

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 230

ISSN 1213-418X

Vít Motyčka

**OPTIMALIZACE NÁVRHU
VĚŽOVÝCH JEŘÁBŮ
PŘÍSPĚVEK K MODELOVÁNÍ
VÝROBNÍHO PROSTORU STAVBY**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta stavební
Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb

Ing. Vít MOTYČKA, CSc.

**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 2007

KLÍČOVÁ SLOVA

příprava stavební výroby, výrobní prostor stavby, stavební jeřáby, zásobování výrobních procesů, dílčí stavební procesy, typový pracovní cyklus, výkonnost jeřábu, časové vytížení jeřábu, metodika návrhu jeřábu

KEY WORDS

building-technological preparation, construction site production area, construction cranes, production process supplying, partial production processes, standardized working cycle, crane capacity, crane operating time utilization, procedure of crane preference

Originál práce je uložen v archivu PVO FAST

OBSAH

| | |
|---|----|
| PŘEDSTAVENÍ AUTORA | 4 |
| ANOTACE | 6 |
| 1 ÚVOD | 7 |
| 2 VÝZNAM A OBSAH PŘÍPRAVY VÝROBY | 9 |
| 3 ZÁMĚR HABILITAČNÍ PRÁCE | 11 |
| 4 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU | 11 |
| 4.1 Modely dodávky a spotřeby materiálů | 12 |
| 4.2 Zásobování výrobních procesů jeřáby | 13 |
| 4.3 Výkonnost jeřábů | 15 |
| 4.4 Současné metody návrhu jeřábů | 17 |
| 5 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY, NÁVRH NOVÝCH POSTUPŮ | 18 |
| 5.1 Požadavky dílčích stavebních procesů na zásobování materiály | 18 |
| 5.2 Stanovení požadavků vybraných dílčích stavebních procesů na zásobování rozhodujícími materiály | 18 |
| 5.3 Stanovení doby obsluhy jeřábem, výpočet pracovního cyklu | 20 |
| 5.4 Návrh typového pracovního cyklu jeřábu a výpočet doby obsluhy DSP | 26 |
| 5.5 Problematika extenzivního vytížení věžových jeřábů | 29 |
| 5.5.1 Aplikace teorie hromadné obsluhy | 29 |
| 5.5.2 Metoda posouzení časového vytížení jeřábu nebo jeřábové sestavy | 33 |
| 5.5.3 Modely pro posouzení časového vytížení věžových jeřábů | 35 |
| 5.6 Metodika návrhu věžových jeřábů pro stavbu | 40 |
| 6 ZÁVĚR | 45 |
| 7 LITERATURA | 47 |
| ABSTRACT | 49 |

PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Ing. Vít Motyčka, CSc.

Datum a místo narození: 21. dubna 1961, Kyjov

Pracovní zařazení: vedoucí Ústavu technologie, mechanizace a řízení staveb, VUT v Brně, Fakulta stavební



Vzdělání:

- Ing. - 1985, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor „Konstrukce a dopravní stavby“
- 1994, Mezinárodní jazyková škola – ILC, anglický jazyk
- CSc. - 2001, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor 36-03-9 Technologie staveb, téma – „Stanovení optimální skladovací plochy na staveništi“.
- 2002, autorizační zkouška ČKAIT, autorizovaný inženýr-obor pozemní stavby

Zaměření:

Technologie a řízení staveb, Stavebně technologické projektování, Modelování výrobního prostoru stavby

Praxe:

Odborná praxe

- 1985 – 1986 Stavební vojenský útvar Jihlava, v době základní vojenské služby stavbyvedoucí, realizace pozemních objektů
- 1986 – 1990 Ústav silniční a městské dopravy Praha, samostatný vědecký pracovník
- 1990 Stavoprogres Brno, s.r.o., stavbyvedoucí
- 1991 – 1993 FNsP v Brně, vedoucí investičního oddělení, investorské řízení výstavby objektů Fakultní nemocnice v Brně, Bohunicích

Pedagogická praxe

- 1993 – doposud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb – odborný asistent
- 2003 – doposud Ústav soudního inženýrství, externí přednášky

Pedagogická činnost:

Přednášky

Technologie staveb I, Technologie staveb II, Technologie stavebních procesů I, Technologie stavebních procesů II, Stavebně technologické projektování, Příprava a realizace staveb, Modelování výrobního prostoru stavby

Cvičení a semináře

Technologie staveb I, Technologie staveb II, Technologie stavebních procesů I, Technologie stavebních procesů II, Stavebně technologické projektování, Realizace staveb, Diplomový seminář, Specializovaný projekt

Vedení diplomových a doktorských prací

Vedení 36 obhájených diplomových prací, některé z nich oceněny děkanem Fakulty stavební, v současné době školitel tří studentů doktorského studijního programu.

Další činnost související s pedagogickým procesem

Člen oborové rady DSP pro obor Pozemní stavitelství, člen oborové pedagogické rady studijního oboru Management stavebnictví, člen komise pro státní závěrečné zkoušky na Fakultě stavební, člen komise pro státní doktorské zkoušky pro obor Pozemní stavitelství.

Člen pracovního týmu pro přípravu nového studijního oboru Realizace staveb na VUT v Brně, Fakultě stavební.

Aktion Česká republika – Rakousko: program spolupráce ve vědě a vzdělávání. Odborné přednášky pro studenty magisterského a doktorského studia se zaměřením na Technologii a řízení staveb, výměnné přednášky s Technische Universität Wien, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement.

Organizace odborných seminářů, školení a přednášková činnost pro inženýry a techniky stavebních firem.

Řešené výzkumné projekty, rozvojové projekty:

Výzkumný úkol GA ČR č. 103/93/0188. „Vývoj optimálních technologií pro modernizaci a rekonstrukci budov“. VUT v Brně, Fakulta stavební, 1993-1995 (člen řešitelské skupiny).

Řešení projektu MPO ČR „Regenerace panelových domů“. VUT v Brně, Fakulta stavební, 1997- 2000 (člen řešitelské skupiny).

Výzkumný záměr MSM 261100007 – „Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí" VUT v Brně, Fakulta stavební, 2003 – 2004 (člen dílčí řešitelské skupiny – „*Analýza příčin poruch a vad při realizaci rekonstruovaných panelových objektů a nových staveb*“)

Rozvojový projekt MŠMT- CŽV: RD 994001307 - „Systém celoživotního vzdělávání ve stavebnictví a veřejné správě“ VUT v Brně, Fakulta stavební, 2004 - doposud, (vedoucí dílčí řešitelské skupiny)

Rozvojový program MŠMT RA995000104 – „Podpora realizace struktury a modulární skladby studijních programů VUT“ VUT v Brně, Fakulta stavební, 2005 - doposud - (vedoucí dílčí řešitelské skupiny – „Nová koncepce výuky technologie staveb“).

Projekt ESF - MŠMT – Opatření 3.2, - projekt Operačního programu Rozvoje lidských zdrojů „Modernizace výuky na Fakultě stavební VUT v Brně v rámci bakalářských a magisterských studijních programů“ CZ.04.1.03/3.2.15.2/0292, část 13:Technologie staveb I, 2006 – doposud, (vedoucí dílčí řešitelské skupiny)

Spolupráce s praxí, odborná činnost:

Investorské řízení výstavby objektů Fakultní nemocnice v Brně, Bohunicích.

Účast na realizaci stavby I/42 Brno VMO Dobrovského A – výstavba tunelových těles. Spolupráce při statickém zajišťování nadzemní zástavby v souvislosti s prováděnou ražbou tunelových těles v nepříznivých geologických poměrech (průzkumy objektů, provádění statického zajištění, posudková činnost).

Inženýrská činnost, stavební dozor při výstavbě bytových a rodinných domů v Kuřimi.

Projekt organizace výstavby akce Technologického centra University Tomáše Bati ve Zlíně.

Spolupráce s významnými stavebními firmami při organizaci speciálních přednášek a seminářů z oblasti technologie staveb.

Spolupráce při přípravě odborných seminářů v rámci Stavebního centra EDEN 3000 při BVV.

Aktivní členství v ČKAIT, zkušební komisař v oboru pozemní stavby při autorizačních zkouškách - pro oblast Moravy.

Publikační, posudková, projekční a výzkumná činnost:

Monografie 2x, odborný časopis 4x (2x v anglickém jazyce), významné inženýrské a architektonické dílo 2x, mezinárodní vědecké konference 7x (2x v anglickém jazyce), tuzemské vědecké a odborné konference 5x, odborné posudky a expertízy 39x, učebnice 1x, skripta 1x, studijní opory 2x, odborná příručka v oboru 2x

ANOTACE

Habilitační práce se zabývá oblastí stavebně technologického projektování, jehož součástí je i výrobní prostor stavby. Ten je zpravidla vymezen hranicí zařízení staveniště a výškovým dosahem hlavních zvedacích prostředků, obvykle jeřábů. Musí zabezpečit účelnou činnost pracovních čet, umožnit racionální dopravu potřebných materiálů na staveniště a pracoviště, zajistit jakostní a hospodárné provádění prací a zabezpečit i ochranu zdraví pracovníků.

Protože je v dnešní době stavebně technologická příprava mnohdy podceňována, zahrnuje práce stručnou analýzu přípravy výroby a poukazuje na její podstatu a nezbytnost i ve stavebnictví. Na základě rozboru uvádí doporučené členění a obsah stavebně technologické přípravy v současnosti. V návaznosti na výrobní procesy ve stavebnictví charakterizuje jejich prostorovou strukturu a výrobní plochy, nezbytné k racionálnímu průběhu prací.

Zmiňuje se také o zařízení staveniště a podrobněji se zabývá věžovými jeřáby, jako spoluurčujícími prvky výrobního prostoru stavby. Z toho odvozuje jeden z hlavních problémů, který vyplývá ze současných nových požadavků na stavební výrobu. Je jím **optimalizace vnitrostaveništního zásobování výrobních procesů věžovými jeřáby**. Tomu je pak věnována hlavní část habilitační práce.

Vychází z modelů zásobování stavby potřebnými materiály a výrobky a zabývá se vlivy výkyvů výkonu stavební výroby na požadavky zásobování. Podává základní přehled nejčastěji využívaných stavebních jeřábů a analyzuje stávající způsoby stanovení jejich výkonnosti. Poukazuje na nedostatky v současných metodách návrhu jeřábu pro stavbu a navrhuje kvalifikovanější postupy.

Rozebírá požadavky dílčích stavebních procesů na zásobování materiály v dané technologické etapě výstavby a možné pracovní cykly jeřábů. Řeší novým způsobem stanovení časového vytížení jeřábů. Výchozími podklady jsou požadavky na plynulost průběhu rozhodujících stavebních procesů, jejich nároky na zásobování potřebnými materiály, reálné pracovní cykly jeřábů, z toho plynoucí výkonnost a jejich doba nasazení. Využívá přitom matematickou teorii z oblasti statistiky - teorii hromadné obsluhy.

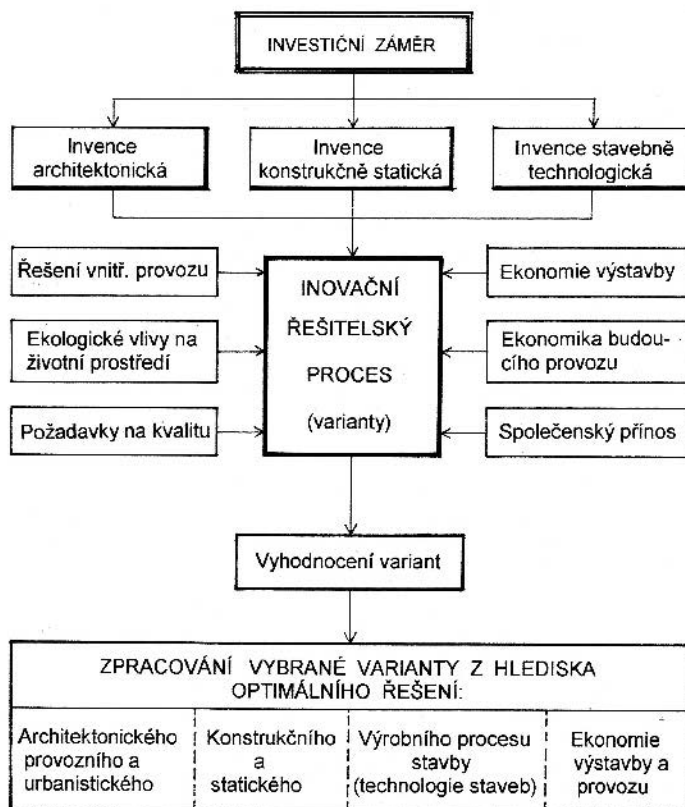
Na příkladech pak demonstruje navrhovaný způsob výběru jeřábu pro konkrétní stavbu a závaznou lhůtu jejího provedení.

Přínosem práce je výpočet nezbytné doby obsluhy konkrétních stavebních procesů jeřábem, propočet vytížení jeřábu a návrh metodiky umožňující technologicky správné a ekonomické stanovení druhu, velikosti a počtu jeřábů pro připravovanou stavbu. V rámci vědního oboru technologie staveb rozšiřují dosažené výsledky možnost exaktního modelování a optimalizace výrobního prostoru stavby. Pro stavební praxi pak přinášejí způsob kvalifikovaného výběru a posouzení jeřábu v rámci řešení projektu zařízení staveniště konkrétní stavby.

1 ÚVOD

Rozvoj vědních disciplin a technologií je v posledním desetiletí provázen také rozvojem výpočetní techniky a informačních toků. S touto skutečností je úzce spjata i snadnější možnost modelování variantních řešení a optimalizace složek stavebně technologické přípravy. Její součástí je i modelování výrobního prostoru stavby. Stavebně technologická příprava realizace staveb patří do vědního oboru technologie staveb. Technologie staveb se zabývá v systémovém pojetí analýzou, specifikací a řešením optimálních stavebně technologických hledisek při navrhování a realizaci stavebního díla. Začíná již v přípravě územně plánovací a přípravné dokumentace, kdy se vytyčují a upřesňují zásady návrhu budoucí stavby a určují se její funkce i podmínky jakostního provedení.

