



# 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

### DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Martin Štěrba

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÍT MOTYČKA, CSc.

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.





**Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690:**

Ing. Martin Štěrba *Časové posouzení využití zdvihacích mechanismů v pozemním stavitelství*. Brno, 2019. 118 s., 2 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Vít Motyčka, CSc.



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem Časové posouzení využití zdvihacích mechanismů v pozemním stavitelství zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 7. 2019

.....  
Ing. Martin Štěrba  
autor práce



**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Vítu Motyčkovi, CSc. za podporu, vzorné vedení a cenné rady při zpracování disertační práce. Dále bych rád poděkoval RNDr. Oto Příbylovi za odborné rady při zpracování disertační práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za trpělivost a vytrvalou podporu, kterou mi za celou dobu studia poskytovala.



## OBSAH

1	ÚVOD.....	17
2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	19
2.1	Hlavní cíl.....	19
2.2	Dílčí cíle.....	19
3	METODY ZPRACOVÁNÍ.....	20
4	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	22
4.1	Znamé metody návrhu věžových jeřábů z hlediska jejich kapacity.....	29
5	ZVEDACÍ MECHANISMY, TECHNICKÉ PARAMETRY, VÝKONNOST, FINANČNÍ NÁKLADY.....	31
5.1	Technické parametry věžových jeřábů.....	31
5.2	Výkonnost věžových jeřábů.....	34
5.3	Finanční náklady spojené s věžovými jeřáby.....	37
6	TYPOVÝ PRACOVNÍ CYKLUS JEŘÁBU A JEHO VÝPOČET.....	40
7	DÍLČÍ STAVEBNÍ PROCESY – VÝBĚR, ROZBOR, ZATŘÍDĚNÍ DO SKUPIN DLE VYTÍŽENOSTI JEŘÁBU.....	46
7.1	Teoretický rozbor a stanovení doby trvání pracovních cyklů DSP.....	47
7.2	Výběr DSP vyžadující obsluhu VJ a jejich rozborová data.....	49
7.3	Bednění pro pozemní stavby a výběr pro posouzení vytíženosti věžového jeřábu.....	51
7.4	Rozbor vybraných typů systémových bednění.....	53
7.5	Příklady stanovení rozborových dat pro vybrané DSP.....	63
7.5.1	Teoretický výpočet hodnot $T$ , $t_c$ , $t_p$ .....	65
8	MONITORING ČASOVÝCH POŽADAVKŮ NA VĚŽOVÉ JEŘÁBY PRO VYBRANÉ DSP NA PROBÍHAJÍCÍCH STAVBÁCH A JEJICH VYHODNOCENÍ.....	79
9	SIMULAČNÍ MODEL, OKRAJOVÉ PODMÍNKY, STANOVENÍ PRIORIT OBSLUHY DSP.....	86
10	VÝPOČTOVÉ SCHÉMA MODELU, SOFTWAREOVÉ ZPRACOVÁNÍ.....	89
10.1	Software a jeho grafický výstup.....	90
10.2	Příklad výpočtu s grafickým řešením.....	92
11	NÁVRH METODIKY POSOUZENÍ ČASOVÉ VYTÍŽENOSTI VJ PODLE PRIORIT DSP A JEJÍ ZAČLENĚNÍ DO NÁVRHU VĚŽOVÉHO JEŘÁBU PRO STAVBU.....	95
12	OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ METODIKY NA REÁLNÉ STAVBĚ – PŘÍPADOVÁ STUDIE.....	98
13	VÝZNAM PRO VĚDU A PRAXI.....	104
13.1	Vědecký přínos dizertační práce.....	104
13.2	Praktický přínos dizertační práce.....	104

14 ZÁVĚR.....	105
14.1 Zhodnocení dosažení hlavních cílů .....	105
14.2 Zhodnocení dosažení dílčích cílů .....	105
POUŽITÁ LITERATURA.....	107
SEZNAM VLASTNÍ LITERATURY .....	109
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN.....	115
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	116
SEZNAM TABULEK.....	117
SEZNAM PŘÍLOH .....	118



# 1 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 přípravářům 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 prostojeům.

## 2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Abychom eliminovali pochybení v návrzích zdvihacích mechanismů, je nutné vypracovat metodiku, která bude srozumitelná, lehce uchopitelná, a hlavně pro uživatele nepřilíš 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.

### 2.1 Hlavní cíl

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

### 2.2 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
  - o teoretický rozbor a stanovení doby pracovních cyklů vybraných DSP,  $T$ ,  $t_c$ ,  $t_p$  pro montážní práce, betonáž, armování, zdění, bednění a odbednění
  - o rozdělení bednění pro pozemní stavby a výběr pro posouzení vytíženosti jeřábu (sloupy, stěny, stropy)
  - o 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

### 3 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.

## 4 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 rozбором stavebních strojů pro svislou přepravu včetně rozboru a zařídění 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 přemístování 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 Dasoviče a kol. [21] týkající se optimalizačního návrhu věžového jeřábu za pomoci přístupu BIM.

### **Počítačový model pro optimalizaci umístění jediného věžového jeřábu z roku 1996 vytvořený autorem P. Zhangem a kolektivem**

Tato práce popisuje stochastický simulační model k optimalizaci umístění jeřábu na staveništi. Stochastika je matematický obor, který se zabývá zkoumáním a modelováním náhodných jevů. Zhang a kolektiv tedy ve svém modelu hodnotí známé a předvídatelné příčiny a neznámé a náhodné okolnosti. Tento model demonstruje samotný proces dodávek materiálu z místa skladování na místo uložení s ohledem na jeřáb, který by měl daným požadavkům být schopen vyhovět. Jako vstupní data jsou stanoveny průměrné doby přepravy pro jednotlivé činnosti. V modelu je tak zohledněna jak intenzita toku materiálu mezi jednotlivými místy, tak i schopnosti pohybu jeřábu, jako například otáčení věže jeřábu, pojezd kladnice po výložníku a podobně, navíc však bere v úvahu i možný souběh operací jeřábu, což má dle autorů dopad na zkrácení doby trvání obsluhy činností v rozmezí 20–40 %. Základní vliv na tuto časovou úsporu má vybraný typ stroje, kvalita obsluhy a umístění jeřábu dle modelu.

Autoři uvádějí, že dřívější pokusy o vyvinutí modelu, který by byl nápomocen při umístění jeřábu na staveništi tak, aby byl co nejvýkonnější, byly nevyhovující, protože neodrážely podmínky reálného světa.

Navržený simulační model je zaměřen na určení optimální pozice věžového jeřábu na staveništi. Jasně říká, že není možné místo pro věžový jeřáb odhadnout, ale je nutné ho důkladně vypočítat. Hlavním důvodem této myšlenky je skutečnost, že ne každá plocha určená ke skladování bude vyžadovat stejný počet cyklů VJ k jejímu obslužení. Před samotným započítáním simulování práce stroje je nutné stanovit vstupní data, kterými jsou vertikální i horizontální dopravní vzdálenosti, maximální hmotnosti přemísťovaných břemen a zejména stanovení počtu cyklů, které mají na dané trase být opakovány. Po určení dopravních tras dojde k vymezení oblasti, ve které by se měl stroj nacházet. Na základě vstupních dat se poté určí důležitosti jednotlivých tras s ohledem na nutné počty cyklů a následně dojde k optimalizování pozice VJ tak, aby byl poměr mezi dopravními vzdálenostmi a počty opakování pro všechny dopravní trasy idealizovaný. Ve výsledku je tedy pozice VJ situována tak, aby činnosti vyžadující časté opakování, měly minimalizovány dopravní vzdálenosti, čímž dochází k šetření času potřebného pro přepravu.

Tento model, který optimalizuje umístění jeřábu, byl vytvořený tak, aby zohledňoval toky materiálu mezi obsluhovanými místy, dále také rychlost otáčení výložníku a rychlost pojezdu kladnice. Model simuluje proces požadavku na materiály tak, jako kdyby byl jeřáb reálně na staveništi, a tím umožňuje přípravářům využití kvantitativních kritérií při hodnocení polohy jeřábu. Analýza výsledků v případových studiích tohoto modelu ukazuje, že přibližně 20 až 40 procent doby trvání horizontálního přesunu háku může být ušetřeno v závislosti na typu jeřábu, podobě staveniště a typu jednotlivých procesů. Tento

model může být dle autorů využit jak pro nízkopodlažní, tak i pro výškové budovy za předpokladu, že počet zdvihů mezi skládkou a místem uložení je na staveništi dostatečný.

Výsledky také naznačují, že optimální umístění jeřábu je také úzce spjato jak s rychlostí otáčení ramene, tak s pohybem kladnice a poměrem obou těchto rychlostí, stejně tak jako se způsobem pohybu háku. Proto je nezbytné, aby byla získávána reálná data, spíše než informace uváděné v příručce, která by určovala co nejpravděpodobnější rozdělení rychlostí a parametrů, které se mohou lišit v závislosti na podmínkách na staveništi, kvalifikovanosti obsluhy a typu materiálu, který se přepravuje.

### **Návrh umístění věžového jeřábu v rámci staveniště založený na datech získaných z IFC souboru z roku 2016 vytvořený autory T. Funtíkem a J. Gašparíkem**

Na 33. mezinárodním sympóziu automatizace a robotiky ve stavebnictví autoři Funtík a Gašparík prezentovali odborný článek pod názvem Návrh umístění věžového jeřábu v rámci staveniště založený na datech získaných z IFC souboru. Tento článek patří mezi nejnovější publikace zabývající se tímto tématem.

Jednou z nejpodstatnějších otázek při návrhu zařízení staveniště je umístění věžového jeřábu, který musí být navržen tak, aby vyhověl specifickým potřebám a kritériím stavby. Autoři článku uvádějí, že při využití stávajících návrhových metod je velice obtížné zvolit optimální pozici pro umístění VJ a vybrat zároveň adekvátní technické parametry VJ. Tento úkol je velice časově náročný a zároveň komplikovaný. V případě využití digitálního informačního modelu budovy (BIM), ve kterém je hlavním prvkem spolupráce mezi všemi zainteresovanými subjekty v rámci dané zakázky, může být jeho výběr navržen efektivněji, a to s ohledem na možné zařazení většího množství hodnotících kritérií.

Tato práce se zaměřuje na veškerá dostupná data v rámci jednotlivých vstupních IFC souborů k danému modelu vztahující se k návrhu VJ a ty následně využívá k výpočtu optimální pozice pro umístění VJ. Návrh umístění zohledňuje dopravní vzdálenosti jednotlivých prvků v rámci realizované stavby, které jsou následně porovnávány se zátěžovými diagramy strojů tak, aby byla zajištěna proveditelnost a bezpečnost. Vybrané pozici jsou přiděleny prostorové souřadnice, které jsou následně porovnávány se souřadnicemi jednotlivých pozic vyžadujících obsluhu od tohoto stroje.

Tento článek je zaměřen na usnadnění návrhu vhodné pozice pro VJ, k čemuž by mělo dojít na základě automatizace pomocí dat získaných z BIM modelu stavby. Tím by mělo dojít k eliminaci pracného manuálního shromažďování těchto informací ze standardních projektových dokumentací. Samotný postup výpočtu je založen na stejném principu jako výše uvedená metoda zpracovaná autory Zhangem a kolektivem. Tato cesta je zcela jistě správná, a to zejména s ohledem na zařazení povinnosti projektování veřejných zakázek s využitím BIM modelů. Je však nutné si uvědomit, že BIM modelování je stále na svém počátku a dokud nebude automaticky využíváno všemi projektanty, nebude možné se o něj s jistotou opřít. Tuto skutečnost popisuje i Daniel Šmejkal ve svém příspěvku na webových stránkách BIM INFO. *„Často slyším názor, že IFC nedokáže to, či ono, a proto je v podstatě k ničemu. Není to však tím, že by byl ze své podstaty špatný, ale spíše*

*tím, že bývá obecně nepochopen účel jeho existence. Jistě, IFC samotné, i jeho podpora v nejrůznějších BIM softwarech v současné době není perfektní a je tu stále velký prostor pro vývoj a vylepšení. Pokud si však uvědomíme všechny limity spolupráce na bázi IFC a naučíme se jej správně využívat, může nám být cenným pomocníkem. S postupným rozmachem BIM bude spolupráce mezi různými platformami stále více potřeba a je tedy dobře, že výměnný formát existuje a neustále se pracuje na jeho dalším vývoji. Můžeme doufat, že v souvislosti s rozvojem informačních technologií budou v budoucnu výše popsaná úskalí překonána a budeme tak moci spolupracovat ještě pohodlnějším způsobem – ať už s pomocí IFC, nebo úplně jiného formátu, který jej třeba jednou nahradí“ [21].*

Abychom eliminovali rizika nevhodného návrhu VJ zastaralými metodami, jak uvádějí autoři výše uvedeného článku, je potřebné vytvořit metodu, která na neefektivní návrh VJ dokáže včas upozornit. Je zřejmé, že získávání vstupních dat bude zatím časově náročné, ovšem jistota efektivního návrhu stroje a s tím spojená často nemalá finanční úspora je přece sama o sobě motivací.

### **Aktivní BIM přístup k optimalizaci pracovních zařízení a umístění VJ na staveništi z roku 2019 vytvořený autory B. Dasovičem a kolektivem**

Tato práce prezentuje aktivní BIM přístup v modelování zařízení staveniště, zejména pak je zaměřena na návrh optimálního umístění věžového jeřábu na staveništi při zohlednění základních vstupních údajů. Autoři v rámci tohoto článku rozšířili optimalizační model GA pro umístění VJ na staveništi, zpracovaný Abdelmegidem a kolektivem [22] z roku 2015, který tuto problematiku řešil pro pevná skladovací místa a jeden VJ v rámci 2 D prostoru. Model je nyní přepracován pro 3 D prostředí, a navíc jej rozšířili o možnost návrhu vhodných pozic i pro skladovací plochy. V rámci článku autoři definují aktivní BIM, kterým se dle autorů rozumí BIM model, který využívá jakoukoli optimalizační metodu. Vstupními údaji v tomto případě jsou informace o rozměrech a členění staveniště převedené do podoby trojrozměrných souřadnic. Souřadnicemi je tedy definován pozemek dotčený stavbou, budovaný objekt i skladovací plochy. Dále bylo nutné souřadnicově definovat možné prostory k umístění VJ a skladovacích ploch. V rámci čerpání dat z BIM modelu jsou dále získávány základní informace o stavbě a materiálech, zejména jejich objem, jejich řazení v rámci výstavby a podobně. Získaná data jsou pak exportována a vyhodnocována v prostředí MS Excel. Na základě získaných dat a jejich složitosti poté obsluha stanoví vhodný optimalizační model, pomocí kterého určí souřadnice pro ideální umístění VJ. Tento výstup je pak převeden zpět do prostředí modelu BIM.

Práce sice uvádí i vzorový příklad, nicméně není v ní jednoznačně definován způsob vyhodnocení. Lze se domnívat, že se jedná o úvod k práci, jejíž výstup bude zřejmě prezentován v rámci výzkumné práce. Práce obsahuje modelový příklad, který autoři aplikovali na reálnou stavbu v chorvatském Osijeku. Vycházeli z reálných dat stavby a užívali i konkrétní typ VJ a jeho pozici. Tato pozici byla však v rámci výpočtu označena za nevhodnou a byly stanoveny nové souřadnice optimální pozice jeřábu.

Autoři uvádějí, že jsou schopni tímto umístěním získat časovou úsporu ve výši 34,7 %. Je však nutné podotknout, že autoři neuvažovali, že jeřáb u daných činností netráví celou dobu trvání vybrané činnosti, ale pouze její část. Proto není možné daný výstup považovat za konečný a bylo by potřebné ho s ohledem na množství vstupních dat více konkretizovat a přizpůsobit tak realitě.

Závěrem této kapitoly lze parafrázovat autory knihy *Cranes and Derricks*, kteří ve své knize zmiňují, že jejich záměrem není předložit kuchařku s řešeními detailních instalačních metod a popisem instalačních problémů jeřábů na staveništi, ale jejich cílem je poskytnout dostatečný podklad pro vynalézavé odborníky tak, aby mohli realizovat svá vlastní řešení [8]. To se jeví jako velice otevřené řešení, nicméně samotnou realizaci a posouzení využitelnosti věžového jeřábu na staveništi to nijak neusnadňuje. Praktické a jednoduché řešení pro aplikaci v reálu ani cizojazyčná literatura nenabízí.

Teoretická řešení nabízí mnoho cizojazyčných odborných článků, které byly pro účely této práce studovány nicméně i v těchto případech lze jen těžko konstatovat, že by teorie v nich rozpracované byly vhodné pro posouzení využitelnosti věžového jeřábu na staveništi z důvodu jejich složitosti a vysoké teoretičnosti. Pro běžnou praxi je nezbytné, aby použité metody a postupy dokázaly pružně reagovat na změnu. To však jejich složitost a vysoká teoretičnost v realitě pracovního dne na staveništi neumožňuje.

#### **4.1 Známé metody návrhu věžových jeřábů z hlediska jejich kapacity**

Existuje několik možných způsobů, jak navrhnout a posoudit věžový jeřáb z hlediska jeho kapacity. Jedná se však o metody přibližné. S ohledem na vývoj stavební mechanizace využívané ve stavebnictví je dnes možné část z nich již považovat za metody zastaralé. To neznamená, že by již principiálně nefungovaly, pouze jsou v porovnání s dnes využívanými stroji a z pohledu užívaných vstupních hodnot dosti zavádějící a není možné se na ně spolehnout. Jedná se o tyto metody:

##### **Metoda využívající ukazatel počtu obsluhovaných pracovníků [1][2]**

Podle počtu pracovníků na stavbě, jejichž činnost vyžaduje obsluhu jeřábem, se určí počet potřebných jeřábů. Autoři se u této metody ovšem nezabývají typy jeřábů, výjimečně upřesňují vztah dle typu budované konstrukce. Na jeden jeřáb v průměru uvádí 10-20 pracovníků.

##### **Metody využívající ukazatel obestavěného prostoru realizovaného objektu za jednotku času [1][2]**

Zde je zohledňováno, kolik m<sup>3</sup> obestavěného prostoru lze postavit při zásobování jedním jeřábem za určitou časovou jednotku, například jeden měsíc. Ani tato metoda ovšem nezohledňuje typ jeřábu. Na jeden jeřáb v tomto případě připadá 1000 m<sup>3</sup>/měsíc.

##### **Metoda využívající ukazatel hmotnosti přemísťovaného materiálu za jednotku času [1][2]**

V této metodě je rozhodujícím kolik KN materiálu je možné přepravit jedním jeřábem za jednotku času, například jeden měsíc. V této metodě ovšem také není zohledněn typ jeřábu.

Na jeden jeřáb je v závislosti na zvoleném autorovi udávána hodnota přepraveného materiálu na 3 000 – 6 600 KN/měsíc.

### **Metoda využívající ukazatel objemu, případně hmotnosti rozhodujících materiálů za jednotku času [1][2]**

Návrh v tomto případě vychází z objemu či hmotnosti rozhodujících materiálů pro přepravu, které je nutné přepravit v daném časovém úseku. Jedná se například o m<sup>3</sup> čerstvého betonu, m<sup>2</sup> bednění a podobně.

### **Metoda návrhu jeřábu podle normativů doby trvání procesů obsluhovaných jeřábem [1][2]**

Při této metodě je prioritou zjištění normativních časů pro činnosti obsluhované jeřábem, ze kterých se poté určí doba trvání těchto činností. Tato hodnota se podělí požadovanou dobou výstavby a výsledkem je požadovaný počet jeřábů. Je samozřejmostí zaokrouhlení výsledné hodnoty na celé číslo směrem nahoru. Nesmí se ovšem zapomínat na opravení výsledku o takzvaný koeficient prostojů. Tento koeficient nabývá hodnot až 48 %.

### **Metoda odhadu potřebné doby nasazení jeřábu [1][2]**

U této metody je předpoklad, že 80 % materiálů vyskytujících se na stavbě bude přepraveno jeřábem. Z tohoto důvodu je nutné nejprve určit hmotnost budovaného objektu. Ta se určí na základě obestavěného prostoru [m<sup>3</sup>] a poměrné hmotnosti [t/m<sup>3</sup>]. Dalším předpokladem této metody je, že jeřáb přemístí na konci výložníku 1 t v jednom cyklu za 6 minut. Na základě těchto zjištění je již tedy možné určit čistou dobu potřebnou k přesunu materiálu. Tuto lhůtu je ovšem nutné opravit koeficienty skutečných možností.

## 5 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

### 5.1 Technické parametry věžových jeřábů

S ohledem na potřeby této práce se dále práce věnuje pouze jeřábům věžovým. Ty je možné dále dělit **dle základních technických veličin, a to na:**

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

**Dle konstrukce stroje, a to:**

- jeřáby montované, které vyžadují ke vztyčení asistenci dalšího, zpravidla mobilního jeřábu. Jeho montáž je z tohoto důvodu jak časově, tak i prostorově, a především finančně nákladnější a tyto stroje tak bývají využívány zpravidla u dlouhodobějších realizací.
- jeřáby samovztyčitelné, jak již název napovídá, nevyžadují k sestavení asistenci jiné mechanizace. Hlavní nevýhodou těchto strojů je však nižší únosnost a vyložení.

## Dle umístění otoče je pak možné jeřáby dělit na:

- Jeřáby s dolní otočí
  - o hlavním poznávacím znamením je způsob otáčení jeřábu, čemuž napovídá již jeho název. V případě jeřábů s dolní otočí se otáčí celý jeřáb včetně nosné věže. Protizávaží je situováno ve spodní části nosné věže, a tak jeřáb půdorysně zabírá podstatně více místa než jeřáb s horní otočí. Nosnost jeřábů s dolní otočí je podstatně nižší, než je tomu u jeřábů s horní otočí. Velice často jsou konstrukce jeřábů s dolní otočí samovztyčitelné, čímž dochází k úspoře času i finančních nákladů, kdy není nutné zajistit k sestavení pomocný mobilní jeřáb. Na druhou stranu je ovšem jeřáb ve složeném stavu rozměrnější a hůře se na stavenišť dopravuje.
- Jeřáby s horní otočí:
  - o U jeřábů s horní otočí zůstává nosná věž nepohyblivá, pohybuje se tedy pouze výložník. Jeřáby s horní otočí mají protizávaží situována naproti rameni výložníku a mají tak základnu situovanou na menší půdorysné ploše. Doprava tohoto typu jeřábu je snazší s ohledem na délky jednotlivých dílů, nicméně je k jeho sestavení zapotřebí pomocného mobilního jeřábu. Věžové jeřáby s horní otočí mohou být konstruovány ve variantě s nosnou špicí, případně ve variantě zvané „flat top“, tedy bez nosné špice. Oproti jeřábům s dolní otočí mají výrazně vyšší nosnosti.

