

SLEDOVÁNÍ NAsAZENÍ ZVEDACÍCH PROSTŘEDKŮ PŘI REALIZACI MONOLITICKÝCH STROPNÍCH KONSTRUKCÍ

MONITORING OF THE LIFTING MECHANISMS DURING THE EXECUTION OF THE MONOLITHIC FLOOR STRUCTURE

Michal Brandtner^{*,1}

*159111@vutbr.cz

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb, Veverčí 331/95, 602 00 Brno, Česká republika

Abstrakt

Během výstavby objektů pozemních staveb jsou nejčastěji nasazovány zvedací prostředky pro snadnější manipulaci s materiálem či bednicími prvky. V praxi nejkomplicovanější případy vznikají při realizaci monolitických konstrukcí, a to díky současnému přesunu velkého množství materiálu i bednění. Při efektivním nasazení zvedacího prostředku lze zrychlit průběh výstavby. Jelikož dnes již nelze využít dříve naměřené hodnoty výkonových norem, je proto nezbytné vytvořit vlastní databázi. Článek se zabývá sběrem časových dat vytížení zvedacích prostředků na reálných stavbách pro proces bednění monolitických stropních konstrukcí. Výsledná vyhodnocená data budou ověřena a porovnána na základě výpočtu pracovního cyklu T. Obsahem článku je teoretická a experimentální část.

Klíčová slova

Stavba, monitoring, časosběr, věžový jeřáb, monolitická stropní konstrukce

Abstract

The lifting mechanisms are mainly used during construction of building structures for easier manipulation with the material or formwork elements. The most complicated cases are with monolithic structures. These structures need to move large amounts of material and formwork at the same time. The effective use of the lifting mechanisms can lead to acceleration of construction. Nowadays the measured performance standards are not usable. That leads to create own database. The article deals with the collection of time data for using of the lifting mechanisms in real constructions for the process of formwork of monolithic floor structures. The evaluated data will be verified and compared by T-cycle based calculation. The article is divided on theoretical and experimental part.

Key words

Construction, monitoring, timing, tower crane, monolithic floor structure

1 ÚVOD

Věžové jeřáby patří k rozhodujícím zvedacím mechanismům při realizaci objektů v pozemním stavitelství, které mohou mít zásadní vliv na zrychlení výstavby, avšak při jejich nevhodném vytížení může dojít ke zpomalování výstavby a neplnění smluvních podmínek včetně vážných ekonomických důsledků [1]. Cíl práce je sběr dat v rámci procesu realizace monolitických stropních konstrukcí. Dále je cílem získaná data vyhodnotit v rámci sledování vytíženosti věžového jeřábu na stavbě. Hlavními sledovanými dílčími stavebními procesy jsou především bednění, vyztužování, betonáž a odbednění monolitických stropních konstrukcí. Pro experimentální vyhodnocení vytíženosti věžových jeřábů na stavbě je zvoleno lehké bednění Dokaflex, jehož výskyt je při realizaci monolitických stropních konstrukcí nejčastější. Výsledkem je teoretické ověření spotřeb času pro jednotlivé dílčí stavební procesy a porovnání s dnes dostupnými dohledatelnými normami. Cílem článku je také poukázat na možné způsoby měření a vyhodnocování realizace dílčích stavebních procesů, které povedou k zásadnějším výsledkům a které budou sloužit pro tvorbu simulačního modelu pro posouzení vytíženosti věžových jeřábů na stavbě.