Stavebně technologické hledisko musí být uplatňováno již v práci architekta a konstruktéra, jestliže má být výsledek řešení optimální a ekonomický. Proto musí být již od samého počátku projektování rozvíjen také návrh, jak bude dílo realizováno. Jde o zkoumání stávající a perspektivní materiálůvé základny, návrhu postupu výstavby, vhodných mechanizačních prostředků a celého výrobního procesu stavby. Je třeba se zabývat nejen tím, co má být uděláno, ale také jakým způsobem to lze v konkrétních prostorových a časových podmínkách udělat. Proto je třeba hovořit o komplexním návrhu, tj. urbanisticko architektonickém, konstrukčně statickém a stavebně technologickém, vzájemně propojeném ve svých vazbách. Jen tak lze zajistit vysokou užitnou hodnotu díla, jeho estetické působení v daném prostředí, jeho realizovatelnost v konkrétních vnitřních a vnějších podmínkách, jeho kvalitu a požadovanou optimální ekonomičnost. Záměry se uskutečňují formou variantních řešení, jejich vyhodnocením a výběrem varianty optimální. Postup řešení investičního záměru naznačuje schéma na obr.1.[31]

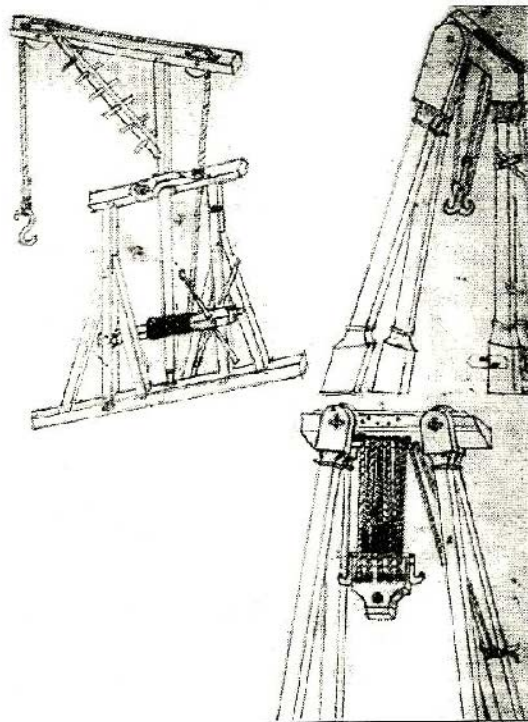


Obr. 1 Schéma zpracování komplexního návrhu stavebního investičního záměru.

Uplatnění stavebně technologické invence kromě jiného předpokládá znalost o stavěných produktech, o způsobech jejich stavění a znalost zásad stavebně technologického projektování. Dále předpokládá schopnost používat tyto znalosti s využitím metodologických zásad, simulačních, optimalizačních a rozhodovacích teorií a vhodných programů výpočetní techniky. Většinou jde o analýzu techniky, tj. věci zastoupených projektem produktu, a následnou syntézu technologie a výrobní techniky. Modelování výrobního procesu pomocí počítače pak umožňuje rychlá variantní řešení a jejich kvalifikované posuzování.

Uvedené poznatky dokládají i četné historické zkušenosti a prameny. Z nich vyplývá, že většina známých světových architektů monumentálních staveb byla současně i zkušenými staviteli, neboť bez znalosti stavebních postupů, dopravních a mechanizačních prostředků a organizace práce by nebylo možné jejich návrhy vůbec realizovat. Tak např. jednou z prvních známých informací o stavitelském umění je dílo římského architekta a stavitele Vitruvia „Deset knih o architektuře“ které bylo sepsané již před dvěma tisíci lety. V něm je autorem zdůrazňována nutnost vzdělávání se v oblasti stavebních materiálů, stavebních konstrukcí a ve způsobech stavění.

Před nedávnou dobou (r.1986) byl nalezen rukopis z XV. století, sepsaný Hansem Hamerem, jedním z architektů a stavitelů známé štrasburské katedrály, jejíž výstavba probíhala v letech 1277 až 1439. Její věž dosahuje výšky 142 m. Objevený rukopis je pozoruhodným svědectvím stupně vyspělosti stavitelství středověké gotické éry a dokladem technické vyspělosti i stavební technologie používané při stavbě katedrál. Našly se i Hammerovy nákresy pracovního lešení a zvedacích strojů včetně otočného jeřábu. Ukázka autentických nákresů zdvihadel z nalezeného rukopisu je na obr. 2.



Obr. 2 Fotokopie nákresů zvedacích strojů z XV. století – stavba štrasburské katedrály

Také z doby rané renesance pochází jedno z významných písemných děl zabývajících se postupy stavění. Jedná se o „Deset knih o stavitelství“ (patrně inspirováno Vitruviem) od italského architekta a stavitele Leone Battista Alberti (1404 – 72). Knihy se staly nadlouho učebnicí stavění reprezentačních budov.

2 VÝZNAM A OBSAH PŘÍPRAVY VÝROBY

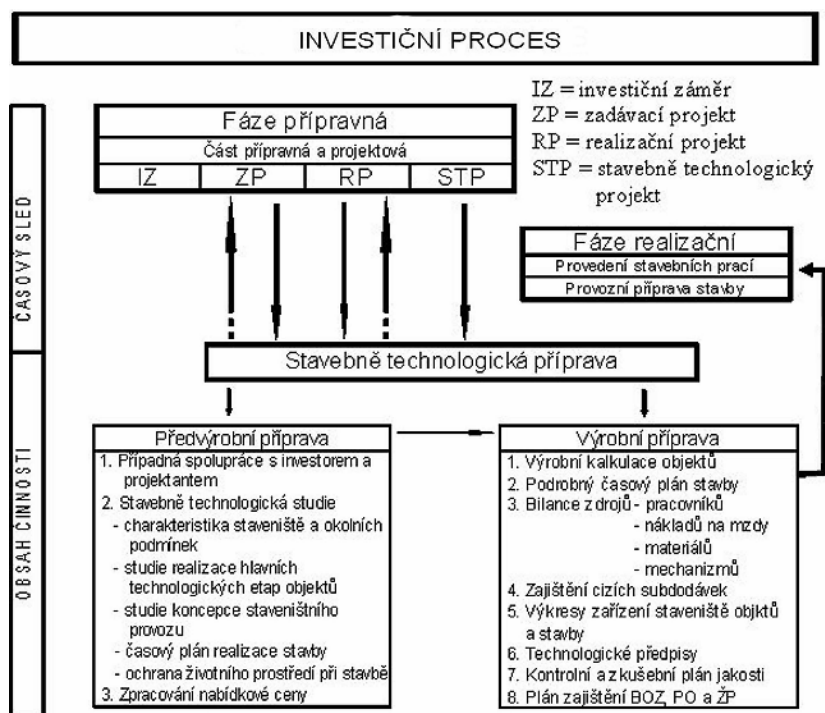
Řádná výrobní příprava je jednou ze základních podmínek úspěšné realizace každého výrobního procesu, tedy i procesů ve stavebnictví. Bez dobře promyšlené a všechny okolnosti reálně a progresivně zvažující přípravy je možné ve výrobě dosáhnout náhodného úspěchu, nelze však docílit trvalý optimální a ekonomický výsledek.

V průmyslu je možné připravovat, koordinovat a řídit výrobu daleko snadněji než ve stavebnictví, kde charakteristické výrobní odlišnosti dávají také přípravě výroby zvláštní význam. Mezi základní specifika lze uvést:

- Individuálnost (unikátnost) produktu a jeho značná složitost, vyžadující rozsáhlou kooperaci různých stavebních firem na staveništi.
- Způsob výroby produktu je velmi často odlišný a vyžaduje různou výrobní techniku.
- Stacionárnost vyráběného produktu a pohyblivost (přemísťování) výrobního zařízení.
- Neustále proměnná skladba pracovních čt a různorodý charakter jejich práce.
- Dlouhý výrobní cyklus, plynoucí ze značného počtu různorodých stavebních procesů a jejich relativně nízké mechanizace.
- Vliv povětrnostních podmínek na proces stavění, zejména u hrubé stavby.
- Různorodá a objemově rozsáhlá materiálová základna, kladoucí značné nároky na dopravu a skladování stavebních materiálů.

Také stále stoupající technická, technologická, organizační a ekonomická úroveň poznatků a požadavky na kvalitu a rychlost výstavby kladou na přípravu a organizaci stavební výroby další náročné úkoly. Ty nelze řešit až na staveništi. Musí být včas a kvalifikovaně promyšleny a zahrnuty do výrobní dokumentace formou stavebně technologického projektu.

Výběr a rozsah zpracování dokladů přípravy výroby stavby se stanovuje individuálně podle velikosti a konstrukční náročnosti objektů a podle dalších okolních podmínek, které přímo ovlivňují průběh stavby. Obsah předvýrobní a výrobní přípravy a jejich vazby na celkový investiční proces jsou uvedeny na obr. 3.

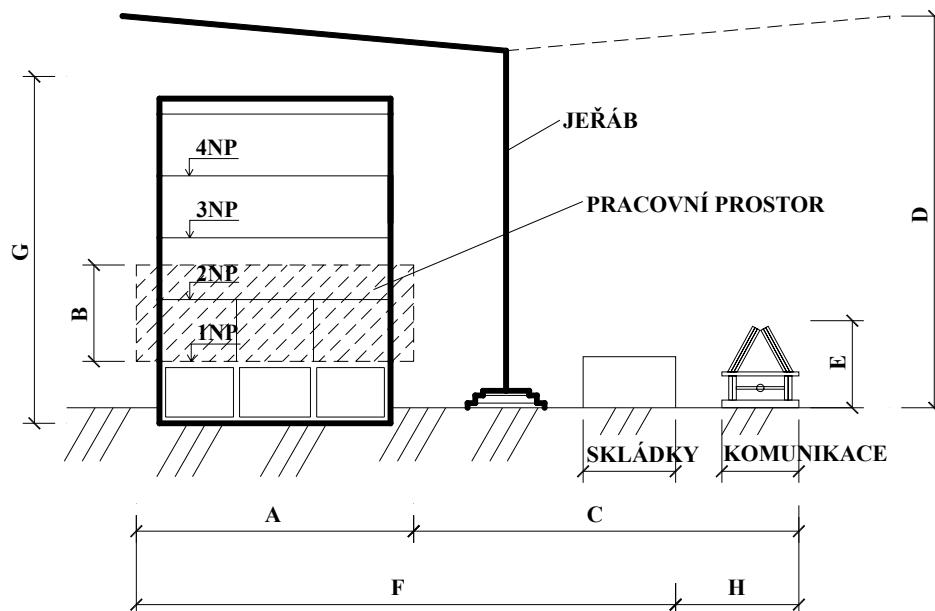


Obr. 3 Obsah předvýrobní a výrobní přípravy staveb a jejich vazba na investiční proces

Poměrně rychlé modelování přípravy výstavby včetně všech potřebných zdrojů v návaznosti na časový průběh stavby je dnes usnadněno využíváním metodiky tvorby stavebně technologického projektu a použitím vhodného počítačového programu, viz např. [8].

Shrneme-li význam stavebně technologické přípravy, můžeme konstatovat, že jejím hlavním úkolem je stanovení nejvhodnějšího režimu pro realizaci dané stavby. Dobrá příprava jednoznačně určuje, co vše bude v oblasti výrobní techniky, technologie i ekonomiky před zahájením práce dáno stavbyvedoucím k dispozici a co zůstane povinností operativního vedení stavby.

Důležitou součástí stavebně technologické přípravy je **řešení výrobního prostoru stavby**, neboť vytváří výrobní podmínky pro racionální průběh její realizace. Musí zabezpečit účelnou činnost pracovních čtí, umožnit dopravu potřebných materiálů na staveniště a pracoviště, minimalizovat dopravní trasy, zajistit jakostní a hospodárné provádění prací a zabezpečit ochranu zdraví pracovníků. Výrobní prostor stavby je obvykle vymezen hranicí staveniště (výkresem situace zařízení staveniště) a výškovým dosahem hlavních zvedacích prostředků, zpravidla jeřábů. Z hlediska technologického můžeme dělit výrobní prostor na dílčí výrobní prostory a pracovní prostory, jestliže se pracovní činnost týká jen určitých výrobních procesů (obr. 4).



Obr. 4 Výrobní prostor stavebního objektu, vymezení pojmů

Například – viz obr. 4:

U objektového procesu – spodní stavba, vrchní stavba a zastřešení – je vymezen

- a) výrobní prostor částí A + C, D
- b) pracovní prostor částí A + C, G

U etapového procesu - montáž prvního nadzemního podlaží – je vymezen

- a) výrobní prostor částí A, D
- b) pracovní prostor částí A, B

U dopravního procesu - komunikace, dopravní prostředek, skládka - je vymezen

- a) výrobní prostor částí C, D
- b) pracovní prostor částí C, E

U dopravního procesu - skládka, první nadzemní podlaží - je vymezen

- a) výrobní prostor částí F, D
- b) pracovní prostor částí F, B

Modelování výrobního prostoru objektu a stavby se provádí v rámci stavebně technologické přípravy. Děje se tak zejména formou projektu zařízení staveniště, který řeší, navrhuje a zdůvodňuje rozsah objektů a zařízení nezbytných pro optimální a kvalitní provedení díla v požadovaném čase. Jeho důležitou součástí je **propočít a správný návrh stavebního jeřábu**.

3 ZÁMĚR HABILITAČNÍ PRÁCE

V posledních patnácti letech došlo v naší ekonomice k zásadním změnám, které vedou k novým požadavkům na výrobní prostor stavby, a to zejména:

- Na minimální rozsah ploch zařízení staveniště potřebných pro výstavbu
- Na efektivní využívání drahých mechanismů, zejména stavebních jeřábů.

První oblastí jsem se zabýval ve své disertační práci vypracované na téma „Stanovení optimální skladovací plochy na staveništi“. Na druhou oblast – problematiku zásobování výrobních procesů na staveništi s optimálním využitím stavebních jeřábů – jsem se zaměřil v této habilitační práci.

Doposud se návrh vhodného stroje opíral o jednoduché a poměrně málo přesné výpočetní vzorce, založené z větší části na empirii a intuici odborníků, kteří zpracovávají dokumentaci pro přípravu staveb. V současnosti tento způsob již nevyhovuje, zejména pro dnes požadované rychlosti výstavby a také s ohledem na vysoké náklady spojené s provozem moderních stavebních jeřábů. Jejich výběr proto musí být podložen propočtem požadovaného množství materiálů, nezbytných pro plynulý průběh stavebních procesů a výpočtem reálné výkonnosti jeřábů v souvislosti s časovým průběhem výstavby.

Záměrem práce je tedy optimalizace vnitrostaveništního zásobování výrobních procesů věžovými jeřáby a vytvoření metodiky exaktního způsobu výběru vhodného jeřábu (nebo jejich sestavy) pro stavbu prováděnou na konkrétním místě, danou technologií a v požadované časové struktuře.

4 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V průběhu výstavby zhotovitel zabudovává do realizovaného objektu velké množství nejružnějších stavebních materiálů, prvků, výrobků a technologických zařízení. Efektivní zásobování rozsáhlých staveb je poměrně náročnou organizační úlohou. Pro zhotovitele staveb, usilující o minimální plochu pro zařízení staveniště, je důležité správně určit potřebnou velikost skladovací plochy pro stavební materiál.

Jedním z důležitých podkladů pro organizaci zásob na stavbě je také časový plán stavby. Vychází se z předpokladu, že jednotlivé stavební procesy jsou z hlediska časového průběhu navrženy tak, že střední hodnota skutečných výkonů produkční jednotky konverguje k hodnotě plánovaného výkonu. Tedy že průběh dílčích stavebních procesů probíhá plynule a i odběr materiálů bude plynulý a bude odpovídat plánovanému postupu prací.

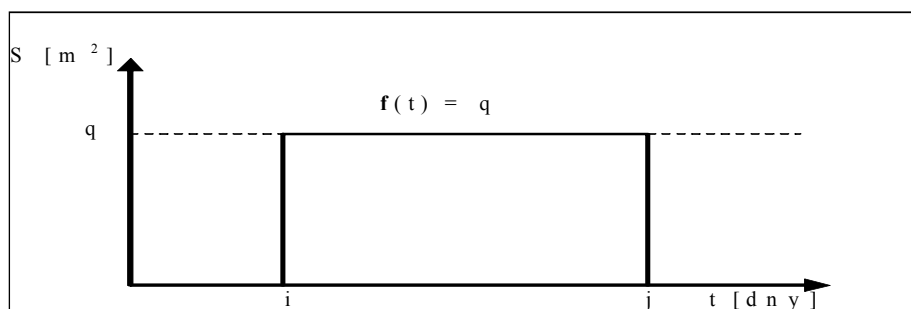
Zásobování a spotřebu materiálu na stavbě lze zjednodušeně vyjádřit zásobovacími modely. Zásobovací model závisí na druhu materiálu, jeho potřebném množství, způsobu dodávek, charakteru spotřeby a také na finančních nákladech, spojených s dodávkou materiálu.