Tabulka 5-1 Příklady věžových jeřábů s dolní otočí

Označení	Max. vyložení [m]	Max. výška zdvihu [m]	Max. nosnost [t] v závislosti na vyložení [m]	Min. nosnost [t]
Liebherr 28K	30	22	3t - 11m	0,85t - 30m
PKZ (KSD) 3010	30	23,5	4t - 10m	1t - 30m
Potain Igo T70A	40	35	4t - 16m	1,3t - 40m
MB 1030.1	32	17	8t - 15,6m	3,2t - 32m
Vicario OMV 370	38	24,2	4t - 12,2m	1t - 38m

Tabulka 5-2 Příklady věžových jeřábů s horní otočí

Označení	Max. vyložení [m]	Max. výška zdvihu [m]	Max. nosnost [t]	Min. nosnost [t]
Liebherr 140EC	60	68	10t - 12m	1,25t - 60m
Wilbert WT150	60	67,59	6t - 25m	2t - 60m
Dalbe SKY 600	60	105	8,2t - 12,3m	1,3t - 60m
SAEZ S60A	60	94,4	6t - 19,82m	1,65t - 60m
Terrex CTT 161-6	60	98,8	6t - 29,7m	2,15t - 60m
Potain MDT 189	60	74,5	8t - 19,2m	1,8t - 60m



### **Mezi hlavní části věžových jeřábů patří tyto prvky:**

- Podvozek
  - o Stacionární – v dnešní době nejhojněji užívaný typ
    - kotvený pomocí betonových základů do podloží
    - nekotvený, kdy je založen na základovém kříži zatíženém závažím
  - o Pojízdňé – tyto typy strojů bývají užívány jen velmi zřídka
    - na kolejovém podvozku
    - na kolovém, případně pásovém podvozku
    - na plovoucím pontonu
- Věž
  - o Sloupová – využívána zejména u samovztyčitelných strojů
  - o Příhradová – je pevnější a využívá se u vyšších a únosnějších strojů
    - Šplhavá vnější – šplhací konstrukce je umístěna zpravidla pod horní otočí a u vkládání dílců věže dochází k hydraulickému zdvihání celé horní části stroje
    - Šplhavá vnitřní – délka věže je neměnná, hydraulicky je zvedaný celý stroj, bývá situován nejčastěji ve výtahových šachtách realizovaných budov
- Kabina by měla nabízet dobrý výhled na staveniště, proto bývá uchycena na boku výložníku, případně mezi výložníkem a horní otočí
- Výložník je součástí stroje vymezující jeho horizontální dosah
  - o Vodorovný výložník – bývá doplněn pojízdňou kočkou a má nižší nároky na výkon motoru stroje s ohledem na horizontální pojezd břemene
  - o Sklopný výložník – je kloubově uchycen k věži a zavěšen na laně, vyložení je řízeno změnou sklonu výložníku, čímž klade vyšší nároky na výkon motoru stroje, má ovšem vyšší únosnost
  - o Lomený výložník – je kombinací obou výše uvedených variant

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

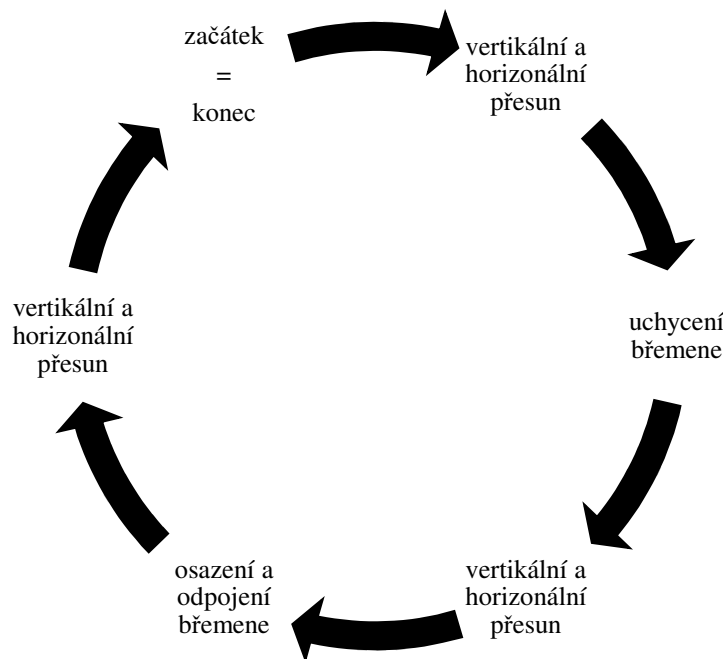
- Nosnost jeřábu, která je pro stroj definována ve dvou hodnotách, a to:
  - o Maximálním zatížením jeřábu, které je omezeno vzdáleností od věže stroje
  - o Maximálním zatížením na „špicí“ výložníku, tedy možným zatížením v případě maximálního využití výložníku
  - o Zbylé zatížení je nutné odečíst 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:
  - o Rychlost otáčení věže
  - o Rychlost pojezdu kočky po výložníku
  - o Rychlost zdvihu
  - o V případě užití stroje mobilního i rychlost pojezdu

## 5.2 Výkonnost věžových jeřábů

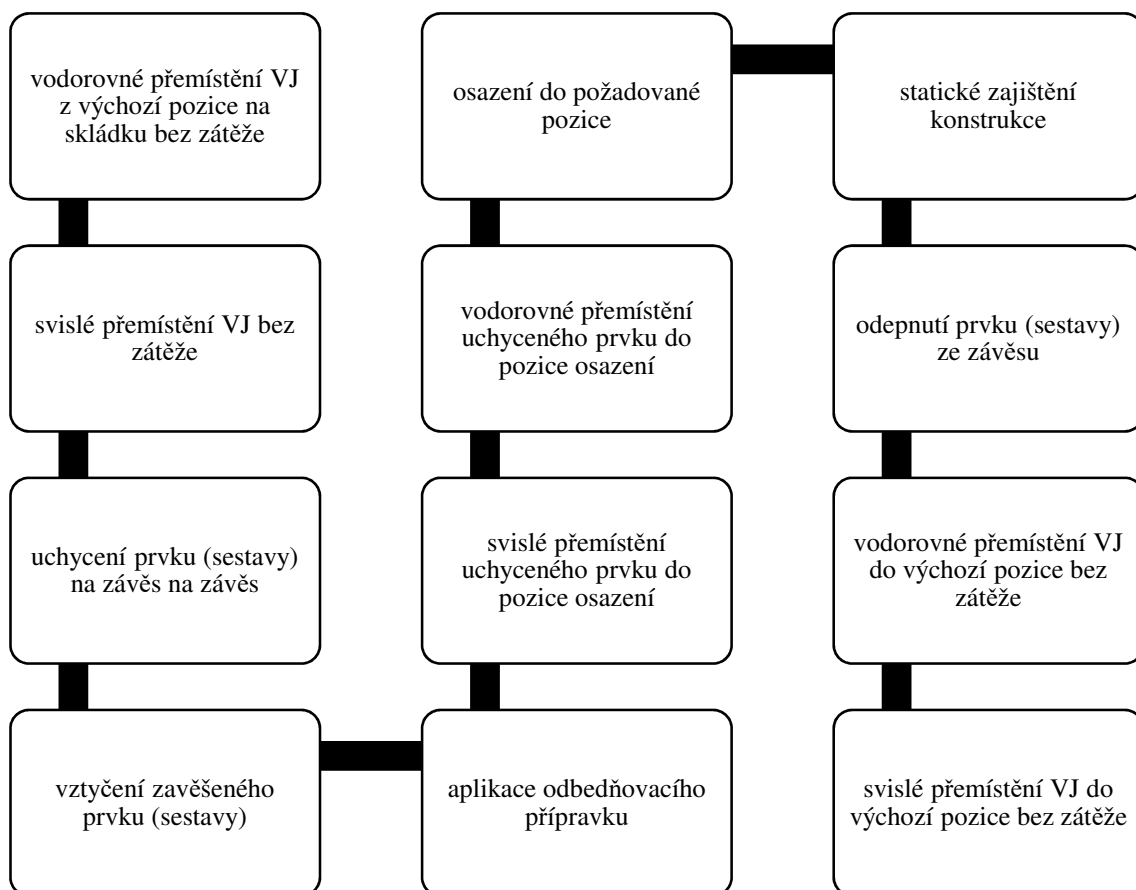
Aby bylo možné posuzovat výkonnost zdvihacích mechanismů, v našem případě věžových jeřábů, je nutné si uvědomit, o jaký typ stroje se jedná. V tomto případě lze jednoznačně říci, že se jedná o stroj pracující cyklicky. V takovém případě je nutné nejprve definovat a rozebrat typický pracovní cyklus tohoto stroje (obr. 5-1).

**Pracovní cyklus zdvihacího mechanismu je možné zjednodušeně znázornit takto:**



*Obr. 5-1 Zjednodušený pracovní cyklus VJ*

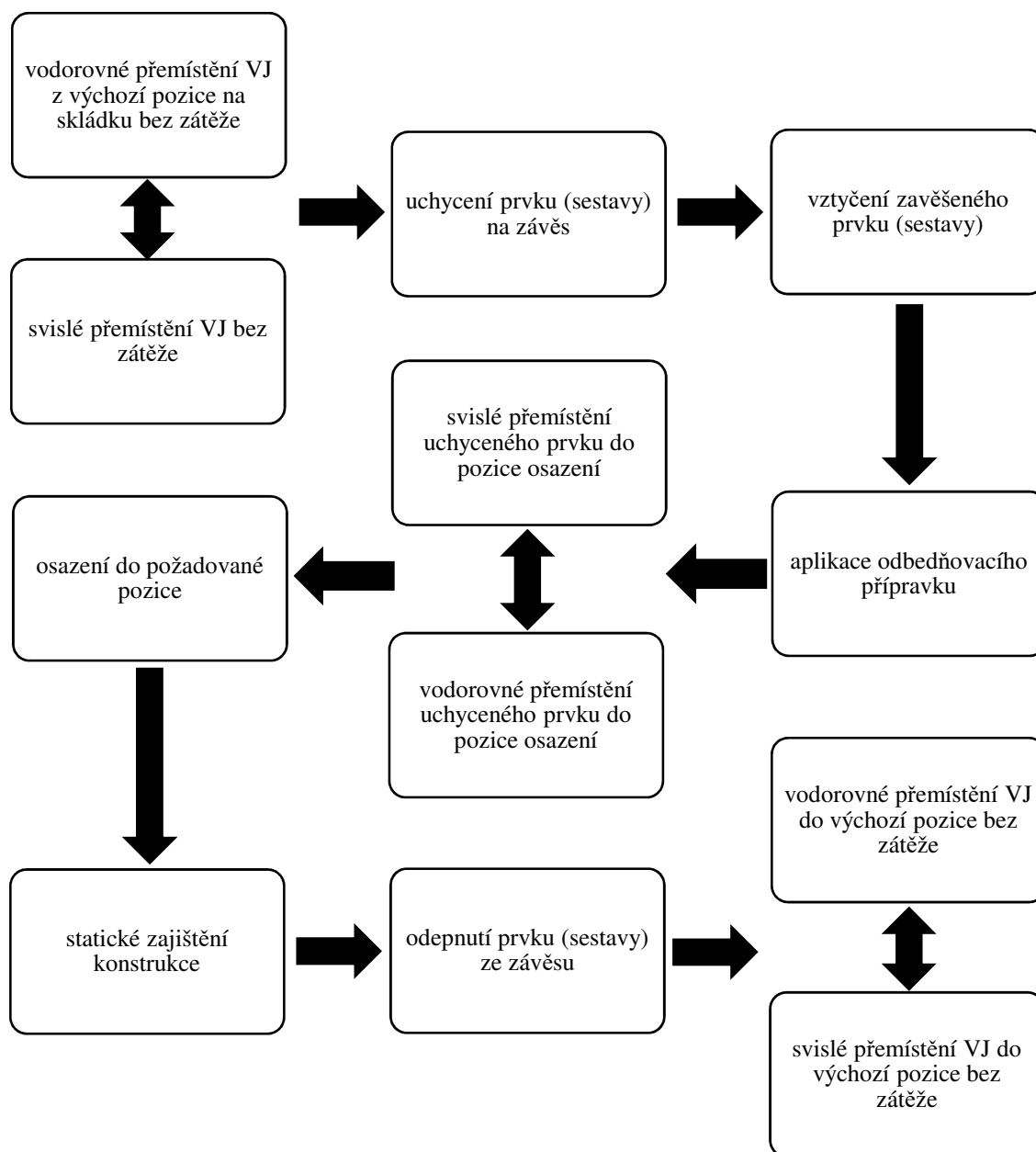
Tento zjednodušený pracovní cyklus v sobě ukrývá řadu drobných činností, které nemusí být ani časově náročné, ale je vhodné je znát a mít na paměti. Pro představu uvádím možné činnosti vstupující do pracovního cyklu věžového jeřábu v případě přesunu stěnového bednicího dílce ze skládky do místa uložení (obr. 5-2).



Obr. 5-2 Pracovní cyklus VJ pro bednění

Je zřejmé, že se doby trvání jednotlivých pracovních cyklů budou lišit s ohledem na dva základní faktory. První skupinou jsou faktory očekávané, mezi které je možné řadit například vzdálenost a výšku pro uložení prvku, hmotnost přepravovaného prvku, typ specifikace stroje a podobně. Druhou skupinou jsou faktory neočekávané, mezi které je možné řadit povětrnostní vlivy, kvalitu obsluhy a podobně.

Dále je nutné si uvědomit, že některé činnosti v rámci pracovního cyklu mohou probíhat souběžně, což je pro představu znázorněno na následujícím schématu:



Obr. 5-3 Schéma souběhu činností v rámci bednění

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.

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

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

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

### 5.3 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.

Většina stavebních firem řeší otázku, zda koupit věžový jeřáb, případně zda si jej pronajímat. Pokud se firma rozhodne pro zakoupení věžového jeřábu, bude to pro ni znamenat úspory za pronájem stroje, naopak ale na sebe bere nutnost provádění pravidelné údržby a v neposlední řadě se tímto krokem výrazně omezuje s ohledem na dané technické parametry zakoupeného stroje, které nemusí být aplikovatelné na každou realizovanou zakázku. Pokud tedy společnost stroj zakoupí, snaží se jej aplikovat na každou realizovanou stavbu, a to i za cenu toho, že stroj nebude plně vytížen. V případě pronájmu stroje je nevýhodou nutnost hradit náklady spojené s jeho užíváním jako jsou nájemné, sestavení a podobně. Tyto náklady bezesporu nejsou zanedbatelné, nicméně pro volbu pronájmu mluví zejména možnost výběru nejvhodnějšího typu stroje pro realizovanou stavbu a fakt, že odpadá odpovědnost za špatný technický stav stroje.

Na základě dat získaných od společností zajišťujících pronájem věžových jeřábu uvádí tato práce přehled základních finančních nákladů (tabulka 5-3). 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.

Z dat uvedených v tabulce 5-3 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 (tabulka 5-4).

Tabulka 5-3 Orientační finanční náklady činností spojených s pronájmem VJ

Typ jeřábu		Liebherr 30LC	Liebherr 132 EC-H	IGO 30	MDT 98
Nosnost [t]	Maximální	2,5	10	1,8	6
	Na špici	1	1,55	0,6	1,2
Vyložení [m]		30	55	22	55
Zdvih [m]		30	30	19	30
Projekt [Kč]		5.500	5.500	5.500	5.500
Doprava tam [Kč/km]		250	550	190	375
Montáž vč. asistence mobilního jeřábu [Kč]		48.850	82.000	25.000	125.000
Revize – 1x ročně [Kč]		6.900	6.900	6.900	6.900
Pojištění [Kč/měs.]		1.095	1.580	1.040	1.520
Pronájem [Kč/měs.]		39.000	58.000	30.000	65.000
Demontáž vč. asistence mobilního jeřábu [Kč]		48.850	82.000	20.000	120.000
Doprava zpět [Kč/km]		250	550	190	375

Ceny mzdových nákladů na jeřábníka a spotřebovanou energii odhaduji za účelem získání konečné odhadní ceny za pronájem dle tabulky 5-4. Pro utvoření si představu 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.

Tabulka 5-4 Orientační finanční náklady pronájmu vybraných VJ 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
IGO 30	1	31.000	73.200	4.100	133.400	241.700
	3	93.000	219.600	12.300		458.300
	6	186.000	439.200	24.600		783.200
MDT 98	1	66.500	73.200	11.800	407.400	558.900
	3	199.500	219.600	35.400		861.900
	6	399.000	439.200	70.800		1.316.400

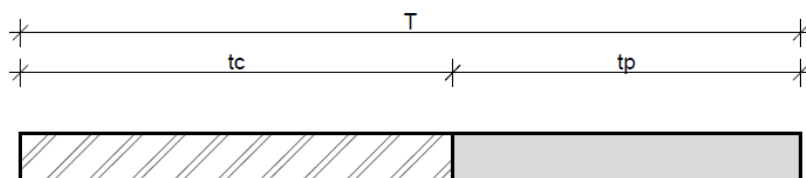
## 6 TYPOVÝ PRACOVNÍ CYKLUS JEŘÁBU A JEHO VÝPOČET

### 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:

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

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



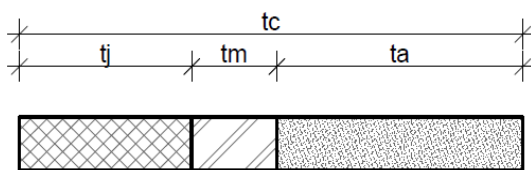
Obr. 6-1 Schématické znázornění doby trvání jednoho pracovního cyklu DSP

Nyní se již konkrétněji zaměříme 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:

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

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:

Tabulka 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 10,0
Výztuž	Pruty v balíku	3,0
Výztuž	Armokoše	2,0
Čerstvý beton – masivní konstrukce	Kontejner do 0,5m <sup>3</sup>	1,5
Čerstvý beton – tenkostěnné konstrukce	Kontejner do 0,5m <sup>3</sup>	2,0
Čerstvý beton – masivní konstrukce	Kontejner do 1,0m <sup>3</sup>	3,0
Čerstvý beton – tenkostěnné konstrukce	Kontejner do 1,0m <sup>3</sup>	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:

Tabulka 6-2 Koeficienty pracovních vlivů pro vybrané DSP [1]

Dílčí stavební proces (DSP)	Hodnota koeficientu pracovních vlivů – $k_s$
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:

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

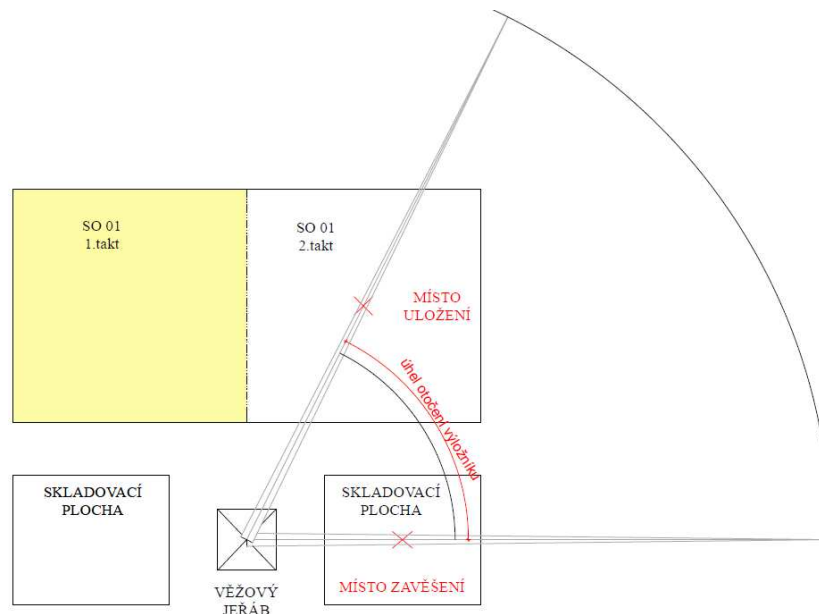
kde:  $t_c$  – doba pracovního cyklu věžového jeřábu potřebná k realizaci vybrané DSP  
 $k_s$  – opravný koeficient pracovních vlivů  
 $t_n$  – doba potřebná pro obsluhu DSP věžovým jeřábem

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

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. Je nutné si uvědomit, že dobu trvání pracovního cyklu 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. Výpočet doby cyklu jeřábu  $t_n$  metodou kritické cesty se již ve své habilitační práci zabýval doc. Ing. Vít Motyčka, CSc. [1], a vzhledem ke skutečnosti, že způsob výpočtu je užíván ve stále stejné podobě, bude pro potřeby této práce použit jako podklad. Výpočet bude vztažen k běžně užívanému VJ typu Liebherr 30LC.



Obr. 6-3 Grafické znázornění pracovního cyklu VJ

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  $53^\circ$  a přepravou bednicí sestavy o rozměrech 1,5x3m o hmotnosti 163 kg.

Tabulka 6-3 Vybrané technické parametry VJ Liebherr 30LC

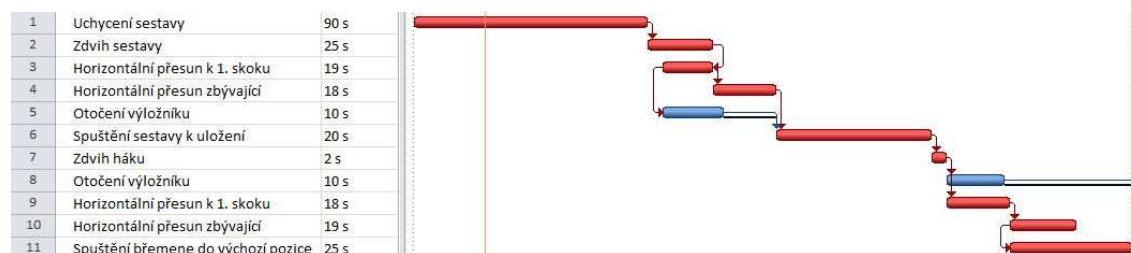
Vybrané technické parametry VJ Liebherr 30LC	hodnota	Jednotka
Rychlost zdvihu háku	0,5	m/s
Rychlost spuštění háku	0,5	m/s
Rychlost usazovací	0,05	m/s
Rychlost pojezdu kladnice	1,0	m/s
Rychlost otáčení výložníku	0,9	ot./60s

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.

