VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ STAVEB
INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

# ČASOVÉ POSOUZENÍ VYUŽITÍ ZDVIHACÍCH MECHANISMŮ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ

TIME ASSESSMENT OF LIFTING MECHANISMS EFFICIENCY IN CIVIL ENGINEERING

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
THESIS OF THE DISSERTATION

AUTOR PRÁCE — Ing. Martin Štěrba
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. VÍT MOTYČKA, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2019

**Abstrakt:**

Disertační práce se zabývá problematikou časového vytížení navržených zdvihacích mechanismů na monolitických stavbách v rámci pozemního stavitelství. Mezi hlavní důvody vedoucí k výběru této problematiky patří zejména současný trend stavebnictví, který se v rámci administrativní a bytové výstavby uchyluje k monolitickým stavbám, které se v dnešní době neobejdou bez zdvihacího mechanismu. Výkonnost zdvihacích mechanismů bývá často v rámci přípravy časových harmonogramů staveb opomíjena, což vede k neefektivnímu vytížení tohoto stroje. To ovšem má přímou souvislost s dodržováním sjednaných termínů, což vede následně ke komplikacím, které často končí nezanedbatelnou finanční ztrátou pro zhotovitele.

K řešení dané problematiky bylo nutné provést monitoring na odpovídajícím vzorku staveb. V případě této práce se jednalo o celkem šest stavebních objektů, z toho čtyři byly podrobněji analyzovány. Dále byly technologicky rozebrány jednotlivé dílčí stavební procesy vyžadující obsluhu věžového jeřábu. Byla vypracována metodika k časovému posouzení včetně návrhu na možné určování priorit u vybraných činností.

Na základě poznatků z monitoringu staveb a rozboru jednotlivých položek byl zpracován simulační model. Tento model matematicky i graficky vyhodnocuje schopnost navrženého věžového jeřábu obsloužit daný počet dílčích stavebních procesů v rámci stanoveného vyhodnocovaného úseku, kdy nejmenší vyhodnocovaný úsek je roven jedné pracovní směně.

Přínosem této práce je především umožnění efektivního nasazení věžového jeřábu v rámci přípravy staveb, případně rychlé operativní posouzení vytížení věžového jeřábu stavbyvedoucím v rámci dané pracovní směny. To by mělo vést k efektivnějšímu nasazování věžových jeřábů v rámci realizace stavby, a tím i k dodržování sjednaných termínů, s čímž je spojeno i financování stavby, a tedy i možné úspory v této oblasti.

**Abstract:**

The dissertation thesis deals with the time assessment of designed lifting mechanisms in monolithic constructions in Civil Engineering. The main reason for choosing this subject matter is a current trend in construction that in terms of administrative and housing construction tends to build monolithic buildings. Lifting mechanisms are crucial in such buildings nowadays. The efficiency of lifting mechanisms is often neglected in the preparatory phase of construction time schedules, which leads to inefficient capacity utilization of the machine. Nevertheless, this is directly related to meeting the agreed deadlines, which in turn leads to complications that often result in a considerable financial loss for the contractor.

In order to solve this subject matter it was necessary to perform monitoring on an appropriate sample of constructions. In the case of this work it was a total of six buildings, four of which were further analysed. Furthermore, individual partial construction processes requiring tower crane operation were analysed. A time assessment methodology including a proposal of possible prioritization of selected activities has been developed.

Based on the knowledge gained from the monitoring of the buildings as well as from the analysis of individual items, a simulation model was developed. This model mathematically and graphically evaluates the ability of the designed tower crane to serve a given number of partial construction processes within a specified evaluation section in which the smallest evaluated section equals to one work shift.

The benefit of this work is to enable efficient deployment of the tower crane in the preparatory phase of construction. Another benefit is also a prompt operative assessment of the load of the tower crane by a works foreman within a given shift. This should lead to a more efficient deployment of tower cranes during construction and as a consequence it should result in keeping the agreed terms. This is closely associated with the financing of the construction and possible savings in this area are possible.

**Klíčová slova:**

Věžový jeřáb, dílčí stavební proces, pracovní cyklus, asistence věžového jeřábu, obsluha věžovým jeřábem, časové vytížení, simulační model.

**Keywords:**

Tower crane, partial construction process, duty cycle, tower crane assistance, tower crane operation, time load, simulation model.

**OBSAH**

ÚVOD ..... 4

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE ..... 5

METODY ZPRACOVÁNÍ ..... 5

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY ..... 6

zvedací mechanismy, technické parametry, výkonnost, finanční náklady ..... 9

typový pracovní cyklus jeřábu a jeho výpočet ..... 12

dílčí stavební procesy – výběr, rozbor, zatřídění do skupin dle vytíženosti jeřábu ..... 16

Monitoring časových požadavků na věžové jeřáby pro vybrané DSP na probíhajících stavbách a jejich vyhodnocení ..... 24

Simulační model, okrajové podmínky, stanovení priorit obsluhy DSP ..... 26

výpočtové schéma modelu, softwarové zpracování ..... 28

Návrh metodiky posouzení časové vytíženosti VJ podle priorit DSP a její začlenění do návrhu věžového jeřábu pro stavbu ..... 29

Závěr ..... 32

POUŽITÁ LITERATURA ..... 33

curriculum vitae ..... 34

Dizertační práce je k dispozici na ústavu Technologie, mechanizace a řízení staveb FAST VUT, Veveří 95, 602 00, Brno

© Ing. Martin Štěrba, Brno, 2019

# ÚVOD

Předložená disertační práce se zabývá otázkou každého přípraváře staveb, případně stavbyvedoucího na stavbě monolitické konstrukce, a to, zda bude stavba schopna „fungovat“ a dodržovat stanovený časový harmonogram. Velký vliv na to mají u pozemních staveb věžové jeřáby.

Téma a celkové zaměření disertační práce je založeno na základě zájmu autora, ale především na základě potřeb vědy a techniky, protože toto téma je v odborných a veřejně přístupných materiálech zpracováno vždy jen částečně se zaměřením na určité specifické prvky. Jen minimum zdrojů, teorií a metod se zabývá komplexním řešením návrhu věžových jeřábů na staveništi.

Cílem této práce je proto vytvořit komplexní materiál, který v této problematice poskytuje přípraváům staveb, stavbyvedoucím, ale i studentům dostatečný teoretický základ pro návrhy věžových jeřábů, ale zároveň se zabývá i praktickými příklady z běžné praxe, které využívá jako zdroj k ověření dostatečnosti zdvihacích mechanismů na současném staveništi.

Pro posouzení vhodnosti návrhu zdvihacího mechanismu na stavbě je nutné věnovat zvýšenou pozornost detailnímu nastudování stavební zakázky před samotnou realizací a zaměřit se především na činnosti vyžadující obsluhu věžového jeřábu. Budeme-li znát činnosti vyžadující obsluhu věžového jeřábu a jejich objemy, budeme schopni si průběh realizace namodelovat a zajistit tak efektivní průběh stavebních prací během realizace stavební zakázky.

Stavba je vždy jedinečná, protože úskalí, která jsou spojena se samotnou realizací stavby, se dotýkají celého spektra stavebních i nestavebních oborů jako je geologie, statika, ale i design. Je nezbytné stanovit model univerzální, tedy použitelný na široké spektrum staveb, zároveň však musí být model výstižný, ale dostatečně zjednodušený, aby bylo zajištěno jeho možné použití v praxi.

Z širokého spektra stavebních činností vyžadujících obsluhu věžového jeřábu jsem se rozhodl zaměřit na výstavbu monolitických železobetonových staveb, které tvoří významnou část mezi objekty pozemního stavitelství realizovanými v dnešní době. Druhým aspektem vedoucím k volbě tohoto typu práce je skutečnost, že metody vedoucí k efektivnímu způsobu posouzení časového vytížení věžových jeřábů jsou buďto velice obecné, případně zastaralé a v praxi tak ne zcela vhodné k použití.

Disertační práce je vypracována na základě doktorské vědecko-výzkumné činnosti na Ústavu technologie, mechanizace a řízení staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

K dnešnímu dni je problematika návrhu počtu věžových jeřábů na stavbě stále stavěna mezi činnosti, kterým není věnována dostatečná pozornost. Důvodů k tomu je hned několik. Hlavním důvodem je vysoké časové vytížení zodpovědných pracovníků ve stavební firmě, kteří se musejí věnovat několika stavbám současně a nemohou detailně nastudovat veškeré podklady. Dalším faktorem, který zcela jistě nahrává výše uvedenému, je domněnka odpovědných pracovníků, že jejich zkušenosti v tomto oboru jsou natolik dostatečné, že nepotřebují pro svá tvrzení jakákoli podložení. Zkušenosti zcela jistě nechce nikdo zpochybňovat, nicméně finanční dopady pro stavební firmu v případě chybného návrhu bývají často velice citelné. V neposlední řadě neexistuje dostatečně přesná metodika posouzení časového vytížení věžových jeřábů, kterou by bylo možné využít tak, aby zároveň extrémně nezatěžovala jejího uživatele.

S ohledem na známé metody způsobu navrhování zdvihacích mechanismů na stavbách a na jejich možné využití lze tvrdit, že situace pro přípraváře staveb není jednoduchá. Volba nevhodného mechanismu a jeho časové vytížení má ve většině případů značné časové a často i finanční následky. V současnosti nemají přípraváři možnost snadného ověření, které by potvrdilo vhodnost jimi navrženého zdvihacího mechanismu z hlediska časového vytížení.

Existují dvě nejčastější pochybení. Buď vybraný zdvihací mechanismus není schopen sám pokrýt objem činností, čím dochází k nežádoucímu posunování plánovaných termínů dokončení nebo je navržen zvedací mechanismus, který není v průběhu výstavby dostatečně vytížen a dochází tak k jeho častým prostojům.

# CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Abychom eliminovali pochybení v návrzích zdvihacích mechanismů, je nutné vypracovat metodiku, která bude srozumitelná, lehce uchopitelná, a hlavně pro uživatele nepříliš časově náročná, a přitom dostatečně přesná, s ohledem na limitní časové dotace pro vypracování nabídky či návrhu řešení z pohledu zhotovitele.

Disertační práce se tedy bude zabývat vypracováním metodiky pro posouzení časové vytíženosti věžových jeřábů v pozemním stavitelství. K tomu je třeba stanovit řadu dílčích cílů, které jsou dále uvedeny.

**Hlavní cíl**

- Hlavním cílem disertační práce je vypracování metodiky k posouzení časové vytíženosti věžových jeřábů podle priorit dílčích stavebních procesů.

**Dílčí cíle**

- rozbor zvedacích mechanismů po stránce technické a ekonomické včetně zatřídění pro řešenou úlohu
- vypracování typového pracovního cyklu věžového jeřábu včetně výpočtu doby trvání
- vymezení pojmu dílčí stavební proces (DSP) a jejich rozbor s ohledem na výběr, rozbor, zatřídění do skupin dle vytíženosti jeřábu
- teoretický rozbor a stanovení doby pracovních cyklů vybraných DSP, T, $t_c$, $t_p$ pro montážní práce, betonáž, armování, zdění, bednění a odbednění
- rozdělení bednění pro pozemní stavby a výběr pro posouzení vytíženosti jeřábu (sloupy, stěny, stropy)
- rozbor technologických postupů pro vybrané typy bednění, pracovní pochody, časové požadavky na VJ pro jednotlivé typy bednění (asistence jeřábu), – teoretické výpočty cyklů, T, $t_c$, $t_p$, (jednotkové množství přesunu, spotřeba času, počet cyklů za směnu, požadavky na asistenci jeřábu)
- monitoring pracnosti a časových požadavků na věžové jeřáby pro vybrané DSP na probíhajících stavbách a jejich vyhodnocení
- simulační model, stanovení okrajových podmínek, princip stanovení priorit obsluhy DSP, výpočtové schéma modelu
- návrh metodiky posouzení časové vytíženosti VJ podle priorit DSP a její začlenění do návrhu věžového jeřábu pro stavbu
- ověření navrhované metodiky na reálné stavbě – případová studie

# METODY ZPRACOVÁNÍ

Za účelem zpracování disertační práce je nutné práci podrobně rozdělit na ucelené celky. Tyto celky by měly být založeny na základě různých metod zpracování a jejich výstupy by na sebe měly logicky navazovat.

S ohledem na řešenou problematiku je práce rozdělena na dvě základní části. Práce na nich probíhala téměř souběžně.

První část práce je zaměřena na přípravu vstupních dat; stanovení okrajových podmínek, posouzení možných podob vstupních dat a jejich získání prostřednictvím monitorování na reálných stavbách a podobně. Druhou část této práce tvoří takzvané simulační modelování, jehož cílem je vytvoření jednoduché softwarové aplikace, která je schopna na základě dodaných vstupních dat posoudit časové vytížení zdvihacího mechanismu. Simulační model je zpracován pomocí matematického modelování zohledňující časovou dotaci dané stavby.

V této práci jsou postupně použity následující metody zpracování v následující posloupnosti:

**Rešerše**

Nejprve byla provedena rešerše stávajícího stavu neboli vyhledání všech dostupných informací k řešené problematice. S ohledem na problematiku, která je řešena ve stavebnictví po celém světě, bylo nutné rešerši zaměřit globálně, nikoli pouze lokálně na Českou republiku.

Rešeršní činnost spočívala v průzkumu knižních publikací, zveřejněných výzkumných prací či článků publikovaných na vědeckých konferencích. V rámci rešeršní činnosti nebyly nalezeny žádné skutečnosti, na základě kterých by bylo možné usoudit, že již byla daná problematika obdobným způsobem řešena. Bližší poznatky jsou uvedeny v kapitole 4 s názvem „Současný stav řešené problematiky“.

**Analýza**

Aby bylo možné dosáhnout požadovaných cílů, je nutné provést detailní analýzu všech prvků, které budou danou problematikou dotčeny. Zásadními prvky v této práci jsou systémová bednění. Je tedy nutné provést jejich detailní rozbor, aby bylo možné s jistotou stanovit hledané časové intervaly, které budou sloužit jako podklad pro vypracování podrobné databáze, kterou bude možné využít jako základnu v případě tvorby softwarového vybavení. Dále je velice důležité orientovat se mezi věžovými jeřáby používanými ve výstavbě monolitických staveb. V neposlední řadě je nutné detailně analyzovat návaznosti jednotlivých činností vstupujících do systému výstavby na reálných stavbách.

**Pozorování v terénu - monitoring**

Za účelem získání reálných časových hodnot, které budou sloužit jako podklad k vypracování databáze, je nutné provést opakované pozorování na reálných stavbách. Teprve po získání dostatečného počtu časových údajů pro jednotlivé činnosti je možné přistoupit ke zpracování těchto vstupních hodnot.