4.1 MODELY DODÁVKY A SPOTŘEBY MATERIÁLŮ

Průběh činností na stavbě z hlediska zásobování a spotřeby materiálu lze popsat pomocí tří základních modelů, označených jako model I, II a III.

Model I:

Materiál je jednorázově dodán na stavbu, uskladněn a zabírá určitou konstantní plochu a pak je jednorázově spotřebován. Grafické vyjádření modelu je na následujícím obrázku.



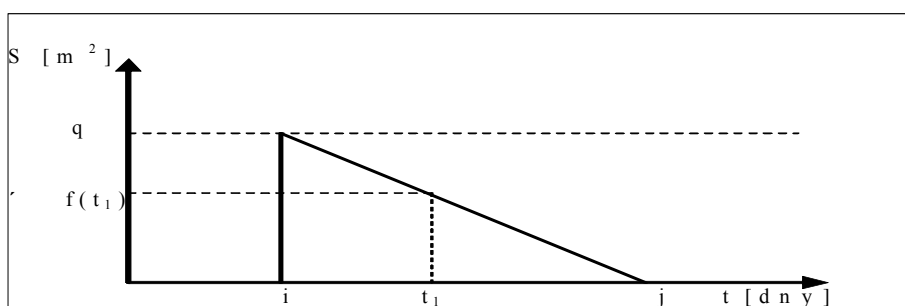
Obr.5 Jednorázová dodávka a spotřeba materiálu

kde:

- q velikost plochy potřebná pro uskladnění dodávky
- tčas
- iden dodávky materiálu
- jden spotřeby materiálu
- Splocha skládky
- $f(t)$ funkce potřebné plochy v časovém intervalu $d(i,j)$

Model II:

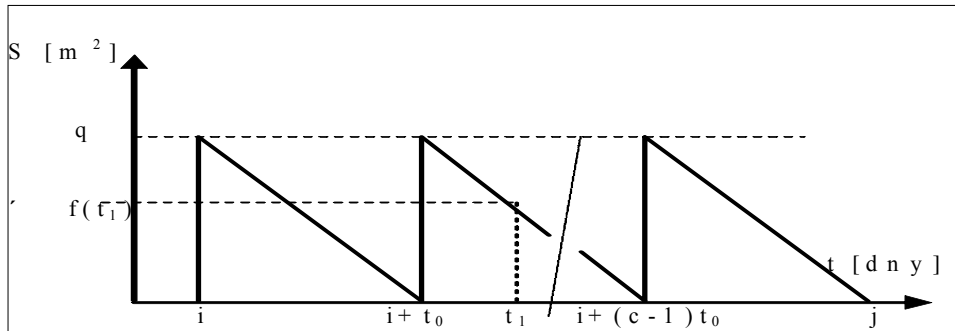
Materiál je na stavbu jednorázově dodán a uskladněn, jeho spotřebovávání probíhá postupně. Graficky lze tento průběh dodávky, uskladnění a spotřeby materiálu vyjádřit podle následujícího obrázku.



Obr.6 Jednorázová dodávka a postupná spotřeba materiálu

Model III:

Materiál je na stavbu dodáván v cyklických dodávkách a postupně spotřebováván. Předpokládá se, že dodávky jsou stejně veliké (např. jeden plně naložený nákladní automobil).



Obr.7 Cyklická dodávka a postupná spotřeba materiálu

kde:

- q velikost plochy potřebná pro uskladnění jedné cyklické dodávky
- t_0časový interval mezi dodávkami
- iden první dodávky materiálu
- j den spotřeby materiálu z poslední dodávky materiálu
- zpočet zásobovacích cyklů 1,2,.....,c

Stanovení doby překládky na stavební skládku

Při posouzení časového vytížení zvedacího prostředku se zohledňují i požadavky materiálů, které vyžadují přemístění z dopravních prostředků na stavební skládky. Na stavbě často představují pro jeřáb významné časové zdržení a je třeba je za určitých okolností zohlednit ve výpočtu celkového časového vytížení jeřábu.

Potřebný čas se stanoví z celkového množství překládaného materiálu, jednotkového množství materiálu pro přesun jeřábem, doby přemístění jednotkového množství na skládku a koeficientu účinnosti jeřábu podle následujícího vztahu:

$$T_u = \frac{Q_c}{J} \cdot t_u \cdot \frac{1}{k_p} \quad [\text{min.}] \quad (1)$$

kde:

- T_upotřebný čas pro přeložení materiálu z dopravního prostředku na skládku
- Q_c ...celkové požadované množství materiálu pro přepravu
- Jjednotkové množství materiálu pro přesun jeřábem
- t_učas pro přeložení jednotkového množství materiálu z dopravního prostředku na skládku (pro běžné vykládání materiálu z návěsů nebo přívěsů bude t_u v intervalu 2 až 5 minut)
- k_p ... koeficient účinnosti jeřábu

4.2 ZÁSBOVÁNÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ JEŘÁBY

V současné době je na stavebních podstatná část stavebních materiálů, dílců a technologických zařízení přepravovaná do místa zabudování jeřáby. Jsou obvykle rozhodujícími mechanismy při realizaci staveb. Volba a způsob nasazení těchto strojů má

významný vliv na průběh a náklady stavění. Nároky na ně rostou se zvětšující se výškou staveb a hmotností přepravovaných materiálů.

Jeřáby jsou rozdělovány do skupin různými autory podle různých hledisek [13,38]. Nejčastěji je rozdělení provedeno z hlediska možnosti změny polohy jeřábu vzhledem k realizovanému objektu, z hlediska konstrukce jeřábu nebo z hlediska jejich možností a účelu využití.

Z hlediska možnosti změny polohy:

- jeřáby stabilní
- jeřáby mobilní

Z hlediska konstrukce jeřábu [13] :

- s věží < věž se stálou výškou
- s výložníkem < věž s proměnnou výškou (jeřáby šplhavé)
- bez věže < se sloupem (derrickové jeřáby)
- bez výložníku - jeřáby portálové
- bez výložníku - jeřáby mostové

Z hlediska konstrukce jeřábu [38] :

- jeřáby věžové
- jeřáby mobilní
- speciální jeřáby (derrickové, lanové, portálové, lodní)

Při výstavbě objektů pozemních staveb jsou nejčastěji používány jeřáby věžové (obr.8).

Hlavní parametry věžových jeřábů:

- jmenovité zatížení jeřábu – maximální nosnost jeřábu
- vyložení jeřábového háku – vodorovná vzdálenost břemene od svislé osy věže
- výška zdvihu háku – svislá vzdálenost polohy závěsného háku od roviny pojezdu
- momenty nosnosti jeřábů – klopný moment [kNm] vzniká na výložníku , který je zatížen břemenem [kN] ve vzdálenosti l [m] vyložení břemene od svislé osy jeřábové věže
- rychlosti pohybů jeřábu:
 - rychlost pojezdu jeřábu po jeřábové dráze
 - rychlost otáčení jeřábové věže
 - rychlost zdvihu břemene
 - rychlost pojezdu kladky po výložníku



Obr.8 Rozsáhlá výstavba vyžaduje nasazení většího počtu věžových jeřábů

4.3 VÝKONNOST JEŘÁBŮ

Obecně se pod pojmem **výkonnost stavebních strojů** chápe množství produkce, která je uskutečněna stavebním strojem za jednotku času. Měrnou jednotkou výkonnosti může být například m^3/h , m^2/h , t/h , kus/h .

Na výkonnost stroje působí určité vlivy, které se zohledňují pomocí tří koeficientů:

- *Koeficient časového využití stroje k_t (0,8; 0,9)* zohledňující technické a organizační vlivy, které způsobují nečinnost stroje.
- *Koeficient výkonnostního využití stroje k_v (0,5;0,9)* zohledňuje objektivní vlivy pracovních podmínek
- *Koeficient intenzity využití stroje k_i (0,4 ; 0,98)* zohledňující subjektivní vlivy pracovních podmínek.

Celkový koeficient pracovní účinnosti stroje k_p je pak dán vztahem:

$$k_p = k_t \cdot k_v \cdot k_i \quad (2)$$

Výkonnost stavebních strojů lze dále rozlišit na výkonnost:

- teoretickou,
- technickou,
- provozní.

Stavební věžové jeřáby patří mezi stroje, které pracují v cyklech. Proto jejich **výkonnost Q** lze vyjádřit obdobně jako u jiných cyklicky pracujících strojů vztahem:

$$Q = C \cdot J \cdot k_p \quad [\text{jedn. množství / čas}] \quad (3)$$

kde:

- C je počet cyklů jeřábu, vykonaných za jednotku času
- J je množství produkce (materiálu), které se uskuteční (dopraví) v jednom cyklu
- k_p je celkový koeficient pracovní účinnosti stroje

Je tedy třeba stanovit počet cyklů C za časovou jednotku. To lze vyjádřit vztahem:

$$C = \frac{1}{t_n} \quad (4)$$

kde: - t_n je čas pracovního cyklu

Nejčastěji se vyjadřuje čas pracovního cyklu t_n v minutách. Potom počet pracovních cyklů za hodinu je dán vztahem:

$$C_h = \frac{60}{t_n} \quad (5)$$

Užitnou hodinovou výkonnost věžového jeřábu Q_n lze vypočítat podle následujícího vztahu:

$$Q_n = \frac{60}{t_n} \cdot J \cdot k_p \quad [\text{m.j./hod.}] \quad (6)$$

Jednotkové množství materiálu J , které je přemístěno v jednom cyklu, je závislé na parametrech posuzovaného stroje a technických možnostech pro jednotkové přemístění materiálu. Pro daný druh materiálu se často jedná o konstantní velikost.

Nemusí však tomu tak být vždycky, jednotková množství dopravovaných materiálů mohou být odlišná a rovněž čas jednotlivých pracovních cyklů může být odlišný. Výkonnost jeřábu je pak určena vztahem:

$$Q = \frac{k_p \sum_{i=1}^r j_i}{\sum_{i=1}^r t_{ni}} \quad [\text{m.j. / čas}] \quad (7)$$

kde:

- j_i je množství materiálu přepravené v i -tém cyklu jeřábu
- t_{ni} je čas potřebný na i -tý cyklus jeřábu
- r je počet cyklů

Důležitou částí v souvislosti s návrhem jeřábu nebo jeřábové sestavy by mělo být i posouzení z hlediska jejich časového vytížení. Jeřáby, které nejsou na stavbě dostatečně využívány, způsobují dodavateli zbytečnou ekonomickou ztrátu a také stroje, které nestíhají zásobovat stavbu podle časového harmonogramu, způsobují zdržení termínů a s tím rovněž související finanční ztráty (tato problematika je řešena v dalších kapitolách).

4.4 SOUČASNÉ METODY NÁVRHU JEŘÁBŮ

V současnosti používané postupy při návrhu jeřábu vycházejí z různých vstupních ukazatelů, které pouze velmi orientačně charakterizují požadavky pro přepravu materiálů a podle kterých je dosahováno výsledků různé kvality, většinou však jen velmi přibližných. Nejsou dostatečně posuzovány kapacitní možnosti navrhovaných jeřábů zásobovat stavební procesy v požadovaném čase .

- **Metoda využívající ukazatel počtu obsluhovaných pracovníků**
Podle počtu pracovníků na stavbě, jejichž činnost vyžaduje obsluhu jeřábem, se určí počet potřebných jeřábů. Přitom různí autoři [1] udávají různé hodnoty. Nejčastěji se udává 10 – 20 pracovníků na jeden jeřáb. Některé prameny tento údaj zpřesňují podle konstrukce objektu. Přitom o vlivu druhu nebo typu jeřábu se v literatuře nehovoří.
- **Metoda využívající ukazatel obestavěného prostoru realizovaného objektu za jednotku času**
Tento ukazatel udává, kolik m^3 obestavěného prostoru lze za časovou jednotku (například za jeden měsíc) postavit při zásobování jedním jeřábem. Nejčastěji se udává pro jeden jeřáb $1000 m^3/$ měsíc [1]. Ani v tomto případě se nerozlišuje druh nebo typ jeřábu a konstrukční systém objektu.
- **Metoda využívající ukazatel hmotnosti přemístovaného materiálu za jednotku času**
Ukazatel udává, kolik kN stavebního materiálu lze za časovou jednotku (například za jeden měsíc) dopravit při zásobování jedním jeřábem. Pro jeden jeřáb různí autoři uvádí hodnoty mezi 3 000 – 6 600 kN/ měsíc [1],[4],[5]. Opět se nerozlišuje druh nebo typ jeřábu. Tyto ukazatele mohou být ještě zpřesněny – je stanovena spotřeba stavebního materiálu v kN/ m^3 obestavěného prostoru pro jednotlivé konstrukční typy objektů .
Pro jednotlivé typy jeřábů jsou známé přibližné měsíční výkony – množství přemístěného materiálu v $kN/$ měsíc, případně lze přibližně tyto výkony určit. Na základě těchto ukazatelů lze provést výběr typu a případně počtu potřebných jeřábů.
- **Metoda využívající ukazatel objemu (hmotnosti) rozhodujících materiálů za jednotku času**
Při návrhu jeřábu se vychází z objemu nebo hmotnosti rozhodujících materiálů (m^3 čerstvého betonu, m^2 bednění, kN prefabrikátů a podobně), které budou za časovou jednotku dopravovány [1]. Dále se postupuje obdobně jako v předchozích případech.
- **Metoda návrhu jeřábu podle normativů doby trvání procesů obsluhovaných jeřábem**
Vstupními údaji jsou normativy časů pro jednotlivé činnosti obsluhované jeřábem, ze kterých se určí doba provádění jednotlivých činností. Podělí –li se celková doba provádění těchto činností požadovanou dobou výstavby, výsledkem (po zaokrouhlení směrem nahoru) je požadovaný počet jeřábů pro stavbu. Tento výpočet je třeba ještě opravit koeficientem prostojů, který je udáván až 48% [1].
- **Metoda odhadu potřebné doby nasazení jeřábu**
Vychází se z obestavěného prostoru stavby a poměrné hmotnosti stavby v t/m^3 pro daný konstrukční typ objektu. Určí se orientační hmotnost objektu. Předpokládá se, že 80% materiálů bude přemístováno jeřábem. Dále se předpokládá, že jeřáb přemístí na konci výložníku 1t v jednom cyklu za cca 6 minut. Z toho lze vyjádřit čistou potřebnou dobu na

přesun materiálu. Tato lhůta se opraví koeficientem skutečných možností využití pracovní doby, příp. dalšími koeficienty [15].

Dnes již výše uvedené metody nejsou zcela vyhovující a ukazuje se potřeba hledat způsoby přesnější, podložené skutečnými požadavky na zásobování právě probíhajících stavebních procesů v požadovaném čase.