Tabulka 6-4 Doby trvání jednotlivých činností  $t_j$  zahrnutých v rámci pracovního cyklu VJ

Číslo činnosti	Činnost	Doba trvání [s]	Možný souběh s činnostmi číslo
Výchozí pozice			
1	Uchycení sestavy	90	
2	Zdvih sestavy	25	3, 5
3	Horizontální přesun břemene k 1. skoku	19	2
4	Horizontální přesun břemene zbývajících	18	5
5	Otočení výložníku	10	4
6	Spuštění sestavy k uložení	20	
Návrat do výchozí pozice			
7	Zdvih háku	2	
8	Otočení výložníku	10	9, 10
9	Horizontální přesun břemene k 1. skoku	18	8
10	Horizontální přesun břemene zbývajících	19	11
11	Spuštění háku do výchozí pozice	25	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.

Jako možný podklad pro ověřování řádové správnosti vypočtených dob trvání pracovních cyklů uvedme přehledně zpracovanou tabulku z habilitační práce doc. Motyčky [1]:

*Tabulka 6-5 Hodnoty doby přesunu materiálu  $t_j[s]$  podle TPC pro VJ stacionární [1]*

Výška zdvihu / hmotnost	9 [m]	18 [m]	27 [m]	36 [m]	45 [m]
do 2,0 [t]	101	119	137	155	173
	119	155	191	227	263
do 4,0 [t]	128	173	218	263	308
	119	155	191	227	263
do 8,0 [t]					
	173	263	353	443	533

*Pozn.: údaje ve žlutém poli jsou pro čtyřnásobný závěs*

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

Stavebnictví jako celek je možné blíže specifikovat pomocí obecně známých definic, které jsou vyučovány v rámci vybraných studijních programů. Základním pojmem ve stavebnictví je pojem „stavba“, ta je jako celek definována stavebním zákonem. 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 „řídící proces“, což je DSP, který je vždy přednostně zařazen v rámci výstavby oproti zbývajícím činnostem a má tak přímý dopad na dobu trvání realizace.

Aby bylo možné definovat části stavby pro posouzení časového vytížení jeřábu při výstavbě, je třeba vymežit následující pojmy [23]:

- *„Provozní soubor je souhrn strojů a zařízení včetně jejich montáží a inventáře investičního charakteru, který slouží k zajištění dílčího samostatného technologického nebo netechnologického procesu a je uváděn do provozu v souvislém čase zpravidla uceleně“.*
- *„Stupeň rozestavěnosti je výrobně ucelená část stavebního objektu tvořená několika technologicky nebo účelově souvisejícími technologickými etapami (např. spodní stavba včetně zemních prací a základů)“.*
- *„Technologická etapa je konstrukčně a výrobně ucelená část stavebního objektu; lze ji též definovat jakožto soubor konstrukcí objektu, které je nutné nebo účelné spolu vyrobit převážně stejnou technologií a stejnými výrobními silami (např. základy, spodní stavba, vrchní stavba atp.)“.*
- *„Stavební konstrukce je část technologické etapy, která plní ve stavebním objektu různou funkci: Nosnou, izolační, dělící, provozní, ochrannou, hygienickou, estetickou apod.“.*
- *„Konstrukční prvek je základní skladebná část konstrukce stavebního objektu“.*

Tyto části stavby vznikají prostřednictvím výrobních procesů. Druhem výrobního procesu jsou tzv. stavební procesy. Jsou to [23]:

- **Pochod** je část tzv. dílčího stavebního procesu, která je tvořena skupinou technicky souvisejících pracovních operací. Jeho produktem je konstrukční prvek.
- **Dílčí stavební proces (DSP)** je jeden nebo více pochodů vykonávaných určitým pracovním kolektivem (pracovní četou) se stálou nebo proměnlivou dělbou práce. Jeho produktem je stavební konstrukce.
- **Etapový proces** je souhrn dílčích stavebních procesů technologicky i prostorově souvisejících, časově blízko sebe probíhajících a majících zpravidla stejný směr postupu výstavby. Jeho produktem je technologická etapa.
- **Proces stupně rozestavěnosti** je souhrn etapových procesů, jehož produktem je stupeň rozestavěnosti.
- **Objektový proces** (výrobní proces stavebního objektu) je souhrn skloubených procesů stupně rozestavěnosti, popř. etapových procesů, jehož produktem je stavební objekt.
- **Komplexní stavební proces** je stavební proces probíhající v prostoru stavby, případně souboru staveb v celé jeho složitosti, jehož finálním produktem je stavební (investiční) celek.

## 7.1 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. Doba trvání činností zařazených do této skupiny je tedy možné zapsat tímto vztahem:

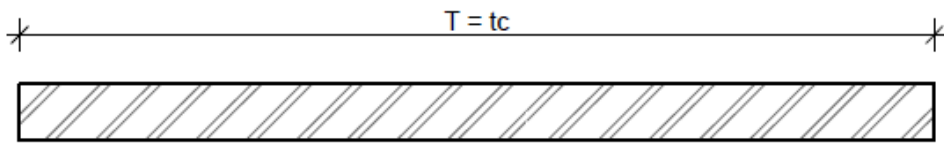
$$T = t_c + t_p = t_c + 0 = t_c \quad 7.1$$

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 pomoci 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:

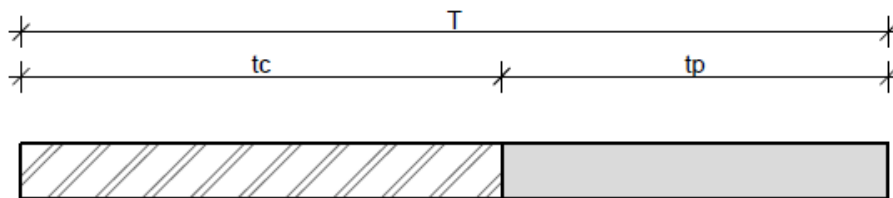
$$T = t_c + t_p \quad 7.2$$

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“.

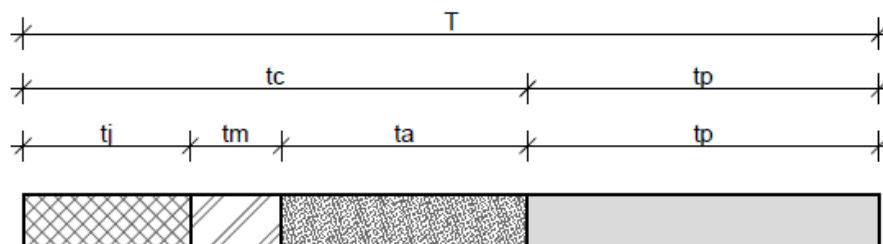
3. Skupina – činnosti vyžadují obsluhu věžového jeřábu jen velice výjimečně a nepravidelně. Dobu trvání činností zařazených do této skupiny stejně jako v rámci 2. skupiny, je možné zapsat vztahem (7.2).

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 Schematické 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 „tc“ a doby trvání činnosti, která obsluhu VJ nevyžaduje a lze tedy pracovat bez jeho pomoci. Výše zmíněná činnost zohledňující obsluhu jeřábu „tc“ se dále skládá z několika dílčích činností. Těmito činnostmi jsou doba potřebná k přesunu břemene zavěšeného na závěsu VJ značená jako „tj“, dále doba potřebná k zavěšení a uvolnění břemene na VJ, kterou značíme jako „tm“ 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 „ta“.

## 7.2 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 společnostmi RTS, a.s. Pro představu si nyní uvedeme porovnatelná data udávaná vybranými rozpočtářskými programy běžně užívanými v rámci přípravy staveb v České republice.

Tabulka 7-1 Normohodiny užívané v rámci této práce pro vybrané DSP

Název činnosti	Nh	MJ
Bednění stěn	0,18	Nh/m <sup>2</sup>
Bednění stropu	0,26	Nh/m <sup>2</sup>
Armování stěn	1,18	Nh/100kg
Armování stropu	1,32	Nh/100kg
Betonáž bádíí	0,95	Nh/m <sup>3</sup>
Odbedňování stěn	0,11	Nh/m <sup>2</sup>
Odbedňování stropu	0,13	Nh/m <sup>2</sup>
Zdění	1,3	m <sup>3</sup> /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 cyklu vybrané DSP je, že VJ vždy přenáší odpovídající jednotkové množství materiálu. Pracovní cyklus 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<sub>c</sub>“, to je dobou potřebnou pro obsluhu DSP VJ v jednom pracovním cyklu a dobou „t<sub>p</sub>“, 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<sub>c</sub>“, 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 přiřčejí. Určení teoretické doby trvání vybraných DSP zohledňující výše uvedené skutečnosti bude řešeno v rámci kapitoly 7.5.

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

Dílejší 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.

Bednění obecně je historicky spjato s výstavbou monolitických staveb. Dříve byla využívána pouze bednění tradiční, kdy se jednalo o kusové dříví sestavované do požadovaných tvarů přímo na stavbě. Tato bednění ovšem byla časově velice náročná a vyžadovala nutnou míru zkušeností pro jejich sestavení. Jak se ovšem stavebnictví vyvíjelo a rozšiřoval se poměr zastoupení monolitických staveb na trhu, bylo zřejmé, že bude nutné

vydat se cestou efektivnější. Hojně se tedy začala ve stavebnictví využívat takzvaná bednění systémová. Ta umožňují sestavení jakéhokoli tvaru pomocí základních desek o daných rozměrech zhotovených za pomoci kovového rámu a vícevrstvé překližky. Tento typ bednění je možné opakovaně používat a s ohledem na své rozměry a snadnou montáž tak znamenají významnou časovou úsporu při realizaci samotné. Další výhodou je i vysoká únosnost. Hlavní nevýhodou těchto systémových dílců je jejich hmotnost a s tím spojený jejich přesun po stavbě. K manipulaci s nimi tak velmi často bývají využívány zdvihací mechanismy. V dnešní době jsou systémová bednění vyráběna i z hliníku, ten je výrazně lehčí a je možné jej přepravovat i ručně, nicméně prozatím nemůže konkurovat svou únosností.

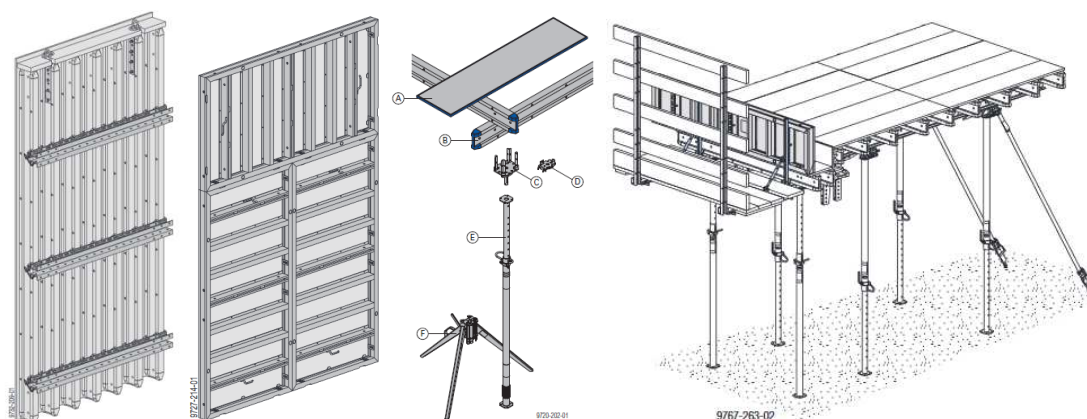
Na vývoji a distribuci systémových bednění se podílí celá řada firem jako například Paschal, Noe, Artco či Meva. Nejsilnější zastoupení na českém trhu ovšem mají společnosti DOKA a PERI. Každý z těchto výrobců má široký výrobní program, nicméně základní myšlenka je pořád stejná, a tak jsou rozdíly v konstrukčním řešení jednotlivých typů bednění často jen v detailech.

V dnešní době není problém obednit téměř jakoukoli konstrukci, ať se jedná o drobné konstrukce či plošně rozsáhlé konstrukce, a to rovné, zaoblené či jinak zakřivené.

S ohledem na široký výrobní program systémových bednění a snadnější orientaci v jejich možném návrhu se bednění dělí následovně:

- Dle nároků na zdvihací mechanismus
  - o Lehké bednění – jejich hmotnost je nižší, díky čemuž nevyžadují pro montáž zdvihací mechanismy. Často bývají vyráběny z hliníku či kompozitních materiálů (technopolymerů).
  - o Těžké bednění – pro jeho užití je potřebný zdvihací mechanismus
- Dle konstrukce
  - o Nosíkové bednění – bývají sestavována z více prvků na stavbě. Tento způsob bednění se používá jak u stěnových, tak i stropních konstrukcí. Umožňuje vybednit rozmanitější konstrukce. U nosíkových bednění je možné setkat se s dvěma pojmy. Prvním pojmem je „bednění čtyřprvkové“, to se skládá z bednicí desky, příčného a podélného nosníku a stropní výškové stavitelné stojky. Druhým pojmem je bednění „tříprvkové“, které se skládá z bednicího rámu, podélných nosníků a stropních výškově stavitelných stojek.
  - o Rámové bednění – tvoří svařované ocelové rámy opláštěné bednicí deskou. Materiál, ze kterého se bednicí deska vyrábí, je čistě věcí daného výrobce, nejčastěji se používá vícevrstvá překližka, můžeme se ovšem setkat i s plastem, OSB deskami či dřevotřískami. Rozměry bývají pro každého výrobce různé, nejčastějším rastrem je však 150 mm, nicméně je vždy možné základní desky dané řady různě kombinovat a vytvářet z nich požadované tvary.

- Dle způsobu využití
  - Stěnové systémy
    - Rámová bednění
    - Nosníková bednění
    - Sloupová bednění
    - Jednostranná bednění
  - Stropní systémy
    - Nosníková bednění
    - Bednicí stoly
  - Šplhací systémy
    - Samošplhací bednění
    - Šplhací bednění zdvihaná jeřábem
    - Přehradní bednění
    - Šachtová plošina



*Obr. 7-4 Typy systémových bednění – zleva nosníkové stěnové, rámové stěnové, nosníkové stropní, bednicí stůl*

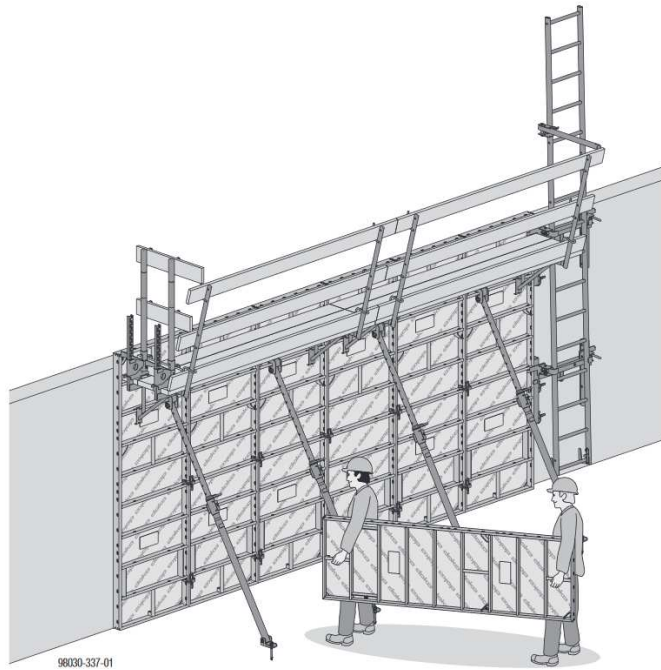
Pro posouzení vzorové stavby v rámci této práce bylo pro potřeby bednění stěn zvoleno lehké oboustranné rámové bednění Doka - Frami Xlife a pro potřeby bednění stropů nosníkové stropní bednění Doka – Dokaflex 1-2-4.

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.

## **7.4 Rozbor vybraných typů systémových bednění**

### **Lehké rámové bednění stěnové [24]**

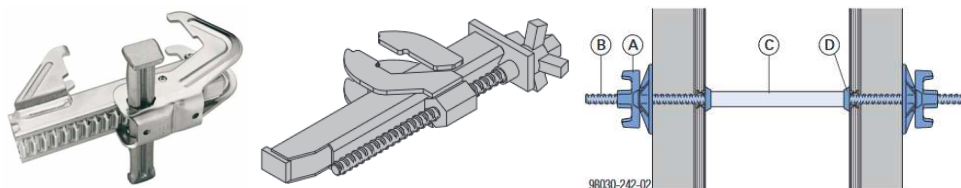
Jedná se o kompletní systém lehkého rámového bednění s možností využití jak pro stěny, tak i pro sloupy a základy. Rám dílců je vyroben z dutých pozinkovaných ocelových profilů, čímž je docíleno jeho vylehčení. Manipulovat s těmito dílci je tedy možné jak ručně, tak i pomocí zdvihacích mechanismů. Dovolovaný tlak čerstvého betonu je v případě tohoto typu bednění 60 KN/m<sup>2</sup> u výšky do 300 cm, 67,5 KN/m<sup>2</sup> u výšky do 270 cm a 40 KN/m<sup>2</sup> u výšky do 150 cm.



Obr. 7-5 Stěnové rámové bednění [24]

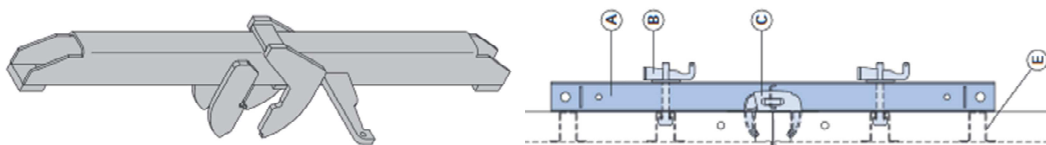
Dílce jsou vyráběny v rastru po 15 cm, což umožňuje optimální přizpůsobení stavebním objektům. Výšky dílců začínají na 120 cm a končí na 300 cm, šířky dílců začínají na 30 cm a končí na 90 cm.

Jednotlivé dílce se spojují pomocí rychloupínačů, které je možné díky drážce po celém obvodu rámu umístit do libovolného místa. Rychloupínač se stáhne díky upevňovacímu klínu pomocí úderu kladiva. V případě potřeby vyrovnání dílů při vkládání například dřevěných hranolů se využívají vyrovnávací upínače. Pro vzájemné propojení oboustranného bednění se využívá kotevního systému.



Obr. 7-6 Zleva Rychloupínač, vyrovnávací upínač a kotevní systém

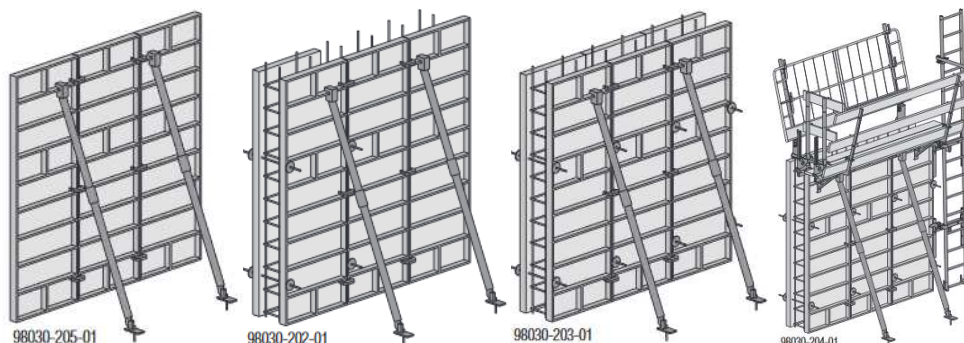
V případě spojování rámu do větších sestav, kdy se uvažuje s přepravou pomocí věžových jeřábů, se k vyztužení a propojení dílců využívá takzvaného srovnávacího upínače nebo upínací kolejnice.



