podklady k ich tvorbe. In Buildustry [elektronický zdroj]. Roč. 1, č. 1 (2017), CD-ROM, s. 25-28. ISSN 2454-0382.
  - [2] MOTYČKA, Vít, KLEMPA, Lukáš. Scheduling of tower cranes on construction sites, kapitola v Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III, Taylor and Francis Group, London, 2016, pp.567-573, ISBN 978-1-138-03224-8.
  - [3] ZHANG, Pei, et al., Location optimization for a group of tower cranes, Journal of construction engineering and management, 1999, 125(2), s. 115-122.
  - [4] ZAVICHI TORK, A., A real-time crane service scheduling decision support system for construction tower cranes, Iran, 2013.
-