5 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY, NÁVRH NOVÝCH POSTUPŮ

Věžové jeřáby patří mezi nejčastěji používané stavební stroje při realizaci stavebních objektů. Jde obvykle o nejdražší stroje na stavbě i přesto, že jsou dodavateli staveb často pouze pronajímány. Výběr a způsob nasazení jeřábů, které zabezpečují horizontální i vertikální staveništní dopravu stavebních materiálů pro pozemní ale i inženýrské stavby, má podstatný vliv na plynulost práce, dobu výstavby a finanční náklady na realizaci stavby.

5.1 POŽADAVKY DÍLČÍCH STAVEBNÍCH PROCESŮ NA ZÁSOBOVÁNÍ MATERIÁLY, VLIV VÝKYVU VÝKONU

Metody popsané v oddílu 4.4 nedostatečně vystihují požadavky na zásobování, nezohledňují dostatečně plánované tempo výstavby a s tím pak souvisí ekonomické ztráty, ať už v souvislosti s drahým provozem moderních stavebních jeřábů nebo naopak z důvodu neplnění časových lhůt výstavby. Výběr jeřábů by měl být přesněji podložen. Proto navrhuji vycházet z propočtu nutného materiálu, nezbytného pro plynulý průběh konkrétních stavebních procesů v požadovaném čase a z výpočtu reálné výkonnosti jeřábu při obsluze několika souběžných procesů. Přihlížet se také musí k možnému umístění jeřábu na daném staveništi.

Požadavky dílčích stavebních procesů (dále DSP) na zásobování určitým množstvím požadovaného materiálu v čase jsou závislé nejen na rychlosti výstavby ale také na vlivech, které mají náhodný charakter. Tyto náhodné vlivy způsobují kolísání výkonu produkční jednotky a tím i kolísání požadavků na odběr materiálů. Mezi tyto náhodné vlivy lze zařadit například povětrnostní vlivy, pracovní nasazení zaměstnanců, okamžité pracovní podmínky, motivace pracovníků, nemocnost, poruchovost strojů. Spotřebu materiálu a tím i požadavky na zásobování materiálem do místa spotřeby lze tedy považovat za náhodnou veličinu. Toto kolísání spotřeby materiálu v čase lze vystihnout pravděpodobnostním rozdělením diskrétní náhodné veličiny. Stanovení kolísání spotřeby materiálu v závislosti na kolísání výkonu produkční jednotky a tím i kolísání požadavků na odběr materiálu ve sledovaném časovém intervalu uvádí příklad v habilitační práci, část 8.1.2.

5.2 STANOVENÍ POŽADAVKŮ VYBRANÝCH DÍLČÍCH STAVEBNÍCH PROCESŮ NA ZÁSOBOVÁNÍ ROZHODUJÍCÍMI MATERIÁLY

Návrh vhodného jeřábu nebo jeřábové sestavy, splňující požadavky stavby, musí vycházet z požadavků DSP pro zásobování „*rozhodujícími materiály*“, které zásadním způsobem tento návrh ovlivňují.

„*Rozhodujícím materiálem*“ pro dopravu věžovým jeřábem na stavbě bude materiál, který splňuje alespoň jeden z následujících požadavků:

1. Přemísťovaný materiál vyvozuje nejnepříznivější klopný moment vzhledem k přípustnému zatížení jeřábu
2. Přemísťovaný materiál je jeřábem dopravován do největší horizontální nebo vertikální vzdálenosti
3. Přemísťovaný materiál bude splňovat požadavek na rozhodující materiál z hlediska časového vytížení jeřábu

Výchozím podkladem pro stanovení těchto „*rozhodujících materiálů*“ je prováděcí projektová dokumentace, výkaz výměr realizovaného objektu nebo technologické etapy, pro kterou se jeřáb navrhuje a časový harmonogram pro vyhodnocovanou technologickou etapu. Pro rozhodující materiály se sledují následující údaje:

- číslo položky ve výkazu (specifikaci) materiálů a název materiálu
- název DSP pro který je materiál určen
- celkové potřebné množství materiálu pro zásobování jeřábem
- jednotkové množství pro dodávku na místo spotřeby (jeden pracovní cyklus jeřábu) a jeho hmotnost
- horizontální a vertikální vzdálenosti přepravy břemene
- celkový počet dnů (resp. počet směn) s požadavkem na zásobování materiálem
- požadavek na množství materiálu pro jednu pracovní směnu
- požadavek na počet obslužení zvedacím mechanismem za jednotku času (hodina, směna,..)
- možnosti předzásobení materiálem

Při stanovení skutečných požadavků DSP na zásobování rozhodujícími materiály z hlediska jejich přepraveného množství v čase je třeba vycházet z technologického rozborového listu a z podrobného časového harmonogramu stavby, nebo také z technologického normálu, zpracovaného pro realizaci konkrétní stavby. Uvedené podklady se snadno získají z dnes již známých počítačových zpracování výrobní přípravy stavby – viz např. program CONTEC prof. Jarského [8].

Pro výpočet časové náročnosti přepravy potřebných materiálů jeřábem byla aplikována teorie pravděpodobnosti a to části - teorie hromadné obsluhy. K tomuto účelu doposud nebyla ve stavebnictví uplatněna.

Pro rychlé orientační určení požadavků DSP na zásobování rozhodujícími materiály lze údaje zpracovat tabelárně – viz habilitační práce (část 8.1.4). Při jejich propočtu a sestavě jsem vycházel ze Standardů času – základních výkonových norem sledovaných DSP, jejichž vydavatelem je URS Praha, a.s..

Tabulky zahrnují příklady požadavků pro zásobování vybraných rozhodujících procesů pomocí jeřábů, a to u objektů, jejichž nosná konstrukce je tvořena:

1. cihelným zdivem a skládanými stropy
2. monolitickým železobetonovým skeletem
3. prefabrikovaným (montovaným) železobetonovým skeletem
4. skeletem z ocelových prvků.

Z tabulek lze stanovit:

- spotřebu určitého materiálu pro daný DSP v průběhu směny
- počet nutných přepravních cyklů jeřábu pro jeho dopravu
- počet přepravních cyklů při zvýšené míře jistoty plynulosti práce

Grafy umožňují orientační stanovení:

- počtu požadovaných cyklů jeřábu za jednotku času při dopravě určitého materiálu pro vybraný DSP
- množství přepravovaného materiálu jeřábem v tunách pro vybraný DSP.

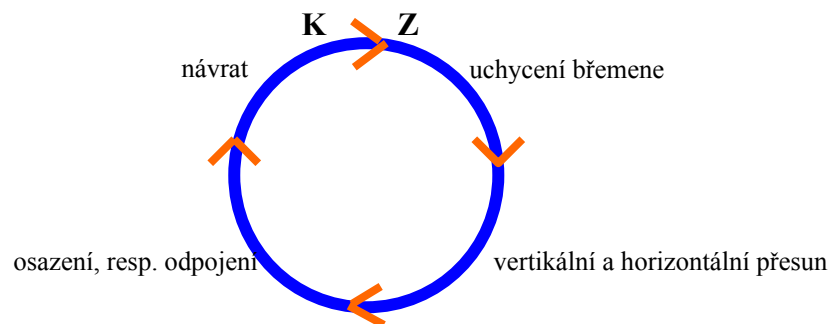
Získané údaje se pak využijí při propočtu vytíženosti jeřábu, posouzení jeho vhodnosti z hlediska požadované výkonnosti a také ke stanovení druhu a počtu jeřábů pro danou stavbu (viz ukázka tab.1 a graf na obr.10, 11, 12). Uvedené sledované výstupní hodnoty lze ze sestavených tabulek odečítat pro libovolně zadanou délku pracovní směny a podle zadaného počtu pracovníků v četě.

5.3 STANOVENÍ DOBY OBSLUHY JEŘÁBEM, VÝPOČET PRACOVNÍHO CYKLU

Věžové jeřáby jsou stroje, které na stavbě pracují cyklicky. Pracovní cyklus jeřábu lze v zásadě rozdělit na čtyři základní části:

- výběr a uchycení (resp. nakládání) materiálu na hák jeřábu,
- přesun materiálu na místo určení,
- osazování (resp. vykládání) materiálu a odpojování ze závěsu
- návrat háku jeřábu do výchozí polohy.

Doba pracovního cyklu závisí na druhu přepravovaného materiálu, výšce zdvihu, délce vodorovného přesunu a rychlostech navíjení, otáčení a pojezdu jeřábu v závislosti na hmotnosti přepravovaného břemene.



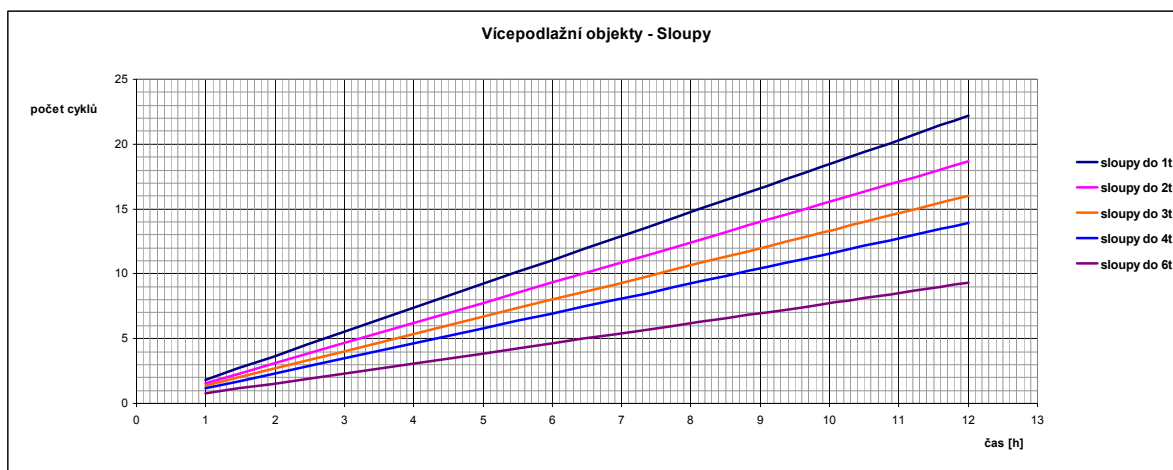
Obr.9 Základní dělení pracovního cyklu jeřábu

Pro stanovení doby pracovního cyklu věžového jeřábu uvádí různé zdroje odlišné vztahy pro výpočet, které vychází z odlišného členění pracovního cyklu na jednotlivé dílčí fáze a z odlišností ve zohlednění jednotlivých pohybů jeřábu. Po jejich rozboru a vyhodnocení jsem dále využil výpočet tzv. metodou kritické cesty, která vychází z přesnějších vstupních údajů a dává přesnější výsledky.

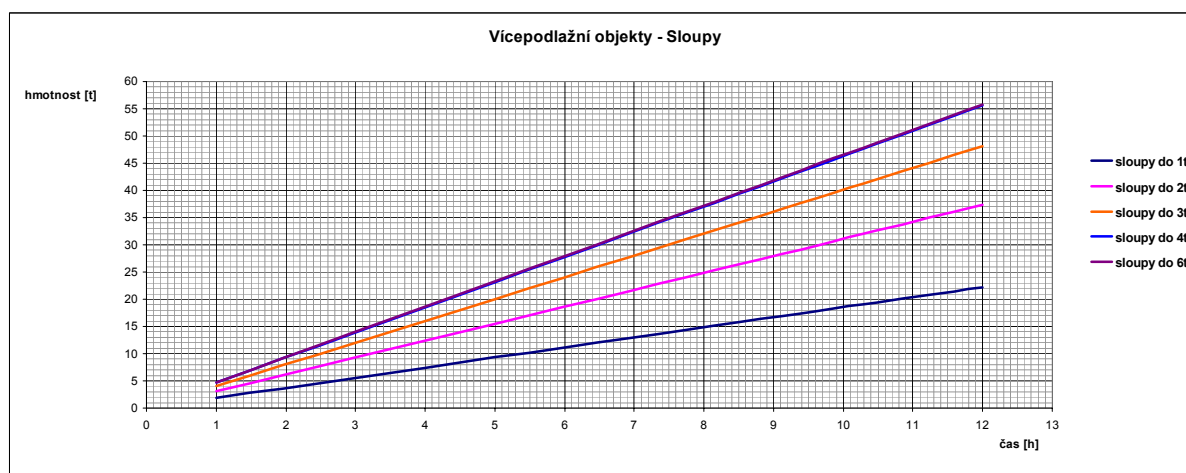
Tento způsob zohledňuje možný souběh dílčích fází cyklu. Nejprve se určí jednotlivé dílčí fáze pracovního cyklu jeřábu a vypočítá se jejich doba trvání. Zkoumají se dráhy dílčích fází a průběh pohybů jeřábu.

Tab. 1 Příklady požadavků na zásobování jeřábem vybranými rozhodujícími materiály při montáži železobetonových konstrukci-orientační hodnoty