Obr. 7-7 Spojování dílců pomocí upínače a pomocí kolejnice

## Postup montáže včetně vyznačení činností vyžadujících asistenci jeřábu:

- Stěnové konstrukce se zpravidla začínají bednit od rohů
- Předběžná montáž sestav probíhá vždy naležato na rovném podkladu
- Sestavení požadované sestavy z bednicích dílců
- Spojení dílců pomocí rychloupínačů a výztužných srovnávacích upínačů v souladu s předepsanými rozestupy od výrobce
- Osazení vyrovnávacích opěr
- Uchycení sestavy na zdvihací mechanismus a jeho zdvižení do svislé polohy
- **Aplikace odbedňovacího přípravku** – vyžaduje asistenci jeřábu
- Přesun na místo určení a jeho přesné osazení
- Výše uvedené se opakuje do doby sestavení jedné strany bednění stěny, sestavy se vzájemně propojují rychloupínači
- Průběžně je vázána výztuž stěn, nebyla-li již provedena
- Poté se sestaví první sestava protibednění
- Uchycení sestavy na zdvihací mechanismus a jeho zdvižení do svislé polohy
- **Aplikace odbedňovacího přípravku** – vyžaduje asistenci jeřábu
- Přesun na místo určení a jeho přesné osazení
- **Proběhne montáž kotev dle kotevního systému, čímž se protilehlé bednění zajistí proti převrácení** – vyžaduje asistenci jeřábu
- Jakmile je stěna sestavena, osadí se betonářské lávky, výstupový systém a postranní zábradlí



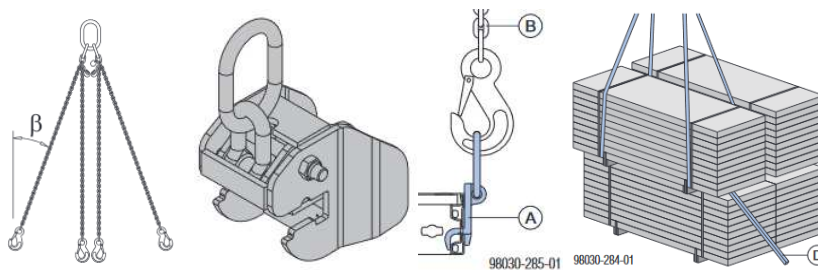
Obr. 7-8 Postup montáže bednění stěn

## Prvky využívané k přepravě součástí stěnového i sloupového systémového bednění pomocí jeřábů:

K přepravě jednotlivých součástí systémových bednění prostřednictvím jeřábů je využívána celá řada pomůcek. Jsou jimi například:

- Čtyřpramenný jeřabový řetěz 3,20 m
  - o Tento závěs má univerzální použití
  - o V kombinaci se závěsným okem se využívá k přepravě bednění, plošin a přepravních prostředků
  - o V kombinaci s transportním hákem pro přepravu stohů prvků a jednotlivých prvků

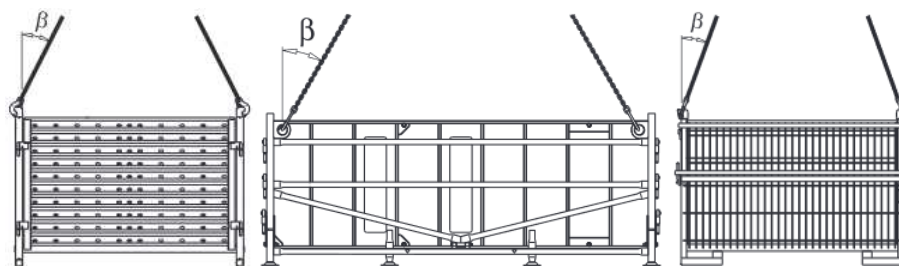
- Maximální nosnost je závislá na úhlu sklonu a počtu použitých pramenů a pohybuje se od 1.400 kg u jednoho pramene do 3.600 kg v případě využití všech pramenů
- Jeřábové oko
  - Maximální nosnost jeřábového oka je 750 kg
  - K přepravě jednotlivých dílců, kdy postačí k zavěšení jedno oko
  - K přepravě sestav dílců, kdy je nutné využít vždy 2 ks
- Transportní hák 2,5 KN
  - Maximální nosnost 450 kg
  - Využívá se v kombinaci s čtyřpramenným řetězem k přepravě svázaných stohů prvků, zvednutí prvků ze stohu prvků či přepravě sestav spojených prvků naležato
- Textilní popruh
  - Využívá se pro nakládání, skládání a přepravu bednicích dílců
  - Má délku 13 m a maximální nosnost 2.000 kg



*Obr. 7-9 Prvky k přepravě bednění – zleva čtyřpramenný řetěz, jeřábové oko, transportní hák, textilní popruh*

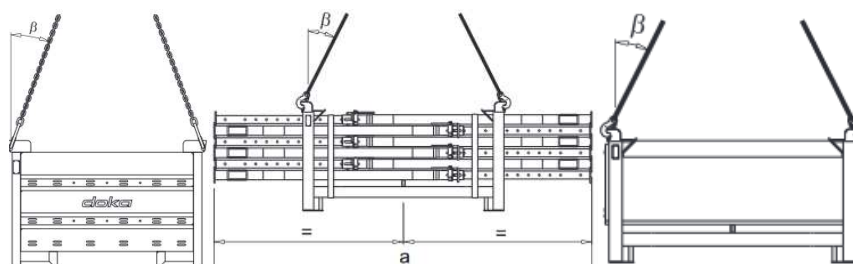
- Paleta
  - Slouží ke skladování a přepravě
  - Je vyráběna ve dvou výškách, a to 1,2 m a 1,5 m
  - Umožňuje skladovat prvky jak na stojato, tak i na ležato
  - Maximální nosnost 1.200 kg
  - Dovolené dodatečné zatížení 3.500 kg
- Paleta Alu
  - Slouží ke skladování a přepravě
  - Maximální nosnost 800 kg
  - Dovolené dodatečné zatížení 5.200 kg
- Kontejner se sítovými bočnicemi
  - Slouží ke skladování a přepravě pro drobné díly
  - Maximální nosnost 700 kg
  - Dovolené dodatečné zatížení 3.150 kg





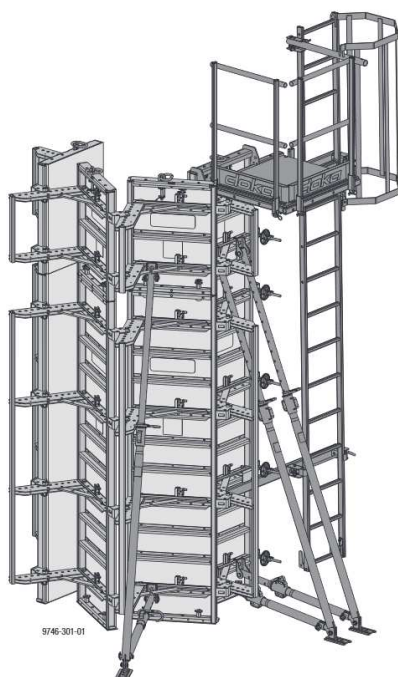
Obr. 7-10 Prvky k přepravě bednění – zleva paleta, paleta alu, kontejner se síťovými bočnicemi

- Víceúčelový kontejner
  - o Slouží ke skladování a přepravě pro drobné díly
  - o Maximální nosnost 1.500 kg
  - o Dovolené dodatečné zatížení 7.900 kg
- Ukládací paleta
  - o Slouží ke skladování a přepravě pro dlouhé díly
  - o Maximální nosnost 1.100 kg
  - o Dovolené dodatečné zatížení 5.900 kg
- Bedna pro drobné součástky
  - o Slouží ke skladování a přepravě pro drobné díly
  - o Maximální nosnost 1.000 kg
  - o Dovolené dodatečné zatížení 5.530 kg



Obr. 7-11 Prvky k přepravě bednění – zleva víceúčelový kontejner, ukládací paleta, bedna pro drobné součástky

## Sloupové rámové bednění [25]

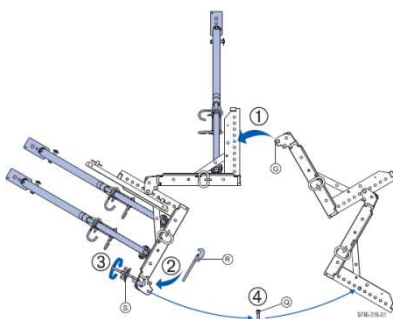


Obr. 7-12 Sloupové rámové bednění [25]

### Postup montáže včetně vyznačení činností vyžadujících asistenci jeřábu:

- První bednicí díl položíme na podkladní hranoly výšky cca 20 cm a odklopíme stavací rám bednění, který zajistíme čepem se závlačkou.
- V případě potřeby nastavení dílců demontujeme ochranné lišty na přiléhajících hranách dílců, dílce poté propojíme vždy dvěma kusy nadstavbových šroubů, které se zajistí závlačkou.
- **Po sestavení otočíme bednění vnitřní stranou bednění vzhůru a k němu v pravém úhlu přiložíme druhou bednicí část, připravenou dle předešlých kroků, kterou zajistíme v požadované pozici pomocí distančních trnů, které zajistíme závlačkou – vyžaduje asistenci jeřábu.**
- Stejným způsobem dojde k sestavení i druhé poloviny bednění sloupu, a to nezávisle na první půli, ty se vzájemně spojují až na místě první betonáže
- U jedné ze dvou polovin dojde k osazení transportních ok na horní straně dílů, tato oka budou zajištěna matkou a závlačkou.
- Druhou polovinu bednění opatříme betonářskou plošinou, která se umísťuje na horní část bednění, a to tak, že závěsné háky plošiny zavěsíme do sloupku bednění a následně plošinu zajistíme matkou a závlačkou. Následně dojde k osazení transportních ok stejně jako u druhé poloviny bednění.
- Na betonářskou plošinu osadíme montážní zábradlí, které zajistíme závlačkou s pružinou a osadíme výstupový systém.
- **Pomocí čtyřpramenného závěsu a transportních ok přemístíme sestavenou polovinu sloupového bednění na požadované místo, kde jej zabezpečíme proti překlopení třemi opěrami. Teprve po zajištění stabilizace je možné odpojení dílce z jeřábového závěsu – vyžaduje asistenci jeřábu.**

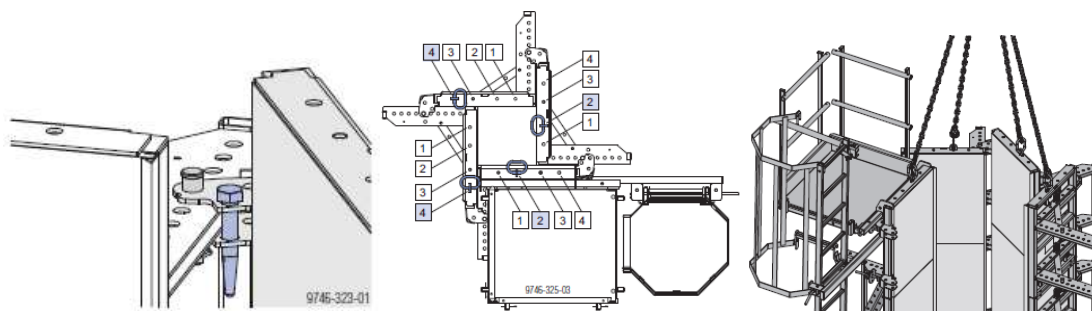
- Dopravíme druhou polovinu sloupového bednění a obě poloviny vzájemně propojíme pomocí distančních trnů a spojovacího háku v požadovaných rozměrech – vyžaduje asistenci jeřábu.
- Před uzavřením aplikujeme odbedňovací přípravek.



Obr. 7-13 Půdorysný pohled na sloupové bednění

### Prvky využívané k přepravě sloupového systémového bednění pomocí jeřábů:

Sloupové bednění se v případě opakovaného použití přesouvá jako celek. Před přemísťováním je nutné zajistit prvky proti odklopení a zaklapnutí, což se provádí pomocí spojovacích čepů nebo distančních trnů. Uchycení sestavy před přepravou pomocí čtyřramenného závěsu by mělo být z důvodu zajištění svislosti přepravované sestavy prováděno dle doporučení výrobce. Tedy uchycením na závěsné body v rastru 4-2-2-4.



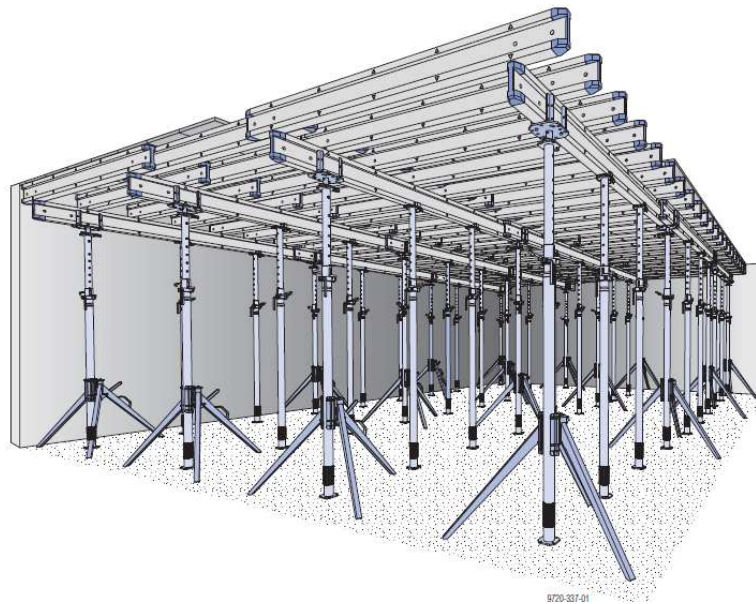
Obr. 7-14 Zajištění a upevnění sestavy na jeřáb

K přepravě součástí sloupových systémových bednění prostřednictvím jeřábů jsou využívány tyto pomůcky:

- Čtyřramenný jeřábový řetěz 3,20 m
- Paleta
- Paleta Alu
- Kontejner se síťovými bočnicemi
- Víceúčelový kontejner
- Ukládací paleta
- Bedna pro drobné součástky

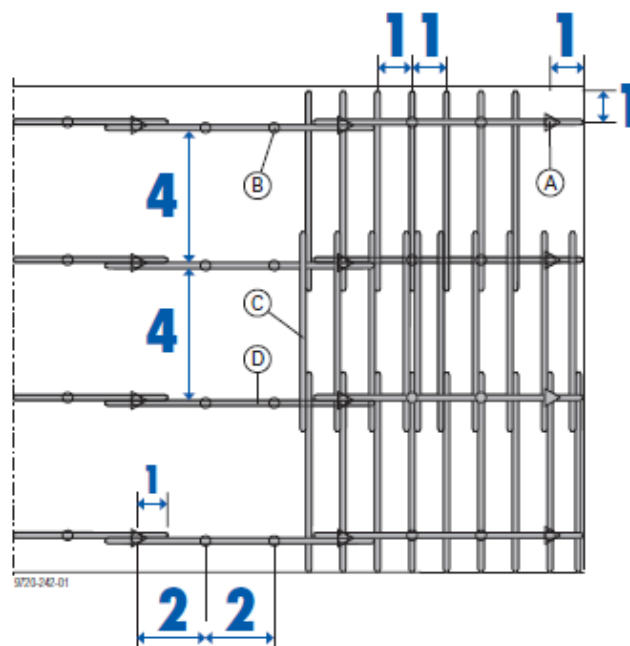
Výše uvedené pomůcky k přepravě jsou totožné jak pro stěnové, tak i sloupové bednění a nejsou tedy již více rozepisovány.

## Nosníkové stropní bednění [26]



Obr. 7-15 Nosníkové stropní bednění [26]

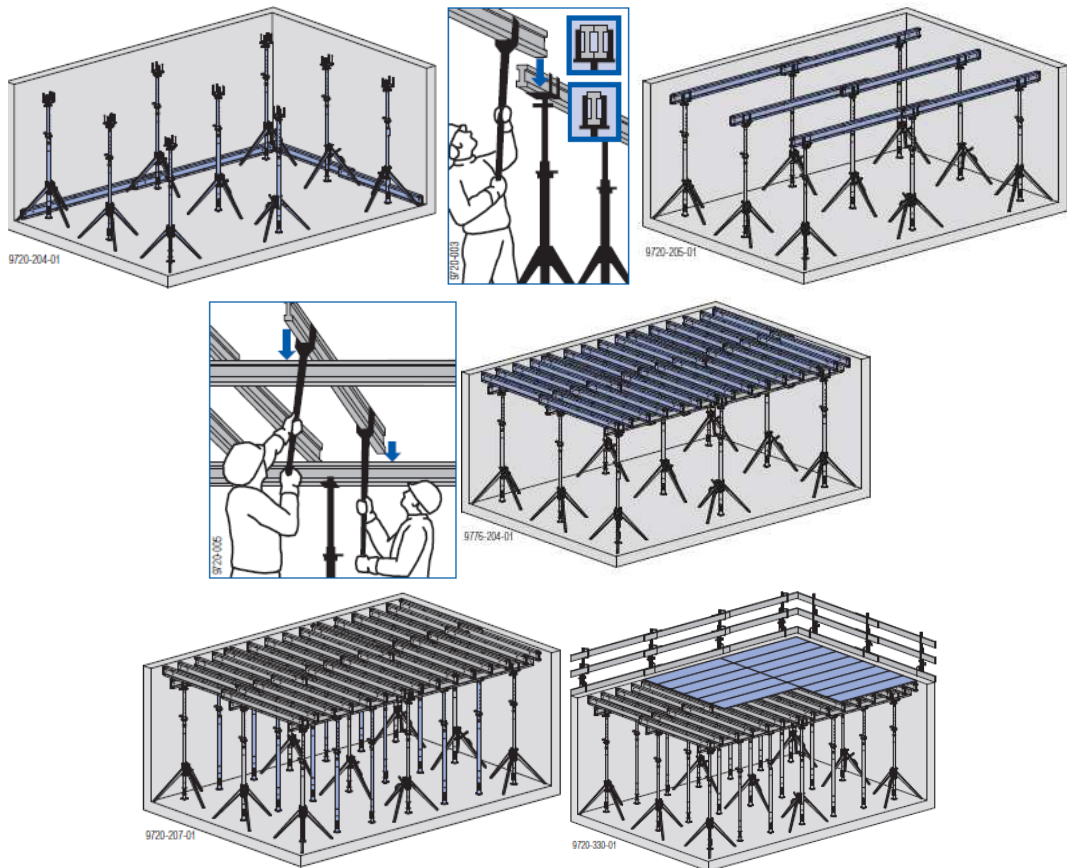
Jedná se o nosníkové stropní bednění, které díky své flexibilitě umožňuje obedit libovolný půdorys. Práce s tímto typem bednění je rychlá a snadná díky umístění polohovacích značek na nosnících a skutečnosti, že se pracuje pouze s dvěma délkami nosníků. Čísla uvedená v názvu nejsou náhodná, jedná se o poměr maximálních rozstupů při montáži. Dle polohovacích značek je tedy jednoznačně dáno, že rozstup jedné značky určuje maximální vzdálenost příčných nosníků, rozstup dvou značek udává maximální vzdálenost podpěr a rozstup čtyř značek udává maximální vzdálenost podélných nosníků.



Obr. 7-16 Grafické znázornění poměrů vzdáleností jednotlivých prvků

Pro upřesnění je vhodné uvést, že rozestup jedné značky určuje vzdálenost 500 mm. Tyto poměry si pro lepší pochopení ukažme na obrázku níže, kde písmenem „A“ je znázorněna stropní podpěra doplněná spouštěcí hlavicí a opěrnou trojnožkou. Pod písmenem „B“ je znázorněna stropní podpěra doplněná přídržovací hlavicí bez opěrné trojnožky. Pod písmenem „C“ jsou uvedeny příčné nosníky, které jsou v délce 2,65 m a pod písmenem „D“ jsou znázorněny nosníky podélné vyráběné v délce 3,9 m.

**Postup montáže včetně vyznačení činností vyžadujících asistenci jeřábu:**

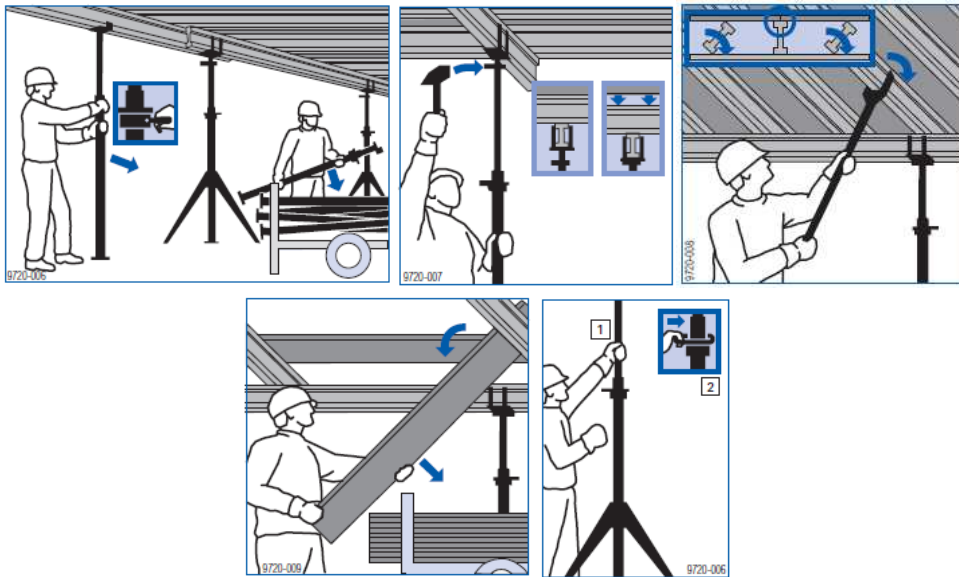


*Obr. 7-17 Grafické znázornění postupu montáže [26]*

- Rozmístění podélných a příčných nosníků po obvodu bedněné plochy včetně zohlednění přesahů u navazujících nosníků, polohovací značky na sebe musí navazovat
- Provedení hrubého výškového nastavení podpěr pomocí nastavovacích třmenů, což číslování otvorů usnadňuje a není tak nutné opakovaně přeměřovat
- Osazení spouštěcích hlavíc do stropních podpěr
- Sestavení opěrných trojnožek v místech určených montážním schématem a postavení stropních podpěr do nich
- Uložení podélných nosníků do spouštěcích hlavíc pomocí montážních vidlic
- Provedení výškového zaměření a urovnání nosníků
- Uložení příčných nosníků pomocí montážních vidlic, rozestupy kontrolujeme pomocí polohovacích značek
- Příprava mezipodpěr – nasazení přídržovacích hlavíc na stropní podpěry

- Montáž mezipodpěr v daném rastru, kdy maximální vzdálenost je dvě značky
- Uložení bednicích panelů a to vždy kolmo k příčným nosníkům, nutno dbát na rozmístění příčných nosníků, kdy musí bednicí desky v místech styků vždy ležet konci na nosníku
- Osazení ochranných prvků – pád do hloubky
- Aplikace odbedňovacího přípravku

**Postup demontáže včetně vyznačení činností vyžadujících asistenci jeřábu:**



*Obr. 7-18 Grafické znázornění postupu demontáže [26]*

- Částečné odbednění – spočívá v odstranění mezipodpěr
- Po dostatečném vyvrání konstrukce je možné dokončení odbednění
- Spuštění stropního bednění – uvolněním spouštěcích hlavic úderem kladiva
- Odstranění uvolněných příčných nosníků pomocí montážních vidlic vyjma nosníků pod stykem bednicích desek
- Odstranění bednicích panelů
- Demontáž zbylých příčných nosníků a následně i nosníků podélných
- Demontáž stropních podpěr

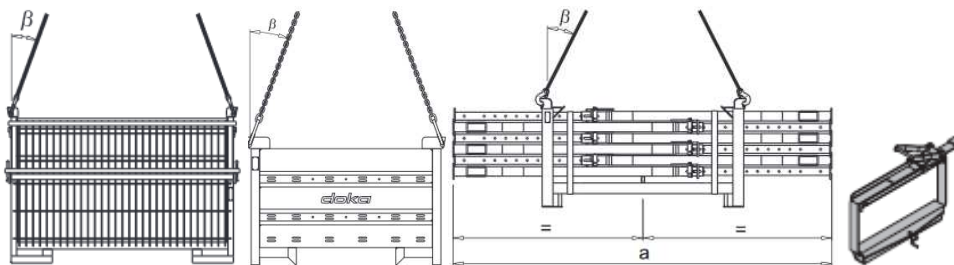
S ohledem na výše uvedené technologické postupy je zřejmé, že tato DSP nevyžaduje kromě přesunu materiálu žádnou další asistenci jeřábu, a to jak při montáži, tak ani při demontáži.