2 POPIS ŘEŠENÝCH DÍLČÍCH STAVEBNÍCH PROCESŮ

Bednění stropních konstrukcí

Prvním sledovaným dílčím stavebním procesem je bednění stropních konstrukcí. V současné době je na stavbách v České republice nejčastěji využíváno bednění od společností DOKA a PERI. Dále lze bednění stropních konstrukcí rozlišit na lehké a těžké. Lehké bednění je složeno z více menších bednicích prvků (podpěr, stativů, hlavic, nosníků, bednicích desek), které jsou spolu vzájemně kompatibilní a díky své menší hmotnosti jsou také snadněji přemístitelné. Těžké bednění neboli těžký bednicí systém je tvořen z více bednicích rámových stolů či desek o větší hmotnosti. Výhodou těžkého bednění je urychlení bednicího procesu rozsáhlých ploch. Avšak v praxi nejčastěji používané je lehké bednění, jehož montáž je také velmi rychlá, a navíc díky flexibilitě bednicích prvků je možné bednění využít pro libovolný půdorys a tvar stropní konstrukce. Nejznámějším bednicím systémem lehkého bednění je Dokaflex 1-2-4 od společnosti DOKA a bednění Multiflex od společnosti PERI. Méně známým zástupcem těžkého bednění pro deskový typ stropní konstrukce je bednicí stůl Dokamatic od společnosti DOKA a Modulový stropní stůl VT od společnosti PERI. Měření průběhu realizace monolitické konstrukce bylo provedeno na reálné stavbě, kde byl využit typ lehkého bednění Dokaflex 1-2-4. Postup montáže lehkého bednění Dokaflex 1-2-4 je následující:

- 1) Stavění stojek (podpěr) + umístění stativů a vidlicových hlav
- 2) Uložení sekundárních (podélných) nosníků
- 3) Uložení primárních (příčných) nosníků
- 4) Montáž mezipodpěr v polovině rozpětí nosníků
- 5) Uložení a připevnění bednicích desek
- 6) Montáž bezpečnostních prvků po obvodě stropní konstrukce – bezpečnostní zábradlí
- 7) Nanesení odbedňovacího přípravku před umístěním výztuže

Vyztužování stropních konstrukcí

Následující dílčí stavební proces je vyztužování. Pro měření je uvažováno s pruty betonářské výztuže B 500B doplněnými výztužnými sítěmi. Rozhodující pro řešený dílčí stavební proces je manipulace s výztuží, která bude probíhat za pomoci věžového jeřábu. Výztuž bude přepravována ve svazcích a vázána přímo na stavbě. Pro vyztužování deskové stropní konstrukce je postup následující:

- 1) Uložení spodní tyčové výztuže + umístění distančních prvků pro zajištění krytí výztuže
- 2) Uložení výztužných kari sítí do plochy stropní konstrukce + svázání, kontrola dodržení přesahů sítí
- 3) Umístění distančních kovových žebříků pro zajištění přesné polohy horní výztuže stropní konstrukce

Betonáž stropních konstrukcí

Po procesu vyztužování následuje betonáž. Přesun betonu je uvažován v souvislosti s jeřábem pomocí bádíe. Typy bádíí se liší dle velikosti, nosnosti, způsobu vyprazdňování a dle dalšího vybavení. Jsou například bádíe s plošinou, bádíe zavěšovaná, bádíe s výpustí pomocí gumového rukávu, bádíe s boční či středovou výpustí apod. Pro dílčí stavební proces betonáže stropních konstrukcí je uvažováno se zavěšovanou bádíí typu 1034C.14 o objemu 1,5 m³ s výpustí zajištěnou gumovými rukávy. Postup betonáže je následující:

- 1) Kontrola umístění výztuže a dodržení požadovaného krytí výztuže
- 2) Příjezd autodomývače s čerstvým betonem na staveniště
- 3) Zavěšení bádíe na věžový jeřáb, naplnění čerstvým betonem
- 4) Postupná betonáž a opětovné plnění bádíe čerstvým betonem
- 5) Průběžné hutnění čerstvého betonu pomocí vibrační lišty
- 6) Vyrovnání, zahlázení povrchu stropní konstrukce
- 7) Ukončení betonáže, technologická přestávka, zakrytí povrchu betonové desky, ošetřování betonu kropením / přikrytím