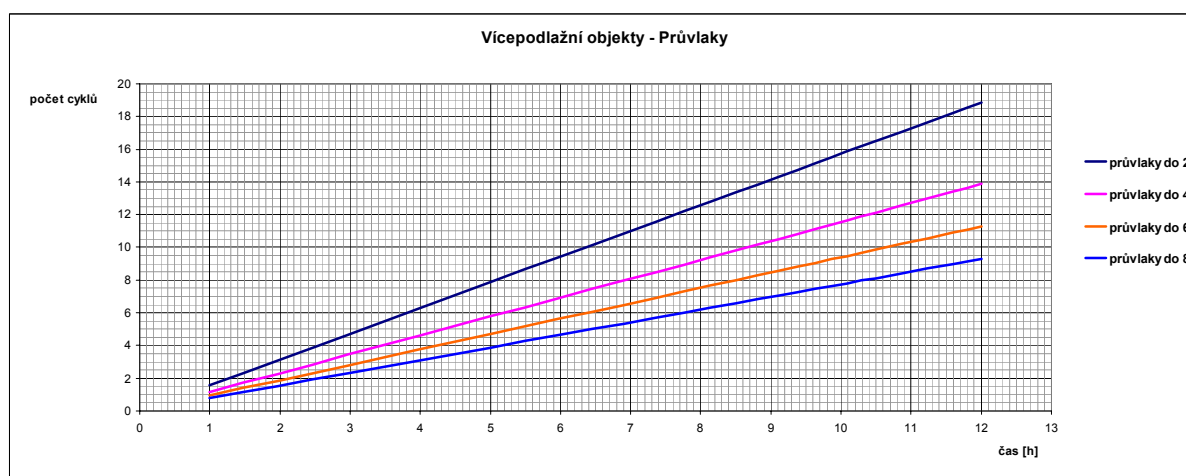
| Připravený materiál | Měrná jednotka | Množství přeprav. jednotky | Hmotnost přepravované jednotky [t] | Výška vě závěsu [m] | 4 | | 8,5 | | 12 | | cyklů za hodinu | cyklů za 8,5 hod. směnu | Míra jistoty -Mj | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|-------|-----------------|-------------------------|------------------|-----|-----|
| | | | | | Požadov. množství | | Požadov. množství | | Požadov. množství | | | | cyklů za směnu | 0,7 | 0,8 |
| | | | | | [m.j.] | [t] | [m.j.] | [t] | [m.j.] | [t] | | | | | |
| vícepodlažní objekty | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sloupy do 1t | 1 kus | 1,0 | 1,0 | 6,0 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 22,2 | 22,2 | 1,8 | 16 | 20 | 21 | |
| Sloupy do 2 t | 1 kus | 1,0 | 2,0 | 6,0 | 13,2 | 26,4 | 13,2 | 13,2 | 18,7 | 37,3 | 1,6 | 14 | 17 | 18 | |
| Sloupy do 3 t | 1 kus | 1,0 | 3,0 | 6,0 | 11,3 | 34,0 | 11,3 | 11,3 | 16,0 | 48,1 | 1,3 | 12 | 15 | 16 | |
| Sloupy do 4 t | 1 kus | 1,0 | 4,0 | 6,0 | 9,9 | 39,4 | 9,9 | 9,9 | 13,9 | 55,6 | 1,2 | 10 | 13 | 16 | |
| Sloupy do 6 t | 1 kus | 1,0 | 6,0 | 6,0 | 6,6 | 39,5 | 6,6 | 6,6 | 9,3 | 55,7 | 0,8 | 7 | 9 | 10 | |
| Průvlaky, ztužidla do 2 t | 1 kus | 1,0 | 2,0 | 5,0 | 13,4 | 26,7 | 13,4 | 13,4 | 18,9 | 37,7 | 1,6 | 14 | 17 | 18 | |
| Průvlaky, ztužidla do 4 t | 1 kus | 1,0 | 4,0 | 5,0 | 9,8 | 39,3 | 9,8 | 9,8 | 13,9 | 55,5 | 1,2 | 10 | 13 | 16 | |
| Průvlaky, ztužidla do 6 t | 1 kus | 1,0 | 6,0 | 5,0 | 8,0 | 47,9 | 8,0 | 8,0 | 11,3 | 67,6 | 0,9 | 8 | 10 | 11 | |
| Průvlaky, ztužidla do 8 t | 1 kus | 1,0 | 8,0 | 5,0 | 6,6 | 52,6 | 6,6 | 6,6 | 9,3 | 74,3 | 0,8 | 7 | 9 | 10 | |
| Stěny vnitřní nosné do 1,5 t | 1 kus | 1,0 | 1,5 | 6,0 | 9,8 | 14,8 | 9,8 | 9,8 | 13,9 | 20,8 | 1,2 | 10 | 13 | 16 | |
| Stěny vnitřní nosné do 3 t | 1 kus | 1,0 | 3,0 | 6,0 | 9,4 | 28,3 | 9,4 | 9,4 | 13,3 | 39,9 | 1,1 | 10 | 13 | 16 | |
| Stěny vnitřní nosné do 5 t | 1 kus | 1,0 | 5,0 | 6,0 | 8,3 | 41,4 | 8,3 | 8,3 | 11,7 | 58,4 | 1,0 | 9 | 12 | 12 | |
| Stěny obvod. do 0,5t | 1 kus | 1,0 | 0,5 | 6,0 | 11,4 | 5,7 | 11,4 | 11,4 | 16,1 | 8,0 | 1,3 | 12 | 15 | 16 | |
| Stěny obvod. do 1,5t | 1 kus | 1,0 | 1,5 | 6,0 | 9,7 | 14,5 | 9,7 | 9,7 | 13,6 | 20,5 | 1,1 | 10 | 13 | 16 | |
| Stěny obvod. do 3 t | 1 kus | 1,0 | 3,0 | 6,0 | 9,2 | 27,5 | 9,2 | 9,2 | 12,9 | 38,8 | 1,1 | 10 | 13 | 16 | |
| Stěny příčkové | 1 kus | 1,0 | 0,5 | 6,0 | 14,1 | 7,1 | 14,1 | 14,1 | 19,9 | 10,0 | 1,7 | 15 | 18 | 19 | |
| Stropní panely do 1 t | 1 kus | 1,0 | 1,0 | 6,0 | 39,4 | 39,4 | 39,4 | 39,4 | 55,6 | 55,6 | 4,6 | 40 | 46 | 47 | |
| Stropní panely do 2,5 t | 1 kus | 1,0 | 2,5 | 6,0 | 26,4 | 66,1 | 26,4 | 26,4 | 37,3 | 93,3 | 3,1 | 27 | 26 | 25 | |
| Stropní panely do 3,5 t | 1 kus | 1,0 | 3,5 | 6,0 | 23,6 | 82,5 | 23,6 | 23,6 | 33,3 | 116,5 | 2,8 | 24 | 29 | 30 | |
| Schodišťová ramena do 2 t | 1 kus | 1,0 | 2,0 | 6,0 | 16,9 | 33,7 | 16,9 | 16,9 | 23,8 | 47,6 | 2,0 | 17 | 21 | 21 | |



Obr. 10 Příklady požadavků na zásobování jeřábem vybranými rozhodujícími materiály při montáži železobetonových konstrukcí – 1 montážní skupina (4 pracovníci)



Obr. 11 Příklady požadavků na zásobování jeřábem vybranými rozhodujícími materiály při montáži železobetonových konstrukcí – 1 montážní skupina (4 pracovníci)



Obr. 12 Příklady požadavků na zásobování jeřábem vybranými rozhodujícími materiály při montáži železobetonových konstrukcí – 1 montážní skupina (4 pracovníci)

Jedná se o tyto pohyby jeřábu:

- zdvih háku jeřábu
- pojezd jeřábu (pokud se nejedná o stabilní jeřáb)
- otáčení výložníku
- pojezd kladnice
- spouštění háku jeřábu

Aby bylo možné určit dobu trvání pracovního cyklu, je třeba znát rychlosti uvedených pohybů jeřábu.

Protože většina v současnosti používaných jeřábů umožňuje provádět uvedené pohyby současně, určí se pohyby jeřábu, o kterých se bude předpokládat, že probíhají souběžně. To závisí jednak na prostorových možnostech stavby a jednak také na dovednosti jeřábníka (lze zvládnout až tři pohyby současně, pro výpočet doby pracovního cyklu bude uvažováno maximálně se dvěma paralelními pohyby). Pro výpočet celkové doby pracovního cyklu bude rozhodující ten souběžný pohyb, který bude trvat déle.

Doba celkového pracovního cyklu jeřábu t_n je tedy dána součtem doby trvání jednotlivých dílčích fází cyklu (včetně doby pro zavěšení, případně osazení, zabezpečení stability a odepnutí břemene) se zohledněním souběžných pohybů jeřábu.

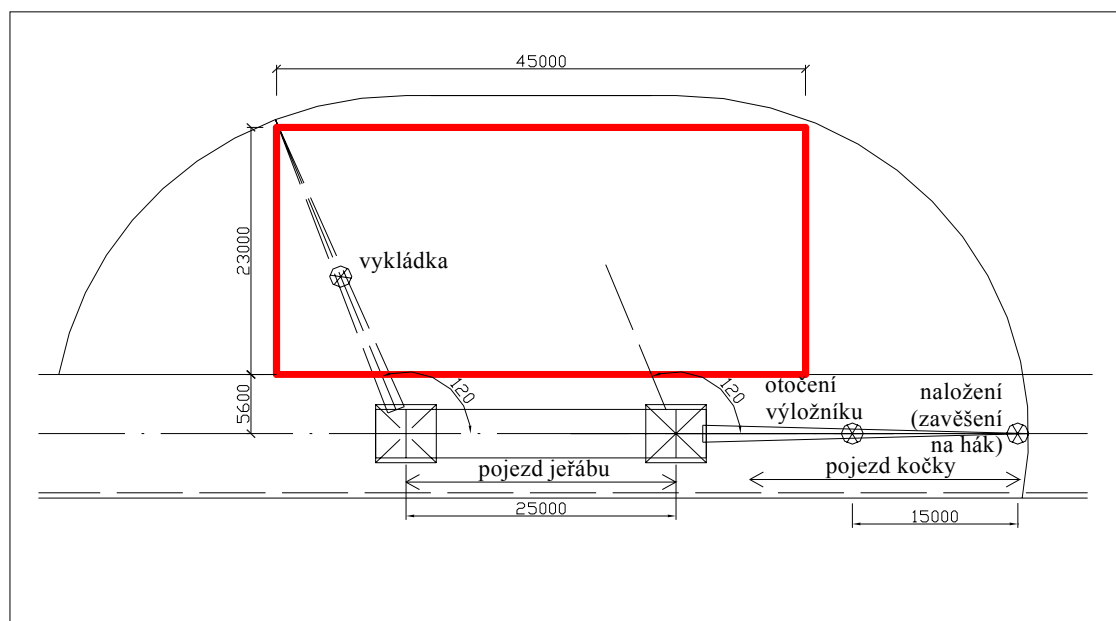
Příklad výpočtu doby cyklu jeřábu t_n pojízdného jeřábu MB 1030.1 při zásobování stavby čerstvým betonem:

- Přepřavované břemeno: kontejner s čerstvým betonem $0,75 \text{ m}^3$, hmotnost 1875 kg
- Výška zdvihu břemene: $h = 24,0 \text{ m}$
- Horizontální délka přesunu $s = 60,0 \text{ m}$

Tab.2 Vybrané technické parametry jeřábu MB 1030.1

| Vybrané technické parametry jeřábu MB 1030.1 | hodnota |
|--|--------------|
| Výška zdvihu jeřábu | 28,7 [m] |
| Délka vyložení | 32,0 [m] |
| Užitná délka výložníku | 28,0 [m] |
| Nosnost na konci vyložení | 3 200 [kg] |
| Délka jeřábové dráhy | 30,0 [m] |
| Rychlost zdvihu háku – břemeno do 4,0 t | 0,5 [m/s] |
| Rychlost zdvihu háku - břemeno 4,0 - 8,0 t | 0,2 [m/s] |
| Rychlost spouštění háku | 0,5 [m/s] |
| Rychlost usazovací | 0,05 [m/s] |
| Rychlost pojezdu kladnice | 1,0 [m/s] |
| Rychlost otáčení výložníku | 0,9 ot./60 s |
| Rychlost pojezdu jeřábu | 0,53 [m/s] |

Nejprve je třeba určit jednotlivé dílčí fáze cyklu jeřábu a jejich časový průběh v závislosti na přepravovaném materiálu, výšce těžiště odběru a technických parametrech jeřábu. Zkoumají se dráhy dílčích fází a průběh pohybů jeřábu se zohledněním souběhů pohybů.



Obr.13 Schéma k výpočtu doby cyklu jeřábu t_n metodou kritické cesty

Tab.3 Dílčí fáze pracovního cyklu jeřábu MB 1030.1.

| Dílčí fáze cyklu | Dráha [m] | Čas [s] | souběh |
|-----------------------------|-----------|---------|--------|
| Naložení kontejneru | - | 90 | |
| Zdvih háku | 24,0 | 75 | 1 |
| Pojezd kladnice | 15,0 | 15 | 2 |
| Otočení výložníku | 120° | 22 | 2 |
| Pojezd jeřábu | 25,0 | 47 | 1 3 |
| Spouštění usazov. rychlostí | 3,0 | 60 | |
| Vyložení kontejneru | - | 90 | |
| Zdvih háku po vyložení | 3,0 | 6 | |
| Spouštění háku | 24,0 | 75 | 3 |

Stanoví se, které dílčí fáze cyklu budou probíhat souběžně, viz tab.3. Pro určení celkové doby pracovního cyklu jeřábu je rozhodující vždy delší čas dílčích fází cyklu, které probíhají současně. Výsledný čas je určen součtem delších časů souběžných fází.

Posouzení doby trvání jednotlivých fází cyklu, probíhajících souběžně:

- čas zdvihu jeřábového háku $t_z = 75 s$
- čas pro pojezd jeřábu $t_p = 47s$
 $t_z > t_p$
- čas pro pojezd závěsné kladnice $t_k = 15 s$
- čas pro otáčení výložníku $t_o = 22 s$
 $t_o > t_k$
- čas pro pojezd jeřábu $t_p = 47s$
- čas spouštění jeřábového háku do výchozí polohy $t_s = 75 s$
 $t_s > t_p$

Výsledný celkový čas pracovního cyklu jeřábu t_n vyplývá z následujícího časového harmonogramu:

| Dílčí fáze cyklu [min.] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Naložení kontejneru | | | | | | | | |
| Zdvih háku | | | | | | | | |
| Pojezd jeřábu | | | | | | | | |
| Otočení výložníku | | | | | | | | |
| Pojezd kladnice | | | | | | | | |
| Spouštění usaz.rychlostí | | | | | | | | |
| Vyložení kontejneru | | | | | | | | |
| Zdvih háku po vyložení | | | | | | | | |
| Otočení výložníku | | | | | | | | |
| Pojezd kladnice | | | | | | | | |
| Pojezd jeřábu | | | | | | | | |
| Spouštění háku | | | | | | | | |

Obr.14 Časový harmonogram pracovního cyklu jeřábu

Na kritické cestě jsou tedy tyto dílčí fáze pracovního cyklu jeřábu (v časovém harmonogramu označeny červeně):

- Naložení kontejneru
- Zdvih háku jeřábu
- Otočení výložníku
- Spouštění břemene usazovací rychlostí
- Vyložení kontejneru
- Zdvih háku po vyložení
- Otočení výložníku
- Spouštění háku do výchozího bodu

Celková doba pracovního cyklu jeřábu je dána součtem činností, které jsou na kritické cestě. Platí tedy vztah:

$$t_n = \frac{t_{zk} + t_z + 2 \cdot t_o + t_{sm} + t_{ok} + t_{z1} + t_s}{60} \quad [\text{min.}] \quad (8)$$

kde:

- t_{zk} je čas pro zavěšení (upínání), resp. naložení materiálu
- t_z je čas zdvihu jeřábového háku
- t_o je čas pro otáčení výložníku
- t_{sm} je čas pro vertikální usazovací pohyb
- t_{ok} je čas pro odepnutí, resp. vyložení materiálu
- t_{z1} je čas pro zvednutí nad místem vyložení
- t_s je čas spouštění jeřábového háku do výchozí polohy

Po dosazení do předchozí rovnice lze vypočítat čas t_n :

$$t_n = \frac{90 + 75 + 2 \cdot 22 + 60 + 90 + 6 + 75}{60} = 7,3 \quad [\text{min.}]$$

Výsledný celkový čas pracovního cyklu jeřábu MB 1030.1 při zásobování dané stavby čerstvým betonem stanovený metodou kritické cesty je $t_n = 7,3$ minuty.

5.4 NÁVRH TYPOVÉHO PRACOVNÍHO CYKLU JEŘÁBU A VÝPOČET DOBY OBSLUHY DSP

Pro poměrně přesné a rychlé posouzení spotřeby času na obsluhu dílčího stavebního procesu (DSP) věžovým jeřábem navrhuji propočítat a zpracovat tzv. *typové pracovní cykly* (TPC).