**Prvky využívané k přepravě součástí stropního systémového bednění pomocí jeřábů:**

V rámci přepravy materiálu potřebného k bednění stropních konstrukcí bývají využívány tyto prvky:

- Kontejner se sít'ovými bočnicemi
  - o Slouží ke skladování a přepravě pro drobné díly
  - o Maximální nosnost 700 kg

- Dovolené dodatečné zatížení 3.150 kg
- Víceúčelový kontejner
  - Slouží ke skladování a přepravě pro drobné díly
  - Maximální nosnost 1.500 kg
  - Dovolené dodatečné zatížení 7.900 kg
- Ukládací paleta
  - Slouží ke skladování a přepravě pro dlouhé díly
  - Maximální nosnost 1.100 kg
  - Dovolené dodatečné zatížení 5.900 kg
- Upínací popruh
  - Slouží ke skladování a přepravě bednicích panelů
  - Na jeden stoh desek jsou třeba dva popruhy
  - Stoh tvoří 50 kusů desek tloušťky 21 mm nebo 40 kusů desek tloušťky 27 mm



*Obr. 7-19 Prvky k přepravě bednění – zleva kontejner se sítovými bočnicemi, víceúčelový kontejner, ukládací paleta, upínací popruh*

## 7.5 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 výrobcí systémových bednění uvedené v tabulce níže.

Tabulka 7-2 Jednotkové přesuny udávané výrobcí - 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 <sup>3</sup>
	Stěny		1,0 m <sup>3</sup>
	Stropy		1,5 m <sup>3</sup>
Odstranění bednění	Sloupy	Dílce	0,9 m <sup>2</sup>
	Stěny	Sestavy	8,1 m <sup>2</sup>
	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



## 7.5.1 Teoretický výpočet hodnot T, t<sub>c</sub>, t<sub>p</sub>

### Svislé konstrukce

#### Bednění stěn

Postup výpočtu je 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<sup>2</sup>.

- 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:

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

kde: S<sub>sm</sub> – plocha bednění zřízená v rámci jedné směny [m<sup>2</sup>]

t<sub>sm</sub> – doba trvání jedné pracovní směny [hod.]

P – normohodina zvolené DSP [Nh/m<sup>2</sup>]

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Máme-li stanovenou 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 3,0 m, tedy o celkové ploše 4,5 m<sup>2</sup>. Dále bylo uvažováno i s nutností přepravy 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:

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

kde: C – počet cyklů v rámci jedné směny

S<sub>sm</sub> – možná plocha bednění zřízená v rámci jedné směny [m<sup>2</sup>]

S<sub>s</sub> – plocha bednicí sestavy přepravené v rámci jednoho cyklu VJ [m<sup>2</sup>]

- 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:

$$T = \frac{t_{sm}}{c} = \frac{12}{15} = 0,8 \text{ hod.} = 48 \text{ min.} \quad 7.3$$

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 doby potřebné pro přesun břemene, z výpočtů zohledňujících rychlost otáčení, pojezd 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:

Tabulka 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	$t_m$
Přesun břemene VJ na místo určení a zpět	2,0	$t_j$
Stabilizace, nástřik odbedňovacího přípravku	1,0	$t_a$
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 doba potřebná pro obsluhu DSP VJ dle následující rovnice 6.4:

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

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 6.2:

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

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 nevyžadují 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:

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

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:

*Tabulka 7-4 Pracovní cyklus montáže stěnového bednění*

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

### **Odbednění stěn**

Postup výpočtu pro odbedňování stěn je následující:

- Normohodina

V případě této práce byla vybrána hodnota uváděná softwarem BuildPower S, která je dána hodnotou  $0,11 \text{ Nh/m}^2$ .

- Plocha za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Plocha se tedy určí takto 7.1:

$$S_{sm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{12}{0,11} = 109,10 \text{ m}^2/\text{směna}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním bednicích sestav o rozměrech 1,5 x 3,0 m, tedy o celkové ploše 4,5 m<sup>2</sup>. Počet cyklů se tedy stanoví následovně 7.2:

$$C = \frac{S_{sm}}{S_s} = \frac{109,10}{4,5} = 24,25 \doteq 25 \text{ cyklů}$$

- Doba trvání daného cyklu

Výpočet bude tedy vypadat následovně 7.3:

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{25} = 0,48 \text{ hod.} = 29 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Doby trvání pro vybrané činnosti týkající se bezprostředně odbednění svislých konstrukcí jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 7-5 Doby trvání vybraných činností

Název činnosti	Doba trvání činnosti [min.]	Skladba činnosti, do které bude činnost zahrnuta
Zavěšení břemene na VJ	2	t <sub>m</sub>
Uvolnění sestavy od konstrukce stěny	2,5	t <sub>a</sub>
Přesun břemene VJ na místo určení	2	t <sub>j</sub>
Uvolnění sestavy	1	t <sub>m</sub>
Souhrn výše uvedených činností	7,5	t <sub>n</sub>

Doba potřebná pro obsluhu DSP VJ se určí dle následující rovnice 6.4:

$$t_n = t_j + t_m + t_a = (2 + (2 + 1) + 2,5 = 7,5 \text{ min.}$$

Stanovení doby pracovního cyklu VJ potřebné k realizaci vybrané DSP po zohlednění opravného koeficientu pracovních vlivů, stanovený dle tabulky tab. 6.2 vychází z rovnice 6.3:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,2 \cdot 7,5 = 9 \text{ min.}$$

Stanovení hodnoty t<sub>p</sub>, tedy doby, po kterou činnost nevyžaduje obsluhu jeřábu. Hodnotu t<sub>p</sub> určíme z následujícího vztahu 6.1:

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 29 - 9 = 20 \text{ min.}$$

V rámci doby  $t_p$  jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, jako například uvolnění spojek propojujících sestavy. Výslednou DSP, tedy odbednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito daty:

Tabulka 7-6 Pracovní cyklus demontáže stěnového bednění

T	$t_c$	$t_p$	C
29 min.	9 min.	20 min.	25

### Vyztužování stěn

Postup výpočtu pro vyztužování stěn způsobem vázání výztuže z prutů je následující:

- Normohodina

V případě této práce byla vybrána hodnota uváděná softwarem BuildPower S, která je dána hodnotou 1,18 Nh/100kg.

- Hmotnost za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Hmotnost výztuže svázané v rámci jedné směny se tedy určí takto:

$$m_{vsm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{(100 \cdot 12)}{1,18} = 1017 \frac{kg}{směna} \quad 7.4$$

kde:  $m_{vsm}$  – možná hmotnost výztuže zřízená v rámci jedné směny [kg]

$t_{sm}$  – doba trvání jedné pracovní směny [hod.]

$P$  – normohodina zvolené DSP [Nh/m<sup>2</sup>]

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním svazků výztužných prutů o hmotnosti 300 kg. Počet cyklů se tedy stanoví následovně:

$$C = \frac{m_{vsm}}{m_v} = \frac{1017}{300} = 3,39 \doteq 4 \text{ cykly} \quad 7.5$$

kde:  $C$  – počet cyklů v rámci jedné směny

$m_{vsm}$  – možná hmotnost výztuže zřízená v rámci jedné směny [kg]

$m_s$  – hmotnost svazku výztuže přepravené v rámci jednoho cyklu VJ [kg]

- Doba trvání daného cyklu

Výpočet bude tedy vypadat následovně 7.3:

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{4} = 3 \text{ hod.} = 180 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Doby trvání pro vybrané činnosti týkající se bezprostředně vázání výztuže svislých konstrukcí jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 7-7 Doby trvání vybraných činností

Název činnosti	Doba trvání činnosti [min.]	Skladba činnosti, do které bude činnost zahrnuta
Zavěšení břemene na VJ	2	$t_m$
Přesun břemene VJ na místo určení	2	$t_j$
Uvolnění sestavy	1	$t_m$
Souhrn výše uvedených činností	5	$t_n$

Doba potřebná pro obsluhu DSP VJ se určí dle následující rovnice (6.4):

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

Stanovení doby pracovního cyklu VJ potřebné k realizaci vybrané DSP po zohlednění opravného koeficientu pracovních vlivů, stanovený dle tabulky tab. 6.2 vychází z rovnice 6.3:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \doteq 6 \text{ min.}$$

Stanovení hodnoty  $t_p$ , tedy doby, po kterou činnost nevyžaduje obsluhu jeřábu. Hodnotu  $t_p$  určíme z následujícího vztahu 6.1:

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 180 - 6 = 174 \text{ min.}$$

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 spojené s vázáním výztuže, jelikož jediný požadavek na věžový jeřáb je spojený s dopravou prvků do blízkosti místa uložení. Výslednou DSP, tedy odbednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito daty:

Tabulka 7-8 Pracovní cyklus vyztužování svislých stěn

T	$t_c$	$t_p$	C
180 min.	6 min.	174 min.	4

## Betonáž stěn bádíí – 100% t<sub>a</sub>

Postup výpočtu pro bednění stěn za pomoci bádíie je následující:

- Normohodina

V případě této práce byla vybrána hodnota uváděná softwarem BuildPower S, která je dána hodnotou 0,95 Nh/m<sup>3</sup>.

- Objem betonové směsi za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Objem betonu zpracovaný v rámci jedné pracovní směny se tedy určí takto:

$$V_{sm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{12}{0,95} = 12,63 \frac{m^3}{směna} \quad 7.6$$

kde:  $V_{sm}$  – možný objem betonu zpracovaný v rámci jedné směny [m<sup>3</sup>]

$t_{sm}$  – doba trvání jedné pracovní směny [hod.]

$P$  – normohodina zvolené DSP [Nh/m<sup>2</sup>]

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním betonu pomocí bádíie o objemu 0,5 m<sup>3</sup>. Počet cyklů se tedy stanoví následovně:

$$C = \frac{V_{sm}}{V_b} = \frac{12,63}{0,5} = 25,26 \doteq 26 \text{ cyklů} \quad 7.7$$

kde:  $C$  – počet cyklů v rámci jedné směny

$V_{sm}$  – možný objem betonu zpracovaný v rámci jedné směny [m<sup>3</sup>]

$V_b$  – objem betonu přepraveného bádíí v rámci jednoho pracovního cyklu VJ [m<sup>3</sup>]

- Doba trvání daného cyklu

Výpočet bude tedy vypadat následovně (7.3):

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{26} = 0,46 \text{ hod.} \doteq 28 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Doby trvání pro vybrané činnosti týkající se bezprostředně odbednění svislých konstrukcí jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 7-9 Doby trvání vybraných činností

Název činnosti	Doba trvání činnosti [min.]	Skladba činnosti, do které bude činnost zahrnuta
Plnění bádíie	1	t <sub>m</sub>
Přesun břemene VJ na místo určení a zpět	2	t <sub>j</sub>
Ustavování bádíie	1	t <sub>a</sub>
Vyprázdnění bádíie	21	t <sub>m</sub>
Souhrn výše uvedených činností	25	t <sub>n</sub>

Doba potřebná pro obsluhu DSP VJ se určí dle následující rovnice 6.4:

$$t_n = t_j + t_m + t_a = 2 + (1 + 21) + 1 = 25 \text{ min.}$$

Stanovení doby pracovního cyklu VJ potřebné k realizaci vybrané DSP po zohlednění opravného koeficientu pracovních vlivů, stanovený dle tabulky tab. 6.2 a vztahu 6.3:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,1 \cdot 25 = 27,5 \doteq 28 \text{ min.}$$

V rámci doby  $t_p$  jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, jako například hutnění betonové směsi v konstrukci. Výslednou DSP, tedy odbednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito daty:

*Tabulka 7-10 Pracovní cyklus betonáže svislých stěn bádii*

T	$t_c$	$t_p$	C
28 min.	28 min.	0 min.	26

Výše uvedené postupy je možné aplikovat na další vybrané DSP. Nyní si tedy uveďme vybrané DSP, a to pouze v podobě výpočtů.

### **Vodorovné konstrukce**

#### **Bednění stropů – bez $t_a$**

- Normohodina = 0,26 Nh/m<sup>2</sup> dle tabulky 7-1.
- Plocha za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Plocha se tedy určí takto:

$$S_{sm} = \frac{t_{sm}}{p} = \frac{12}{0,26} = 46,16 \text{ m}^2/\text{směna}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

V rámci možnosti zřízení cca 46 m<sup>2</sup> plochy bednění je nutné dopravit stojky v rámci 1 cyklu, nosníky v rámci 1 cyklu, příslušenství typu trojnožky a padací hlavy v rámci 1 cyklu a bednicí desky v rámci 2 cyklů:

$$C = 1 + 1 + 1 + 2 = 5 \text{ cyklů}$$

- Doba trvání daného cyklu

$$T = \frac{t_{sm}}{c} = \frac{12}{5} = 2,4 \text{ hod.} = 144 \text{ min.}$$



- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Do výpočtu zahrneme dobu trvání pro přesun materiálu hmotnosti do 2 t a výšky zdvihu 18 m, kterou máme vyčíslenou v rámci tabulky 6-5. Tato hodnota činí 119 s, tedy cca 2 min.

$$t_n = t_j + t_m = 2 + 3 = 5 \text{ min.}$$

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:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ min.}$$

S ohledem na hodnoty získané výpočty výše je nyní možné stanovit hodnotu  $t_p$ :

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 144 - 6 = 138 \text{ min.}$$

V rámci doby  $t_p$  jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, tedy kompletní montáž bednění. Výslednou DSP, tedy bednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito vstupními daty:

Tabulka 7-11 Pracovní cyklus montáže stropního bednění

T	$t_c$	$t_p$	C
144 min.	6 min.	138 min.	5

### Odbednění stropů – bez $t_a$

- Normohodina = 0,13 Nh/m<sup>2</sup> dle tabulky 7-1.
- Plocha za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Plocha se tedy určí takto:

$$S_{sm} = \frac{t_{sm}}{p} = \frac{12}{0,13} = 92,31 \text{ m}^2/\text{směna}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

V rámci možnosti odstranění cca 92 m<sup>2</sup> plochy bednění je nutné dopravit stojky v rámci 2 cyklů, nosníky v rámci 2 cyklů, příslušenství typu trojnožky a padací hlavy v rámci 1 cyklu a bednicí desky v rámci 3 cyklů:

$$C = 2 + 2 + 1 + 3 = 8 \text{ cyklů}$$

- Doba trvání daného cyklu

$$T = \frac{t_{sm}}{c} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ hod.} = 90 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Do výpočtu zahrneme dobu trvání pro přesun materiálu hmotnosti do 2 t a výšky zdvihu 18 m, kterou máme vyčíslenou v rámci tabulky 6-5. Tato hodnota činí 119 s, tedy cca 2 min.

$$t_n = t_j + t_m = 2 + 3 = 5 \text{ min.}$$

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:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ min.}$$

S ohledem na hodnoty získané výpočty výše je nyní možné stanovit hodnotu  $t_p$ :

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 90 - 6 = 84 \text{ min.}$$

V rámci doby  $t_p$  jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, tedy kompletní demontáž bednění. Výslednou DSP, tedy bednění svislých konstrukcí, je tedy možné definovat těmito vstupními daty:

*Tabulka 7-12 Pracovní cyklus demontáže stropního bednění*

T	$t_c$	$t_p$	C
90 min.	6 min.	84 min.	8

### **Vyztužování stropu – bez $t_a$**

- Normohodina = 1,32 Nh/100 kg dle tabulky 7-1.
- Hmotnost za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Hmotnost výztuže zpracované v rámci jedné směny je tedy rovna:

$$m_{vsm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{(100 \cdot 12)}{1,32} \doteq 909 \frac{\text{kg}}{\text{směna}}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním svazků výztužných prutů o hmotnosti 300 kg. Počet cyklů se tedy stanoví následovně:

$$C = \frac{m_{vsm}}{m_v} = \frac{909}{300} = 3,03 \doteq 3 \text{ cykly}$$

- Doba trvání daného cyklu

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{3} = 4 \text{ hod.} = 240 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Do výpočtu zahrneme dobu trvání pro přesun materiálu hmotnosti do 2 t a výšky zdvihu 18 m, kterou máme vyčíslenou v rámci tabulky 6-5. Tato hodnota činí 119 s, tedy cca 2 min.

$$t_n = t_j + t_m = 2 + 3 = 5 \text{ min.}$$

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:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ min.}$$

S ohledem na hodnoty získané výpočty výše je nyní možné stanovit hodnotu  $t_p$ :

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 240 - 6 = 234 \text{ min.}$$

V rámci doby  $t_p$  jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, tedy kompletní montáž výztuže. Výslednou DSP, tedy bednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito vstupními daty:

Tabulka 7-13 Pracovní cyklus vázání výztuže stropu

T	$t_c$	$t_p$	C
240 min.	6 min.	234 min.	3

### Betonáž stropu bádii – 100% $t_a$

- Normohodina = 0,95 Nh/m<sup>3</sup> dle tabulky 7-1
- Objem betonové směsi za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Objem betonu zpracovaný v rámci jedné pracovní směny se tedy určí takto:

$$V_{sm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{12}{0,95} = 12,63 \frac{m^3}{směna}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním betonu pomocí bádie o objemu 1,0 m<sup>3</sup>. Počet cyklů se tedy stanoví následovně:

$$C = \frac{V_{sm}}{V_b} = \frac{12,63}{1,0} = 12,63 \approx 13 \text{ cyklů}$$

- Doba trvání daného cyklu

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{13} = 0,92 \text{ hod.} \doteq 55 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Do výpočtu zahrneme dobu trvání pro přesun materiálu hmotnosti do 2 t a výšky zdvihu 18 m, kterou máme vyčíslenou v rámci tabulky 6-5. Tato hodnota činí 119 s, tedy cca 2 min.

$$t_n = t_j + t_m = 2 + 48 = 50 \text{ min.}$$

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:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,1 \cdot 50 = 55 \text{ min.}$$

S ohledem na hodnoty získané výpočty výše je nyní možné stanovit hodnotu  $t_p$ :

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 55 - 55 = 0 \text{ min.}$$

V rámci doby  $t_p$  nejsou zahrnuty žádné činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ. Výslednou DSP, tedy betonáž stropních konstrukcí je tedy možné definovat těmito vstupními daty:

Tabulka 7-14 Pracovní cyklus betonování stropu bádí

T	$t_c$	$t_p$	C
55 min.	55 min.	0 min.	13

### Zděné konstrukce – bez $t_a$

- Normohodina = 1,3 m<sup>3</sup>/hod. dle tabulky 7-1.
- Objem zdiva za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Objem se tedy určí takto:

$$S_{sm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{12}{0,77} = 15,6 \text{ m}^3/\text{směna}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

Pro potřeby této práce je uvažováno s přepravováním cihel na paletách. V rámci jednoho cyklu je možné přepravit jednu paletu, na které je 1,5 m<sup>3</sup> zdiva. Počet cyklů se tedy stanoví následovně:

$$C = \frac{S_{sm}}{S_s} = \frac{15,6}{1,5} = 10,4 \doteq 11 \text{ cyklů}$$

- 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:

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{11} = 1,09 \text{ hod.} = 65 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Do výpočtu zahrneme dobu trvání pro přesun materiálu hmotnosti do 2 t a výšky zdvihu 18 m, kterou máme vyčíslenou v rámci tabulky 6-5. Tato hodnota činí 119 s, tedy cca 2 min.

$$t_n = t_j + t_m = 2 + 3 = 5 \text{ min.}$$

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:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ min.}$$

S ohledem na hodnoty získané výpočty výše je nyní možné stanovit hodnotu t<sub>p</sub>:

$$T = t_c + t_p \approx t_p = T - t_c = 65 - 6 = 59 \text{ min.}$$

V rámci doby t<sub>p</sub> jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, tedy kompletní zdění. Výslednou DSP, tedy bednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito vstupními daty:

Tabulka 7-15 Pracovní cyklus zdění

T	t <sub>c</sub>	t <sub>p</sub>	C
65 min.	6 min.	59 min.	11

### Montáž schodišťového ramene – 100 % t<sub>a</sub>

- Normohodina = 1,56 Nh/ks dle tabulky 7-1.
- Počet ks za směnu

Pro potřeby této práce je stanovena doba trvání jedné pracovní směny na 12 hodin. Plocha se tedy určí takto:

$$S_{sm} = \frac{t_{sm}}{P} = \frac{12}{1,56} = 7,7 \text{ ks} \doteq 8 \text{ ks/směna}$$

- Počet cyklů v rámci jedné směny

S ohledem na skutečnost, že bude v rámci jednoho cyklu osazeno pouze jedno rameno, je:

$$C = 8 \text{ cyklů}$$

- Doba trvání daného cyklu

$$T = \frac{t_{sm}}{C} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ hod.} = 90 \text{ min.}$$

- Pracovní pochody v rámci běžného pracovního cyklu

Do výpočtu zahrneme dobu trvání pro přesun materiálu hmotnosti do 2 t a výšky zdvihu 18 m, kterou máme vyčíslenou v rámci tabulky 6-5. Tato hodnota činí 119 s, tedy cca 2 min. Doba potřebná pro obsluhu DSP VJ se určí dle následující rovnice 6.4:

$$t_n = t_j + t_m + t_a = 2 + 3 + 77 = 82 \text{ min.}$$

Stanovení doby pracovního cyklu VJ potřebné k realizaci vybrané DSP po zohlednění opravného koeficientu pracovních vlivů, stanovený dle tabulky tab. 6.2 a vztahu 6.3:

$$t_c = k_s \cdot t_n = 1,1 \cdot 82 = 90,2 \doteq 90 \text{ min.}$$

V rámci doby t<sub>p</sub> jsou zahrnuty veškeré činnosti, které již nevyžadují obsluhu VJ, jako například dobetonování a dovaření osazeného schodišťového ramene. Výslednou DSP, tedy odbednění svislých konstrukcí je tedy možné definovat těmito daty:

Tabulka 7-16 Pracovní cyklus montáže schodišťového ramene

T	t <sub>c</sub>	t <sub>p</sub>	C
90 min.	90 min.	0 min.	8

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

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 Řečkovících. 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.