**Indukce**

Po získání potřebných vstupních dat z předcházejících metod je nutné pokusit se tyto data zpracovat a vyvodit z nich obecná pravidla a definovat vztahy mezi jednotlivými činnostmi.

**Syntéza**

Jakmile budou známa obecná pravidla a vztahy panující mezi jednotlivými činnostmi, bude třeba danou problematiku zjednodušit a činnosti opět spojit do skupin, které budou pro práci nejvýhodněji zastupovat řešenou problematiku za účelem vypracování simulačního modelu, který by měl zohledňovat vztahy mezi jednotlivými vstupními činnostmi.

**Matematické modelování**

Na základě získaných skutečností a hodnot bude možné přistoupit k výpočtu konkrétních podrobných časových nároků. Bude se jednat zejména o časy, kdy budou DSP vyžadovat obsluhu zdvihacího mechanismu. Pro vytvoření vlastního simulačního modelu bylo využito matematické modelování. Byly využity metody analýzy časového plánování, využití síťové analýzy CPM (metoda kritické cesty) pro rozbor smluvního časového plánu postupu výstavby a matematické modelování pro vytvoření vlastního simulačního modelu v prostředí Matlab.

**Dedukce**

Na závěr práce bude využita dedukce k tomu, aby bylo možné potvrdit funkčnost navrženého modelu, který by bylo možné k řešení problematiky využít. Funkčnost ověřím aplikací daného modelu s vytvořenou základní databází na již realizovanou stavbu, u které je daný použitý počet zdvihacích mechanismů a skutečnost, zda byl počet dostatečný či nikoli.

# SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Téma této disertační práce je natolik specifické, že pro tvorbu práce nemohly být použity pouze zdroje v češtině. Takové zdroje byly také používány, nicméně pro potřeby a obsahovou komplexnost této práce byly nedostačující. Téma Posouzení využitelnosti věžového jeřábu na staveništi je tedy specifické a čeští autoři se tímto konkrétním tématem zabývají minimálně či okrajově. Výjimku tvoří práce doc. Ing. Víta Motyčky, CSc. s názvem „Optimalizace návrhu věžových jeřábů“.

Jediná publikace, která vyšla v ČR a která se uceleně zabývá problematikou časového vytížení věžových jeřábů na stavbách, vyšla v roce 2007 v Akademickém nakladatelství CERM, s.r.o. pod názvem Věžové jeřáby v pozemním stavitelství [2]. Autory jsou Vít Motyčka a Jaromír Černý, recenzentem publikace je prof. František Musil.

Úvodní kapitoly jsou věnovány analýze výrobního prostoru stavby v souvislosti s umístěním zvedacích mechanismů, jsou popsány modely dodávky a spotřeby materiálů pro stavbu a vazby mezi primární a sekundární dopravou stavebních materiálů. Další kapitoly se podrobně zabývají rozborem stavebních strojů pro svislou přepravu včetně rozboru a zatřídění věžových jeřábů používaných pro pozemní stavby, jejich výkonností a zásadami pro umístění na staveništi. Jsou uvedeny i finanční náklady a jejich stanovení související s provozem věžových jeřábů na stavbách.

Podstatnou částí uvedené publikace jsou však kapitoly věnované současným metodám používaným pro návrh zvedacích mechanismů z hlediska jejich časového vytížení, a především popsané nové postupy pro posouzení kapacity věžových jeřábů z hlediska jejich výkonu a časového vytížení v průběhu realizace pozemních staveb.

Autoři se zde poprvé zabývají exaktním hodnocením a skutečnými požadavky na zásobování, a to v podrobnosti DSP a popisují vliv výkyvu spotřeby stavebního materiálu požadovaného na zásobování a poprvé se zde definují tzv. „rozhodující materiály“ pro dopravu VJ na stavbě. Pro výpočet časové náročnosti přepravy potřebných materiálů byla využita matematická statistika, konkrétně teorie hromadné obsluhy (THO).

V rámci výpočtu dle THO stanovuje tato metoda časové požadavky všech DSP vstupujících do systému a počet všech cyklů jeřábu ve sledované směně pro všechny obsluhované DSP. Dále však ve výpočtu v rámci THO uvažuje už jen s průměrnou dobou obsluhy všech těchto DSP v posuzované směně a průměrnou dobou všech těchto DSP mimo systém obsluhy. To znamená průměrnou dobu oběhu prvku, která je složena z doby obsluhy, doby čekání a doby prvku mimo systém. To může vést k určitému zkreslení celkového výsledku. Nerozlišuje tedy přesněji rozdíly v časových požadavcích jednotlivých DSP vstupujících do systému v jedné pracovní směně.

Obsluhované prvky (jednotlivé DSP) vstupují do systému obsluhy dle THO v časových intervalech a řadí se do fronty. V tomto pořadí jsou pak obsluhovány. To rovněž nemusí odpovídat skutečnému průběhu na stavbě, kdy pořadí obsluhy různých DSP nemusí odpovídat pořadí vznesení požadavku na obsluhu.

Časové intervaly mezi vstupy mohou být pravidelné nebo náhodné, mají tedy pro řešenou situaci náhodnou velikost. V předkládané DP je jiný pohled na řešení situace, předpokládá se a hodnotí plynulý postup dle závazného časového plánu a neuvažuje se s prvkem náhody a vychází se dle předpokládaných priorit obsluhy, v závislosti na závazném časovém plánu výstavby. Variant pro vyhodnocení může být více, tato je zvolena pro DP.

Celkově lze říci, že práce představuje první exaktní přístup k posouzení časové vytíženosti jeřábů na stavbách. Nevýhodou může být využití průměrných hodnot časových intervalů DSP v rámci jedné směny ve výpočtu THO a dále celá řada vstupních dat pro výpočet THO, které využití této metody v praxi komplikují.

Dále byla provedena rešerše cizojazyčných zdrojů, a to především v jazyce anglickém, či slovenském. Dostupné informační zdroje jako katalogy knihoven, odborné elektronické databáze i zdroje na internetu jako webové stránky univerzit, vědeckých společností i firem oborově zaměřených na téma této disertační práce byly prozkoumány. Pro účely této práce byla využita i osobní fotogalerie věžových jeřábů ze zahraničních cest autora této práce.

Mezi nejpřínosnější cizojazyčné zdroje lze zařadit sociální síť ResearchGate [13], která je speciálně vytvořena pro vědeckou komunitu. Za účelem získání odborných článků na dané téma byli kontaktováni autoři vybraných článků a s jejich souhlasem byly informace, teze a myšlenky citovány a zapracovány do disertační práce.

Významná část cizojazyčných podkladů byla získána z online sborníku Construction Management and Economics [14].

Z dostupné cizojazyčné literatury byly využity knihy převážně amerických autorů. Dále se pro účely této práce čerpalo ze slovenských knih. Použity byly i poznatky získané v rámci Erasmus pobytu na University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy v roce 2013.

První cizojazyčné zdroje, které byly studovány pro účely této práce, byly odborné tištěné publikace. Žádná z nich se nezabývá tématem posouzení využitelnosti věžového jeřábu na staveništi jako takovým, ale poskytuje poměrně dobrý informační podklad ať už k výběru, instalaci a bezpečnému využití jeřábu na staveništi, tak k modernímu vybavení, materiálům a nařízením, se kterými se lze na staveništi setkat.

V současnosti se věžové jeřáby staly symbolem městského rozvoje a městské panorama, které je zaplněno věžovými jeřáby značí a zároveň je měřítkem městského hospodářského rozvoje [8]. Věžový jeřáb je tedy významným prvkem na staveništi nejen z pohledu stavbaře, ale také z pohledu vedení měst a označuje dobrou perspektivu pro jednotlivá města. To bylo zřejmé i při mé návštěvě severského města Malmö v roce 2013, kde byly věžové jeřáby viditelné ve většině čtvrtí a označovaly ekonomický růst města.

*Obr. 4.1) Skyline města Malmö, Švédsko, 07/2013 [27]*

Zřejmě hlavním záměrem zahraničních autorů je v cizojazyčných publikacích poskytnout dostatečné množství informací a takzvaný background k problematice věžových jeřábů na staveništi. Autoři tištěných publikací zmiňují množství informací k plánování věžového jeřábu na staveništi a zabývají se výběrem a velikostí jeřábu, a to zmiňují jako hlavní a velmi důležité kritérium pro efektivní využití věžového jeřábu na staveništi.

Důležitost pečlivé přípravy roste s velikostí a komplexností vykonávané práce a také projekty, ve kterých je třeba využít na staveništi více jeřábů, vyžadují zvýšenou pozornost přípraváře [8]. Problematiku přípravy věžových jeřábů a jejich následnou efektivitu na staveništi považuje za nejdůležitější většina autorů.

Naplánování efektivního využití jeřábu je podstatné pro to, aby všechna práce probíhala plynule. Množství času, během kterého je jeřáb v provozu, množství mobilních jeřábů a jejich přístup k materiálu, které doplní práci toho primárního, dále pečlivé plánování přesunu materiálu a přístup k němu jsou důležité faktory, které nelze opomenout [11]. Kromě těchto atributů většina autorů za podstatné považuje umístění konkrétního jeřábu na staveništi a uvádí to jako faktor, který je pro jeho využitelnost klíčový. Na jeho pozici nemá vliv pouze realizovaná stavba, ale i skladovací plochy, které musí navržený stroj spolehlivě pokrýt, což zmiňuje ve své publikaci i I. Juríček [6]. Výhody dobře vybraného jeřábu mohou být snadno zatraceny při špatné volbě umístění jeřábu a také náklady na sestavení jeřábu na určitém špatně zvoleném místě už lze jen těžko snížit [8].

Předpokladu správně zvoleného umístění jeřábu na staveništi pro adekvátní využitelnost věžového jeřábu na staveništi předchází již zmíněný výběr ale také posouzení velikosti jeřábu. Autoři cizojazyčné

literatury se touto problematikou zabývají dostatečně. V literatuře se nachází informace k samotnému výběru jeřábu na základě jednotlivých preferencí uživatelů, zdrojů energie, dosahu a kapacity jeřábu a jeho výkonnosti. Všechny tyto prvky jsou posuzovány v rámci pracovního prostředí na staveništi, avšak autoři toto v literatuře často zmiňují jako úkol pro zkušeného a erudovaného pracovníka, který dokáže odhadnout a zahrnout všechny tyto předpoklady a faktory konkrétního pracoviště a vybrat vhodný jeřáb, případně ho doplnit o další [8].

Cizojazyčné materiály, které byly pro účely této práce studovány, se často zabývají bedněním a pro jeho optimalizaci na staveništi zmiňují různé přístupy. Pro efektivní využití jeřábu při bednění je určení toho, jaké jeřáby a zda vůbec jsou nezbytné pro ostatní činnosti a které kroky může jeřáb vykonávat v tak zvané „době nečinnosti“ [11]. Co se týče nasazení bednění je rozhodující eliminace času, kdy se bednění v jednom záběru stavby nachází [7].

Autoři Shapiro ale nicméně uvádějí, že i ta nejlepší schémata pro posouzení využitelnosti jeřábu na staveništi se musí přizpůsobit neočekávaným událostem a silné plánování je to, které je adaptabilní, dokáže se tedy přizpůsobit vzniklé situaci a reagovat na ni [8].

Ve srovnání s publikovanými cizojazyčnými knihami, které poskytují spíše bohatý informační podklad k tématu, nabízejí určitá řešení cizojazyčné odborné články. Ty se zabývají různými optimalizačními metodami a návrhy staveniště. Takových článků o optimálním umístění jeřábu zaměřujících se na minimální počty pohybů jeřábu či maximální snížení nákladů, je mnoho.

První dohledaný článek v rámci rešerše se datuje do roku 1973, kdy Warszawski navrhnul vzorec časové vzdálenosti, ve kterém bylo možné kvantitativní hodnocení polohy. Dále autoři Furusaka a Gray publikovali dynamický programovací model, jehož cílem bylo snižování nákladů na pronájem, nicméně ale bez ohledu na umístění. Autoři Gray a Little dále publikovali práci popisující návrh optimálního umístění jeřábu v budově nepravidelného tvaru či autoři Wijesundera a Harris publikovali navržený simulační model pro rekonstrukci doby provozu při přemísťování betonu. Dalšími z řady autorů jsou například Farrel a Hover, kteří vyvinuli databázi s grafickým rozhraním, které pomáhá s výběrem a umístěním jeřábu [15]. Autoři Choi a Harries zase v roce 1991 navrhli model, který umožňuje najít nejlepší umístění jednoduchého věžového jeřábu, čímž optimalizuje dobu, kdy se jeřáb pohybuje mezi jednotlivými stanovišti. Klíčový je zde tedy výpočet přepravní doby [16].

V roce 1996 Zhang a kolektiv navrhli stochastický model, aby optimalizovali umístění věžového jeřábu [17], tento model poté v roce 1999 Zhang a kolektiv upravili a vylepšili tím, že použili simulační metodu Monte Carlo pro skupinu jeřábů. Tato práce se bude dále blíže zabývat první z výše uvedených metod.

Autor Wu s kolektivem zase v roce 2010 vytvořil algoritmus pro umístění mobilních jeřábů na stavbách. V něm zohledňovali nosnost, geometrické rozměry a vlastnosti jeřábu, rozměry upevnění a únosnost podloží. Autor Hosseini s kolektivem zmiňuje ve své publikaci, že tento algoritmus byl zahrnut do počítačově podporovaného 3D systému, který zahrnuje modelovací modul jeřábu či modul pro výběr jeřábu a další. Dalšími autory, kteří se v poslední době s různými postupy podobným tématem zabývají, jsou například Olearczyk či Tubaileh [15].

Pro účely této práce jsou dále rozebrány tři z výše uvedených prací. Jsou jimi počítačový model pro optimalizaci umístění jediného věžového jeřábu z roku 1996 vytvořený Zhangem a kolektivem [19], dále práce Funtíka a Gašparíka [18] týkající se umístění VJ v rámci daného staveniště s ohledem na využití BIM a práce Dasoviće a kol. [21] týkající se optimalizačního návrhu věžového jeřábu za pomoci přístupu BIM.

# ZVEDACÍ MECHANISMY, TECHNICKÉ PARAMETRY, VÝKONNOST, FINANČNÍ NÁKLADY

S ohledem na vysoké ceny pozemků je investory kladen důraz na minimalizaci zastavěné plochy a zároveň maximalizaci prostor, které bude možné pronajmout. S ohledem na tyto podmínky jsou stále častěji stavěny několikapodlažní objekty, což s sebou z pohledu realizace stavby nese specifické požadavky na dopravu materiálu z místa skládky na místo uložení. Nejčastěji jsou přesuny materiálu u

vyšších staveb řešeny prostřednictvím jeřábů. Jeřábů je v současné nabídce velké množství, proto jsou za účelem usnadnění výběru děleny do několika základních skupin.