Jejich účelem je:

- umožnit rychlé a dostatečně přesné stanovení potřebné doby obsluhy DSP jeřábem nebo jeřábovými sestavami při zásobování rozhodujícími materiály
- umožnit stanovení potřebného časového nasazení jeřábu na stavbě a to s ohledem na zásobování více DSP různými materiály souběžně
- umožnit stanovení výkonnosti jeřábu vzhledem k přepravovaným hmotnostem a výšce uložení břemene

Dále jsou uvedeny zpracované TPC pro dva druhy jeřábů:

a) Typový pracovní cyklus pro stacionární jeřáb

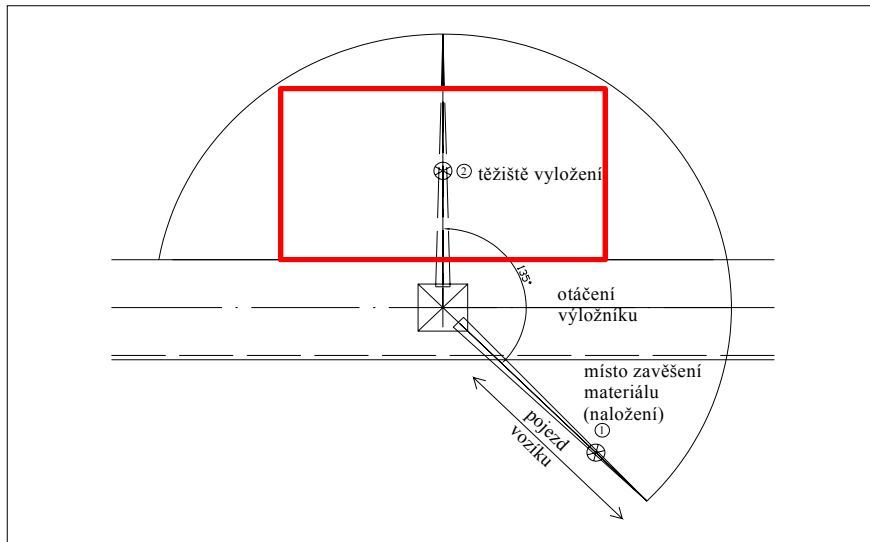
- Sledované dílčí fáze TPC:
 - zavěšování (resp. nakládání) materiálu na hák jeřábu
 - zdvih háku jeřábu
 - pojezd kladnice
 - otáčení výložníku jeřábu
 - spouštění usazovací rychlostí
 - osazování (resp. vykládání) materiálu a odpojování ze závěsu
 - zpětný zdvih háku
 - zpětné otáčení výložníku
 - zpětný pojezd kladnice
 - spouštění háku jeřábu

Pro dílčí fáze TPC stacionárního věžového jeřábu byly odvozeny hodnoty, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.4 Vstupní hodnoty TPC stacionárního věžového jeřábu

| dílčí fáze cyklu | vzdálenosti | souběh pohybů |
|---------------------------|---------------------------------|---------------|
| Zdvih háku | 9,18, 27, 36, 45, 54, 63 [m] | |
| Pojezd kladnice | 1/3 užitečné délky výložníku[m] | 1 |
| Otočení výložníku | 135° | 1 |
| Spouštění usaz. rychlostí | 3 [m] | |
| Zdvih háku po vyložení | 3 [m] | |
| Spouštění háku | 9,18, 27, 36, 45, 54, 63 [m] | |

Pozn.: hodnoty, které se pro další dílčí fáze cyklu opakují, nejsou v tabulce uvedeny.



Obr.15 Typový pracovní cyklus stacionárního jeřábu

Doba obsluhy t_n TPC stacionárního věžového jeřábu se získá výpočtem metodou kritické cesty podle kap.5.3.

b) Typový pracovní cyklus pro pojízdný jeřáb

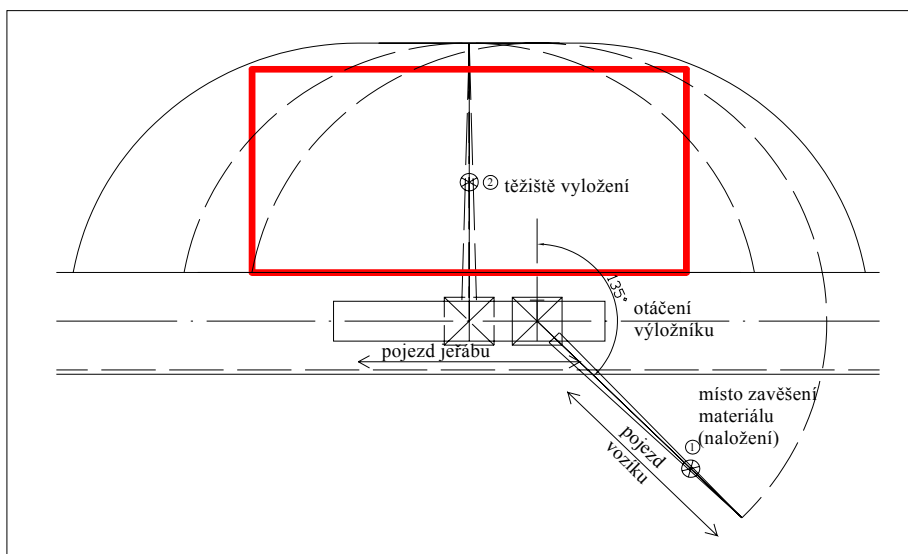
- Sledované dílčí fáze TPC:
 - zavěšování (resp. nakládání) materiálu na hák jeřábu
 - zdvih háku jeřábu
 - pojezd kladnice
 - otáčení výložníku jeřábu
 - pojezd jeřábu
 - spouštění usazovací rychlostí
 - osazování (resp. vykládání) materiálu a odpojování ze závěsu
 - zpětný zdvih háku
 - zpětné otáčení výložníku
 - zpětný pojezd kladnice
 - zpětný pojezd jeřábu
 - spouštění háku jeřábu

Pro dílčí fáze TPC pojízdného jeřábu byly odvozeny následující hodnoty uvedené v tab.5.

Tab.5 Vstupní hodnoty TPC pojízdného věžového jeřábu

| dílčí fáze cyklu | vzdálenosti | souběh pohybů |
|---------------------------|-------------------------------|---------------|
| Zdvih háku jeřábu | 9,18, 27, 36, 45, 54, 63 [m] | 1 |
| Pojezd kladnice | 1/3 užité délky výložníku[m] | 2 |
| Otočení výložníku | 135° | 2 |
| Pojezd jeřábu | 1/3 užité délky jeř.dráhy [m] | 1 3 |
| Spouštění usaz. rychlostí | 3 [m] | |
| Zdvih háku po vyložení | 3 [m] | |
| Spouštění háku | 9,18, 27, 36, 45, 54, 63 [m] | 3 |

Pozn.: hodnoty, které se pro další dílčí fáze cyklu opakují, nejsou v tabulce uvedeny.



Obr.16 Typový pracovní cyklus pojízdného jeřábu

Doba obsluhy t_n TPC pojízdného věžového jeřábu se získá výpočtem metodou kritické cesty.

Poznámka: Doba potřebná pro dílčí fáze zavěšení a odepnutí z háku jeřábu – časové hodnoty t_d pro zavěšování (resp. nakládání) materiálů na hák jeřábu a odpojování ze závěsu jeřábu (resp. vykládání), případně osazování prvků, jsou tabelárně uvedeny v habilitační práci.

Výpočet doby obsluhy DSP s využitím TPC pro vybrané skupiny věžových jeřábů

Pro vybrané skupiny věžových jeřábů (podle odvozených TPC) byly vypočteny potřebné časy pro přesun materiálu a to v závislosti na hmotnosti břemene a výšce jeho uložení. Po přičtení konstantní doby t_d pro zavěšení (naložení) + odpojení (vyložení, zajištění stability prvku) lze získat orientační hodnotu potřebného času obsluhy jeřábem t_n pro DSP (rozhodující přesouvaný materiál).

$$t_n = t_p + t_d \quad (9)$$

kde:

- t_nčas pro obsluhu jeřábem (jeden pracovní cyklus jeřábu)
- t_pčas pro čistý přesun materiálu
- t_dčas pro zavěšení a odpojení materiálu

Skutečná doba pracovního cyklu jeřábu t_s se vyjádří podle vztahu:

$$t_s = t_n \cdot k_s \quad (10)$$

kde:

- k_s koeficient pracovních vlivů

Koeficient pracovních vlivů k_s zohledňuje objektivní a subjektivní vlivy daných pracovních podmínek (např.vlastnosti materiálu, se kterým stroj pracuje, technologický vliv obsluhovaného procesu, polohu a podmínky staveniště, povětrnostní vlivy, kvalitu obsluhy stroje, výkon pracovníků obsluhující jeřáb) [15].

V habilitační práci jsou provedeny výpočty doby přesunu materiálů pro skupiny věžových jeřábů, zařazených podle účelu použití (viz část HP 8.2.3, tab.8.12 - 8.17).

5.5 PROBLEMATIKA EXTENZIVNÍHO VYTÍŽENÍ VĚŽOVÝCH JEŘÁBŮ

Návrh vhodného zvedacího prostředku pro vertikální dopravu musí zohlednit tvar a velikost stavby, technologii výstavby, rozsáhlost a vzájemnou polohu budovaných objektů, hmotnosti přepravovaných břemen, vertikální i horizontální vzdálenosti přepravy, ale také způsob dopravy jeřábu k objektu, možnost jeho montáže na staveništi a únosnost podloží pro jeřáb.

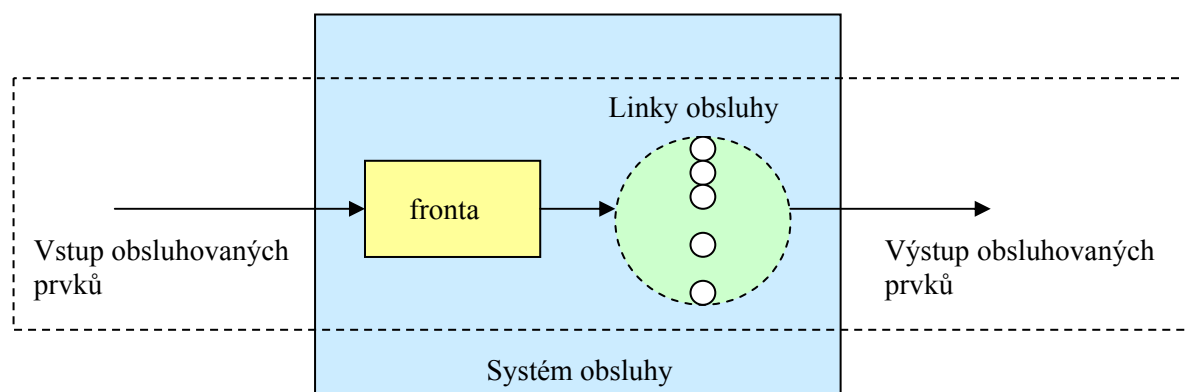
Posouzení navrhovaného jeřábu však musí obsahovat ještě dvě důležité části, kterým se prozatím nevěnuje dostatečná pozornost. Jedná se o stanovení požadované výkonnosti stroje, která vyplývá z nároků na zásobování jeřábem jednotlivými materiály v souvislosti s časovým průběhem stavby a dále vyhodnocení navrhovaných jeřábů z hlediska jejich celkového časového vytižení.

5.5.1 Aplikace teorie hromadné obsluhy

Podle již uvedených vztahů pro stanovení výkonnosti jeřábů, se určuje výkonnost těchto strojů při zásobování probíhajícími výrobními procesy. Vyhodnocení výkonnosti stroje však nezohledňuje skutečnost, že při zásobování více dílčích stavebních procesů (dále DSP) současně dochází k určitým časovým ztrátám. Ty jsou způsobeny tím, že v okamžiku požadavku DSP (či pracovní skupiny) na obsluhu jeřábem, může být obsluhován jiný DSP a pracovní skupina čeká na dokončení již jiné zahájené obsluhy. Čekáním dochází k prodloužení doby trvání jednotlivých obsluhovaných DSP a tedy i nárůstu celkových časových požadavků na práci zvedacích prostředků.

Zohlednění popsané skutečnosti je obsaženo v navrhované metodě extenzivního posouzení vytižení věžových jeřábů.

Pro stanovení vznikajících časových ztrát a celkové doby trvání společné obsluhy více DSP navrženým jeřábem nebo jeřábovou sestavou je využita teorie hromadné obsluhy. Jedná se o systém, jehož základní struktura je znázorněna na obr.17.



Obr.17 Základní struktura systému hromadné obsluhy

Vlastnosti výstupu obsluhovaných prvků ze systému obsluhy závisí na vstupních požadavcích a na době obsluhy prvků.

Základní modely systémů hromadné obsluhy podle Kendalla připouštějí různé možnosti klasifikace [44].

D.G.Kendall zavedl jednoduchou klasifikaci systému hromadné obsluhy. Systémy jsou popsány kombinací písmen a číslic:

$$X / Y / n / m ,$$

kde **X** popisuje vstupní tok prvků, **Y** popisuje rozdělení pravděpodobnosti pro dobu obsluhy, **n** udává počet linek obsluhy a **m** udává maximální počet prvků v systému.

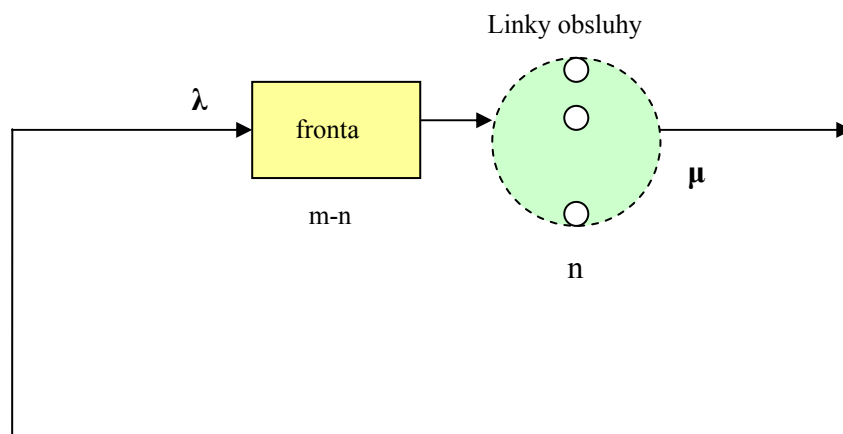
Řešenému úkolu vyhovuje uzavřený systém, popsáný podle uvedené klasifikace jako systém **M / M / n / m** .

Tento systém vystihuje situaci, kdy v **n** – linkovém systému obíhá **m** prvků. Přitom pro maximální délku fronty platí následující vztah:

$$m - n \geq 0 \quad (11)$$

Jednotlivé prvky požadující obsluhu opouštějí po ukončení obsluhy systém, ale později se do něho vrací s dalším požadavkem na obsluhu. Situace, kdy platí, že $m = n$ vede k jednoduchému řešení, každému prvku je přiřazena jedna obsluhující linka a řeší se tak **n** jednolinkových systémů s jedním obíhajícím prvkem. Proto se dále bude uvažovat jen situace, kdy $m > n$.

Na následujícím obrázku je graficky vyjádřen uzavřený systém **M / M / n / m**.



Obr. 18 Uzavřený systém obsluhy **M / M / n / m**

V daném případě budou jednotlivé dílčí stavební procesy vyžadovat obsluhu, tedy dodání materiálů. Materiály budou obíhajícími prvky požadujícími obsluhu v obslužném systému. Bude obsluhováno **m** prvků. Linkou obsluhy je jeřáb, resp. **n** jeřábů, které společně zajišťují zásobování více dílčích stavebních procesů.