V průběhu zpracování disertační práce docházelo k postupnému vývoji vyhodnocování vstupních údajů v rámci monitorovaných staveb. Stavby v Praze a Lužánkách měly původně sloužit jako stavby startovací, tedy stavby, kde měla být pozorováním výstavby ověřena řešitelnost stanovených cílů pro tuto disertační práci. Průběh monitoringu na těchto stavbách byl zaznamenáván na běžnou digitální kameru Canon Legria HF R66. Takto získaná data se vyhodnocovala značně obtížně. Na základě těchto získaných poznatků došlo k vymezení a následně i vypracování metodiky k posouzení.

S ohledem na zkušenosti získané v rámci výše uvedeného monitoringu staveb došlo ke změně postupu monitorování a jeho vyhodnocování. Zbylé čtyři stavby již byly monitorovány od roku 2017 pomocí časosběrné kamery Brino Construction Camera Pro BCC200, s nastaveným intervalem snímkování na 1 sec., instalované na vybraných stavbách, nebyla tedy vyžadována fyzická přítomnost na stavbách, což znamenalo výraznou časovou úsporu v rámci prováděného monitoringu.

Na rozsáhlé stavbě bytových a polyfunkčních objektů v Obřanech je monitoring práce věžových jeřábů stále aktuálně prováděn. Doposud bylo monitoringem provedeno a vyhodnoceno asi 80 pracovních směn (nebo jejich částí) a vyhodnoceno cca 450 pracovních cyklů věžových jeřábů při obsluze vybraných DSP. Monitorovány byly a jsou především tzv. rozhodující DSP, které byly detailněji rozebrány v kapitole 7 této práce. V rámci těchto DSP jsou sledovány hodnoty  $t_c$ ,  $t_p$  a  $T$ , které jsou ze záznamu časosběrného snímkování převáděny do tzv. dvouúrovňového formuláře uvedeného na obrázku níže.

Experimentální sledování - Dvouúrovňové vyhodnocení

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

1.úroveň - jednotlivé cykly		2.úroveň - ucelené části				
Směna č. 1 začátek měření: 8:12  konec měření: 17:35		měřené pracovní cykly				} m2 / čas
	p.č.	tc	tp	T		
	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		
9.	7	107	114			
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

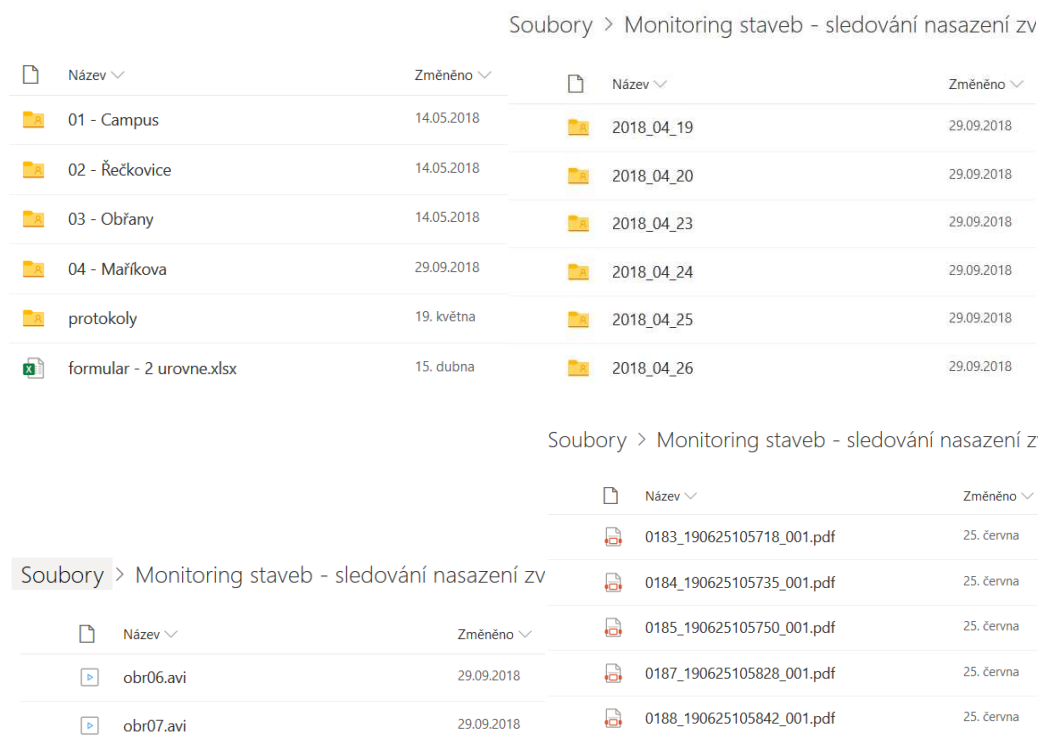
V levé části formuláře, nazvané jako 1. úroveň, jsou zaznamenávány jednotlivé sledované pracovní cykly v rámci vybraných DSP, v pravé části, nazvané jako 2. úroveň, jsou pak zaznamenávány sledované dokončené ucelené celky vybraných DSP a ověřovány stávající doporučené výkonové normy.

Pro potřeby této práce byly rozhodující hodnoty uváděné v 1. úrovni., proto jsou tyto hodnoty zohledněny. Počet stanovených hodnot v rámci 2. úrovně není prozatím v počtu, kterému by bylo možné přisoudit dostatečnou váhu, proto nejsou v rámci práce prezentovány.

Jednotlivé sledované časosběrné snímky a zaznamenané soubory jsou pod vedení Ing. Rostislava Doubka postupně ukládány na cloudové úložiště prostřednictvím služby OneDrive od společnosti Microsoft, jež je studentům VUT poskytována v rámci studia. Na toto úložiště mají přístup pouze osoby podílející se na řešení monitoringu. Pořízené a zpracované záznamy, stejně jako hodnotící formuláře je možno na tomto úložišti prohlížet a vybranými jedinci i upravovat.



Řazení sledovaných souborů je znázorněno na následujícím obrázku:



Obr. 8-2 Screeny cloudového úložiště pro záznamy z monitoringu staveb

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**

Nosníkové bednění stropu:

$$t_c = 5 \text{ min}, t_p = 36 \text{ min}, T = 41 \text{ min}$$

Tabulka 8-1 Pracovní cyklus bednění stropu – monitoring

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

Výztuž stropu:

$$t_c = 4 \text{ min, } t_p = 45 \text{ min, } T = 49 \text{ min}$$

*Tabulka 8-2 Pracovní cyklus vyztužování stropu – monitoring*

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

Odbednění stropu:

$$t_c = 4 \text{ min, } t_p = 10 \text{ min, } T = 14 \text{ min}$$

*Tabulka 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 jednoho 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**

Bednění stěn oboustranných:

lehké rámové bednění v sestavách (sestava 3,0 m x 1,5 m):

$$t_c = 7 \text{ min, } t_p = 15 \text{ min, } T = 22 \text{ min}$$

*Tabulka 8-4 Pracovní cyklus bednění stěn – monitoring*

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

Odbednění stěn oboustranných:

lehké rámové bednění v sestavách (sestava 3,0 m x 1,5 m):

$$t_c = 9 \text{ min}, t_p = 18 \text{ min}, T = 27 \text{ min}$$

Tabulka 8-5 Pracovní cyklus odbednění stěn – monitoring

T	$t_c$	$t_p$
27	9	18
min.	min.	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  $t_a$ :**

$$t_c = 7 \text{ min},$$

$t_c$  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:

$$t_a = t_{a1} + t_{a2} \quad 8.1$$

a

$$t_m = t_{m1} + t_{m2} \quad 8.2$$

Z uvedených vztahů vyplývá:

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

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

$$t_a = 6 - 2 - 3 = 1 \text{ min}$$

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.

**Analogicky lze výpočet provést i pro dobu asistence jeřábu  $t_a$  při odbednění stěn:**

$t_c = 9$  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
$t_a$	...	uvolnění bednění od konstrukce	...	z monitoringu
$t_j$	...	přesun jeřábem	...	2,0 min
$t_{m2}$	...	uvolnění závěsů	...	1,5 min

kde dle vztahu 8.2 platí:

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

Z uvedených vztahů vyplývá:

$$t_n = \frac{t_c}{k_s} = \frac{9}{1,2} = 7,5 \text{ min}$$

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

$$t_a = 7,5 - 2 - 3 = 2,5 \text{ min}$$

Z předchozího výpočtu a z výsledků hodnot monitoringů tedy lze uvažovat s hodnotou doby asistence jeřábu  $t_a = 2,5$  minuty.

**Zhodnocení:**

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

## 9 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.

Jedním z nešvarů realizačních firem je podceňování časové přípravy realizovaných staveb. Tato skutečnost je vyvolána zejména tlakem ze strany investora ve formě krátkých lhůt pro podání nabídek ve výběrovém řízení, tlakem na nejnižší ceny a podobně. Realizační společnosti tedy zpracují v rámci nabídky harmonogram stavby pouze v případě, že to zadávací dokumentace výslovně požaduje. Takto zpracovaný harmonogram je často tvořen v běžně užívaných programech, například v Excelu. V „grafickém“ výstupu nejsou zaznačeny vazby mezi jednotlivými činnostmi a často ani jednotlivé činnosti. Harmonogram bývá zpracován jako objektový, v lepším případě s dělením na technologické etapy.

Takový podklad ovšem pro potřeby této práce není dostačující. Za účelem zpracování harmonogramu v požadované podrobnosti a vzhledu, kdy budou zobrazeny i činnosti nacházející se na kritické cestě a rezervy u činností zbývajících, je možné využít kterýkoli rozpočtářský program k tomu určený. Mezi nejčastěji užívané softwary zabývající se touto problematikou patří program MS Project od společnosti Microsoft a program Contec zpracovaný Prof. Ing. Čeňkem Jarským, DrSc., FEng.

V rámci časového plánování staveb je možné využít dvou základních metod, a to metod deterministických a metod stochastických. Tyto metody jsou vyvinuty již téměř půl století a bývají využívány k přípravě a řízení velkých a složitých projektů. U metod deterministických jsou prvky systému a vazby mezi nimi pevně zadány, lze tedy snadno určit jejich předpokládanou dobu trvání. Oproti tomu metody stochastické zavádějí do systému matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti [23].

Pro potřeby této práce je metoda kritické cesty, často označována jako CPM, dle anglického názvu Critical Path Method, podstatnou. Uveďme si tedy, o co se v ní jedná. Tato metoda užívá pro své zobrazení takzvaných hranově definovaných síťových grafů, případně uzlově definovaných síťových grafů. Hranově definované síťové grafy mají časově oceněny hrany, zatímco uzlově definované síťové grafy zase uzly, ze kterých činnost vychází, případně do kterých směřuje. V rámci této metody ovšem nezaznamenáváme „pouze“ činnosti, ale zaznamenáváme i takzvané fiktivní činnosti, které nám vyjadřují závislosti mezi jednotlivými činnostmi. Tyto fiktivní činnosti však nemají dopad na čas ani na zdroje. Základní zásadou při sestavování síťového grafu je, aby žádná z činností nebyla zahájena dříve, než budou ukončeny veškeré činnosti, které jí předcházejí, a zároveň je na nich závislá. U těchto grafů bývají doby trvání činností dopočítávány na základě zadaných vazeb a dob trvání, a to nejprve cestou vpřed a

následně i cestou zpět. Užívanými vazbami jsou nejdříve možný začátek činnosti a nejdříve možný konec činnosti [23].

Při tvorbě síťových grafů metodou BKN (Baukasten Netzplanung) bývají s ohledem na vybrané činnosti takzvané vazby. Těmi může být například vazba konec-začátek, která stanoví, že činnost navazující začne v okamžiku, kdy bude předcházející činnost dokončena. Druhou vazbou je vazba začátek-začátek, což znamená, že činnosti budou zahájeny ve stejnou dobu, opakem této vazby je vazba konec-konec, která zase říká, že činnosti budou ukončeny ve stejnou dobu. Poslední možnou vazbou je takzvané kritické přiblížení, čímž se definuje zahájení navazující činnosti s předem stanoveným časovým odstupem. Hlavní nevýhodou této metody je nutnost zadávání časových hodnot jednotlivých vazeb takzvaně natvrdo, a to s ohledem na znalosti procesů [23].

### **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 rozestavenosti 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 bádíemi, 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 řídicím 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.



## 10 VÝPOČTOVÉ SCHÉMA MODELU, SOFTWAREOVÉ 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  $T$ ,  $t_c$  a  $t_p$  (viz kap. 7), kde nejmenší časovou jednotkou je jedna minuta. Je stanovena jejich prioritizace 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 obsluhu všech DSP, vyžadujících obsluhu VJ. Ta se vyhodnotí a porovná s délkou pracovní směny.

Dále je uveden výpočetní mechanismus, který byl vytvořen ve spolupráci s RNDr. Otou Příbylem z Ústavu matematiky a deskriptivní geometrie, a který umožňuje matematicky řešit tuto úlohu a implementovat ji do prostředí Matlabu.

### Výpočtové schéma modelu pro určení časového vytížení VJ při zadaných prioritách DSP:

a) Všechny  $N$  DSP je uspořádáno podle priority, každý DSP je na základě uspořádání opatřen indexem  $j$ , tedy označíme  $DSP_j$ . Pro jednotlivé DSP jsou dány četnosti naplánovaných pracovních cyklů  $n_j$ . Pro každý DSP při zadaném  $t_c^j$  a  $t_p^j$  určíme  $T_j = t_c^j + t_p^j$ .

b) Symbolem  $m_j$  budeme značit počet zatím nerealizovaných cyklů  $j$ -tého DSP. Na začátku pro všechny indexy  $j$  platí  $m_j = n_j$ . Simulaci ukončíme v okamžiku, kdy  $m_j = 0$  pro všechna  $j$  (ukončovací kritérium).

c) Určíme hodnotu *maximální možné doby trvání směny*  $TMAX$ . Budeme uvažovat nejpesimističtější možný scénář, tj. takový scénář, kdy jsou zařazovány postupně všechny pracovní cykly všech DSP – podle priority. Potom platí  $TMAX = \sum_{j=1}^N T_j \cdot n_j$

d) Jedná se o simulační výpočet, symbolem  $t$  budeme označovat aktuální čas, platí  $t \in \langle 0; TMAX \rangle$ . Symbolem  $\tau$  označíme čas možného dalšího zapojení jeřábu.

e) Pro každý  $DSP_j$  budeme uvažovat proměnnou  $B_j$  - *nejdříve možný start* dalšího pracovního cyklu příslušného  $DSP_j$ . Na začátku výpočtu přiřadíme  $B_j = 0$  pro  $j = 1, 2, \dots, N$ .

f) Uvažujeme aritmetický vektor  $S$ , který bude reprezentovat skladbu jednotlivých DSP během pracovní směny, kdy každý DSP je jednoznačně reprezentován svým indexem uspořádání priorit  $j$ . Dimenze vektoru je rovna celkovému počtu pracovních cyklů všech DSP plánovaných na směnu, tj.  $\dim S = \sum_{j=1}^N n_j$ . Vektor  $S$  je pak výstupní proměnnou algoritmu. Např. vektor  $S = (1,2,1)$  reprezentuje pracovní směnu, ve které jdou po sobě pracovní cykly prvního, druhého a prvního DSP.

*Jednotlivé kroky algoritmu:*

- 1) Výpočet startujeme v simulačním čase  $t=0$ . Jsou přiřazeny  $S_1 = 1$ , hodnota  $\tau = t_c^1$  a hodnota  $B_1 = T_1$ .
- 2) Testujeme, zda je  $\tau \leq t$ . Pokud ano, znamená to, že už je volný jeřáb a je možno do vektoru směny  $S$  přiřadit další pracovní cyklus některé DSP. Který vybrat? Postupně pro všechny index  $j$  testujeme příslušné hodnoty  $B_j$ . Pokud pro index  $j$  platí, že  $B_j \leq t$ , přiřadíme  $j$ -tý DSP jako další volný prvek vektoru  $S$  a následně hodnotu  $m_j$  – zmenšíme o jedničku. Hodnotu  $B_j$  upravíme na  $\tau + T_j$  a konečně k hodnotě  $\tau$  přičteme  $t_c^j$ .
- 3) Postupně o jedničku navyšujeme hodnotu  $t$  a opakujeme krok 2).
- 4) Simulační výpočet ukončíme v okamžiku, kdy pro všechny indexy  $j$  platí  $m_j = 0$ .
- 5) Celková délka pracovní směny pak je  $d = \max(B_1, B_2, \dots, B_N)$ .

Následně byl tento algoritmus převeden ve spolupráci s Ing. Stanislavem Bělehrádkem do prostředí PHP a byla vytvořena webová aplikace pro jednoduché praktické využití pro přípravu staveb ve webovém prohlížeči, jak je uvedeno dále na jednoduchém příkladu.

## 10.1 Software a jeho grafický výstup

Aby byl software snadno využitelný v praxi, je jednou ze základních podmínek využití softwaru jeho snadné ovládání.

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 softwaru 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 které činnost vyžaduje a po které 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. 10-1 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.

## 10.2 Příklad výpočtu s grafickým řešením

Věžový jeřáb obsluhuje v jedné směně tři DSP s názvy – činnost 1, činnost 2, činnost 3. Pro jednotlivé DSP jsou dány vstupní hodnoty (čas udáván v obecných časových jednotkách, např. v minutách) - viz následující tabulka.

Tabulka 10-1 Vstupní data pro vzorový příklad

Název DSP	Priorita	$t_c$	$t_p$	T	Počet cyklů
činnost 1	1	2	4	6	2
činnost 2	2	1	3	4	2
činnost 3	3	2	4	6	2

Při stanovených prioritách obsluhy DSP a zadaných hodnotách pro jednotlivé DSP je třeba určit potřebnou dobu práce věžového jeřábu v dané pracovní směně a celkovou dobu pracovní směny. Postup je tedy následující:

$$N = 3$$

$$t_c = (2; 1; 2)$$

$$t_p = (4; 3; 4)$$

četnosti naplánovaných pracovních cyklů:

$$n_1 = 2$$

$$n_2 = 2$$

$$n_3 = 2$$

$$\dim S = 6$$

Nultý krok: - zkoumá se čas  $t = 0$

$$B_1 = 6$$

$$B_2 = 0$$

$$B_3 = 0$$

$$\tau = 2$$

$$S_1 = 1$$

$$m_1 = 1$$

První krok: - zkoumá se čas  $t = 1$

$$\tau = 2$$

$$t < \tau$$

věžový jeřáb prozatím nelze zapojit pro další DSP

Druhý krok: - zkoumá se čas  $t = 2$

$$\tau = 2$$

$$t = 2 = \tau$$

z toho plyne, že jeřáb může obsloužit další požadavek DSP

$$t < B_1$$

$$t \geq B_2 \rightarrow S_2 = 2$$

$$m_2 = 1$$

$$\tau = \tau + t_c^2 = 3$$

$$B_2 = t + t_c^2 + t_p^2 = 2 + 1 + 3 = 6$$

Třetí krok: - zkoumá se čas  $t = 3$

$$\tau = 3$$

$$t = 3 = \tau$$

z toho plyne, že jeřáb může obsloužit další požadavek DSP

$t < B_1(B_1 = 6)$  a přitom  $t < B_2(B_2 = 6)$  a přitom  $t \geq B_3(B_3 = 0)$   
z toho plyne, že

$$S_3 = 3$$

$$m_3 = 1$$

$$\tau = \tau + t_c^3 = 3 + 2 = 5$$

$$B_3 = t + t_c^3 + t_p^3 = 3 + 2 + 4 = 9$$

Čtvrtý krok: - zkoumá se čas  $t = 4$

$$\tau = 5$$

$$t < \tau$$

z toho plyne, že věžový jeřáb prozatím nelze zapojit pro další DSP

Pátý krok: - zkoumá se čas  $t = 5$

$$\tau = 5$$

$$t = 5 = \tau$$

$$t < B_1(B_1 = 6) \quad \Delta \quad t < B_2(B_2 = 6) \quad \Delta \quad t < B_3(B_3 = 9)$$

z toho plyne, že není žádný další požadavek od DSP na obsluhu věžovým jeřábem – tzv. prostoj VJ (značíme p)

prostoj VJ v pátém kroku ( $t = 5$ ) značíme ... $p_5$  a platí, že

$$p_5 = 1$$

Šestý krok: - zkoumá se čas  $t = 6$

$$\tau = 5$$

$$t > \tau$$

z toho plyne, že jeřáb může obsloužit další požadavek DSP

$t \geq B_1 \rightarrow S_4 = 1$  (To značí, že v čase  $t = 6$  je obsloužen DSP<sub>1</sub> (s prioritou 1) a že je čtvrtým obsluhovaným DSP v této pracovní směně.)

$$m_1 = 0$$

$$\tau = \tau + p_5 + t_c^1 = 5 + 1 + 2 = 8$$

$$B_1 = t + t_c^1 + t_p^1 = 6 + 2 + 4 = 12$$

Sedmý krok: - zkoumá se čas  $t = 7$

$$\tau = 8$$

$$t < \tau$$

věžový jeřáb prozatím nelze zapojit pro další DSP a přitom

$$t > B_2 \quad (B_2 = 6)$$

dochází tedy k prostoji DSP<sub>2</sub>

Osmý krok: - zkoumá se čas  $t = 8$

$$\tau = 8$$

$$t = 8 = \tau$$

z toho plyne, že jeřáb může obsloužit další požadavek DSP

$$t < B_1(B_1 = 12) \quad a \quad přitom \quad t \geq B_2(B_2 = 6)$$

z toho plyne, že

$$S_5 = 2$$

$$m_2 = 0$$

$$\tau = \tau + t_c^2 = 8 + 1 = 9$$

$$B_2 = t + t_c^2 + t_p^2 = 8 + 1 + 3 = 12$$

Devátý krok: - zkoumá se čas  $t = 9$

$$\tau = 9$$

$$t = 9 = \tau$$

z toho plyne, že jeřáb může obsloužit další požadavek DSP

$t < B_1 (B_1 = 12)$  a přitom  $t < B_2 (B_2 = 12)$  a přitom  $t \geq B_3 (B_3 = 9)$

z toho plyne, že

$$S_6 = 3$$

$$m_3 = 0$$

Protože nyní pro všechny  $m_j$  platí, že

$$m_j = 0 ;$$

lze simulaci ukončit.