**Základním rozdělením jeřábů je dělení dle konstrukce stroje na:**

- Jeřáby věžové
- Jeřáby mobilní
- Jeřáby speciální – derricky, mostové jeřáby a podobně

**Technické parametry věžových jeřábů**

S ohledem na potřeby této práce se dále práce věnuje pouze jeřábům věžovým. Ty je možné dále dělit:

- Lehké stavební jeřáby – užívány zejména pro výstavbu obytných budov
    - nosnost do 2 tun
    - vyložení do 16 m
    - zdvih do 20 m
- Střední stavební jeřáby – užívány zejména pro vícepodlažní budovy
    - nosnost do 5 tun
    - vyložení do 25 m
    - zdvih do 40 m
- Těžké stavební jeřáby – užívány zejména pro stavby průmyslových objektů
    - nosnost do 50 tun
    - vyložení do 50 m
    - zdvih do 80 m

**Hlavními technickými parametry posuzovanými u věžových jeřábů jsou:**

- Nosnost jeřábu, která je pro stroj definována ve dvou hodnotách, a to:
    - Maximálním zatížením jeřábu, které je omezeno vzdáleností od věže stroje
    - Maximálním zatížením na „špici“ výložníku, tedy možným zatížením v případě maximálního využití výložníku
    - Zbylé zatížení je nutné odečíst ze zátěžového diagramu daného stroje
        - Zátěžový diagram udává nosnost stroje v závislosti na délce vyložení. Z diagramu je zřejmé, že maximální nosnost stroje je nejprve konstantní s ohledem na vzdálenost vyložení a poté se od určitého vyložení začne nelineárně snižovat až na hodnotu maximálního zatížení při maximálním vyložení.
- Vyložení jeřábu, které lze definovat jako maximální možnou vzdálenost mezi věží stroje a břemenem zavěšeným na jeřábovém háku.
- Výška zdvihu, kterou je možné definovat jako výšku spodní hrany zavěšeného břemene na jeřábovém háku od terénu.
- Rychlost stroje, kdy budou pro návrh stroje rozhodující zejména:
    - Rychlost otáčení věže
    - Rychlost pojezdu kočky po výložníku
    - Rychlost zdvihu
    - V případě užití stroje mobilního i rychlost pojezdu

**Výkonnost věžových jeřábů**

Aby bylo možné posuzovat výkonnost zdvihacích mechanismů, v našem případě věžových jeřábů, je nutné si uvědomit, o jaký typ stroje se jedná. V tomto případě lze jednoznačně říci, že se jedná o stroj pracující cyklicky. V takovém případě je nutné nejprve definovat a rozebrat typický pracovní cyklus tohoto stroje.

U cyklicky pracujících strojů, mezi které je možné věžové jeřáby řadit, by se pak měla výkonnost určovat ze vztahu [1]:

$$Q = C \cdot J \cdot k_p \text{ [jedn. množství / čas]} \qquad 5.1$$

kde: C – počet cyklů vykonaných za jednotku času
J – objem produkce dopravený v jednom cyklu
$k_p$ – koeficient pracovní účinnosti stroje

Pracovní cyklus věžového jeřábu je pro zdárné dosažení cílů stanovených v rámci této práce jednou z hlavních vstupních informací, tato práce se jím bude dále detailněji zabývat.

**Finanční náklady spojené s věžovými jeřáby**

Jak již zaznělo v úvodu této práce, je velice důležité věnovat pozornost a čas návrhu vhodného zdvihacího mechanismu. Zvolíme-li stroj, který nebude naddimenzovaný, nebo naopak poddimenzovaný a zároveň bude maximálně vytížen, můžeme tím docílit s ohledem na dobu trvání výrazné finanční úspory.

Na základě dat získaných od společností zajišťujících pronájem věžových jeřábu uvádí tato práce přehled základních finančních nákladů. Tato data by měla sloužit jako vstupní informace k vytvoření představy o vynaložených nákladech za věžový jeřáb v rámci realizované zakázky. Uvedená data jsou orientační, ceny jsou stanovovány vždy s ohledem na konkrétní typ stavby a mohou se drobně lišit. Stejně tak mohou být ceny nižší v případě dlouhodobé spolupráce pronajímatele a objednatele.

*Tab. 5.3 Orientační finanční náklady činností spojených s pronájmem věžových jeřábů:*

| Typ jeřábu | | Liebherr 30LC | Liebherr 132 EC-H |
|---|---|---|---|
| Nosnost [t] | Maximální | 2,5 | 10 |
| | Na špici | 1 | 1,55 |
| Vyložení [m] | | 30 | 55 |
| Zdvih [m] | | 30 | 30 |
| Projekt [Kč] | | 5.500 | 5.500 |
| Doprava na staveniště [Kč/km] | | 250 | 550 |
| Montáž vč. Asistence mobilního jeřábu [Kč] | | 48.850 | 82.000 |
| Revize [Kč] | | 6.900 | 6.900 |
| Pojištění [Kč/měs.] | | 1.095 | 1.580 |
| Pronájem [Kč/měs.] | | 39.000 | 58.000 |
| Demontáž [Kč] | | 48.850 | 82.000 |
| Doprava ze staveniště [Kč/km] | | 50.000 | 110.000 |

Z dat uvedených v tabulce výše se může zdát, že náklady na pronájem stroje nejsou příliš vysoké. Je potřeba si uvědomit, že v případě užití věžových jeřábů se nikdy nejedná o pronájem v řádu dní, ale v řádu

měsíců. Pro představu přikládám tabulku vývoje cen za pronájem věžových jeřábů s ohledem na dobu jeho zapojení na staveništi.

*Tab. 5.4 Orientační finanční náklady pronájmu vybraných věžových jeřábů s ohledem na dobu užití:*

| Typ jeřábu | Délka nasazení [měs.] | Náklady hrazené měsíčně [Kč] | Mzdové náklady jeřábníka [Kč] | Spotřeba elektrické energie [Kč] | Náklady jednorázové [Kč] | Náklady celkové [Kč] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Liebherr 30LC | 1 | 40.100 | 73.200 | 5.000 | 210.100 | 328.400 |
| | 3 | 120.300 | 219.600 | 15.000 | | 565.000 |
| | 6 | 240.600 | 439.200 | 30.000 | | 919.900 |
| Liebherr 132 EC-H | 1 | 59.600 | 73.200 | 13.000 | 396.400 | 542.200 |
| | 3 | 178.800 | 219.600 | 39.000 | | 833.800 |
| | 6 | 357.600 | 439.200 | 78.000 | | 1.271.200 |

Výše uvedené ceny mzdových nákladů jeřábníka a spotřebovanou energii odhaduji za účelem získání konečné odhadní ceny za pronájem. Pro utvoření si představy uvádím, že k polovině roku 2019 činila mzda jeřábníka 305,-Kč na hod. v pracovní dny a 355, -Kč na hod. v sobotu, neděli a svátky. Elektřina by se mohla pohybovat v rozmezí 5-15 tis. Kč/měsíc.

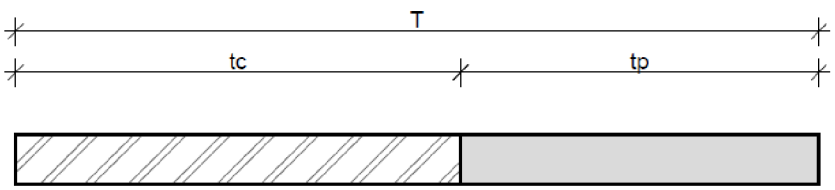
# TYPOVÝ PRACOVNÍ CYKLUS JEŘÁBU A JEHO VÝPOČET

### Typový pracovní cyklus věžového jeřábu pro vybraný DSP

Obecně lze říci, že doba pracovního cyklu vybrané DSP označované jako „T“ se skládá ze dvou základních hodnot. Těmito hodnotami jsou doba pracovního cyklu jeřábu označovaná jako $t_c$ a doba nevyžadující obsluhu věžového jeřábu $t_p$. Toto lze tedy zapsat vztahem:

$$T = t_c + t_p \qquad 6.1$$

kde: T – doba trvání pracovního cyklu vybrané DSP
$t_c$ – doba po kterou daná činnost vyžaduje obsluhu věžového jeřábu
$t_p$ – doba po kterou daná činnost nevyžaduje obsluhu věžového jeřábu




*Obr. 6.1) Schématické znázornění doby trvání jednoho pracovního cyklu DSP*

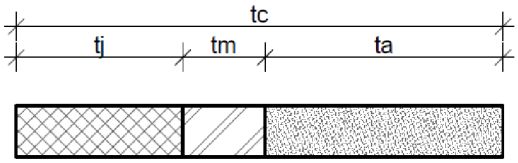
Nyní se již konkrétněji zaměřme na výpočet typového pracovního cyklu jeřábu, respektive doby $t_c$.

Pro potřeby této práce je potřeba si nejprve detailně rozebrat dobu potřebnou pro obsluhu DSP v rámci jednoho pracovního cyklu označovanou jako „$t_c$“ vztaženou k práci věžového jeřábu. Tuto dobu je možné

dělit na tři samostatné hodnoty, a to dobu po kterou je věžový jeřáb aktivně zapojen a dobu po kterou se věžový jeřáb musí pasivně podílet na vybrané DSP. Toto lze zapsat vztahem:

$$t_c = t_j + t_m + t_a \qquad 6.2$$

kde: $t_c$ – doba pracovního cyklu věžového jeřábu potřebná k realizaci vybrané DSP
$t_j$ – doba potřebná pro přesun jednotkového materiálu
$t_m$ – doba potřebná pro zavěšení a odpojení materiálu
$t_a$ – doba vyžadující pasivní zapojení věžového jeřábu




*Obr. 6.2) Schématické znázornění pracovního cyklu VJ v rámci DSP*

Hodnoty „$t_j$“ a „$t_m$“ uvedené ve vztahu (6.2) je možné určit s ohledem na známé vstupní hodnoty jako jsou rychlost zdvihu VJ, rychlost pojezdu kladnice po výložníku, rychlost otáčení věže a podobně. Naopak skutečnou hodnotu doby asistence jeřábu „$t_a$“ nelze stanovit výpočtem a pro jednotlivé DSP, které vyžadují asistenci jeřábu, nejsou tyto hodnoty stanoveny. Proto je třeba vycházet pouze z monitoringu těchto DSP na stavbách. Nyní je zapotřebí stanovit způsob získání první z výše uvedených hodnot, tedy hodnoty „$t_j$“ a „$t_m$“.
Hodnoty „$t_m$“ je možné stanovit z hodnot měřených v rámci pozorování dostatečného množství cyklů a staveb. S ohledem na skutečnost, že tyto hodnoty již byly stanoveny v odborné literatuře, došlo k jejich porovnání s náhodně odečtenými hodnotami v rámci prováděného monitoringu staveb, které prokázalo jejich „řádovou“ správnost a byly tedy převzaty [1]. Časové ocenění potřebné pro zavěšení a odpojení u vybraných materiálů je shrnuto v této tabulce:

*Tab. 6.1 Časové ocenění zavěšení a odpojení pro vybrané DSP [1]:*

| Druh dopravovaného materiálu | Jednotka pro přesun | Doba „$t_m$“ pro zavěšení a odpojení [min] |
|---|---|---|
| Kusové substráty naložené na paletách | Jedna paleta | 2,0 |
| Bednění | Prvky – přesouvané hromadně v balíku | 3,0 |
| Bednění | Velkoplošné, předem smontované prvky – přesouvané jednotlivě | Do 10 |
| Výztuž | Pruty v balíku | 3,0 |
| Výztuž | Armokoše | 2,0 |
| Čerstvý beton – masivní konstrukce | Kontejner do 0,5m$^3$ | 1,5 |
| Čerstvý beton – tenkostěnné konstrukce | Kontejner do 0,5m$^3$ | 2,0 |
| Čerstvý beton – masivní konstrukce | Kontejner do 1,0m$^3$ | 3,0 |
| Čerstvý beton – tenkostěnné konstrukce | Kontejner do 1,0m$^3$ | 3,5 |
| Stropní panely | Jeden kus | 3,0 |

Dále je nutné v rámci stanovení hodnoty „$t_c$“ zohlednit také takzvané objektivní a subjektivní vlivy, které by mohly mít vliv na provoz vybraného věžového jeřábu. Těmito vlivy mohou být například povětrnostní vlivy, členění stavby, zkušenosti jeřábníka a podobně. Těmito vlivy a problematikou stanovení opravných koeficientů se historicky zabývala řada autorů a není tedy z mého pohledu nutné je opětovně řešit i v rámci

této práce. Pro zohlednění těchto vlivů tato práce přebírá koeficient označovaný jako „$k_s$“ zpracovaný pro následující činnosti v následující tabulce:

*Tab. 6.2 Koeficienty pracovních vlivů pro vybrané DSP [1]:*

| Dílčí stavební proces (DSP) | Hodnota koeficientu pracovních vlivů – ks |
|---|---|
| betonáž – masivní konstrukce | 1,1 |
| betonáž – tenkostěnné konstrukce | 1,4 |
| Vyztužování | 1,1 |
| Bednění | 1,2 |
| Odbedňování | 1,2 |

Dobu trvání pracovního cyklu věžového jeřábu pro vybranou DSP je po zohlednění výše uvedeného možné zapsat vztahem:

$$t_c = k_s \cdot t_n \qquad 6.3$$

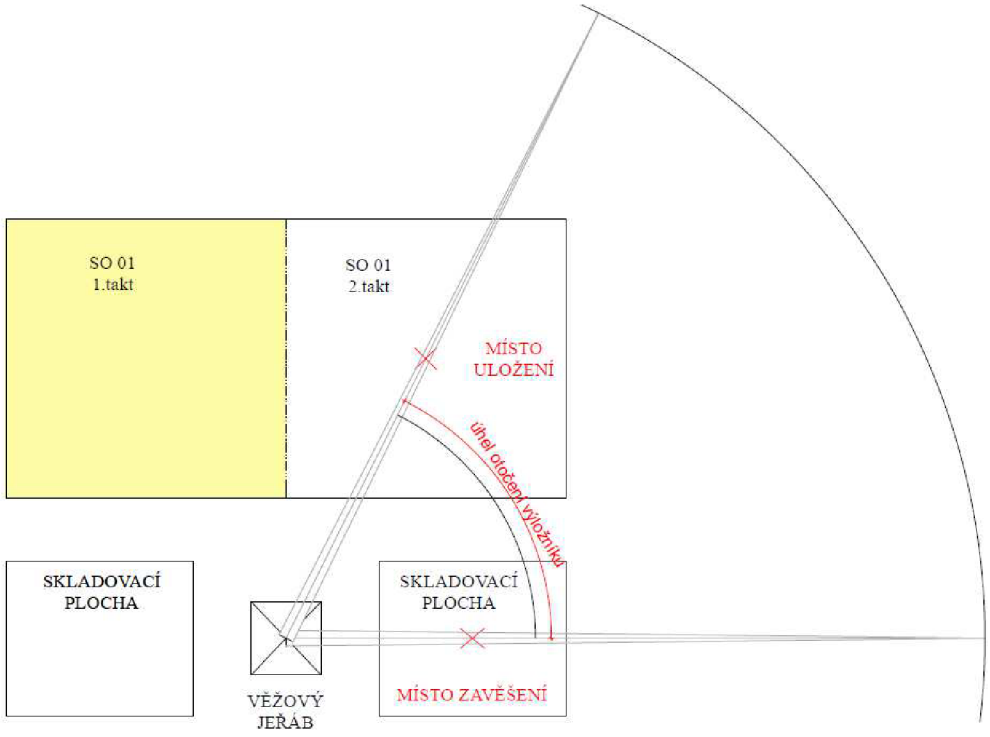
kde: $t_c$ – doba pracovního cyklu věžového jeřábu potřebná k realizaci vybrané DSP
$k_s$ – opravný koeficient pracovních vlivů
$t_n$ – doba potřebná pro obsluhu DSP věžovým jeřábem

$$t_n = t_j + t_m + t_a \qquad 6.4$$

kde: $t_j$ – doba potřebná pro přesun jednotkového materiálu
$t_m$ – doba potřebná pro zavěšení a odpojení materiálu
$t_a$ – doba vyžadující pasivní zapojení věžového jeřábu – asistence jeřábu

**Výpočet doby $t_j$ pro přesun jednotkového množství materiálu**

Aby bylo možné reálně si představit výše uvedené výpočty a veškeré činnosti do nich vstupující, je vhodné na obecném případě uvést co je to pracovní cyklus VJ a jak jej lze časově ocenit.