O vstupech do obslužného systému (tj. o požadavcích jedné pracovní skupiny na přemístění jednoho druhu materiálu jeřábem) lze většinou oprávněně předpokládat splnění následujících vlastností:

- vstup může nastat v kterémkoliv časovém okamžiku sledovaného období (tedy vznést požadavek na obsluhu může pracovní skupina v kterémkoliv okamžiku pracovní doby)
- počet vstupů během časového intervalu závisí jen na délce intervalu a ne na jeho počátku. Zejména nezávisí na tom, kolik vstupů nastalo před počátkem intervalu (to znamená, že spotřeba materiálů je plánována ve sledovaném intervalu jako rovnoměrná)
- pravděpodobnost, že v intervalu délky Δt nastane více než jeden vstup, konverguje k nule rychleji než délka intervalu Δt .
- průměrný počet vstupů za časovou jednotku je roven λ .

Ze splnění podmínek a) až d) teoreticky vyplývá, že náhodná veličina X - počet vstupů za čas délky t - má Poissonovo rozložení s parametrem $\lambda \cdot t$.

Pro pravděpodobnostní funkci $p(x)$ náhodné veličiny X tedy platí:

$$P(X = x) = p(x) = \frac{(\lambda \cdot t)^x}{x!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (12)$$

Pravděpodobnostní funkce $p(x)$ udává, jaká je pravděpodobnost, že v časovém intervalu délky t vstoupí do systému obsluhy x prvků, kde:

t ...sledovaný časový interval

x ...počet výskytů jevu ve sledovaném časovém intervalu

λ ...parametr pravděpodobnostní funkce

Pokud se náhodná veličina X - počet vstupů - řídí Poissonovým rozdělením s parametrem λ , pak náhodná veličina délka časového intervalu mezi vstupy (v našem případě doba pobytu mimo systém obsluhy) má exponenciální rozdělení s parametrem λ , tj. se střední hodnotou $T_v = 1/\lambda > 0$.

Analogicky platí, že také doba obsluhy prvků má exponenciální rozdělení s parametrem μ , tj. se střední hodnotou $T_n = 1/\mu > 0$.

Pro výpočet charakteristik systému je nejprve třeba stanovit intenzitu provozu systému. Intenzita provozu systému bude značena ρ a je dána následujícím vztahem:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (13)$$

kde

- λ je parametr exponenciálního rozdělení, které charakterizuje dobu pobytu prvku mimo systém obsluhy
- μ je parametr exponenciálního rozdělení, které charakterizuje dobu obsluhy prvků

Pravděpodobnost, že délka obsluhy T_n bude menší než sledovaný časový interval t je dána vztahem:

$$P(t_n \leq t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (14)$$

Parametr λ vyjadřuje intenzitu vstupu prvků do systému a je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{1}{T_v} \quad (15)$$

kde T_v je průměrná doba pobytu prvků mimo systém obsluhy.

Parametr μ vyjadřuje intenzitu obsluhy prvků a je dán vztahem:

$$\mu = \frac{1}{T_n} \quad (16)$$

kde T_n je průměrná doba obsluhy prvků.

Jako celek je systém hromadné obsluhy charakterizován intenzitou provozu systému, pro kterou platí:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{T_n}{T_v} \quad (17)$$

Uzavřený systém obsluhy, značený podle Kendallovy klasifikace $\mathbf{M} / \mathbf{M} / \mathbf{n} / \mathbf{m}$ lze popsat charakteristikami, které jsou vyjádřeny následujícími vztahy, v nichž pro q_j platí:

$$q_j = 1 \quad \text{pro } j = 0$$

$$q_j = \frac{m - j + 1}{j} \rho \cdot q_{j-1} \quad \text{pro } 0 < j \leq n \quad (18)$$

$$q_j = (m - j + 1) \alpha \cdot q_{j-1} \quad \text{pro } n < j \leq m \quad (19)$$

$$\alpha = \rho / n \quad (20)$$

a kde:

n ...celkový počet obslužných prvků

m ...celkový počet obsluhovaných prvků (resp. počet dopravovaných rozhodujících materiálů)

q_j ...substituce pro výpočet charakteristik systému

1. $\mathcal{E}(N)$... průměrný počet prvků v systému obsluhy

$$\mathcal{E}(N) = \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot q_j}{\sum_{j=0}^m q_j} \quad (21)$$

2. $\mathcal{E}(N_s)$... průměrný počet obsazených linek v systému obsluhy

$$\mathcal{E}(N_s) = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} j \cdot q_j + n \sum_{j=n}^m q_j}{\sum_{j=0}^m q_j} \quad (22)$$

3. $\mathcal{E}(N_Q)$... průměrný počet čekajících prvků ve frontě

$$\mathcal{E}(N_Q) = \frac{\sum_{j=n+1}^m (j - n) q_j}{\sum_{j=0}^m q_j} = \mathcal{E}(N) - \mathcal{E}(N_s) \quad (23)$$

4. $\mathcal{E}(N_R)$... průměrný počet prvků mimo systém obsluhy

$$\mathcal{E}(N_R) = \frac{\sum_{j=1}^m j q_{m-j}}{\sum_{j=0}^m q_j} = m - \mathcal{E}(N_s) - \mathcal{E}(N_Q) \quad (24)$$

5. κ využití systému (linky obsluhy)

$$\kappa = \frac{\mathcal{E}(N_s)}{n} = \rho \cdot \mathcal{E}(N_R) \quad (25)$$

6. $\mathcal{E}(W_Q)$...průměrná doba čekání prvku ve frontě

$$\mathcal{E}(W_Q) = \frac{\mathcal{E}(N_Q)}{\lambda \mathcal{E}(N_R)} \quad (26)$$

7. $\varepsilon(W_0)$... průměrná doba oběhu prvku, je složena z doby čekání, doby obsluhy a z doby pobytu mimo systém.

$$\varepsilon(W_0) = \varepsilon(W_Q) + \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\lambda} \quad (27)$$

5.5.2 Metoda posouzení časového využití jeřábu nebo jeřábové sestavy

Předvídat všechny pohyby jeřábu v průběhu jeho nasazení při realizaci stavby je nemožné. Přesto je třeba hledat způsob, který by poměrně snadno a přitom dostatečně přesně modeloval předpokládané pohyby jeřábu a stanovil tak potřebné časové nasazení navrhovaného jeřábu nebo jeřábových sestav.

Vychází se z následujících skutečností a zjednodušujících předpokladů:

- Uvažuje se plynulý postup výstavby a převážně plynulý odběr materiálů
- DSP, pracovní pochody (viz část 2) vyžadující obsluhu jeřábem, resp. materiály, které jsou dopravovány jeřáby, jsou podle charakteru požadavků na zásobování rozděleny do tří základních skupin:
 1. skupina DSP, vyžadující prakticky plnou časovou kapacitu jeřábu (např. některé montážní práce, betonování). Pro časový interval mezi dodávkami materiálu platí vztah:

$$t_c = t_s + t_w \quad (28)$$

kde:

t_c ...časový interval mezi dodávkami jednotkového množství materiálu
 t_s ...skutečná doba obsluhy jeřábem – doba jednoho pracovního cyklu jeřábu
 t_w ... doba prvku (díličího stavebního procesu 1.skupiny) mimo systém obsluhy
 přitom $t_w \ll t_s$, nebo $t_w = 0$

Hodnota t_w je hodně menší než t_s a často se blíží k nulové hodnotě. Pokud je DSP zařazen do 1.skupiny, předpokládá se dále, že $t_w = 0$

2. skupina DSP (nebo pracovních pochodů), nevyžadující pro dodávky jednotlivých materiálů plnou časovou kapacitu jeřábu. Nejčastěji se jedná o dodávání jednotkového množství materiálu v určitých časových intervalech s menším zdržením jeřábu nebo bez dalšího zdržení (např. bednění, vyztužování, zdění, osazování překladů). Pokud není k dispozici v průběhu pracovní směny dostatečná volná kapacita jeřábu, mohou být za určitých podmínek (volný prostor při dodržení pracovních pásem) některé DSP této skupiny materiálem předzásobeny. Pro časový interval mezi dodávkami materiálu platí následující vztah:

$$t_c = t_s + t_v \quad (29)$$

kde:

t_c ...časový interval mezi dodávkami jednotkového množství materiálu
 t_s ...skutečná doba obsluhy jeřábem – doba jednoho pracovního cyklu jeřábu
 t_v ...doba prvku (díličího stavebního procesu 2.skupiny) mimo systém obsluhy

3. skupina DSP, které mají požadavky na obsluhu jeřábem atypické, ($t_s > 30$ min., jsou plánovány jen na část pracovní směny a četnost požadavků na obsluhu je minimální, tedy menší než $1x / 120$ min., např. doprava technologických vybavení objektu).

- Pro DSP 1. skupiny bude uvažováno plné časové vytížení jeřábu. Pokud pro dopravovaný prvek nebo materiál bude platit vztah (28) a přitom je plánovaná dodávka materiálu jeřábem na celou pracovní směnu nebo celý vyhodnocovaný časový úsek, bude považován tento materiál za tzv. „rozhodující materiál“ 1.skupiny. Často se jedná například o prvky montovaných staveb nebo zásobování čerstvým betonem.
- Výpočet potřebné doby obsluhy jeřábem, využívající teorie hromadné obsluhy, bude vycházet z požadavků na přepravu tzv. „rozhodujících materiálů“ 2.skupiny DSP. To jsou materiály, které nevyžadují plné časové vytížení jeřábu a které mají požadavek na obsluhu jeřábem vždy alespoň 1x /120 min. v průběhu celé vyhodnocované doby (pracovní směny), tedy $t_c \leq 120$ minut. „Rozhodujícími materiály“ 2.skupiny budou i materiály splňující podmínku $t_c \leq 120$ minut a přitom jimi lze DSP za určitých podmínek předzásobit.
- Ostatní požadavky materiálů na přepravu jeřábem, které požadují obsluhu méně jak 1x /120 min., tedy $t_c > 120$ minut a případně další „nepředvídatelné“ požadavky na obsluhu jeřábem (neplánované požadavky na přesun materiálů uvnitř objektu a podobně), budou ve výpočtu zohledněny koeficientem „ostatních materiálů“ k_o ($k_o = 0,25$). Hodnota koeficientu k_o vychází z praktických zkušeností, že požadavky těchto „ostatních materiálů“ společně s „nepředvídatelnými“ požadavky představují asi 20% z časového zdržení jeřábu.
- Netypické požadavky „rozhodujících materiálů“ DSP 3. skupiny budou zohledňovány individuálně, podle daných konkrétních požadavků a podmínek.

Pro posouzení časového vytížení navrhovaného jeřábu nebo jeřábové sestavy, při obsluze více DSP probíhajících na stavbě souběžně, je třeba nejprve určit následující vstupní údaje pro výpočet.

Tab.6 Vstupní údaje DSP pro výpočet

| | |
|------------|--|
| TE | technologická etapa výstavby, ve které budou využity věžové jeřáby |
| T_s | doba trvání pracovní směny |
| DSP | DSP a materiály, vyžadující přepravu věžovým jeřábem |
| Q_c | celkové požadované množství těchto materiálů pro přepravu |
| P_s | počet pracovních směn vyžadujících dodávku sledovaného materiálu |
| Q | celkové požadované množství materiálu pro přepravu za jednu směnu |
| J | jednotkové množství materiálu pro přesun jeřábem |
| m | hmotnost jednotkového množství materiálu pro přesun jeřábem |
| S | materiály pro technologickou etapu rozdělit do skupin podle charakteru požadavků na zásobování jeřábem |
| $R M$ | rozhodující materiály v jednotlivých skupinách |
| překládka | vyžadovaná překládka rozhodujícího materiálu na staveništní skládku |
| předzásob. | možnost předzásobení rozhodujícím materiálem |

Dále se postupně vypočítá (ze vztahů uvedených v habilitační práci):

- Pro „rozhodující materiály“ 1.skupiny platí pro dobu $T_1 = T_s$, předpokládá se průběh činnosti po celou dobu pracovní směny.
kde:
 T_1, \dots potřebná doba nasazení jeřábu k požadované obsluze DSP 1.skupiny
- Pro jednotlivé rozhodující materiály 2. skupiny DSP se nejprve určí hodnoty uvedené v následující tabulce:

Tab.7 Vstupní údaje rozhodujících materiálů 2. skupiny DSP

| | |
|-------|--|
| t_c | časový interval mezi dodávkami jednotkového množství materiálu (vychází z časového harmonogramu, výkonových norem nebo zpracovaných tabulek) |
| t_s | doba obsluhy jeřábem – doba jednoho pracovního cyklu jeřábu |
| t_v | doba obsluhovaného prvku mimo systém obsluhy |

Postupně se vypočte:

- T_n ... průměrná doba obsluhy prvků (rozhodujících materiálů).
- T_v ... průměrná doba prvků (rozhodujících materiálů) mimo systém obsluhy.
- T_c ... průměrný časový interval mezi dodávkami.
- C_p ... počet pracovních cyklů za směnu.
- ρ intenzita provozu systému.
- podle posuzované situace (Kendallova klasifikace) se postupně určují charakteristiky systému \mathcal{E} .
- vypočte se potřebná doba T_r pro plánovanou obsluhu rozhodujících materiálů na jednu pracovní směnu, zohledňující zdržení způsobené čekáním na obsluhu.
- zohlední se doba zdržení, které je způsobeno obsluhou „ostatních materiálů“.
- vypočte se celková potřebná doba nasazení jeřábu $T_{(2)}$ pro plánovanou obsluhu materiálů 2. skupiny DSP v jedné pracovní směně.
- stanoví se využití jeřábu $\kappa(T_2)$, při zásobování „rozhodujících materiálů“ 2. skupiny a využití jeřábu $\kappa(T_2')$ při předzásobení
- posoudí se vazba primární a sekundární dopravy „rozhodujících materiálů“ a stanoví se časové požadavky pro přeložení materiálu na meziskládku.
- Individuálně se zohlední časové požadavky na obsluhu $T_{(3)}$ „rozhodujících materiálů“ 3. skupiny DSP.

Pokud vypočtené hodnoty pro posouzení potřebné doby nasazení jeřábu a jeho možného časového vytížení v jednotlivých pracovních směněch nesplňují časové požadavky vzhledem k délce pracovní směny nebo celkově k závazným lhůtám výstavby, je možné hledat řešení několika následujícími způsoby:

- předzásobit stavebním materiálem DSP, které to umožňují z hlediska technologického postupu a nutného volného pracovního prostoru
- posunout DSP s časovou rezervou nebo prodloužit jejich dobu trvání (rozvolní se požadavky na jeřáb)
- využít dvousměnný provoz, přesunout některé DSP, vyžadující obsluhu jeřábem a umožňuje-li to technologický postup výstavby do 2. směny a tím snížit požadovanou výkonnost jeřábu
- navrhnout výkonnější jeřáb nebo zvýšit počet jeřábů

5.5.3 Modely pro posouzení časového vytížení věžových jeřábů

Pro posouzení časového vytížení věžových jeřábů jsou uvažovány čtyři následující modely:

Model A:

Situace, kdy na stavbě je navržen jeden jeřáb, který ve sledovaném období - technologické etapě výstavby - bude podle plánu obsluhovat pouze jednu pracovní skupinu a ta bude mít požadavek na zásobování jedním *rozhodujícím materiálem* (například zásobování montážní čety).

Model B:

Posuzuje se systém obsluhy, kdy je pro časové období výstavby (např. technologickou etapu) navržen jeden jeřáb, který může obsluhovat souběžně více než jeden DSP, resp. v systému obsluhy obíhá více než jeden prvek. Jedním jeřábem je souběžně dodáváno *m rozhodujících materiálů*.