Konec práce jeřábu je v čase  $t_k$ :

$$t_k = t + t_c^3$$

Konec pracovní směny je v čase  $T_s$ :

$$T_s = t + t_c^3 + t_p^3 = 15$$

přitom

$$T_s = \text{MAX} (B_1, B_2, B_3) = 15$$

Minutový graf



Obr. 10-2 Screeny softwaru – grafický výstup vybrané DSP

# 11 NÁVRH METODIKY POSOUZENÍ ČASOVÉ VYTÍŽENOSTI VJ PODLE PRIORITY 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 tyto 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 kapitoly 9. Simulační modelování).

Z tohoto závazného časového plánu vyplynou požadavky DSP na obsluhu VJ pro jednotlivé směny, tedy požadavky DSP, které probíhají společně v každé jedné 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 vymežit. 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 třeba 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:

$$T_{\Sigma} = T_s + (k_3 \cdot T_s) \quad 11.1$$

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:
  - o 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:
  - o 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:
  - o Navrhnout vyšší počet zdvihacích mechanismů
  - o 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:
  - o Zvážit možnost předzásobení činností, které to umožňují mimo stanovenou pracovní dobu

## 12 OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ METODIKY NA REÁLNÉ STAVBĚ – PŘÍPADOVÁ STUDIE

Za účelem ověření dané metodiky byla zpracována jedna z monitorovaných staveb. Na základě rozhovoru s obsluhou VJ na posuzované stavbě v rámci vybrané případové studie bylo zjištěno, že v rámci výstavby docházelo k situacím, kdy nebylo možné veškeré činnosti s požadavkem na obsluhu v rámci dané směny obsloužit. Výstavba v Brně-Maloměřicích je s ohledem na rozsáhlost a finanční nákladnost připravena na realizaci po jednotlivých etapách, a to vždy po dvou vzájemně sousedících objektech. S ohledem na know-how a stále probíhající výstavbu bylo nutné zvolený projekt částečně upravit.

Nyní se tedy zaměříme detailněji na vybranou etapu výstavby, ve které budou realizovány souběžně dva stavební objekty. Jedná se o půdorysně i dispozičně totožné stavby vůči sobě zrcadlově vystavěné. Objekty budou mít jedno podzemní a čtyři nadzemní podlaží. Objekt bude výšky cca 14 m a bude na něm realizována zelená střecha. Bude se jednat o monolitický objekt s vyzděnými dělicími příčkami z keramických tvarovek. Výška jednoho podlaží je rovna 3 m, tloušťka monolitické stropní konstrukce je rovna 240 mm a šířka stěn 300 mm. Každý objekt je z pohledu výstavby rozdělen na dva záběry, někdy zvané také takty. S ohledem na rozměry a vzájemné situování obou objektů byl v rámci realizace zvolen pro zásobování stavby jeden věžový jeřáb. Výběr konkrétního typu stroje proběhl jako ve většině případů na základě zkušenosti daného přípravního. Ten se rozhodl stroj osadit do geometrického středu mezi objekty a tomu následně přizpůsobil způsob zásobování. Základní parametry typu dosah a nosnost pak předurčily zvolený stroj a přípravní volil starší typ věžového jeřábu typu Liebherr 71K, který realizační společnost vlastní. Na danou stavbu nebyl zpracován podrobný časový harmonogram výstavby, a to ani projektantem, ani přípravním ze strany zhotovitele. S ohledem na smluvně daný termín realizace byl zpracován pouze hrubý objektový harmonogram.

Nejprve je tedy nutné podrobně rozebrat činnosti, které mají být realizovány. Zpracovat podrobné výkazy výměr, na základě kterých bude vytvořen podrobný harmonogram výstavby, v tomto případě se bude jednat o monolitické konstrukce. V rámci typického podlaží bylo vypočteno, že bude realizováno:

*Tabulka 12-1 Vypočtené výměry pro typické podlaží*

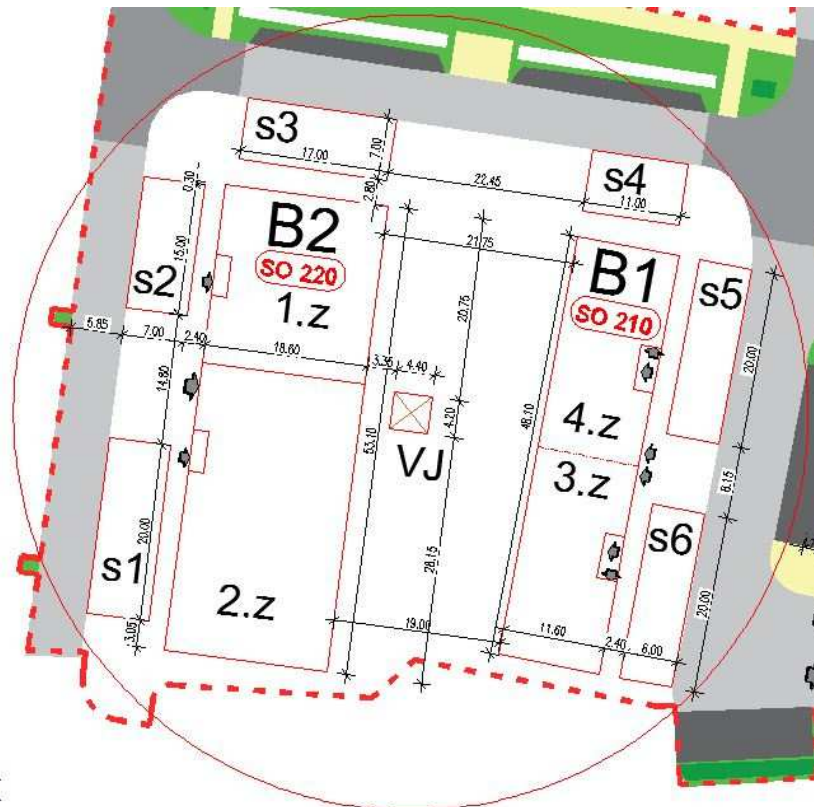
Název činnosti	Upřesnění	Množství	Typ materiálu
Vázání výztuže	Sloupy	0,18 t	B 500B
	Stěny	9,40 t	B 500B
	Stropy	20,68 t	B 500B
Zřízení bednění	Sloupy	21,6 m <sup>2</sup>	Doka Frami Xlife
	Stěny	500,1 m <sup>2</sup>	Doka Frami Xlife
	Stropy	913,68 m <sup>2</sup>	Doka Dokaflex 1-2-4
Betonáž	Sloupy	1,62 m <sup>3</sup>	C25/30-XC1-S3
	Stěny	91,77 m <sup>3</sup>	C25/30-XC1-S3
	Stropy	219,29 m <sup>3</sup>	C30/37-XC1-S3
Odstranění bednění	Sloupy	21,6 m <sup>2</sup>	Doka Frami Xlife
	Stěny	500,1 m <sup>2</sup>	Doka Frami Xlife
	Stropy	913,68 m <sup>2</sup>	Doka Dokaflex 1-2-4

Název činnosti	Upřesnění	Množství	Typ materiálu
Zdění	Stěny nosné	332,34 m <sup>2</sup>	Porotherm 30 profi, pevnost P15
	Stěny mezibytové	29,63 m <sup>2</sup>	Porotherm 19 AKU Z profi
	Příčky	110,38 m <sup>2</sup>	Porotherm 14 P+D
	Příčky	309,92 m <sup>2</sup>	Porotherm 11,5 P+D
	Předezdívky	32,33 m <sup>2</sup>	Ytong P2-500, tl. 150 mm
	Předezdívky	79,73 m <sup>2</sup>	Ytong P2-500, tl. 100 mm

Tabulka 12-2 Stanovení počtu cyklů pro vybrané činnosti v rámci typického podlaží

Název činnosti	Upřesnění činnosti	Upřesnění materiálu	Celkové množství materiálu k přesunu VJ	Jednotkové množství materiálu k přesunu VJ	Počet cyklů VJ k obslužená celé činnosti	
Vázání výztuže	Sloupy	Svazek	180 kg	500 kg / svazek	1 cyklus	
	Stěny	Svazek	9.400 kg		19 cyklů	
	Stropy	Svazek	20.680 kg		42 cyklů	
Zřízení bednění	Sloupy	Dílce	21,6 m <sup>2</sup>	0,9 m <sup>2</sup> / sestava	24 cyklů	
	Stěny	Sestavy	500,1 m <sup>2</sup>	8,1 m <sup>2</sup> / sestava	62 cyklů	
	Stropy 913,68 m <sup>2</sup>	Stojky		333 ks	40 ks / paleta	9 cyklů
		Trojnožky		117 ks	70 ks / koš	2 cykly
		Hlavice		333 ks	70 ks / kontejner	5 cyklů
		Podélný nosník		108 ks	27 ks / paleta	4 cykly
		Příčný nosník		296 ks	27 ks / paleta	11 cyklů
Bednicí desky		324 ks	32 ks / paleta	11 cyklů		
Betonáž	Sloupy	Bádie	1,62 m <sup>3</sup>	0,5 m <sup>3</sup> / bádie	4 cykly	
	Stěny	Bádie	91,77 m <sup>3</sup>	1,0 m <sup>3</sup> / bádie	92 cyklů	
	Stropy	Bádie	219,29 m <sup>3</sup>	1,5 m <sup>3</sup> / bádie	147 cyklů	
Odstranění bednění	Sloupy	Dílce	21,6 m <sup>2</sup>	0,9 m <sup>2</sup> / sestava	24 cyklů	
	Stěny	Sestavy	500,1 m <sup>2</sup>	8,1 m <sup>2</sup> / sestava	62 cyklů	
	Stropy 913,68 m <sup>2</sup>	Stojky		333 ks	40 ks / paleta	9 cyklů
		Trojnožky		117 ks	70 ks / koš	2 cykly
		Hlavice		333 ks	70 ks / kontejner	5 cyklů
		Podélný nosník		108 ks	27 ks / paleta	4 cykly
		Příčný nosník		296 ks	27 ks / paleta	11 cyklů
Bednicí desky		324 ks	32 ks / paleta	11 cyklů		

K získání představy o půdorysném členění posuzované stavby, umístění skladovacích ploch, umístění věžového jeřábu a zároveň i dělení objektů na jednotlivé pracovní záběry poslouží obrázek č.12.1. Z něj je jasně patrné, že jsou objekty za účelem jednoznačné identifikace označeny jako objekt B1-SO210, který bude vystaven v rámci dvou záběrů označovaných jako 3.z a 4.z a jako objekt B2-SO220, který bude vystaven taktéž v rámci dvou záběrů označovaných jako 1.z a 2.z.



Obr. 12-1 Půdorysné členění posuzované stavby

Aby bylo možné přistoupit k posouzení časové vytíženosti navrženého zdvihacího mechanismu bylo nutné zpřesnit hrubý objektový harmonogram poskytnutý projektantem. Tento harmonogram byl rozčleněn do podrobnosti jednotlivých stavebních činností (tzv. DSP) a zpracován pro hrubou stavbu. Výřez zpřesněného harmonogramu do požadované podrobnosti tvoří přílohu č.1 této disertační práce. V rámci této případové studie byl dle navržené metodiky posuzován časový úsek v délce jednoho měsíce, a to v období mezi 15.06.2020 a 15.07.2020. Za účelem zpřehlednění a usnadnění práce byl zpracován časový plán zohledňující pouze činnosti realizované v rámci posuzovaného časového úseku. Tento časový plán tvoří přílohu č.2 této disertační práce. Na obrázku č.12.2 je k vidění jeho výřez, aby bylo snazší si jej představit a nebylo nutné v rámci práce listovat.

	15.06.2020	16.06.2020	17.06.2020	18.06.2020	19.06.2020			22.06.2020	23.06.2020	24.06.2020
	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Po	Út	St
SO210-B1-z4-2.NP										
Dokončení odbednění stropu					8 (90;6;84)					
SO210-B1-z3-2.NP										
Dokončení odbednění stropu										
SO210-B1-z4-3.NP										
Armování stropu	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)					
Betonáž stropu čerpadlem								X		
Odbednění stropu částečné										
SO210-B1-z3-3.NP										
Bednění stropu	5 (144;6;138)	5 (144;6;138)	5 (144;6;138)	5 (144;6;138)						
Armování stropu								3 (240;6;234)	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)
Betonáž stropu čerpadlem										
SO210-B1-z4-4.NP										
Zdění										
Armování										
Bednění stěn										
Betonáž stěn bádii										
SO210-B1-z3-4.NP										
Zdění										
Armování										
Bednění stěn										
SO220-B2-z1-1.NP										
Dokončení odbednění stropu										
SO220-B2-z2-1.NP										
Armování stropu	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)	3 (240;6;234)						
Betonáž stropu čerpadlem					X					
Odbednění stropu částečné										
SO220-B2-z1-2.NP										
Armování					4 (180;6;174)	X	X	4 (180;6;174)		
Bednění stěn									15 (48;7;41)	
Betonáž stěn bádii										26 (28;28;0)

Obr. 12-2 Výřez podkladu sloužícího k posouzení vytíženosti VJ

Jednotlivé činnosti byly nejprve zaneseny do databáze softwaru Crane Occupancy 0.4, aby je nebylo nutné v rámci každé posuzované směny nově vytvářet, ale pouze vybírat. Vzhled takto vytvořené databáze je znázorněn na obrázku č.12.3.

## Vložení DSP

Název	t <sub>c</sub>	t <sub>p</sub>	T	Množství práce [m.j./směna]	Jednotkové množství přesunu	Počet cyklů/směnu	Akce
Zdění B1 z4 4	6	59	65			11	
Zdění B2 z2 2	6	59	65			11	
Zdění B1 z3 4	6	59	65			11	
Dokončení oc	6	84	90			8	
Dokončení oc	6	84	90			8	
Armování str	6	234	240			3	
Obdednění st	6	84	90			8	

Obr. 12-3 Databáze softwaru Crane Occupancy 0.4

Následně bylo nutné v rámci jednotlivých posuzovaných směn stanovit priority jednotlivých činností v souladu s vytvořenou metodikou, tedy:

1. technologicky opodstatněné činnosti, například betonáž pomocí bádie
2. činnosti nacházející se na kritické cestě
3. činnosti nacházející se mimo kritickou cestu

V případě, že vstupovali dvě a více činností se stejnou váhou, byla upřednostněna činnost s kratší časovou rezervou.

Každá směna v rámci posuzovaného časového úseku byla následně zadána do softwaru Crane Occupancy 0.4 a následně i vyhodnocena, což je vyobrazeno na obrázcích č.12.4 a č.12.5.

Projekt: Posouzení DP - 01.07.2020

Priorita	Barva	DSP	Název	$t_c$	$t_p$	T	Množství práce [m.j./směna]	Jednotkové množství přesunu	Počet cyklů/směnu	Odstranit
1	Red	Výběr DSP	Betonáž stěn bá	28	0	28			26	🗑️
2	Blue	Výběr DSP	Bednění stropu I	6	138	144			5	🗑️
3	Yellow	Výběr DSP	Zdění B2 z2 2NP	6	59	65			11	🗑️
4	Green	Výběr DSP	Armování stropu	6	234	240			3	🗑️

Délka směny [min]: 720

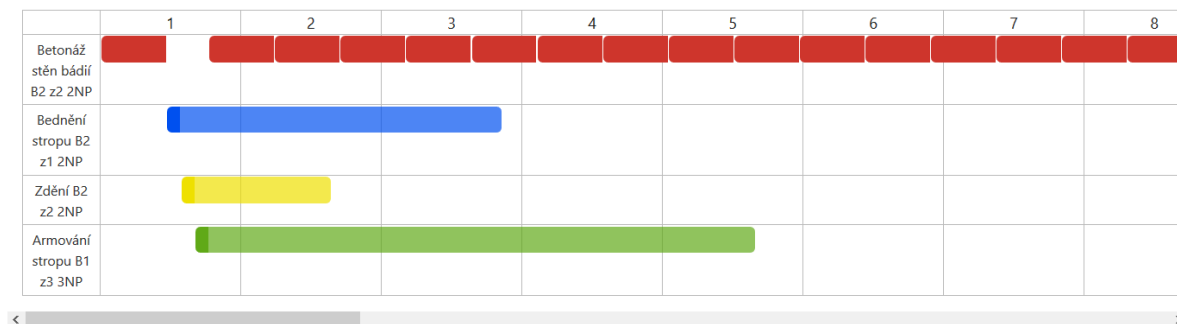
[Vyhodnotit](#) [Uložit](#) [+ Přidat činnost](#)

Obr. 12-4 Řazení činností v rámci posuzované směny

Výstupní hodnoty

<b>Celkový čas:</b>	1402 min
<b>Čas využití jeřábu:</b>	842 min
<b>Využití jeřábu:</b>	60.06%

Hodinový graf



Obr. 12-5 Vyhodnocení vybrané směny softwarem

Výše uvedené výsledky byly následně převedeny do přehledné tabulky níže, a to tak aby bylo usnadněno závěrečné vyhodnocení.

Tabulka 12-3 Výstupní hodnoty softwaru v rámci posuzovaného období

Vyhodnocení vstupních údajů z SW Crane Occupancy 0.4

Délka trvání směny je rovna 720 minutám

Vyhodnocovaný den		Celkový čas [min]	Čas využití jeřábu [min]		Procentuální využití jeřábu [%]	
Datum	Den v týdnu		SW Crane Occupancy 0.4	Po zohlednění koeficientu k3	SW Crane Occupancy 0.4	Po zohlednění koeficientu k3
15.06.2020	Pondělí	732	66	72,6	9,02	9,92
16.06.2020	Úterý	732	66	72,6	9,02	9,92
17.06.2020	Středa	732	66	72,6	9,02	9,92
18.06.2020	Čtvrtek	732	66	72,6	9,02	9,92
19.06.2020	Pátek	732	90	99	12,3	13,52
22.06.2020	Pondělí	726	42	46,2	5,79	6,36
23.06.2020	Úterý	727	123	135,3	16,92	18,61
24.06.2020	Středa	1214	746	820,6	61,45	67,59
25.06.2020	Čtvrtek	720	18	19,8	2,5	2,75
26.06.2020	Pátek	732	150	165	20,49	22,54
29.06.2020	Pondělí	732	150	165	20,49	22,54
30.06.2020	Úterý	759	333	366,3	43,87	48,26
01.07.2020	Středa	1402	842	926,2	60,06	66,06
02.07.2020	Čtvrtek	732	114	125,4	15,57	17,13
03.07.2020	Pátek	738	162	178,2	21,95	24,15
06.07.2020	Pondělí	755	210	231	27,81	30,60
07.07.2020	Úterý	738	138	151,8	18,7	20,57
08.07.2020	Středa	747	219	240,9	29,32	32,25
09.07.2020	Čtvrtek	738	138	151,8	18,7	20,57
10.07.2020	Pátek	738	219	240,9	29,67	32,64
13.07.2020	Pondělí	750	243	267,3	32,4	35,64
14.07.2020	Úterý	1420	866	952,6	60,99	67,08
15.07.2020	Středa	744	219	240,9	29,44	32,38

Z výše uvedené tabulky, přesněji sloupce „procentuálního využití jeřábu“ se může zdát, že navržený zdvihací mechanismus není efektivně využit. Přihlédneme-li však k vypočtenému potřebnému času ve sloupci s názvem „celkový čas“, je jasné, že je pracovní směna, s přihlédnutím na možnou odchylku oproti uvažovaným časovým nárokům vybraných činností, maximálně využita.

Pokud bychom tedy chtěli více časově využít zdvihací mechanismus, bylo by možné přistoupit k předzásobení jednotlivých obsluhovaných DSP.

Z tabulky 12-3 vyplývá, že v časovém intervalu od 15.06.2020 do 15.07.2020 je jeden VJ dostatečný s výjimkou tří dnů, které je však s přihlédnutím na složení činností v daných dnech realizovaných možno řešit pomocí zajištění předzásobení vybraných DSP mimo pracovní směnu.

## **13 VÝZNAM PRO VĚDU A PRAXI**

### **13.1 Vědecký přínos dizertační práce**

Hlavním přínosem této práce je vypracování nové metodiky posouzení vytíženosti navržených zdvihacích mechanismů, kterých k dnešnímu dni není příliš mnoho vypracováno. Metodika mohla být zpracována díky novému pohledu na simulaci práce VJ s využitím rozfázování jednotlivých pracovních cyklů, řazení obsluhy podle stanovených priorit a matematickému popsání výše uvedeného.

Dalším přínosem práce pro vědu jako takovou je zahrnutí, definování a časové ocenění nutné doby asistence zdvihacích mechanismů u vybraných činností. Je zřejmé, že tyto hodnoty nejsou zanedbatelné a bylo by vhodné se v rámci další vědecké činnosti zaměřit na hledání možných způsobů k jejich omezení.

Dalším přínosem této práce je vyvinutý software, jehož využití není omezeno pouze na zdvihací mechanismy, ale je možné jej využít pro celou řadu nejen stavebních strojů pracujících na stejném principu jako je tomu u zdvihacích mechanismů. Práce dále umožňuje další vědecký rozvoj této oblasti, a to jak z pohledu posouzení strojních sestav, tak i z pohledu možné aplikace jiných vstupních dat, případně priorit.

V neposlední řadě lze tuto práci využít v rámci výuky zajišťované stavebními fakultami, a to zejména ke snazšímu pochopení vzájemných návazností mezi jednotlivými činnostmi a poukázat tak na provázanost důsledné stavební přípravy se samotnou realizací staveb.

### **13.2 Praktický přínos dizertační práce**

Tato práce má neoddiskutovatelný přínos i z pohledu jejího praktického využití. Budou-li přípraviči v rámci plánování stavebních postupů a sestavování časových harmonogramů před zahájením stavby využívat navrženou metodiku v kombinaci s vyvinutým softwarem, mohou předejít problémům v rámci samotné realizace stavby. Díky navržené metodice a softwaru budou schopni ověřit, zda navržená mechanizace bude schopna bez jakýchkoli problémů obsloužit všechny procesy, které budou v rámci stavby vyžadovat jejich asistenci. Nebude tak docházet k prodlužování sjednaných časových harmonogramů, nutnosti posilování kapacit v rámci zdvihacích mechanizací, případně se již před zahájením stavby prokáže vhodnost volby stroje méně výkonného. Všechny tyto aspekty povedou k zajištění dodržení sjednaných termínů a k dodržení stanoveného rozpočtu stavby.