*Obr. 6.3) Grafické znázornění pracovního cyklu VJ*

Je nutné si uvědomit, že dobu trvání pracovního cyklus u cyklicky pracujících strojů, mezi které VJ řadíme, ovlivňuje celá řada aspektů což má za následek odchylky v rámci doby trvání jednotlivých pracovních cyklů. Těmito aspekty mohou být kvalita obsluhy, povětrnostní podmínky a podobně. Výpočet doby trvání pracovního cyklu VJ by se tedy měl idealizovat do podoby, která bude nejvíce korespondovat s realitou, a tuto hodnotu následně ve výpočtech užívat. Základními a zároveň lze říci, že i zásadními vstupními faktory ovlivňujícími dobu trvání pracovního cyklu jsou rozmístění skladovacích ploch ve vztahu k budovanému objektu a dále výběr konkrétního typu VJ. Vzájemná poloha budovaného objektu a skladovací plochy udává dopravní vzdálenosti, a to jak horizontální, tak i vertikální. Zvolený typ VJ pak udává rychlosti otáčení, pojezdů, zdvihů či maximální možné dosahy a nosnosti. Výpočtem doby cyklu jeřábu tn metodou kritické cesty se již ve své habilitační práci zabýval doc. Ing. Vít Motyčka, CSc. [1].

Typický pracovní cyklus by měl zahrnovat tyto činnosti:

Výchozí pozice
- Zavěšení břemene na hák VJ
- Zdvih břemene (vertikální pohyb háku)
- Přesun břemene (horizontální – pojezd kladnice)
- Otáčení výložníku
- Spouštění břemene
- Osazení břemene a jeho odpojení ze závěsu

Návrat zpět do výchozí pozice
- Zdvih háku
- Otočení výložníku
- Pojezd kladnice
- Spuštění háku

Některé výše uvedené činnosti mohou v rámci pracovního cyklu probíhat souběžně. S ohledem na tuto skutečnost je pro stanovení skutečné doby pracovního cyklu vhodné užití metody kritické cesty.

Při výpočtu doby $t_j$ je třeba vycházet z dostupných dat udávaných výrobcem zvoleného typu VJ a dispozičního uspořádání staveniště [1]. Pro názorný výpočet se uvažuje s hodnotami uvedenými v tabulce 6.3, dále horizontální vzdáleností 19,5 m, výškou zdvihu 11,5 m, pootočením věže o 53° a přepravou bednicí sestavy o rozměrech 1,5x3m o hmotnosti 163 kg.

*Tab. 6.3 Vybrané technické parametry VJ Liebherr 30LC:*

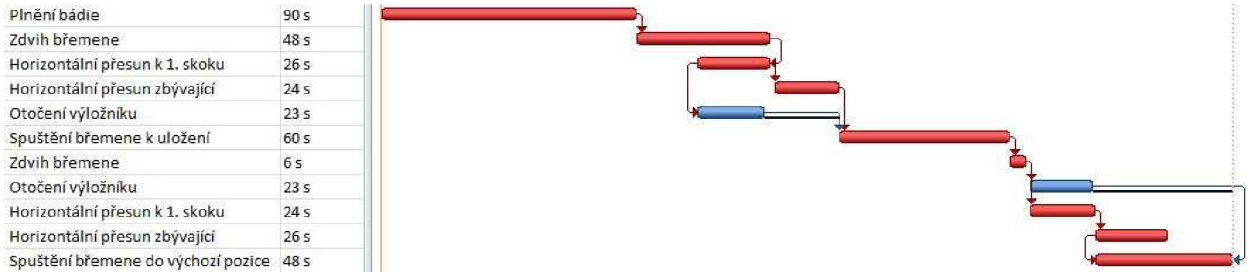
| Vybrané technické parametry VJ Liebherr 30LC | hodnota | Jednotka |
|---|---|---|
| Rychlost zdvihu háku | 0,5 | m/s |
| Rychlost spuštění háku | 0,5 | m/s |
| Rychlost usazovací | 0,05 | m/s |
| Rychlost pojezdu kladnice | 1,0 | m/s |
| Rychlost otáčení výložníku | 0,9 | ot./60s |

Na základě výše uvedených vstupních dat byly vypočteny doby trvání pro jednotlivé činnosti pro stacionární jeřáb. Vypočtené doby trvání jednotlivých činností pro VJ byly shrnuty do následující tabulky 6.4.

*Tab. 6.4 Doby trvání jednotlivých činností $t_j$ zahrnutých v rámci pracovního cyklu VJ:*

| Číslo činnosti | Činnost | Doba trvání [s] | Možný souběh s činností číslo |
|---|---|---|---|
| Výchozí pozice | | | |
| 1 | Zavěšení břemene | 90 | |
| 2 | Zdvih břemene | 48 | 3, 5 |
| 3 | Horizontální přesun břemene k 1. skoku | 26 | 2 |
| 4 | Horizontální přesun břemene zbývající | 24 | 5 |
| 5 | Otočení výložníku | 23 | 4 |
| 6 | Spuštění břemene k uložení | 60 | |
| Návrat do výchozí pozice | | | |
| 7 | Zdvih háku | 6 | |
| 8 | Otočení výložníku | 23 | 9, 10 |
| 9 | Horizontální přesun háku k 1. skoku | 24 | 8 |
| 10 | Horizontální přesun háku zbývající | 26 | 11 |
| 11 | Spuštění do výchozí pozice | 48 | 10 |

Nejlépe se průběh pracovního cyklu VJ s využitím výpočtu CPM znázorňuje úsečkovým zobrazením, které vypadá pro výše uvedený příklad takto:




*Obr. 6.4) Grafické znázornění řazení činností v rámci pracovního cyklu VJ*

Z výše uvedeného lze stanovit dobu trvání jednoho pracovního cyklu určeného na základě metody kritické cesty. Doba trvání pracovního cyklu je tedy v tomto případě rovna hodnotě 300 s, tedy rovných 5 minut.

# DÍLČÍ STAVEBNÍ PROCESY – VÝBĚR, ROZBOR, ZATŘÍDĚNÍ DO SKUPIN DLE VYTÍŽENOSTI JEŘÁBU

Tato práce je zacílena na monolitické betonové stavby, zejména na procesy bednění, armování, betonáž a odbedňování. S těmito procesy je spojeno velké množství stavebních pojmů, kdy ne všechny musí být na základě svého názvu jednoznačně pochopeny. Je tedy vhodné si alespoň vybrané základní pojmy vysvětlit.

V případě pojmu „**stavba**“, kterou lze chápat jako „výrobek“, se jedná o souhrn stavebních prací včetně veškerých dodávek jako jsou materiály, stroje, zařízení a podobně. Stavba jako taková bývá zpravidla realizována v daném místě a čase za účelem zřízení objektu nového, případně za účelem zajištění jeho rekonstrukce. Lze říci, že každá stavba je s ohledem na výše uvedené originální a jedinečná.

Nejčastěji užívaným pojmem v této práci je pojem „**dílčí stavební proces**“, dále jen DSP. Pod pojmem DSP se skrývá jeden nebo více pochodů, které realizuje daná pracovní četa se stálou nebo proměnlivou

dělbou práce. Výstupem tohoto procesu je stavební konstrukce. Pojem „**pochod**“ tvoří část DSP a je tvořen skupinou technicky souvisejících pracovních operací, jejichž výstupem je konstrukční prvek.

V rámci tvorby metodiky bylo nutné stanovit takzvaný „**řídicí proces**“, což je DSP, který je vždy přednostně zařazen v rámci výstavby oproti zbývajícím činnostem a má tak přímý dopad na dobu trvání realizace.

**Teoretický rozbor a stanovení doby trvání pracovních cyklů DSP**

Aby bylo možné dostatečně posoudit časové vytížení jeřábu není možné vycházet pouze z orientačních metod a přibližných ukazatelů stejným způsobem, jak tomu je u již známých metod uvedených v kapitole 4. Je nutné zabývat se detailně průběhem výstavby, zejména pak jejím sekundárním zásobováním, do kterého se činnost věžových jeřábů řadí.

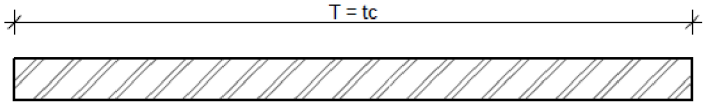
Všechny DSP vyžadující obsluhu jeřábem, resp. materiály, které jsou dopravovány věžovými jeřáby, jsou podle charakteru požadavků na zásobování rozděleny do tří základních skupin, a to:

1. Skupina – činnosti vyžadující nepřetržitou asistenci věžového jeřábu, což znamená, že je hodnota „$t_p$“, tedy doba, po kterou činnost nevyžaduje obsluhu věžového jeřábu rovna nule. Dobu trvání činností zařazených do této skupiny je tedy možné zapsat tímto vztahem:

$$\boldsymbol{T = t_c + t_p = t_c + 0 = \ t_c} \qquad 7.1$$

kde: T – doba trvání pracovního cyklu vybrané DSP
$t_c$ – doba po kterou daná činnost vyžaduje obsluhu věžového jeřábu
$t_p$ – doba po kterou daná činnost nevyžaduje obsluhu věžového jeřábu = 0

Graficky je možné danou činnost znázornit takto:




*Obr. 7.1) Schematické znázornění doby trvání v rámci 1.skupiny*

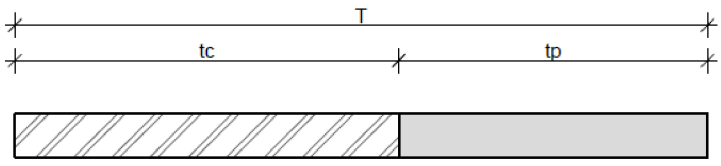
Z námi posuzovaných činností je možné do této skupiny zařadit činnost „**betonáž**“, která bude probíhat za pomocí bádie nebo montážní práce.

2. Skupina – činnosti vyžadují obsluhu věžového jeřábu, ale pouze na časově omezenou dobu, nikdy ne na celou dobu jejího trvání. Do této skupiny se řadí převážné množství činností, vyžadujících obsluhu věžového jeřábu, realizovaných v rámci stavby. Dobu trvání činností zařazených do této skupiny je tedy možné zapsat tímto vztahem:

$$T = t_c + t_p \qquad 7.2$$

kde: T – doba trvání pracovního cyklu vybrané DSP
$t_c$ – doba po kterou daná činnost vyžaduje obsluhu věžového jeřábu
$t_p$ – doba po kterou daná činnost nevyžaduje obsluhu věžového jeřábu

Graficky je možné danou činnost znázornit takto:




*Obr. 7.2) Schematické znázornění doby trvání v rámci 2.skupiny*

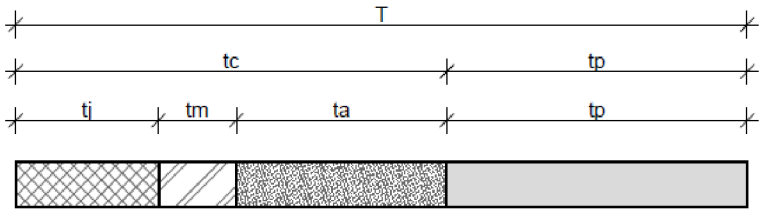
S posuzovaných DSP je možné do této skupiny zařadit například „**zřízení bednění, armování** a **odstranění bednění**“.

3. Skupina – činnosti vyžadují obsluhu věžového jeřábu jen velice výjimečně a nepravidelně. Dobu trvání činností zařazených do této skupiny stejně jako v rámci 2. skupiny, je možné zapsat vztahem (7.2).

Do této skupiny by se pro představu řadily činnosti jako například neplánovaný přesun materiálu, osazení technologie a podobně.

Časové požadavky DSP patřících do 3. skupiny budou zohledněny v závěrečném výpočtu časové vytíženosti věžového jeřábu koeficientem $k_3$ = 0,1. Hodnota koeficientu vychází z praktických zkušeností, že tyto nepředvídatelné požadavky představují asi 10% z časového vytížení jeřábu. Pro tyto časové požadavky lze využít případné prostoje jeřábu během posuzovaného časového intervalu (pracovní směny).

Výslednou dobu trvání jednoho pracovního cyklu vybrané DSP lze s ohledem na výše uvedené graficky znázornit takto:




*Obr. 7.3) Schématické znázornění doby trvání jednoho pracovního cyklu DSP v rámci 3.skupiny*

Z obrázku je zřejmé, že doba jednoho pracovního cyklu „T“ se skládá ze dvou základních činností, a to doby vyžadující obsluhu VJ značenou jako „$t_c$“ a doby trvání činnosti, která obsluhu VJ nevyžaduje a lze tedy pracovat bez jeho pomoci. Váše zmíněná činnost zohledňující obsluhu jeřábu „$t_c$“ se dále skládá z několika dílčích činností. Těmito činnostmi jsou doba potřebná k přesunu břemene zavěšeného na závěsu VJ značená jako „$t_j$“, dále doba potřebná k zavěšení a uvolnění břemene na VJ, kterou značíme jako „$t_m$“ a doba po kterou činnost vyžaduje asistenci VJ, tedy je nutné mít břemeno zavěšeno na VJ, a to například z důvodu zajištění stability přepravované konstrukce a značíme ji „$t_a$“.