Odbednění stropních konstrukcí

Posledním uvažovaným dílčím stavebním procesem je odbedňování, které započne po uplynutí požadované technologické přestávky od ukončení betonáže. Technologická přestávka závisí na okolní teplotě, lokalitě dané stavby, dosažené pevnosti betonu dostačující pro schopnost stropní konstrukce unést svou vlastní hmotnost, posouzení statika a dalších faktorech, které jsou rozhodující pro výpočet doby zrání betonu. V letních dnech

k odbedňování dochází zpravidla po 3-4 dnech, kdy pevnost betonu dosáhla alespoň 50 % návrhové pevnosti betonu. Postup procesu odbedňování je následující:

- 1) Odebrání mezipodpěr umístěných v polovině rozpětí nosníků
- 2) Odklizení stojek tvrdým úderem kladiva, kdy dojde k jejich poklesu
- 3) Odebrání části stojek, podstojkování konstrukce v místě odbednění části stropní konstrukce
- 4) Sklopení zbývajících stojek podírající původní obednění
- 5) Odstranění bednicích desek a primárních a sekundárních nosníků bednění
- 6) Očištění bednicích desek, umístění prvků do přepravních boxů
- 7) Přesun prvků v boxech pomocí jeřábu, ukončení procesu

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Řešenou problematikou sledování nasazení zvedacích prostředků či jiných stavebních strojů a mechanismů se v současné době ani v minulosti mnoho autorů nezabývalo. Obecně problematikou výkonových norem stavebních strojů se nezabýval nikdo od devadesátých let minulého století. Z toho důvodu jsou již současné údaje v databázích různých rozpočtových programů dnes zastaralé. Řešením této problematiky se aktuálně zabýváme na Ústavu technologie, mechanizace a řízení staveb v týmu spolu s dalšími akademickými pracovníky a doktorandy v rámci specifického výzkumu. Sledování zvedacích prostředků na stavbách bylo publikováno autory J. Šťastný a kolektiv [1]. Na principy, způsob vyhodnocování a zmíněné možnosti dalšího výzkumu navazuje tento příspěvek.

Problematikou věžových jeřábů v pozemním stavitelství se zabýval V. Motyčka [2] v publikaci věnované využití optimalizace při využívání věžových jeřábů, novým způsobům jejich výběru a posuzování jejich kapacitního vyžití. Problematika byla rozvinuta dále v článku V. Motyčky a L. Klempy [3] a článku M. Štěrbý [4], ve kterých se zmiňují, že kapacita navržených jeřábů k dodání všech stavebních procesů v požadovaném čase není dostatečně hodnocena a stanovují vlastní nové hodnocení. V zahraničních publikacích se touto problematikou zabývalo také několik autorů. Autor Leung A. W. T. a kol. [5] se zabývali vícečetnou lineární regresní analýzou spojenou s genetickým algoritmem ke stanovení faktorů, které pomohly predikovat modely zvedacích mechanismů. Autor Tam C.M. a kol. [6] se zabývali lineárním modelem zvedacích mechanismů s využitím neuronových sítí.

4 METODIKA

Nejdříve byly pomocí časosběrné kamery experimentálně naměřeny jednotlivé pracovní směny na stavbách, kde pomocí věžových jeřábů byly realizovány konkrétní projekty monolitických stropních konstrukcí. Takto získaná data byla vyhodnocena do formulářů, ze kterých bylo patrné využití věžového jeřábu v čase při realizaci konkrétního dílčího stavebního procesu na dané stavbě. Sledování bylo zaměřeno především na práci s nasazením zvedacího mechanismu, na práci bez nasazení zvedacího mechanismu a na prostoje vznikající při samotné realizaci, kdy nebyly prováděny žádné práce. Prostoje neboli pracovní pochody bez jakékoliv činnosti, byly vyřazeny. Pro každý DSP bylo naměřeno několik hodnot pracovního cyklu T , který se skládal z doby t_c (doba práce s nasazením zvedacího prostředku) a t_p (doba práce bez využití zvedacího prostředku). V rámci každé pracovní směny bylo naměřeno několik pracovních cyklů a byl stanoven počet cyklů za hodinu, počet cyklů za směnu a byl vypočten vzorový průměrný pracovní cyklus pro měřený DSP. Po realizaci určité ucelené části stropní konstrukce byla kromě pracovních cyklů změřena i velikost provedené ucelené části konstrukce v m^2 . Znalost velikosti zrealizované ucelené plochy za časovou jednotku dala možnost spočítání celkové spotřeby času pro ucelenou část. Dále byla zvolena teoretická výkonová norma pro realizaci jednotlivých dílčích stavebních procesů, která byla převzata z rozpočtových programů společnosti RTS, a.s. S touto teoretickou výkonovou normou byla porovnána spočítaná spotřeba času pro zvolenou ucelenou část.