Stejným způsobem mohou metodiku v kombinaci s vyvinutým softwarem využít stavbyvedoucí na již realizovaných stavbách. Její užití jim usnadní plánování reálně proveditelného objemu stavebních prací v rámci posuzované směny, což bude mít za následek možné personální přesuny v rámci dané stavby s ohledem na vytížení VJ.



## 14 ZÁVĚR

### 14.1 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 popsán v rámci kapitoly 12 této práce.

### 14.2 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 „rozběr zvedacích mechanismů po stránce technické a ekonomické včetně zařídění 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 rozbořem dílčího stavebního procesu a zaříděním 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 časoběrné 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, dodávateľia*. 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: ABC Техника, 2002. ISBN 954-8873-52-0.
- [13] *ResearchGate* [online]. 2008 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

- [14] Taylor & Francis Online. *Taylor & Francis Online* [online]. 2008 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [www.tandfonline.com](http://www.tandfonline.com)
- [15] HOSSEINI, Mojtaba, Peyman BEIRANVAND, Mohammad Reza DADGAR a Amin OLFATI. A mathematical model for optimal tower crane layout planning. *Decision Science Letters*. 2017, **30**(6), 377-386. DOI: 10.5267/j.dsl.2017.2.001. ISSN 19295804. Dostupné také z: [http://www.growingscience.com/dsl/Vol6/dsl\\_2017\\_5.pdf](http://www.growingscience.com/dsl/Vol6/dsl_2017_5.pdf)
- [16] *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2016, **30**(6). DOI: 10.1007/s12206-016-0346-8. ISSN 1738-494X. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s12206-016-0346-8>
- [17] ZHANG, P. 1996, **24**(2). DOI: 10.1080/09613219608727511. ISSN 0961-3218. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613219608727511>
- [18] FUNTÍK, Tomáš - GAŠPARÍK, Jozef. Site plan development: Tower crane placement based on data obtained from IFC file. In ISARC 2016 : proceedings of the 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining. Auburn, Alabama, USA, July 18-21, 2016. [s.l.] : International Association for Automation and Robotics in Construction (I.A.A.R.C), 2016, S. 33-37. ISBN 978-1-5108-2992-3. V databáze: SCOPUS. AFC
- [19] Zhang, P., Harris, F., & Olomolaiye, P. (1996). A computer-based model for optimizing the location of a single tower crane. *Building Research & Information*, **24**(2), 113 - 123.
- [20] DASOVIĆ, Borna, Mario GALIĆ a Uroš KLANŠEK. Active BIM Approach to Optimize Work Facilities and Tower Crane Locations on Construction Sites with Repetitive Operations. *Buildings* [online]. 2019, **9**(1) [cit. 2019-09-06]. DOI: 10.3390/buildings9010021. ISSN 2075-5309. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2075-5309/9/1/21>
- [21] BIMFO. *BIMFO* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-06-19]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Myty-o-BIM-Co-je-a-co-neni-IFC.aspx>, dne 19.06.2019
- [22] Abdelmegid, M.A.; Shawki, K.M.; Abdel-Khalek, H. GA optimization model for solving tower crane location problem in construction sites. *Alex. Eng. J.* 2015, **54**, 519–526
- [23] JARSKÝ, Čeněk. *Příprava a realizace staveb*. Brno: CERM, 2003. Technologie staveb. ISBN 80-720-4282-3.
- [24] Rámové bednění Frami Xlife. *DOKA* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-09-06]. Dostupné z: [https://direct.doka.com/\\_ext/downloads/downloadcenter/999803015\\_2015\\_10\\_online.pdf](https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999803015_2015_10_online.pdf)
- [25] Sloupové bednění Doka KS Xlife. *DOKA* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-09-06]. Dostupné z: [https://direct.doka.com/\\_ext/downloads/downloadcenter/999746015\\_2010\\_03\\_online.pdf](https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999746015_2010_03_online.pdf)
- [26] Dokaflex 1-2-4. *DOKA* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-09-06]. Dostupné z: [https://direct.doka.com/\\_ext/downloads/downloadcenter/999776015\\_2008\\_11\\_online.pdf](https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999776015_2008_11_online.pdf)
- [27] Fotografie – archiv autora.

## SEZNAM VLASTNÍ LITERATURY

1. HENKOVÁ, S.; VENKRBEC, V.; ŠTĚRBA, M.; ČECH, D. Základní členění strojů využívaných v pozemním stavitelství. *Silnice a železnice*, 2012, roč. 7., č. 3/ 2012, s. 110-113. ISSN: 1801- 822X.
2. 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.
3. HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. Hlavní zásady bezpečnosti při práci se stavebními stroji. *Silnice a železnice*, 2012, roč. 7., č. 3/ 2012, s. 117-120. ISSN: 1801- 822X.
4. 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.
5. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; HENKOVÁ, S. THE USE OF BUILDING WASTE OBTAINED DURING RECYCLING TOGETHER WITH ORGANIC MATERIAL FOR REVITALISATION OF PANEL HOUSING ESTATES. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 2012, roč. 6, č. 2, s. 351-357. ISSN: 1313- 2563.
6. ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S. SOLUTION OF THE ISSUE OF BROWNFIELD SITES AND THEIR RE- USE WITH AN EMPHASIS ON PRESERVATION OF NATURAL RESOURCES AND ON ENERGY SAVING. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 2012, roč. 6, č. 2, s. 211-220. ISSN: 1313- 2563.
7. ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S. REVITALISATION OF AGEING PRE- FABRICATED PANEL HOUSING ESTATES. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 2012, roč. 6, č. 2, s. 194-210. ISSN: 1313- 2563.
8. 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.
9. HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. Vhodnost využití „brownfieldů“ k rekreačním účelům. In Sborník konference Křtiny 2012. první. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. s. 42-46. ISBN: 978-80-7375-611- 6.
10. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VLČKOVÁ, J.; HENKOVÁ, S. METODIKA VZOROVÝCH PRACOVNÍCH KARET. In Sborník konference: Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 1045-1053. ISBN: 978-80-905243-0- 9.
11. HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VLČKOVÁ, J.; ŠTĚRBA, M. VYHODNOCENÍ OPAKUJÍCÍCH SE ZÁVAD BOZP NA STAVENIŠTI. In Sborník konference: Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 1038-1044. ISBN: 978-80-905243-0- 9.

12. ČECH, D.; VLČKOVÁ, J.; HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M. BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI NA STAVENIŠTÍCH A BEZPEČNOST TŘETÍCH OSOB POHYBUJÍCÍCH SE V OKOLÍ STAVBY. In Sborník konference: Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 1020-1027. ISBN: 978-80-905243-0- 9.
13. VLČKOVÁ, J.; ČECH, D.; HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M. NOVÉ POŽADAVKY NA INFORMAČNÍ SYSTÉMY PODNIKŮ PRO BEZPEČNOST A OCHRANU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA STAVENIŠTÍCH. In Sborník konference: Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 1028-1037. ISBN: 978-80-905243-0- 9.
14. VENKRBEC, V.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. PANELOVÉ DOMY A JEJICH KONSTRUKČNÍ SOUSTAVY. In Sborník konference: Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 1061-1066. ISBN: 978-80-905243-0- 9.
15. ŠTĚRBA, M. WASTE RECYCLING IN CONSTRUCTION WITH RESPECT TO THEIR EXPENSE. In Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference. Hradec Králové: Magnanimitas, 2011. s. 1069-1075. ISBN: 978-80-904877-7- 2.
16. ŠTĚRBA, M. PROBLEMATIKA BROWNFIELDŮ V ČESKÉ REPUBLICE. In Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2012. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. s. 150-150. ISBN: 978-80-214-4393-8.
17. ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. Demolice stavebních objektů. Silnice a železnice, 2013, roč. 8., č. 3/ 2013, s. x-x. ISSN: 1801- 822X.
18. 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.
19. ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. Recyklace vzniklé stavební suti s možností jejího využití. Silnice a železnice, 2013, roč. 8., č. 3/ 2013, s. x-x. ISSN: 1801- 822X.
20. 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.
21. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V.; MOTYČKA, V. Návrh základních stavebních strojů pro zemní práce. Silnice a železnice, 2013, roč. 8., č. 3/ 2013, s. x-x. ISSN: 1801- 822X.
22. 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.

23. 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.
24. ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V.; FIALOVÁ, K. RECYCLING OF BUILDING WASTE. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 2013, roč. 7, č. 1, s. 211-221. ISSN: 1313- 2563.
25. ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V.; FIALOVÁ, K. THE USE OF RECYCLED BUILDING WASTE FOR RECLAMATION. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 2013, roč. 7, č. 1, s. 222-231. ISSN: 1313- 2563.
26. VENKRBEC, V.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. ISSUES OF PANEL HOUSES FROM THE POINT OF VIEW OF COMPREHENSIVE REGENERATION BY PROVIDING OF MATERIAL RECYCLING APPLICATION. In *Proceedings of the International Scientific Conference INNOVATIVE TRENDS IN CONSTRUCTION AND REAL ESTATE SECTOR (ITCRES 2013)*. 1. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2013. s. 1-8. ISBN: 978-80-227-3932- 0.
27. ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. REVITALIZACE NEDOSTATEČNĚ VYUŽÍVANÝCH STAVEBNÍCH OBJEKTŮ. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference CzechSTAV 2012 – Trendy ve stavebnictví*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 73-78. ISBN: 978-80-905243-1- 6.
28. ČECH, D.; HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. VYUŽITÍ JEMNÝCH PODÍLŮ STAVEBNÍ SUTI VZNIKLÝCH PŘI RECYKLACI K REKULTIVACÍM. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference CzechSTAV 2012 – Trendy ve stavebnictví*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 66-72. ISBN: 978-80-905243-1- 6.
29. VENKRBEC, V.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. SOUČASNÉ PROBLÉMY PANELOVÝCH DOMŮ V ČESKÉ REPUBLICE. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference CzechSTAV 2012 – Trendy ve stavebnictví*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 87-94. ISBN: 978-80-905243-1- 6.
30. 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.
31. ŠTĚRBA, M.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. REVITALIZACE NEDOSTATEČNĚ VYUŽÍVANÝCH OBJEKTŮ. In *Structura 2012*. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta stavební, 2012. s. 201-205. ISBN: 978-80-248-2879- 4.
32. HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. VYUŽITÍ SMĚSI STAVEBNÍ SUTI A ORGANICKÉHO MATERIÁLU K REKULTIVACÍM. In *Structura 2012*. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta stavební, 2012. s. 267-272. ISBN: 978-80-248-2879- 4.

33. ČECH, D.; HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. REVITALIZACE PANELOVÝCH DOMŮ A SÍDLIŠŤ. In Structura 2012. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta stavební, 2012. s. 206-210. ISBN: 978-80-248-2879- 4.
34. VENKRBEC, V.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. PANELOVÉ DOMY V ČESKÉ REPUBLICE. In Structura 2012. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta stavební, 2012. s. 127-132. ISBN: 978-80-248-2879- 4.
35. VLČKOVÁ, J.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; KANTOVÁ, R. NOVÉ POŽADAVKY NA INFORMAČNÍ SYSTÉMY PODNIKŮ PRO BEZPEČNOST NA STAVENIŠTÍCH. In Structura 2012. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta stavební, 2012. s. 110-114. ISBN: 978-80-248-2879- 4.
36. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; FIALOVÁ, K.; VENKRBEC, V. UTILISATION OF BUILDING RECYCLATES FOR REVITALISATION OF RECREATIONAL AREAS IN BUILT- UP AREAS. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE PEOPLE, BUILDINGS AND ENVIRONMENT 2012. 1. Brno: BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, 2012. s. 154-162. ISBN: 978-80-214-4628- 1.
37. HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. POSSIBILITIES OF RE- UTILIZATION OF BROWNFIELDS WITH RESPECT TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT REQUIREMENTS. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE PEOPLE, BUILDINGS AND ENVIRONMENT 2012. 1. Brno: BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, 2012. s. 104-113. ISBN: 978-80-214-4628- 1.
38. ČECH, D.; VLČKOVÁ, J.; ŠTĚRBA, M.; FIALOVÁ, K. NEW REQUIREMENTS ON INFORMATION SYSTEMS OF COMPANIES FOR SAFETY AND ENVIRONMENT PROTECTION AT BUILDING SITES. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE PEOPLE, BUILDINGS AND ENVIRONMENT 2012. 1. Brno: BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, 2012. s. 74-82. ISBN: 978-80-214-4628- 1.
39. KANTOVÁ, R.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. PODPORA PRAXE BĚHEM STUDIA A JEJÍ VLIV NA BUDOUCÍ UPLATNĚNÍ STUDENTŮ OBORU REALIZACE STAVEB. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE PEOPLE, BUILDINGS AND ENVIRONMENT 2012. 1. Brno: BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, 2012. s. 15-24. ISBN: 978-80-214-4628- 1.
40. 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.



41. 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.
42. 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.
43. ČECH, D.; HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. THE USE OF BUILDING WASTE OBTAINED DURING RECYCLING TOGETHER WITH ORGANIC MATERIAL FOR REVITALISATION OF PANEL HOUSING ESTATES. In Technológia Europea 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 24-32. ISBN: 978-80-905243-4- 7.
44. VENKRBEC, V.; HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. REGENERAČNÍ OPATŘENÍ PANELOVÝCH DOMŮ. In Technológia Europea 2012. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2012. s. 33-42. ISBN: 978-80-905243-4- 7.
45. ŠTĚRBA, M.; ČECH, D.; VENKRBEC, V. PŘEMÍSTOVÁNÍ SYSTÉMOVÉHO BEDNĚNÍ JEŘÁBY. In Sborník anotační konference Juniorstav 2013. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013. s. 1-5. ISBN: 978-80-214-4669- 4.
46. ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V. NOVÉ POŽADAVKY NA INFORMAČNÍ SYSTÉMY PODNIKŮ PRO BEZPEČNOST NA STAVENIŠTÍCH. In Sborník anotační konference Juniorstav 2013. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013. s. 1-5. ISBN: 978-80-214-4669- 4.
47. VENKRBEC, V.; ČECH, D.; ŠTĚRBA, M. REGENERACE PANELOVÝCH DOMŮ V ČESKÉ REPUBLICE. In Sborník anotační konference Juniorstav 2013. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-4669- 4.
48. 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.
49. ŠTĚRBA, M.; MOTYČKA, V. VÝZNAM BEDNĚNÍ 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.
50. 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.
51. ČECH, D.; ŠTĚRBA, M.; VENKRBEC, V.; HENKOVÁ, S. MAXIMÁLNÍ VYUŽITÍ RECYKLOVANÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI SILIKÁTŮ. In Sborník konference SUROVINY 2013. Praha: Silikátová společnost České republiky, 2013. s. 72-81. ISBN: 978-80-02-02478- 1.

52. 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.
53. 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.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

VJ	věžový jeřáb
DSP	dílčí stavební proces
CPM	metoda kritické cesty (Critical Path Method)
BKN	stavebnicové síťové plánování (Baukasten Netplanung)
THO	teorie hromadné obsluhy
DP	disertační práce
IFC	Industry Foundation Class – formát souboru se zdrojovými daty pro BIM
BIM	Building Information Modeling – informační model budovy
KN	jednotka – Kilo Newton
m	jednotka – metr běžný
m <sup>2</sup>	jednotka – metr čtvereční
m <sup>3</sup>	jednotka – metr krychlový
kg	jednotka – kilogram
t	jednotka – tuna
s	sekunda
min.	jednotka – minuta
hod.	jednotka – hodina
měs.	měsíc
ks	jednotka – kus
ot.	otáčka
Nh	normohodina
tis.	tisíc
Kč	koruna česká

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4-1 Skyline města Malmö, Švédsko, 07/2013 [27] .....	24
Obr. 5-1 Zjednodušený pracovní cyklus VJ .....	34
Obr. 5-2 Pracovní cyklus VJ pro bednění .....	35
Obr. 5-3 Schéma souběhu činností v rámci bednění .....	36
Obr. 6-1 Schématické znázornění doby trvání jednoho pracovního cyklu DSP .....	40
Obr. 6-2 Schématické znázornění pracovního cyklu VJ v rámci DSP .....	40
Obr. 6-3 Grafické znázornění pracovního cyklu VJ .....	43
Obr. 6-4 Grafické znázornění řazení činností v rámci pracovního cyklu VJ .....	44
Obr. 7-1 Schematické znázornění doby trvání v rámci 1.skupiny .....	48
Obr. 7-2 Schematické znázornění doby trvání v rámci 2.skupiny .....	48
Obr. 7-3 Schematické znázornění doby trvání jednoho pracovního cyklu DSP v rámci 3.skupiny .....	49
Obr. 7-4 Typy systémových bednění – zleva nosníkové stěnové, rámové stěnové, nosníkové stropní, bednicí stůl .....	53
Obr. 7-5 Stěnové rámové bednění [24] .....	54
Obr. 7-6 Zleva Rychloupínač, vyrovnávací upínač a kotevní systém .....	54
Obr. 7-7 Spojování dílců pomocí upínače a pomocí kolejniče .....	54
Obr. 7-8 Postup montáže bednění stěn .....	55
Obr. 7-9 Prvky k přepravě bednění – zleva čtyřpramenný řetěz, jeřábové oko, transportní hák, textilní popruh .....	56
Obr. 7-10 Prvky k přepravě bednění – zleva paleta, paleta alu, kontejner se síťovými bočnicemi .....	57
Obr. 7-11 Prvky k přepravě bednění – zleva víceúčelový kontejner, ukládací paleta, bedna pro drobné součástky .....	57
Obr. 7-12 Sloupové rámové bednění [25] .....	58
Obr. 7-13 Půdorysný pohled na sloupové bednění .....	59
Obr. 7-14 Zajištění a upevnění sestavy na jeřáb .....	59
Obr. 7-15 Nosníkové stropní bednění [26] .....	60
Obr. 7-16 Grafické znázornění poměrů vzdáleností jednotlivých prvků .....	60
Obr. 7-17 Grafické znázornění postupu montáže [26] .....	61
Obr. 7-18 Grafické znázornění postupu demontáže [26] .....	62
Obr. 7-19 Prvky k přepravě bednění – zleva kontejner se síťovými bočnicemi, víceúčelový kontejner, ukládací paleta, upínací popruh .....	63
Obr. 8-1 Ukázka přepisu hodnot pracovních cyklů jeřábu z časosběrné kamery do formuláře .....	80
Obr. 8-2 Screeny cloudového úložiště pro záznamy z monitoringu staveb .....	81
Obr. 10-1 Screen softwaru - vstupní data pro vybranou DSP .....	91
Obr. 10-2 Screeny softwaru – grafický výstup vybrané DSP .....	94
Obr. 12-1 Půdorysné členění posuzované stavby .....	100
Obr. 12-2 Výřez podkladu sloužícího k posouzení vytíženosti VJ .....	101
Obr. 12-3 Databáze softwaru Crane Occupancy 0.4 .....	101
Obr. 12-4 Řazení činností v rámci posuzované směny .....	102
Obr. 12-5 Vyhodnocení vybrané směny softwarem .....	102

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 5-1 Příklady věžových jeřábů s dolní otočí .....	32
Tabulka 5-2 Příklady věžových jeřábů s horní otočí .....	32
Tabulka 5-3 Orientační finanční náklady činností spojených s pronájmem VJ .....	38
Tabulka 5-4 Orientační finanční náklady pronájmu vybraných VJ s ohledem na dobu užití .....	39
Tabulka 6-1 Časové ocenění zavěšení a odpojení pro vybrané DSP [1] .....	41
Tabulka 6-2 Koeficienty pracovních vlivů pro vybrané DSP [1] .....	42
Tabulka 6-3 Vybrané technické parametry VJ Liebherr 30LC .....	44
Tabulka 6-4 Doby trvání jednotlivých činností $t_j$ zahrnutých v rámci pracovního cyklu VJ .....	44
Tabulka 6-5 Hodnoty doby přesunu materiálu $t_j[s]$ podle TPC pro VJ stacionární [1] ..	45
Tabulka 7-1 Normohodiny užívané v rámci této práce pro vybrané DSP .....	50
Tabulka 7-2 Jednotkové přesuny udávané výrobcí - jeden pracovní cyklus .....	64
Tabulka 7-3 Doby trvání vybraných činností .....	66
Tabulka 7-4 Pracovní cyklus montáže stěnového bednění .....	67
Tabulka 7-5 Doby trvání vybraných činností .....	68
Tabulka 7-6 Pracovní cyklus demontáže stěnového bednění .....	69
Tabulka 7-7 Doby trvání vybraných činností .....	70
Tabulka 7-8 Pracovní cyklus vyztužování svislých stěn .....	70
Tabulka 7-9 Doby trvání vybraných činností .....	71
Tabulka 7-10 Pracovní cyklus betonáže svislých stěn bádíí .....	72
Tabulka 7-11 Pracovní cyklus montáže stropního bednění .....	73
Tabulka 7-12 Pracovní cyklus demontáže stropního bednění .....	74
Tabulka 7-13 Pracovní cyklus vázání výztuže stropu .....	75
Tabulka 7-14 Pracovní cyklus betonování stropu bádíí .....	76
Tabulka 7-15 Pracovní cyklus zdění .....	77
Tabulka 7-16 Pracovní cyklus montáže schodišťového ramene .....	78
Tabulka 8-1 Pracovní cyklus bednění stropu – monitoring .....	81
Tabulka 8-2 Pracovní cyklus vyztužování stropu – monitoring .....	82
Tabulka 8-3 Pracovní cyklus odbednění stropu – monitoring .....	82
Tabulka 8-4 Pracovní cyklus bednění stěn – monitoring .....	82
Tabulka 8-5 Pracovní cyklus odbednění stěn – monitoring .....	83
Tabulka 10-1 Vstupní data pro vzorový příklad .....	92
Tabulka 12-1 Vypočtené výměry pro typické podlaží .....	98
Tabulka 12-2 Stanovení počtu cyklů pro vybrané činnosti v rámci typického podlaží ..	99
Tabulka 12-3 Výstupní hodnoty softwaru v rámci posuzovaného období .....	103

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č.1 – Harmonogram hrubé stavby členěný na posuzované DSP

Příloha č.2 – Harmonogram posuzovaných DPS v rámci vybraného časového úseku