**Výběr DSP vyžadující obsluhu VJ a jejich rozborová data**

Tato práce se zaměřuje na monolitické železobetonové pozemní stavby, které jsou závislé na dodávce materiálu prostřednictvím věžových jeřábů. Z tohoto důvodu se v rámci výběru DSP nabízí řešení těchto rozhodujících DSP:

- Bednění konstrukcí
- Vyztužování konstrukcí
- Betonáž konstrukcí
- Odbedňování konstrukcí
- Zdění

Pracovní cyklus DSP, který je v rámci této práce značen jako „T“, je dán dobou potřebnou pro přesun a zpracování jednotkového množství materiálu na místo zabudování pomocí VJ v rámci jednoho jeho pracovního cyklu, tak jak bylo uvedeno v kapitole 6. Graficky znázorňuje pracovní cyklus DSP obr. 7.2.

K zajištění rozboru jednotlivých DSP je možné vycházet z údajů spotřeb časů, tedy normohodin, které bývají běžně využívány v České republice v rámci přípravy staveb. Touto problematikou se zabývá řada společností, z nichž dvě nejznámější jsou datové základny společnosti ÚRS Praha, a.s. a RTS a.s. Stanovováním normohodin se zabývají i vysoké školy nicméně v této práci jsou zvolena jako podklad

data vydávaná společností RTS, a.s. Pro představu si nyní uveďme porovnatelná data udávaná vybranými rozpočtářskými programy běžně užívanými v rámci přípravy staveb v České republice.

*Tab. 7.1 Normohodiny užívané v rámci této práce pro vybrané DSP:*

| Název činnosti | Nh | MJ |
|---|---|---|
| Bednění stěn | 0,18 | $Nh/m^2$ |
| Bednění stropu | 0,26 | $Nh/m^2$ |
| Armování stěn | 1,18 | Nh/100kg |
| Armování stropu | 1,32 | Nh/100kg |
| Betonáž | 0,95 | $Nh/m^3$ |
| Odbedňování stěn | 0,11 | $Nh/m^2$ |
| Odbedňování stropu | 0,13 | $Nh/m^2$ |
| Zdění | 1,3 | $m^3$/hod. |
| Montáž schodiště | 1,56 | Nh/ks |

Na základě normové spotřeby času pro provedení jednotkového množství vybrané DSP a na základě stanovených jednotkových množství materiálu pro přesun věžovým jeřábem pro jednotlivé DSP lze pak odvodit počet potřebných pracovních cyklů v určeném časovém intervalu (např. v jedné pracovní směně).

Pro stanovení skutečných požadavků DSP na zásobování rozhodujícími materiály, tedy pro stanovení skutečné doby trvání pracovního cyklu DSP, označovaného „T“ za účelem praktického posouzení časového vytížení VJ je nutné vycházet ze závazného časového plánu stavby. Dále je nutné znát přesné spotřeby materiálů pro jednotlivé DSP a v neposlední řadě jednotková množství materiálu určená k sekundárnímu zásobování vybrané DSP. Způsob a jednotkové množství přesouvaného materiálu pro každé vybrané DSP v rámci jednoho pracovního cyklu VJ zpravidla stanovuje výrobce materiálu, dalo by se tedy říci, že se jedná o známou hodnotu.

Ze závazného časového plánu stavby, vypracovaného zpravidla zhotovitelem v rámci podání cenové nabídky, vyplývá požadovaná rychlost výstavby a v úrovni vybrané DSP i spotřeba materiálu ve sledovaném časovém intervalu (například pracovní směně). Předpokladem pro stanovení pracovního cyklus vybrané DSP je, že VJ vždy přenáší odpovídající jednotkové množství materiálu. Pracovní cyklu vybrané DSP lze tedy definovat jako časový interval, ve kterém je zpracováno jednotkové množství materiálu dodané jeřábem pro daný DSP. Přičemž doba jednoho pracovního cyklu sledovaného DSP, značená jako „T“, je dána součtem doby „$t_c$“, to je dobou potřebnou pro obsluhu DSP VJ v jednom pracovním cyklu a dobou „$t_p$“, což je doba, po kterou probíhá práce na DSP bez obsluhy VJ. Obecně lze tedy říci, že dobu „T“ značí časový interval mezi jednotlivými požadavky na zásobování vybrané DSP. Pro výše uvedené tedy platí vztah 7.2 uvedený již dříve.

Připomeňme si, že doba potřebná pro obsluhu DSP VJ, označovaná jako „$t_c$“, obsahuje veškeré činnosti VJ, které jsou s vybranou DSP spojeny. Mohou to být například uchycení břemene, veškeré přesuny, odpojení břemene i asistence při propojování konstrukcí. Doba, po kterou vybraná DSP nevyžaduje obsluhu VJ, tedy doba „$t_p$“, zahrnuje veškeré práce na vybrané DSP, kdy není vyžadována obsluha VJ, čímž může být vibrování betonové směsi, doplnění spojovacích prvků dle technologických předpisů a podobně.

Obecně se nabízí tvrzení, že doba „$t_p$“, která nevyžaduje obsluhu VJ není pro posuzování vytíženosti VJ na stavbě potřebná, toto tvrzení je ovšem chybné. Abychom byli schopni posoudit vytíženost VJ je zásadní vstupní hodnotou počet cyklů vybraných DSP, a ty jsme schopni určit na základě hodnoty „T“ jejíž nedílnou součástí je i doba „$t_p$“.

**Mezi rozborová data jednotlivých DSP patří:**

- Množství materiálu přesunutého v rámci posuzovaného období (např. v jedné pracovní směně)
- Množství materiálu přesunutého VJ v rámci jednoho pracovního cyklu stroje
- Počet pracovních cyklů vybrané DSP v rámci posuzovaného období
- Doba jednoho pracovního cyklu vybrané DSP, značeno „T“
- Doba, po kterou vybraná DSP vyžaduje obsluhu VJ, značeno „$t_c$“ v rámci jednoho pracovního cyklu
- Doba, po kterou vybraná DSP nevyžaduje obsluhu VJ, značeno „$t_p$“ v rámci jednoho pracovního cyklu
- Priority jednotlivých DSP (stanovení priorit bude řešeno v rámci kap 9)

Pro zpřesnění vstupních dat simulačního modelu je nutné vybrané DSP rozlišit na DSP vyžadující asistenci VJ a DSP nevyžadující asistenci VJ. Asistencí věžového jeřábu se rozumí doba, po kterou je prvek zavěšen na VJ, nicméně jeřáb nevykonává pohyb. Jedná se zpravidla o jištění sestavy bednění před jejím propojením s navazující konstrukcí, čímž dojde k její stabilizaci. Doba asistence VJ je v rámci této práce značena jako „$t_a$“.

Pro rozhodnutí, o jaký typ DSP se jedná je třeba provést u vybraných DSP rozbor do podrobnosti pracovních pochodů, kterým se případné asistence VJ přičleňují. Určení teoretické doby trvání vybraných DSP zohledňující výše uvedené skutečnosti bude řešeno v rámci kapitoly 7.5.

### Bednění pro pozemní stavby a výběr pro posouzení vytíženosti věžového jeřábu

Dílčí stavební proces bednění a odbedňování konstrukcí je nejnáročnější pro zhodnocení požadavků na obsluhu věžovým jeřábem. Existuje totiž řada různých typů dnes používaných systémových bednění a každý typ může mít i jiné požadavky na obsluhu jeřábem. Proto je třeba provést jejich podrobnější rozbor až na jednotlivé pracovní pochody, aby bylo možné rozhodnout a stanovit požadavky na potřebnou obsluhu jeřábem.

Pro posouzení vzorové stavby v rámci této práce bylo pro potřeby bednění stěn zvoleno lehké oboustranné rámové bednění a pro potřeby bednění stropů nosníkové stropní bednění.
Dobrá znalost použitých bednění znamená snadnější a rychlejší práci v rámci posuzování. V rámci mapování DSP jsou z pohledu bednění důležité především montážní postupy, možné způsoby přepravy a nároky na zdvihací mechanismy.

### Příklady stanovení rozborových dat pro vybrané DSP

Máme-li stanovit teoretické doby trvání cyklů pro vybrané DSP je nutné správně definovat vstupní data, kterými jsou doby trvání jednotlivých činností, maximální přepravní hmotnosti, rozměry přepravovaných prvků a podobně. Za účelem demonstrace postupu výpočtu jsou v následující části práce uvedeny vzorové výpočty. Jako podklad k výpočtu byly použity normohodiny stanovené společností RTS a hodnoty pro jednotkové přesuny uváděné výrobci systémových bednění uvedené v tabulce níže.

*Tab. 7.2 Jednotkové přesuny udávané výrobci – jeden pracovní cyklus:*

| Název činnosti | Upřesnění činnosti | Upřesnění materiálu | Jednotkové množství přesunu VJ |
|---|---|---|---|
| Vázání výztuže | Sloupy | Armokoš | 1 ks |
| | Stěny | Svazek | 300 kg |
| | Stropy | Svazek | |
| Zřízení bednění | Sloupy | Dílce | 1 ks |
| | Stěny | Sestavy | 1 ks |
| | Stropy | Stojky – paleta | 40 ks |
| | | Trojnožky – koš | 70 ks |
| | | Hlavice – kontejner | 70 ks |
| | | Podélný nosník – paleta | 27 ks |
| | | Příčný nosník – paleta | 27 ks |
| | | Bednicí desky – paleta | 32 ks |
| Betonáž | Sloupy | Bádie | 0,5 $m^3$ |
| | Stěny | | 1,0 $m^3$ |
| | Stropy | | 1,5 $m^3$ |
| Odstranění bednění | Sloupy | Dílce | 0,9 $m^2$ |
| | Stěny | Sestavy | 8,1 $m^2$ |
| | Stropy | Stojky – paleta | 40 ks |
| | | Trojnožky – koš | 70 ks |
| | | Hlavice – kontejner | 70 ks |
| | | Podélný nosník – paleta | 27 ks |
| | | Příčný nosník | 27 ks |
| | | Bednicí desky | 32 ks |
| Zdivo - Porotherm | 30 profi | Paleta | 1 ks |
| | 30 AKU Z profi | | 1 ks |
| | 19 AKU Z profi | | 1 ks |
| | 14 P+D | | 1 ks |
| | 11,5 P+D | | 1 ks |
| Zdivo - Ytong | tl. 150 mm | Paleta | 1 ks |
| | tl. 100 mm | | 1 ks |
| Schodiště | Montované | Rameno | 1 ks |

**Teoretický výpočet hodnot T, tc, tp**

**Bednění stěn**

Postup výpočtu je tedy následující:

- Normohodina

V první fázi je nutné stanovit normohodinu dle které bude DSP posuzována, v případě této práce byla jako zdroj vybrána databáze společnosti RTS, která v případě zřízení stěnových systémových bednění udává hodnotou 0,18 Nh/$m^2$.

- Plocha za směnu

Aby bylo možné stanovit odpovídající plochu bednění k sestavení v jedné pracovní směně je nutné určit délku pracovní směny. Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Plocha se tedy určí takto:

$$S_{sm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{12}{0{,}18} = 66{,}67\ m^2/směna \qquad 7.1$$

kde: $S_{sm}$ – plocha bednění zřízená v rámci jedné směny [$m^2$]
$t_{sm}$ – doba trvání jedné pracovní směny [hod.]
P – normohodina zvolené DSP [$Nh/m^2$]

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Máme-li stanovenu dobu trvání pracovní směny a je nám známa plocha bednění, kterou je možné zřídit v rámci jedné pracovní směny je nutné stanovit plochu bednění, kterou budeme přepravovat v rámci jednoho pracovního cyklu věžového jeřábu a následně určit počet cyklů, které by musel věžový jeřáb vykonat, aby výše uvedený požadavek naplnil. Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním bednicích sestav o rozměrech 1,5 x 3,0m, tedy o celkové ploše 4,5$m^2$. Dále bylo uvažováno i s nutností předpravy drobného spojovacího materiálu, jako rychloupínače, podpěry a podobně. S ohledem na objem tohoto typu materiálu a časové nároky na jeho přepravu bude na tuto činnost pohlíženo jako na zanedbatelnou. Počet cyklů se tedy stanoví následovně:

$$C = \frac{S_{sm}}{S_s} = \frac{66{,}67}{4{,}5} = 14{,}82 \doteq 15\ cyklů \qquad 7.2$$

kde: C – počet cyklů v rámci jedné směny
$S_{sm}$ – možná plocha bednění zřízená v rámci jedné směny [$m^2$]
$S_s$ – plocha bednicí sestavy přepravené v rámci jednoho cyklu VJ [$m^2$]

- Doba trvání daného cyklu

Stanovení doby trvání jednoho cyklu vychází ze dvou základních hodnot, a to doby trvání pracovní směny a výše vypočteného počtu pracovních cyklů, které je možné provést v rámci jedné pracovní směny. Výpočet bude tedy vypadat následovně:

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{15} = 0{,}8\ hod. = 48\ min. \qquad 7.3$$

kdy: T – doba trvání daného pracovního cyklu
$t_{sm}$ – doba trvání jedné pracovní směny
C – počet cyklů v rámci jedné směny

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Aby bylo možné provést rozbor běžného pracovního cyklu na hodnoty potřebné k posouzení vytíženosti VJ je nutné běžný pracovní cyklus nejprve rozčlenit na jednotlivé pracovní pochody a ty následně časově ocenit. Časové ohodnocení vychází v případě činností označovaných „$t_j$“, tedy doba potřebná pro přesun břemene, z výpočtů zohledňujících rychlost otáčení, pojezdu kladnice, rychlost zdvihu i úhel pootočení výložníku. V případě činností označovaných „$t_m$“, tedy doby potřebné k zavěšení a odpojení břemene, se vycházelo z dostupné literatury, kdy hodnoty byly ověřovány v rámci prováděného monitoringu viz. tab. 6.1. V případě činností označovaných „$t_a$“, tedy doby, po kterou činnost vyžaduje asistenci VJ, práce vychází z prováděného monitoringu na stavbách. Doby trvání pro vybrané činnosti týkající se bezprostředně bednění svislých konstrukcí jsou uvedeny v následující tabulce:

*Tab. 7.3 Doby trvání vybraných činností:*

| Název činnosti | Doba trvání činnosti [min.] | Skladba činnosti, do které bude činnost zahrnuta |
|---|---|---|
| Zavěšení břemene na VJ | 1,5 | $t_m$ |
| Aplikace odbedňovacího přípravku | | $t_a$ |
| Přesun břemene VJ na místo určení a zpět | 2 | $t_j$ |
| Stabilizace sestavy | 1 | $t_a$ |
| Uvolnění sestavy | 1,5 | $t_m$ |
| Souhrn výše uvedených činností | 6 | $t_n$ |

Po zohlednění výše uvedeného je možné přistoupit k postupnému rozboru běžného pracovního cyklu. Nejprve se stanoví dobra potřebná pro obsluhu DSP VJ dle následující rovnice 6.4:

$$t_n = t_j + t_m + t_a = (2 + (1{,}5 + 1{,}5) + 1) = 6\ min.$$

kde: $t_n$ – doba potřebná pro obsluhu DSP věžovým jeřábem
$t_j$ – doba potřebná pro přesun jednotkového materiálu
$t_m$ – doba potřebná pro zavěšení a odpojení materiálu
$t_a$ – doba vyžadující pasivní zapojení věžového jeřábu

Poté je již možné stanovit dobu pracovního cyklu VJ potřebnou k realizaci vybrané DSP, a to s v souladu s následujícím vzorcem 6.3 zohledňujícím opravný koeficient pracovních vlivů, stanovený dle tabulky tab. 6.2:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1{,}2 \cdot 6 = 7{,}2 \doteq 7\ min.$$

kde: $t_c$ – doba pracovního cyklu věžového jeřábu potřebná k realizaci vybrané DSP
$k_s$ – opravný koeficient pracovních vlivů
$t_n$ – doba potřebná pro obsluhu DSP věžovým jeřábem

S ohledem na hodnoty získané výpočty výše je nyní možné stanovit hodnotu $t_p$, tedy dobu, po kterou činnosti nevyžaduje obsluhu jeřábu, tedy dobu, která bude hrát v simulačním modelu jednu ze zásadních rolí v rámci možných způsobů řazení činností za sebe. Hodnotu $t_p$ tedy určíme z následujícího vztahu 6.1:

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 48 - 7 = 41 min.$$

kde: T – doba trvání pracovního cyklu vybrané DSP
$t_c$ – doba po kterou daná činnost vyžaduje obsluhu věžového jeřábu
$t_p$ – doba po kterou daná činnost nevyžaduje obsluhu věžového jeřábu

V rámci doby $t_p$ jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, jako například upevnění sestavy v rámci bednicího celku včetně jejího vyrovnání. Výslednou DSP, tedy bednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito vstupními daty:

*Tab. 7.4 Pracovní cyklus montáže stěnového bednění:*

| T | | $t_c$ | $t_p$ | | C |
|---|---|---|---|---|---|
| 48 min. | | 7 min. | 41 min. | | 15 |

**Stejným postupem se určí hodnoty pro všechny sledované činnosti.**

# MONITORING ČASOVÝCH POŽADAVKŮ NA VĚŽOVÉ JEŘÁBY PRO VYBRANÉ DSP NA PROBÍHAJÍCÍCH STAVBÁCH A JEJICH VYHODNOCENÍ

**Experimentální sledování - Dvouúrovňové vyhodnocení**

| | |
|---|---|
| **Stavba:** | Obřany |
| **DSP:** | Výztuž stropu |
| **Směna č.:** | 1 |
| **Datum:** | 28.11.2018 |

**1.úroveň - jednotlivé cykly** | **2.úroveň - ucelené části**

| | | měřené pracovní cykly | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Směna č. 1** | | p.č. | tc | tp | T |
| začátek měření: | 8:12 | 1. | 1 | 11 | 12 |
| | | 2. | 3 | 51 | 54 |
| | | 3. | 6 | 1 | 7 |
| | | 4. | 3 | 2 | 5 |
| | | 5. | 2 | 76 | 78 |
| | | 6. | 5 | 127 | 132 |
| | | 7. | 5 | 0 | 5 |
| | | 8. | 4 | 152 | 156 |
| konec měření: | 17:35 | 9. | 7 | 107 | 114 |

m2 / čas

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Počet cyklů / hod:** | **0,96 / hod.** | | |
| **Počet cyklů / směnu:** | **9 / směna** | | |
| **Vzorový průměr:** | **4** | **59** | **63** |

*Obr. 8.1) Ukázka přepisu hodnot pracovních cyklů jeřábu z časosběrné kamery do formuláře*

V rámci této práce bylo pozorováno šest monolitických staveb v rámci České republiky. U vybraných staveb byl sledován pracovní postup realizace monolitických stěn a monolitických stropů z pohledu potřeby věžových jeřábů k jejich realizaci. Hlavní podmínkou k možnému zařazení stavby do pozorování byl souhlas realizační společnosti. V rámci měření byla mapována jedna stavba na území hlavního města Prahy na Barrandově, dále pak pět staveb v rámci Brna, a to výstavba na Brně-středu, v Bohunicích, Obřanech a dvě stavby v Řečkovicích. Do monitorování brněnských staveb, vyjma stavby na Brně-středu, byli zapojeni i studenti doktorského studia Ústavu technologie, mechanizace a řízení staveb prostřednictvím specifického výzkumu 2018 FAST-S-18-5286. Hlavními důvody jejich zapojení bylo získání většího počtu vstupních dat. Dalším důvodem bylo rozšíření sledovaných činností i mimo monolitické konstrukce, a to o proces zdění, provedení plošných i hlubinných základů a střešních konstrukcí.

Na rozsáhlé stavbě bytových a polyfunkčních objektů v Obřanech je monitoring práce věžových jeřábů stále aktuálně prováděn. Monitorovány byly a jsou především tzv. rozhodující DSP, které byly detailněji rozebrány v kapitole 7 této práce. V rámci těchto DSP jsou sledovány hodnoty tc, tp a T, které jsou ze záznamu časosběrného snímkování převáděny do tzv. dvouúrovňového formuláře uvedeného na obrázku 8.1.

Výstupem v rámci prováděného monitoringu staveb jsou časové hodnoty zaokrouhlené vždy na celé minuty směrem nahoru, a to z důvodu směřování výstupů na stranu bezpečnou. Naměřená data sledovaných DSP jednotlivých konstrukcí byla vyhodnocena takto:

**Železobetonové stropní desky**

*Tab. 8.1 Pracovní cyklus bednění stropu – monitoring:*

| T | | $t_c$ | $t_p$ |
|---|---|---|---|
| 41 min. | | 5 min. | 36 min. |

*Tab. 8.2 Pracovní cyklus vyztužování stropu – monitoring:*

| T | | $t_c$ | $t_p$ |
|---|---|---|---|
| 49 min. | | 4 min. | 45 min. |

*Tab. 8.3 Pracovní cyklus odbednění stropu – monitoring:*

| T | | $t_c$ | $t_p$ |
|---|---|---|---|
| 14 min. | | 4 min. | 10 min. |

**Zhodnocení:**

Porovnáme-li hodnoty získané v rámci vyhodnocení monitoringu na reálných stavbách a hodnoty vypočtené v rámci kapitoly 7, kdy vstupními podklady byly normohodiny udávané běžně užívanými rozpočtářskými programy, dojdeme k následujícím závěrům. Hodnota $t_c$ je v obou případech shodná, zatímco hodnoty celkové doby pracovního cyklu se výrazně liší. Po detailnějším rozboru těchto hodnot lze však říci, že je tento rozdíl způsoben zejména tím, že v rámci pozorovaných staveb často docházelo k přepravování menšího množství materiálu v rámci jedno cyklu věžového jeřábu, než je dáno maximální možnou přepravní kapacitou. To vedlo k nutnosti přesunu potřebného množství materiálu ve 3x až 5x větším počtu cyklu VJ. Dá se tedy říci, že stroj nebyl na reálné stavbě efektivně využíván.

**Železobetonové stěnové konstrukce**

*Tab. 8.4 Pracovní cyklus bednění stěn – monitoring:*

| T | | $t_c$ | $t_p$ |
|---|---|---|---|
| 22 min. | | 7 min. | 15 min. |

*Tab. 8.5 Pracovní cyklus odbednění stěn – monitoring:*

| T | | $t_c$ | $t_p$ |
|---|---|---|---|
| 27 min. | | 9 min. | 18 min. |

**Zhodnocení**:

V rámci bednění stěn se v době, po kterou činnost vyžaduje asistenci setkáváme i s takzvanou asistencí jeřábu, tedy dobou, kdy je břemeno staticky zavěšeno na jeřábu po dobu nezbytně nutnou. Tímto se práce již zabývala v rámci kapitoly 7. Je ovšem nutné si připomenout, že se jedná o hodnotu, kterou není možné exaktně spočítat. Lze ji určit pouze na základě měření na reálných stavbách. Proto je tato výpočtová hodnota převzata i do výpočtové hodnoty $t_c$ (viz. kap. 7)

Z výsledků měření hodnot $t_c$ pro bednění stěn lze stanovit hodnotu doby $t_a$:

$t_c$ = 7 min,
$t_c$ lze vyjádřit dle vztahu 6.3:

$$t_c = k_s \cdot t_n$$

a dále dle vztahu 6.4 platí:

$$t_n = t_j + t_m + t_a$$

přičemž hodnoty:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $t_{m1}$ | ... | zavěšení materiálu | … | 1,5 min |
| $t_{a1}$ | ... | nanášení odbedňovacího přípravku | … | z monitoringu |
| $t_j$ | … | přesun jeřábem | … | 2,0 min |
| $t_{a2}$ | … | prostorová stabilizace | … | z monitoringu |
| $t_{m2}$ | … | uvolnění závěsů | … | 1,5 min |

kde:

$$t_a = t_{a1} + t_{a2}$$

a

$$t_m = t_{m1} + t_{m2}$$

Z uvedených vztahů vyplývá:

$$t_n = \frac{t_c}{k_s} = \frac{7}{1{,}2} = 5{,}83333 \doteq 6\ min$$

$$t_n = t_j + t_m + t_a \quad \text{tedy} \quad t_a = t_n - t_j - t_m$$

$$t_a = 6 - 2 - 3 = 1\ min$$

Z předchozího výpočtu a z výsledků hodnot monitoringu tedy lze uvažovat s hodnotou doby asistence jeřábu $t_a$ = 1 minuta.

Výsledná hodnota T doby pracovního cyklu DSP bednění stěn, vycházející z naměřených hodnot je více než 2x kratší, než udává vypočtená hodnota v kapitole 7 vycházející z výkonových norem. To po podrobném rozebrání obou hodnot lze přisoudit skutečnosti, že v rámci prováděného monitoringu nebyly zaznamenávány předmontážní práce na jednotlivých pracovních cyklech. Dále nebylo v rámci monitoringu zohledněno osazování lávek, výstupových systémů a zábradlí, zatímco výkonové normy s nimi uvažují. Nicméně čas práce jeřábu v rámci pracovního cyklu zvolené DSP je monitorován celý, a to je pro naše využití podstatné.

**Zhodnocení**:

Zjištěné hodnoty monitoringem pro DSP odbednění svislých konstrukcí stěn jsou velmi blízké výpočtovým hodnotám podle výkonových norem uvedených v kapitole 7.

# SIMULAČNÍ MODEL, OKRAJOVÉ PODMÍNKY, STANOVENÍ PRIORIT OBSLUHY DSP

Aby bylo možné objektivně posoudit, zda je zdvihací mechanismus vhodně navržen je nutné znát časový harmonogram stavby, a to do podrobnosti jednotlivých DSP včetně určení činností nacházejících se na takzvané kritické cestě. Kdybychom tyto činnosti neznali mohlo by se jednoduše stát, že bychom s ohledem na stanovení efektivního využití věžového jeřábu mohli ohrozit dobu trvání činnosti nacházející se na kritické cestě a tím ohrozit i konečný termín realizace.

**Stanovení okrajových podmínek úkolu**

Přesně předvídat požadavky různých DSP na obsluhu věžovými jeřáby je velmi obtížné, spíše nemožné. Cílem této práce je se simulačním modelem co nejvíce přiblížit skutečné práci jeřábů na stavbě. Pro matematické modelování je třeba zadání úlohy jasně definovat, stanovit předpoklady řešení, které nám pomohou celou úlohu zjednodušit a vstupní data pro model připravit tak, aby byla v modelu matematicky uchopitelná.

Aby bylo možné vytvořit nástroj k posouzení, zda je věžový jeřáb schopen obsloužit všechny požadavky obsluhovaných DSP v čase požadovaném závazným časovým harmonogramem prací, byly stanoveny tyto okrajové podmínky a zjednodušující předpoklady pro řešení úkolu:

- Vždy se zabýváme posouzením pevně stanoveného časového intervalu – posuzujeme stupeň rozestavěnosti nebo technologickou etapu výstavby, kde je nejčastěji jednotkový interval roven době jedné pracovní směny;
- Předpokládáme plynulý postup výstavby a plynulý odběr materiálu;
- Vycházíme ze závazného časového harmonogramu prací, zpracovaného v úrovni DSP;
- Sledujeme DSP, které jsou ve sledovaném časovém intervalu pravidelně obsluhovány jeřábem;
- Sledovaných DSP je v tomto časovém intervalu konečný počet;
- Jsou známy souběhy sledovaných DSP;
- Každý sledovaný DSP probíhá plynule po celou dobu posuzovaného časového intervalu;
- Jeřáb přenáší vždy jednotkové množství materiálu, odpovídající obsluhované DSP;
- Pro každý sledovaný DSP je zpracován vlastní typový pracovní cyklus (podrobněji je vysvětleno níže);

**Vstupní informace pro simulační model**

- Určená posuzovaná část objektového výrobního procesu (stupeň rozestavěnosti, technologická etapa, pracovní směna)
- Posuzovaný jednotkový časový interval (nejčastěji jedna pracovní směna);
- Určení DSP, které v posuzovaném jednotkovém intervalu vyžadují obsluhu stavebním jeřábem;
- Souběhy jednotlivých DSP v posuzovaných jednotkových časových intervalech (např. v jedné pracovní směně);
- Rozborová data jednotlivých DSP.

**Stanovení priorit obsluhy DSP**

Simulační model obsluhy DSP věžovými jeřáby na stavbě vychází z předpokladu a odhadu rozhodování odpovědného pracovníka (stavbyvedoucího) pro přímé řízení sekundárního zásobování realizované stavby v dané pracovní směně.