5 VÝSLEDKY

Pro jednotlivé dílčí stavební procesy bylo na základě měření získáno procentuální rozdělení času na práci s nasazením věžového jeřábu a práci bez nasazení věžového jeřábu. Příklad měření z referenční stavby je uveden v Tab. 1, kde jsou zobrazeny hodnoty pracovního cyklu T , který se skládal z doby t_c (doba práce s nasazením zvedacího prostředku) a t_p (doba práce bez využití zvedacího prostředku). Pro porovnání v experimentální části byla provedena rešerše stavu současných výkonových norem, která je uvedena v Tab. 2. Dalším výstupem je ukázka uvažovaného jednotkového přesunu materiálu pro řešené dílčí stavební procesy (Tab. 3). V závěru je provedeno experimentální ověření výkonových norem na části reálné stavby pro zvolený pracovní záběr a jeho

srovnání s dostupnými výkonovými normami pro daný dílčí stavební proces. Experimentálně ověřený pracovní záběr byl změřen na stavbě v Brně v Řečkovících. Referenční stavba byla železobetonový skelet s monolitickou stropní konstrukcí, která byla podepřena železobetonovými sloupy. Objekt měl pět nadzemních a jedno podzemní podlaží. V budoucnosti bude objekt využit pro administrativní účely. Výsledkem je stanovení spotřeby času pro ucelenou část DSP v m²/hod a její porovnání pro stanovenou ucelenou část v rámci praktického a teoretického měření.

Tab. 1 Naměřené hodnoty pracovního cyklu T na reálné stavbě.

Stavba	Číslo směny	Začátek měření	Konec měření	Číslo pracovního cyklu	t_c [min.]	t_p [min.]	T [min.]	Prostoje [min.]
Obřany	1	07:22	14:10	1	37	16	53	7
				2	16	28	44	16
				3	32	19	51	9
				4	15	24	39	21
Obřany	2	07:40	14:01	1	12	26	38	22
				2	26	18	44	16
				3	41	12	53	7
				4	21	25	46	14
Obřany	3	08:38	15:04	1	8	32	40	20
				2	14	20	34	26
				3	49	5	54	6
				4	39	16	55	5

Dostupné výkonové normy pro řešení dílčích stavebních procesů dle různých zdrojů

Rešerše současných výkonových norem byla stanovena dle dostupných podkladů jednotlivých firem a dodavatelů softwarů. Byly využity například databáze ÚRS (Kros, Callida), RTS a také webové stránky katedry TS na ČVUT v Praze [7]. Rešerše výkonových norem je uvedena v následující tabulce:

Tab. 2 Výkonové normy DSP dle dostupných databází.

Dílčí stavební proces (DSP)	<i>M.J.</i>	<i>Nh</i> dle RTS	<i>Nh</i> dle ČVUT	<i>Nh</i> dle ÚRS
Bednění	m ²	0,26	0,30	0,26
Vyztužování	100 kg	1,32	1,29	1,41
Betonáž	m ³	0,95	0,99	0,97
Odbednění	m ²	0,13	0,17	0,13

Jednotkové množství přesunu materiálů pro jednotlivé dílčí stavební procesy

Jedná se o maximální možné množství nejmenších prvků nutných při realizaci řešených DSP, které je věžový jeřáb schopen přenést v rámci jednoho pracovního cyklu.