Priority neboli pořadí obsluhy jednotlivých DSP věžovým jeřábem byly v rámci této práce a vytvářeného modelu stanoveny takto:

1. Technologické opodstatnění první priority DSP (např. betonáž bádiemi, která musí být obsluhována přednostně z důvodu omezené doby zpracovatelnosti dodávané betonové směsi)

2. DSP, které jsou v časovém harmonogramu na kritické cestě. V případě, že je na kritické cestě více činností budou priority u těchto činností stanoveny takto:
    2.1 DSP nelze předzásobit
    2.2 DSP je řídícím procesem (rozhodování mezi DSP ve stejném pracovním záběru)
    2.3 DSP probíhá v pracovním záběru s dřívějším termínem ukončení
    2.4 DSP lze předzásobit

3. DSP, které nejsou v časovém harmonogramu na kritické cestě. V případě, že je na kritické cestě více činností budou priority u těchto činností stanoveny takto:

3.1 DSP má v časovém harmonogramu kratší časovou rezervu

3.2 DSP má v časovém harmonogramu delší časovou rezervu

Uvedené pořadí priorit jednotlivých obsluhovaných DSP věžovými jeřáby je pro výpočet simulačního modelu doporučené, a tedy pro každý výpočet nově volitelné. Lze ho zadat v rámci přípravy stavby pro výpočet posouzení časové vytíženosti věžového jeřábu jako vstupní informace.

# VÝPOČTOVÉ SCHÉMA MODELU, SOFTWAROVÉ ZPRACOVÁNÍ

Posuzovaným časovým intervalem je nejčastěji jedna pracovní směna. V této každé jedné pracovní směně jsou určeny DSP, které budou obsluhovány VJ. Tyto DSP jsou pro simulační model analyzovány a připraveny tak, jak bylo uvedeno v kapitole 7. Výsledkem je tedy ohodnocení každého DSP třemi časovými intervaly, které značíme T, tc a tp (viz kap. 7), kde nejmenší časovou jednotkou je jedna minuta. Je stanovena jejich priorita obsluhy VJ (viz výše). V prvním kroku obsluhy VJ jsou obslouženy všechny DSP vyžadující obsluhu, a to ve stanovených prioritách. V dalších krocích jsou již DSP obsluhovány podle určených priorit. To znamená, že v okamžiku, kdy DSP s vyšší prioritou vyžaduje obsluhu a VJ má tzv. „volnou kapacitu“ je obsluhován přednostně. Takto se postupuje v průběhu vyhodnocované pracovní směny, až jsou všechny požadavky na obsluhu VJ všech DSP v dané směně provedeny. Výsledkem je celková potřebná doba pro obsloužení všech DSP, vyžadujících obsluhu VJ. Ta se vyhodnotí a porovná s délkou pracovní směny.

### Software a jeho grafický výstup

Aby byl výstup této disertační práce snadno využitelný v praxi, je jednou ze základních podmínek jeho snadné ovládání, využitelnost.

Počítačový program s názvem Crane Occupancy 0.4 slouží zhotoviteli stavby k rychlému posouzení časového vytížení věžového jeřábu v návaznosti na smluvní závazný časový harmonogram. Tuto časovou vytíženost věžového jeřábu lze operativně posuzovat jednak pro jednotlivé pracovní směny ale také pro jednotlivé technologické etapy výstavby nebo pro celý průběh stavby. Počítačový program je v tuto chvíli připraven pro posouzení jednotlivých pracovních směn, které tvoří libovolně vybraný časový úsek prováděné stavby.

Do aplikace Crane Occupancy 0.4 se zadá délka pracovní směny a dále se zadají do připravené tabulky parametry jednotlivých dílčích stavebních procesů (DSP), které jsou obsluhovány věžovým jeřábem. Těmito základními parametry jsou pořadí DSP v jakém jsou jeřábem obsluhovány (priority obsluhy), dále se pro pracovní cyklus jednotlivých DSP zadá jeho členění na čas práce s jeřábem $t_c$ a čas práce bez jeřábu $t_p$, jednotková množství materiálu všech DSP přesouvaného jeřábem v jednom cyklu a celkový počet cyklů pro každé DSP, plánovaný na jednu směnu. Priority obsluhy DSP lze libovolně zadávat a měnit.

Na základě simulačního matematického modelu se následně graficky i početně zobrazí výsledný potřebný čas pro obsluhu všech zadaných DSP, který se porovná a vyhodnotí s celkovou délkou pracovní směny. Výsledkem je i procentuální vytížení zvedacího mechanismu v průběhu směny.

Po přípravě vstupních dat pro obsluhované DSP (viz také kapitola 7) lze tato vstupní data jednotlivých DSP ukládat do databáze software pro další opakované využití při vyhodnocování vytíženosti VJ i na jiných etapách výstavby či jiných zakázkách.

Výstupem softwaru je pro každou vyhodnocovanou směnu celkový čas trvání vyhodnocované pracovní směny, celkový využitý čas jeřábu v této směně a jeho procentuální vyjádření.

Na následujících obrázcích je uvedeno uživatelské prostředí této počítačové aplikace.

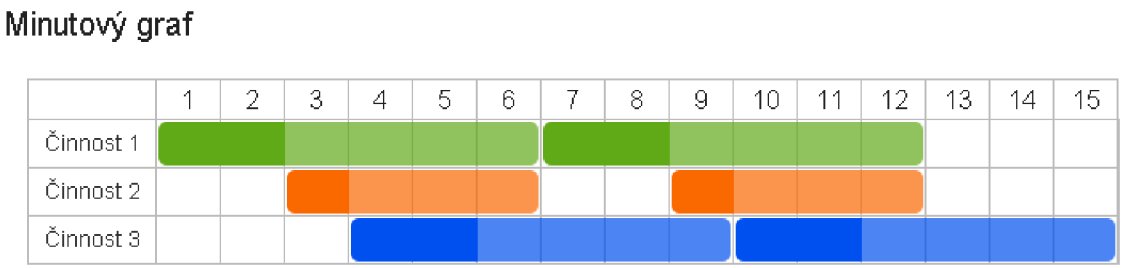
V rámci modelového příkladu byly zadány tři DSP, každé byla přiřazena priorita řazení požadavku vzneseného na obsluhu v rámci dané pracovní směny, dále byly doplněny doby, po kterou činnost vyžaduje a po kterou nevyžaduje asistenci VJ a počty opakování dané činnosti v rámci jedné pracovní

směny (počet pracovních cyklů DSP v jedné pracovní směně). Toto je zobrazeno na screenu obrazovky níže.

| Priorita | Barva | DSP | Název | $t_c$ | $t_p$ | T | Množství práce [m.j./směna] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ↓ 1 ↑ | | Výběr DSP | Činnost 1 | 2 | 4 | 6 | 2 |
| ↓ 2 ↑ | | Výběr DSP | Činnost 2 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| ↓ 3 ↑ | | Výběr DSP | Činnost 3 | 2 | 4 | 6 | 2 |

*Obr. 9.1) Screen softwaru - vstupní data pro vybranou DSP*

Po zadání požadovaných hodnot a provedení výpočtu je výstup zpracován do jednoduché grafické podoby, ze které lze vyčíst, zda je činnost obsluhována bez prodlev, případně zda vznikají prostoje VJ a jak jsou dlouhé nebo jak dlouho čekají jednotlivé DSP na obsluhu. Dále lze vyčíst, zda je možné obsloužit všechny činnosti a jejich požadavky v rámci dané pracovní směny či nikoli. V případě stavbyvedoucího, který si tímto způsobem bude plánovat jednotlivé směny, vzniká možnost k přehodnocení rozsahu a typu prací plánovaných v rámci dané směny, což povede jak k efektivnímu využití věžového jeřábu, tak i k efektivnímu využití nasazených pracovníků.




*Obr. 9.2) Screeny softwaru – grafický výstup vybrané DSP*

# NÁVRH METODIKY POSOUZENÍ ČASOVÉ VYTÍŽENOSTI VJ PODLE PRIORIT DSP A JEJÍ ZAČLENĚNÍ DO NÁVRHU VĚŽOVÉHO JEŘÁBU PRO STAVBU

K dosažení kompletnosti v rámci plnění stanovených cílů této práce je nutné z výše uvedených výstupů vypracovat srozumitelnou metodiku posouzení časové vytíženosti navržených VJ. Metodika by měla být snadno využitelná jak v rámci studia, tak především v rámci řešení reálných staveb.

Nutnými podklady pro posouzení časové vytíženosti VJ podle priorit DSP jsou prováděcí projektová dokumentace, výpis potřebných materiálů pro posuzovanou část výstavby a časový harmonogram v podrobnosti DSP.

**Postup posouzení probíhá v těchto jednotlivých krocích:**

1. Určení stupně rozestavěnosti nebo technologické etapy výstavby pro posouzení časové vytíženosti VJ.

V první řadě je nutné si nastudovat prováděcí projekt stavby a na základě této rešerše následně vymezit etapy obsahující procesy, které vyžadují obsluhu věžového jeřábu. Tyto procesy je vhodné následně podrobněji rozebrat a stanovit ucelené celky u kterých lze předpokládat vyšší nároky na věžový jeřáb.

2. Příprava vstupních dat

V rámci přípravy dle kroku 1 této metodiky je nutné si k vybraným celkům nalézt potřebné podklady typu časového harmonogramu, výpisu materiálu a podobně a ty následně podrobně rozebrat dle následujících bodů:

Vychází se ze smluvního časového harmonogramu posuzované části výstavby. Ten je vytvořen s využitím síťové analýzy, zpracovaný metodou CPM v podrobnosti agregovaných DSP.

Pokud je časový plán stavby zpracován jen v rozlišení etapových procesů, je třeba ho dopočítat s časovým členěním na jednu pracovní směnu a věcně rozložit do podrobnosti jednotlivých DSP.

Dále se vyčlení DSP vyžadující obsluhu VJ a pro tyto jednotlivé DSP se určí rozborová data viz kapitola 7.

- Množství práce, resp. množství přesouvaného materiálu v posuzovaném jednotkovém časovém intervalu (např. v jedné pracovní směně);
- Jednotkové množství přesunu materiálu jeřábem;
- Počet pracovních cyklů DSP v posuzovaném jednotkovém časovém intervalu;
- Doba T, to je doba jednoho pracovního cyklu sledovaného DSP;
- Doba $t_c$ potřebná pro obsluhu DSP věžovým jeřábem v jednom pracovním cyklu DSP;
- Doba $t_p$ po kterou probíhá práce na DSP bez obsluhy stavebního jeřábu v jednom pracovním cyklu.
- Priority jednotlivých DSP (stanovení priorit jednotlivých DSP bude popsáno v části kap 9. Simulační modelování).

Z tohoto závazného časového plánu vyplynou požadavky DSP na obsluhu VJ pro jednotlivé směny, tedy požadavky DSP, které probíhají společně v jedné každé pracovní směně

3. Stanovení priorit obsluhy

Aby bylo možné na základě výše získaných dat provést posouzení vytíženosti věžového jeřábu v rámci sledovaného časového úseku je nutné hodnocené procesy vůči sobě vymezit. Tím je myšleno postupné seřazení posuzovaných činností dle důležitosti pro chod stavby.

- Pro každou kombinaci DSP každé směny posuzované technologické etapy výstavby bude stanoveno pořadí priorit – viz kapitola 9. Toto pořadí lze zvolit dle vlastního uvážení ve fázi přípravy posouzení vytíženosti VJ.

4. Výpočet časové vytíženosti věžového jeřábu s využitím simulačního modelu

Posouzení časové vytíženosti je nyní na základě vstupních hodnot získaných z výše uvedených kroků provést pomocí vytvořené aplikace s názvem Crane Occupancy 0.4, která vstupní údaje vyhodnotí a vytvoří i grafické znázornění řazení posuzovaných vstupních činností. Z tohoto výstupu je poté možné odečíst potřebné informace o případných prostojích v práci věžového jeřábu, doby trvání potřebné k provedení zadaného množství požadovaných činností a podobně.

- Pro jednotlivé pracovní směny se zadají vstupní data vyhodnocovaných DSP pro výpočet vytíženosti a vypočte se doba vyhodnocované pracovní směny $T_s$, celkový využitý čas jeřábu v této směně $T_j$ a jeho procentuální vyjádření vytíženosti.
- Zhodnotí se možnosti předzásobení některých DSP a využití prostojů jeřábu pro obsluhu DSP 3. skupiny (skupina DSP, které mají požadavky na obsluhu jeřábem nepravidelné a nepředvídatelné – viz kapitola 7, které se zohledňují koeficientem $k_3 = 0,1$) a zohlední se vytíženost VJ od 3. skupiny DSP (viz kapitola 7).

- Pro výpočet celkové doby pracovní směny, zohledňující obsluhu DSP 3. skupiny platí vztah:

$$T_{\Sigma} = k_3 \cdot T_s \qquad 11.1$$

kde : $T_{\Sigma}$ – je celková doba trvání vyhodnocované směny zahrnující jak činnosti plánované, tak i činnosti nepředvídatelné
$k_3$ – je koeficient zohledňující zapojení nepravidelných, případně nepředvídatelných činností s požadavky na obsluhu VJ
$T_s$ – je doba trvání vyhodnocované pracovní směny po zahrnutí všech obsluhovaných činností
V případech, kdy bude procentuální vytížení VJ menší jak 90 %, lze uvažovat, že budou DSP řazené do 3. skupiny obslouženy v časových prostojích jeřábu a není tedy nutné koeficient zapojovat.

5. Vyhodnocení výsledků a závěr

Po získání výstupů z aplikace Crane Occupancy 0.4 je nutné provést vyhodnocení získaných výsledků a vyvodit z nich smysluplný závěr. Lze předpokládat, že mohou nastat tyto stavy:

- Celková doba trvání všech činností zařazených do posouzení v rámci dané směny odpovídá době trvání dané pracovní směny a současně je procentuální využití VJ v rozmezí mezi 70 % až 100 %, nabízí se tento závěr:
    - VJ je navržený správně

- Celková doba trvání všech činností zařazených do posouzení v rámci dané směny odpovídá době trvání dané pracovní směny a současně je procentuální využití VJ menší než 70 %, nabízí se tento závěr:
    - Zvážit nahrazení stávajícího VJ jiným levnějším zdvihacím mechanismem

- Celková doba trvání všech činností zařazených do posouzení v rámci dané směny převyšuje o více jak 20 % stanovenou dobu trvání dané pracovní směny a současně je procentuální využití VJ vyšší než 100 %, nabízí se tento závěr:
    - Navrhnout vyšší počet zdvihacích mechanismů
    - Zajistit předzásobení činností, které to umožňují mimo stanovenou pracovní dobu

- Celková doba trvání všech činností zařazených do posouzení v rámci dané směny převyšuje o více jak 20 % stanovenou dobu trvání dané pracovní směny a současně je procentuální využití VJ menší než 70 %, nabízí se tento závěr:
    - Zvážit možnost předzásobení činností, které to umožňují mimo stanovenou pracovní dobu

**Ověření navržené metodiky**

Za účelem ověření dané metodiky byla zpracována jedna z monitorovaných staveb, konkrétně výstavba bytových domů v Brně-Maloměřicích.
Ověření metodiky bylo provedeno v rámci jednoho kalendářního měsíce výstavby. Prokázalo se, že VJ byl pro sledované období dostačující s výjimkou tří dnů. S ohledem na složení realizovaných činností v těchto třech dnech je možné řešit tento výkyv zajištěním předzásobení vybraných DSP mimo pracovní směnu. Podrobnější informace jsou obsahem řešené disertační práce.

# ZÁVĚR

## Zhodnocení dosažení hlavních cílů

V rámci této práce bylo stanoveno jako hlavní cíl „vypracování metodiky k posouzení časové vytíženosti věžových jeřábů podle priorit dílčích stavebních procesů“. Tento cíl byl v rámci této práce zcela naplněn. Byla vypracována výše uvedená metodika, která je detailně rozepsána v kapitole 11 této práce. Metodika je rozdělena do pěti postupných kroků, které dovedou uživatele ke zdárnému výstupu. Funkčnost vypracované metodiky byla v rámci této práce ověřena na reálné stavbě budované v brněnských Maloměřicích. Postup ověření na reálné stavbě je podrobně popsaný v rámci kapitoly 12 této práce.

## Zhodnocení dosažení dílčích cílů

V rámci práce bylo za účelem jejího zpracování stanoveno sedm dílčích cílů, jejichž postupné plnění mělo vést k úspěšnému zpracování stanoveného hlavního cíle.

V první fázi práce bylo nutné se zaměřit na „rozbor zvedacích mechanismů po stránce technické a ekonomické včetně zatřídění pro řešenou úlohu“. Tento cíl byl řešen společně s druhým dílčím cílem, a to „vypracování typového pracovního cyklu věžového jeřábu včetně výpočtu doby trvání“ v rámci kapitoly 5. K vypracování těchto dílčích cílů byla použita data výrobců a pronajímatelů současně využívaných zdvihacích mechanismů.

V rámci kapitoly 7 této práce se podrobně pojednává o dílčím cíli zabývajícím se stanovením a rozborem dílčího stavebního procesu a zatříděním do skupin dle nároků na jeřáb. Za tímto účelem bylo nutné specifikovat, co je to dílčí stavební proces a z čeho se skládá. Dobu trvání bylo nutné rozčlenit na doby trvání jednotlivých činností zahrnutých pro vyhodnocovaný proces a ty následně časově ocenit. S tím bylo spojeno rozřazení procesu do kategorií s ohledem na doby, po které činnosti vyžadovaly obsluhu zdvihacím mechanismem.

Za účelem zpracování dílčího cíle nazvaného „monitoring pracnosti a časových požadavků“, bylo průběžně monitorováno 6 stavebních objektů, z nich pět bylo situováno na územní města Brna a jeden v Praze. Na stavbách byly prováděny záznamy na časosběrné kamery, ze kterých byly následně časově ohodnoceny sledované dílčí stavební procesy. Stejně tak byly pozorovány i návaznosti mezi jednotlivými činnostmi a pohyby mechanizací. O této činnosti je podrobně pojednáno v rámci kapitoly 8 této práce.

Aby nebyla výstupem této práce „pouze“ metodika, bylo vhodné práci doplnit i o software, který by výstupy metodiky dokázal vyhodnotit i graficky zpracovat. Za tímto účelem byl sestaven simulační model, stanoveny okrajové podmínky, princip stanovování priorit obsluhy a výpočtové schéma modelu, které posloužily jako podklad k jeho vypracování. Blíže se touto kapitolou práce zabývá v kapitole 10.

Hlavnímu tématu této práce, které je zároveň součástí dílčích cílů, se práce věnuje v kapitole 11, kde je metodika posouzení časové vytíženosti detailně rozebrána.

K ověření navrhované metodiky byla vybrána stavba, která byla a s ohledem na svou rozsáhlost i stále je monitorována. Touto stavbou byla výstavba komplexu bytových domů v brněnských Maloměřicích. Tato fáze práce je podrobně rozebrána v kapitole 12.

Jak vyplývá z výše uvedeného, byly všechny dílčí cíle specifikované v kapitole 2 této práce řešeny a splněny.

# POUŽITÁ LITERATURA


[1] MOTYČKA, Vít. *Optimalizace návrhu věžových jeřábů: příspěvek k modelování výrobního prostoru stavby = Optimization of the tower cranes planning : contribution to the modelling of the construction site production area : zkrácená verze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2007, 49 s. ISBN 978-80-214-3400-4.

[2] MOTYČKA, Vít a Jaromír ČERNÝ. *Věžové jeřáby v pozemním stavitelství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-505-1.

[3] BAŠKOVÁ, Renáta. *Realizácia betónových konštrukcií: příspěvek k modelování výrobního prostoru stavby = Optimization of the tower cranes planning : contribution to the modelling of the construction site production area : zkrácená verze habilitační práce*. Vyd. 1. Martin: Stavebný trh, 2008, 272 s. ISBN 978-80-969877-4-0.

[4] JURÍČEK, Ivan. *Konštrukcie budov z monolitického betónu: technické parametre, konštrukčné systémy, komponenty systémov, realizačné firmy, dodávatelia*. Vyd. 1. Bratislava: Eurostav, 2005, 155 s. ISBN 80-969-0242-3.

[5] LADRA, Josef. *Technologie staveb 11: realizace železobetonové monolitické konstrukce budov*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 119 s. ISBN 80-010-2487-3.

[6] JURÍČEK, Ivan. *Technológia pozemných stavieb: Hrubá stavba*. Vyd. 1. Bratislava: Jaga group, 2001, 194 s. ISBN 80-88905-29-X.

[7] BAŠKOVÁ, Renáta. *Dynamické modelovanie nasadenia debnenia do výstavby*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2012 112 s. ISBN 978-80-553-1245-3.

[8] SHAPIRO, Lawrence K a Jay P SHAPIRO. *Cranes and derricks*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2011, xxv, 654 s. ISBN 978-007-1625-579.

[9] MACDONALD, Joseph A, W ROSSNAGEL a Lindley R HIGGINS. *Handbook of rigging: lifting, hoisting, and scaffolding for construction and industrial operations*. 5th ed. New York: McGraw Hill, c2009, xxix, 759 s. ISBN 978-007-1493-017.

[10] HINZE, Jimmie W, W ROSSNAGEL a Lindley R HIGGINS. *Construction planning and scheduling: lifting, hoisting, and scaffolding for construction and industrial operations*. 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, c2012, viii, 256 s. ISBN 978-0-13-269963-1.

[11] HURD, M, W ROSSNAGEL a Lindley R HIGGINS. *Formwork for concrete: lifting, hoisting, and scaffolding for construction and industrial operations*. 7th ed. Farmington Hills, Mich.: American Concrete Institute, 2005, 1 sv. (různé stránkování). Special publication. ISBN 08-703-1177-8.

[12] ПЕТКОВ, Йордан. *Технология на строителното производство: Сборник от задачи и примери*. София: АВС Техника, 2002. ISBN 954-8873-52-0.

[13] Síť Internet a WWW stránky.

[14] Fotografie – archiv autora.

# CURRICULUM VITAE

## Osobní údaje


| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení | Ing. Martin Štěrba |
| Trvalé bydliště | U Cihelny 484, 679 11 Doubravice nad Svitavou |
| e-mail | xssterbam@vutbr.cz |


## Vzdělání

| | |
|---|---|
| 2011 – současnost | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, Brno<br>Studium: doktorské<br>Obor/specializace: Pozemní stavby / Technologie řízení staveb<br>Předpokládané ukončení: státní doktorská zkouška |
| 2009 – 2011 | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, Brno<br>Studium: navazující magisterské<br>Obor/specializace: Pozemní stavby / Technologie řízení staveb<br>Ukončení: státní závěrečná zkouška (titul Ing.) |
| 2004 – 2009 | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, Brno<br>Studium: bakalářské (čtyřletý obor)<br>Obor/specializace: Pozemní stavby / Technologie řízení staveb<br>Ukončení: státní závěrečná zkouška (titul Bc.) |
| 2000 – 2004 | SPŠ stavební, Kudelova 8, Brno<br>Obor/specializace: Geodézie a Kartografie<br>Ukončení: maturita |

## Pracovní zkušenosti

| | |
|---|---|
| 2015 – současnost | Úřad městské části Brno-střed, Dominikánská 2, 601 69 Brno<br>Náplň práce: Referent – Odbor investiční a správy BD |
| 2014 – 2015 | Webel, s.r.o., nám. Svobody 93/22, 602 00 Brno<br>Náplň práce: Stavební technik |
| 2013 – 2015 | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební<br>Náplň práce: Asistent – Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb |
| 2011 – 2015 | Stamina s.r.o., Poldovka 4, 380 01 Volfířov<br>Náplň práce: Pasportizace RD a inženýrských sítí |

## Studijní pobyty

| | |
|---|---|
| 03/2013 – 06/2013 | University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofie, Bulharsko |

## Projekty

| | |
|---|---|
| 2012 – 2014 | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební<br>Náplň práce: Lektor – asistent projektu CZ.1.07/2.2.00/28.0301 – CEPRI |
| 05/2013 – 08/2013 | FAST-J-13-1970 – Využití recyklovaného stavebního materiálu k ozeleňování stavebních objektů a jejich okolí – spoluřešitel |
| 05/2012 – 05/2013 | FAST-J-12-10/1662 – Výběr a analýza faktorů bednění se zásadním vlivem na efektivní využití věžových jeřábů – řešitel |
| 09/2011 – 12/2011 | FAST-S-11-46 – Návrh technologických postupů při recyklaci a následném využití při výstavbě v oblastech brownfieldů – člen řešitelského týmu |

**Seznam vlastní literatury**


1. HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. Návrh vhodných mechanismů ve stavebnictví. Silnice a železnice,2012, roč. 7., č. 3/ 2012, s. 114-116. ISSN: 1801- 822X.
2. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; MOTYČKA, V. Proposal of Lifting Mechanisms in Construction Sites. Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety, 2012, roč. 6, č. 2, s. 339-350. ISSN: 1313- 2563.
3. ŠTĚRBA, M.; MOTYČKA, V. Problematika návrhu zvedacích mechanismů v pozemním stavitelství. In IX. International Scientific Conference FCE TUKE. 1. Košice, Slovensko: SvF TUKE, 2012. s. 1-6. ISBN: 978-80-553-0905- 7.
4. ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. Porovnání starých a nových stavebních strojů s ohledem na životní prostředí. Silnice a železnice, 2013, roč. 8., č. 3/ 2013, s. x-x. ISSN: 1801-822X.
5. ŠTĚRBA, M.; MOTYČKA, V.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. Základní postup při návrhu zdvihacího mechanismu. Silnice a železnice,2013, roč. 8., č. 3/ 2013, s. x-x. ISSN: 1801- 822X.
6. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V.; MOTYČKA, V. FORMWORK DEMANDS ON CRANE OPERATION. Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety, 2013, roč. 7, č. 2, s. 78-84. ISSN: 1313- 2563.
7. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V.; MOTYČKA, V. MAIN ASPECTS THAT INFLUENCE THE RIGHT CHOICE OF CRANES. Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety, 2013, roč. 7, č. 2, s. 70-77. ISSN: 1313- 2563.
8. ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D. Postupy při návrhu strojů a zařízení při výstavbě. PROFESIS - profesní informační systém ČKAIT, 2012, roč. 2012, č. 11, s. 1-19. ISSN: 1805- 6032.
9. ŠTĚRBA, M.; NEČASOVÁ, B.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. ČASOVÁ NÁROČNOST SYSTÉMOVÝCH BEDNĚNÍ VE FÁZI PŘÍPRAVY STAVEB. In Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference. vol. III. Hradec Králové: Magnanimitas, 2012. s. 3412-3417. ISBN: 978-80-905243-3- 0.
10. ŠTĚRBA, M.; NEČASOVÁ, B.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. MONTÁŽ SYSTÉMOVÉHO BEDNĚNÍ VĚŽOVÝMI JEŘÁBY. In Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference. vol. III. Hradec Králové: Magnanimitas, 2012. s. 3418-3421. ISBN: 978-80-905243-3- 0.
11. ŠTĚRBA, M.; NEČASOVÁ, B.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. BEZPEČNÝ PROVOZ VĚŽOVÉHO JEŘÁBU PŘI MANIPULACI S BŘEMENEM. In Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference. vol. III. Hradec Králové: Magnanimitas, 2012. s. 3406-3411. ISBN: 978-80-905243-3-0.
12. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. PŘEMÍSŤOVÁNÍ SYSTÉMOVÉHO BEDNĚNÍ JEŘÁBY. In Sborník anotací konference Juniorstav 2013. Brno: Vysoké učení techické v Brně, Fakulta stavební, 2013. s. 1-5. ISBN: 978-80-214-4669- 4.
13. MOTYČKA, V.; ŠTĚRBA, M.; KLEMPA, L. Efektivní využití věžových jeřábů na stavbách. Silnice a železnice, 2014, roč. 9., č. 03/ 2014, s. 103-104. ISSN: 1801- 822X.
14. ŠTĚRBA, M.; MOTYČKA, V. VÝZNAM BEDĚNÍ PŘI POSOUZENÍ ČASOVÝCH POŽADAVKŮ NA VĚŽOVÉ JEŘÁBY. In Vývojové trendy v oblasti navrhovania, prípravy, realizácie a údržby stavieb - Zborník vedeckých prác. 1. Bratislava: Tribun EU s.r.o., 2013. s. 216-221. ISBN: 978-80-263-0544- 6.

15. ŠTĚRBA, M. Metody návrhu zdvihacích mechanismů. In Realizace staveb - teorie a praxe, Sborník mezinárodního workshopu. 1. Křtiny: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb, 2013. s. 159-161. ISBN: 978-80-214-4803- 2.
16. ŠTĚRBA, M. ZAPOJENÍ JEŘÁBU PŘI VÝSTAVBĚ S OHLEDEM NA BEZPEČNOST PRÁCE. In STRUCTURA STAVEBNÍ TRENDY 2013. 1. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta stavební, 2013. s. 233-237. ISBN: 978-80-248-3236- 4.
17. ŠTĚRBA, M. ROZHODUJÍCÍ PROCESY PRO NÁVRH ZDVIHACÍCH MECHANISMŮ. In Sborník anotací konference Juniorstav 2014. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. s. 1-3. ISBN: 978-80-214-4851- 3.

Kompletní seznam publikační činnosti je uveden v rámci disertační práce.