Tab. 3 Jednotkové množství přesunu prvků pro řešení DSP.

Dílčí stavební proces (DSP)	Prvek	Popis přepravovaného prvku	Zavěšované množství na 1 pracovní cyklus
Bednění Dokaflex 1-2-4	Stropní podpěra Eurex top	Svazek stojek – Ukládací paleta Doka	40 kusů
	Příslušenství – stativy	Víceúčelový kontejner Doka	70 kusů
	Příslušenství – hlavice	Kontejner se síťovými bočnicemi Doka	70 kusů
	Nosník H20 top	Svazek nosníků – Ukládací paleta Doka	27 kusů
Vyztužování	Bednicí deska ProFrame	Svazek desek – Ukládací paleta Doka	35 kusů
	Výztuž B 500B	Svazek výztuže	100 kg
Betonáž	Beton C 30/37	Bádie	1,5 m ³
Odbednění Dokaflex 1-2-4	Stropní podpěra Eurex top	Svazek stojek – Ukládací paleta Doka	40 kusů
	Příslušenství – stativy	Víceúčelový kontejner Doka	70 kusů

Příslušenství – hlavice	Kontejner se síťovými bočnicemi Doka	70 kusů
Nosník H20 top	Svazek nosníků – Ukládací paleta Doka	27 kusů
Bednicí deska ProFrame	Svazek desek – Ukládací paleta Doka	35 kusů

Experimentální ověření výkonových norem na stavbě

Experimentální ověření výkonových norem na reálně probíhající výstavbě bylo ověřováno pomocí časosběrné kamery Brinno Construction Camera Pro BCC200, kterou byly pořízeny jednotlivé záznamy provádění dílčích stavebních procesů (DSP) z realizace monolitických konstrukcí. Konkrétně pro tento případ se jedná o DSP pro bednění stropních konstrukcí. Z naměřených videí byly následně zpracovány výstupy, kterým je teoretických pracovní cyklus DSP zohledňující podíl využití nasazeného jeřábu v průběhu celého procesu.

Typ bednění: lehké bednění DOKA (Dokaflex 1-2-4)

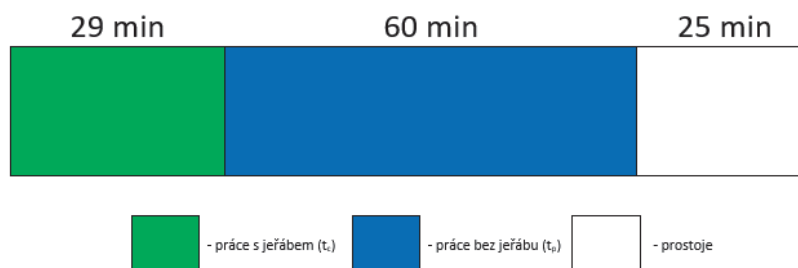
Referenční stavba: Brno, Řečkovice

Odhadovaná plocha bednění stropní konstrukce: 7,5 m²

Celková doba pracovního cyklu byla experimentálním měřením stanovena na 114 minut (1 hodina a 54 minut).

Tab. 4 Zjednodušení cyklu.

Zjednodušení cyklu na základě měření		
Celková doba práce:	114 min	(100 % času)
Práce s jeřábem (t _c):	29 min	(25,45 % času)
Práce bez jeřábu (t _p):	60 min	(52,65 % času)
Prostoje:	25 min	(21,90 % času)



Obr. 1 Grafické znázornění zjednodušeného pracovního cyklu na monolitické stropní konstrukci.

Na základě předcházejícího popsaného pracovního procesu můžeme stanovit následující:

Tab. 5 Stanovení Nh.

Parametr DSP	Stanovená hodnota
Doba pracovního cyklu:	114 minut
Bednicí plocha	7,5 m ²
Poměr min/m ²	15,2 min/m ² => 3,95 m ² /hod
Normohodina:	0,253 Nh/m ²

Experimentálně stanovená hodnota výkonové normy pro dílčí stavební proces bednění stropní konstrukce za pomoci lehkého systémového nosníkového bednění je 0,253 Nh/m².

Tab. 6 Vyhodnocení experimentálního ověření.

Zdroj	Nh/m ²
RTS	0,26
ČVUT	0,30
ÚRS	0,26
Experiment	0,253

Z předchozího vyplývá, že experimentálně naměřené hodnotě je nejbližší hodnota z databáze RTS či ÚRS Praha.

6 ZÁVĚR

Experimentálně zjištěná hodnota výkonové normy odpovídá současně používaným výkonovým normám v databázích různých rozpočtových programů. Nutno poukázat na fakt, že v současné době bylo provedeno poměrně málo měření realizace dílčích stavebních procesů na reálných stavbách. Z toho důvodu nelze považovat výsledek za příliš objektivní. Článek měl za cíl shrnout postup, jakým bude v budoucnu pokračováno při dalších experimentech a prezentuje charakter výstupů v oblasti této vědy. Hlavní řešená problematika tohoto článku je databázovou částí řešeného specifického výzkumu. V další fázi výzkumu bude vytvořen simulační model pro posouzení vytiženosti věžových jeřábů na stavbě. V budoucnu by pak bylo možné rovněž pro optimalizaci simulačního modelu využít digitální 3D model budovy a zařízení staveniště včetně zvedacího mechanismu nebo lépe 4D model, kde 3D model doplňuje časový parametr [8]. Pomocí systémů zvaných "Active BIM" [9] by bylo možné celý simulační proces vytvořit a testovat za pomoci technologií BIM (Building Information Modeling).

Poděkování

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

Použité zdroje

- [1] ŠTĀSTNÝ, J., MOTYČKA, V., DOUBEK, R., BRANDTNER, M., BŘÍZA, L. Monitoring staveb – sledování nasazení zvedacích prostředků. *Czech Journal of Civil Engineering*, 2018, roč. 2018, č. 01, s. 85-92. ISSN: 2336-7148.
 - [2] V. Motyčka and J. Černý, *Věžové jeřáby v pozemním stavitelství*, Brno, CERM, Czech Republic, ISBN 978-80-7204-505-1, 2007
 - [3] MOTYČKA, V.; KLEMPA, L., *Scheduling of tower cranes on construction sites*, *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III*, ISBN 978-1-138-03224-8, Taylor and Francis Group, London, 2016.
 - [4] M. Štěrba, V. Motyčka, D. Čech and V. Venkrbec, "Základní postup při návrhu zvhacího mechanismu," *Silnice a železnice*, vol. 8, issue 03/2013, pp. 94–95, 2013.
 - [5] Leung A. W. T.; Tam, C.M.; Liu., D. K., *Comparative study of artificial neural networks and multiple regression analysis for predicting hoisting times of tower cranes*, *Building and Environment*, Vol. 36, Issue 4, pp. 457-467, 2001
 - [6] C. M. Tam, A. W. T. Leung, and D. K. Liu, "Nonlinear Models for Predicting Hoisting Times of Tower Cranes," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 16, issue 1, pp. 76–81, 2002.
 - [7] *Orientační časové ukazatele prací a dodávek v hod. / 1 prac.* [online]. [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <http://web.cvut.cz/fa/u524/rea/podklady/ukazatele/podklady.html>
 - [8] Y. W. J. Yeoh and D. K. H. Chua, "Optimizing Crane Selection and Location for Multistage Construction Using a Four-Dimensional Set Cover Approach," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, issue 8, 2017.
 - [9] M. Galić, V. Venkrbec, F. Chmelik, I. Feine, Z. Pučko, U. Klanšek, "Survey of accomplishments in BIM implementation in Croatia, the Czech Republic, Germany, and Slovenia," *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS*, vol.8, issue.15, pp. 23–35, 2017, <https://doi.org/10.13167/2017.15.3>
-