Podle Kendallovy klasifikace lze systém označit jako uzavřený typu $M/M/1/m$.

Model C:

Posuzuje se systém obsluhy, kdy jsou pro určité časové období výstavby navrženy dva a více jeřábů, které společně souběžně obsluhují DSP, vyžadující zásobování dvěma a více rozhodujícími materiály. Toto řešení se často volí v situaci, kdy je požadována velmi krátká doba výstavby

Podle Kendallovy klasifikace lze systém označit jako uzavřený typu $M/M/n/m$.

Model D:

Posuzuje se systém obsluhy, kdy jsou pro určité časové období výstavby navrženy dva a více jeřábů, každý z jeřábů obsluhuje samostatně určené DSP a přitom tyto jeřáby souběžně obsluhují další DSP společně.

Podle Kendallovy klasifikace lze tento systém označit jako *n* uzavřených systémů typu $M/M/1/m$.

Postup posouzení časového vytížení věžových jeřábů je pro jednotlivé modely v habilitační práci podrobněji popsán a pro větší názornost jsou pro modely *B, C a D* vypočítány příklady. Byly přitom využity podklady z výstavby osmipodlažního bytového domu v Brně. Zde je jako příklad uveden výpočet pro model B.

Stručný popis objektu:

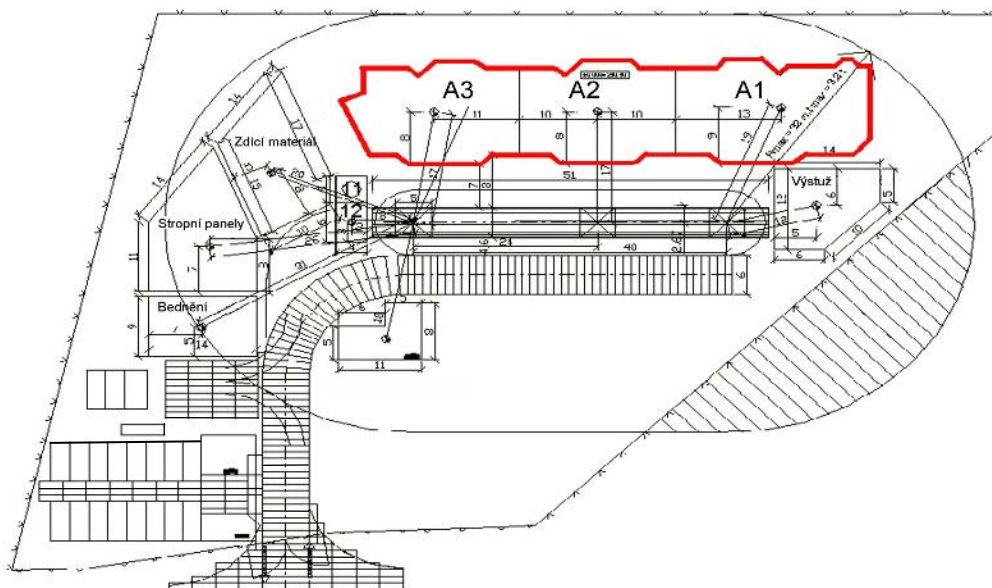
Osmipodlažní bytový dům (základní rozměry objektu: délka 63,7m, šířka 12,9 m, výška 21,3 m) je rozdělen do tří sekcí, A1, A2, A3. Je založen na vrтанých pilotách o průměru 600 mm. Na pilotách je navržen železobetonový rošt z pasů o průřezu 600/600 mm.

Svislé vnitřní nosné stěny jsou železobetonové monolitické v tloušťce 180mm. Mezi jednotlivými byty a mezi byty a schodišťovým prostorem, jsou stěny z jedné strany opatřeny izolací z polystyrenu tl. 20 mm a přízdívkou z YTONGU tl. 50mm na tenkovrstvou maltu.

Obvodové stěny jsou z cihelných tvárnic POROTHERM o tloušťce 44 P + D na tepelně izolační maltu.

Stropní konstrukci a balkony tvoří monolitická železobetonová deska tl. 140 mm, spřažená s filigránovými deskami tloušťky 60 mm.

Počet bytů v jednotlivých sekcích : A1 - 35 bytů , 1.PP + 7NP,
A2 - 28 bytů , 1.PP + 7NP,
A3 - 24 bytů , 1.PP + 6NP.



Obr.19 Koncept situace zařízení staveniště bytového domu



Obr.20 Průběh výstavby 5.NP



Obr.21 Zásobování stavby zdicím a bednicím materiálem

Příklad – výpočet pro model B

Posuzovaný systém typu M / M/ 1/ m – jedním jeřábem obsluhováno společně více prvků
 Jeden jeřáb zásobuje souběžně probíhající dílčí stavební procesy, zásobuje pracovní skupiny *m* rozhodujícími materiály. Hledá se celková potřebná doba nasazení jeřábu pro obslužení požadavků.

Postup vyhodnocení modelu B:

Nejprve se stanoví vstupní údaje zásobovaných DSP podle tab.6 a tab.7.

Dále se stanoví:

1. Pracovní směny, kdy budou obsluhovány DSP 1.skupiny, určí se doba $T_{(1)}$
 Pro DSP 2.skupiny se postupně určí:
2. T_n ...průměrná doba obsluhy prvků (pracovních skupin)
3. T_vprůměrná doba prvků (pracovních skupin) mimo systém obsluhy
4. T_cprůměrný časový interval mezi dodávkami materiálu
5. ρ intenzita provozu systému - podle vztahu (17)
6. C_p ...průměrný počet pracovních cyklů DSP za směnu

7. pro $n = 1$ (jeden jeřáb) a m rozhodujících přepravovaných materiálů se podle vztahů (18),(19) a (20) určí q_j (substituční prvky pro výpočet, pro $j = 0,1,2...m$)

Vypočtou se následující charakteristiky systému:

8. $\varepsilon(N)$ průměrný počet prvků v systému obsluhy – podle vztahu (21)
9. $\varepsilon(N_S)$ průměrný počet obsazených linek v systému obsluhy – podle vztahu (22)
10. $\varepsilon(N_Q)$... průměrný počet čekajících prvků ve frontě – podle vztahu (23)
11. $\varepsilon(N_R)$... průměrný počet prvků mimo systém obsluhy – podle vztahu (24)
12. κ využití systému (linky obsluhy) – podle vztahu (25)
13. $\varepsilon(W_Q)$... průměrná doba čekání prvku ve frontě – podle vztahu (26)
14. $\varepsilon(W_O)$... průměrná doba oběhu prvku – podle vztahu (27)

Dále se vypočte:

15. T_r doba pro plánovanou obsluhu rozhodujících materiálů na jednu pracovní směnu, zohledňující zdržení způsobené čekáním na obsluhu – podle vztahu (8.37) v HP
16. T_Z doba zdržení jeřábu za jednu pracovní směnu, které je způsobeno obsluhou „ostatních materiálů“, – podle vztahu (8.38) v HP
17. $T_{(2)}$ potřebná doba nasazení jeřábu k požadované obsluze DSP 2.skupiny na jednu pracovní směnu, zohledňující zdržení způsobené čekáním na obsluhu – podle vztahu (8.39) v HP
18. $T_{(3)}$ Individuálně se zohlední časové požadavky na obsluhu T_3 „rozhodujících materiálů“ 3. skupiny DSP.

Podle vypočtených výstupních údajů časového vytížení jeřábu pro jednotlivé směny (viz také část 8.3.2 a 8.4 habilitační práce) se posoudí, zda navrhovaný jeřáb vyhoví požadavkům DSP na zásobování. Další řešení situace viz část 8.3.2 HP.

Výpočet pro model B:

V příkladu se posuzuje plánované nasazení věžového jeřábu v jedné pracovní směně v průběhu hrubé stavby, kdy v sekci A2 probíhá odbedňování a zdění svislých konstrukcí a souběžně v sekci A3 se bední a vyztužují svislé nosné konstrukce. Souběžně pracují a obsluhu jeřábem vyžadují čtyři skupiny pracovníků. Rozhodujícím materiálem podle stanovených podmínek jsou prvky bednění, keramické zdící prvky a materiál pro vyztužování svislých konstrukcí. Z důvodu zachování minimálního pracovního prostoru bude nejprve uvažován příklad, kdy materiál nelze k pracovnímu místu předzásobit. Pro přesun materiálu je navržen jeřáb MB 1030.1, který je na jeřábové dráze. Doba pracovní směny je 8,5 hodiny, čistý čas práce je uvažován 480 minut.

Rozbor požadavků posuzovaných DSP (viz také tab.6), vyžadujících obsluhu jeřábu souběžně ve stejné pracovní směně je uveden v následujících tabulkách.

Tab.8. Vstupní hodnoty DSP – zdění obvodových stěn z keramických tvárníc POROTHERM 44 P + D

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | měr. jed. | Ps počet směn | Qc množství celkem | J přepravovaná jednotka | Q množství za směnu |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Zdění obv. .kcí v sekci A2 | keramické bloky | m ³ | 3 | 38,5 | 1,4 | 13 |

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | C-cyklů za směnu | t _s -doba obsluhy [min] | t _v -doba mimo systém [min] | t _c -doba prac.cyklu [min] |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Zdění obv. .kcí v sekci A2 | keramické bloky | 10 | 5,1 | 42,9 | 48 |

Tab.9 Vstupní hodnoty DSP – odbedňování svislých nosných stěn

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | měr. jed. | Ps počet směn | Qc množství celkem | J přepravovaná jednotka | Q množství za směnu |
|------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Odbedňování v sekci A2 | bednicí prvky | m ² | 2 | 280 | 8,4 | 140 |

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | C-cyklů za směnu | t _s -doba obsluhy [min] | t _v -doba mimo systém [min] | t _c -doba prac.cyklu [min] |
|------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Odbedňování v sekci A2 | bednicí prvky | 17 | 15,1 | 13,9 | 29 |

Tab.10 Vstupní hodnoty DSP – bednění svislých nosných stěn

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | měr. jed. | Ps počet směn | Qc množství celkem | J přepravovaná jednotka | Q množství za směnu |
|--------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Bednění v sekci A3 | bednicí prvky | m ² | 3 | 280 | 8,4 | 94 |

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | C-cyklů za směnu | t _s -doba obsluhy [min] | t _v -doba mimo systém [min] | t _c -doba prac.cyklu [min] |
|--------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Bednění v sekci A3 | bednicí prvky | 12 | 15,1 | 24,9 | 40 |

Tab.11 Vstupní hodnoty DSP – vyztužování svislých nosných stěn

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | měr. jed. | Ps počet směn | Qc množství celkem | J přepravovaná jednotka | Q množství za směnu |
|------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Vyztužování v sekci A3 | Konstrukční ocel | t | 2 | 4,0 | 0,5 | 2,0 |

| DSP | Rozhodující materiál pro zásobování | C-cyklů za směnu | t _s -doba obsluhy [min] | t _v -doba mimo systém [min] | t _c -doba prac.cyklu [min] |
|--------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Bednění v sekci A3 | bednicí prvky | 4 | 5,7 | 114,3 | 120 |

Dále se stanoví hodnoty, charakterizující výše uvedené obsluhované DSP a jejich požadavky na zásobování:

Tab.12 Hodnoty, charakterizující obsluhované DSP a jejich požadavky na zásobování

| T _n [min] | T _v [min] | T _c [min] | ρ | C _p |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------|----------------|
| 11,9 | 33,1 | 45,0 | 0,35951 | 10,7 |

Tab.13 Výpočet charakteristik systému M/M/1/4

| ε(N) | ε(N _s) | ε(N _Q) | ε(N _R) | κ | ε(W _Q) [min] | ε(W _O) [min] |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|------|--------------------------|--------------------------|
| 1,72373 | 0,81836 | 0,90537 | 2,27627 | 0,82 | 13,2 | 58,2 |

- vypočte se potřebná doba T_r pro plánovanou obsluhu rozhodujících materiálů na jednu pracovní směnu, zohledňující zdržení způsobené čekáním na obsluhu – podle následujícího vztahu

$$T_r = C_p \cdot \varepsilon(W_o) - t_{v \min} = 10,7 \cdot 58,2 - 13,9 = 608,9 \text{ [min]}$$

- zohlední se doba zdržení, které je způsobeno obsluhou „ostatních materiálů“ a dalších nepředvídatelných okolností – podle vztahu

$$T_z = 0,25 \cdot C_p \cdot \varepsilon(W_o) = 35,3 \text{ [min]}$$

- vypočte se celková potřebná doba $T_{(2)}$ pro plánovanou obsluhu materiálů 2. skupiny DSP v jedné pracovní směně. Doba $T_{(2)}$ zohledňuje požadavky všech materiálů 2. skupiny DSP, vyžadující obsluhu jeřábem v dané směně

$$T_2 = T_r + T_z = 644,2 \approx 645 \text{ [min]}$$

Ve vyhodnocované pracovní směně, kdy rozhodujícími materiály jsou zásobovány pracovní skupiny provádějící bednění, odbedňování, zdění a vyztužování svislých konstrukcí, bude celkové zdržení asi 165 minut, tedy potřebný čas na obsluhu všech požadavků bude asi 645 minut. Přitom časové využití jeřábu je 82%. Pokud materiály pro zdění a vyztužování mohou být předzásobeny, bude výpočet proveden pouze pro obsluhu jeřábem při bednění a odbedňování. Postupuje se stejně jako v předchozím příkladě, dílčí hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab.14 Hodnoty, charakterizující obsluhované DSP a jejich požadavky na zásobování

| Tn [min] | Tv [min] | Tc [min] | ρ | Cp |
|----------|----------|----------|---------|------|
| 15,1 | 18,5 | 33,6 | 0,81622 | 14,3 |

Tab.15 Výpočet charakteristik systému M/M/1/2

| $\varepsilon(N)$ | $\varepsilon(N_s)$ | $\varepsilon(N_o)$ | $\varepsilon(N_R)$ | κ | $\varepsilon(W_Q)$ [min] | $\varepsilon(W_o)$ [min] |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| 1,08384 | 0,74778 | 0,33606 | 0,916158 | 0,74778 | 6,8 | 40,4 |

$$T_r = 563,8 \text{ [min]}$$

$$T_z = 24,3 \text{ [min]}$$

$$T_2 = T_r + T_z = 588,1 \text{ [min]}$$

Bude-li materiál pro zdění a vyztužování předzásoben a bude-li jeřáb MB 1030.1 během pracovní směny obsluhovat pracovní skupiny „rozhodujícími materiály“ pro bednění a odbednění svislých konstrukcí, dojde během pracovní směny vlivem nahodilosti požadavků všech zásobovaných DSP (včetně zohlednění „ostatních materiálů“) ke zdržení asi o 108 minut. Celková doba obsluhy jeřábem bude asi 588 minut. Přitom časové využití jeřábu je 75%. Tato doba (z hlediska jedné pracovní směny) bude zřejmě pro zhotovitele akceptovatelná, nebude třeba nasazovat další jeřáb.

5.6 METODIKA NÁVRHU VĚŽOVÝCH JEŘÁBŮ PRO STAVBU

Návrh jeřábu má podstatný vliv na racionální a ekonomicky efektivní průběh průběh především hrubé stavby objektu a také na projekt zařízení staveniště. Při návrhu zvedacího prostředku je třeba uvážit a zohlednit:

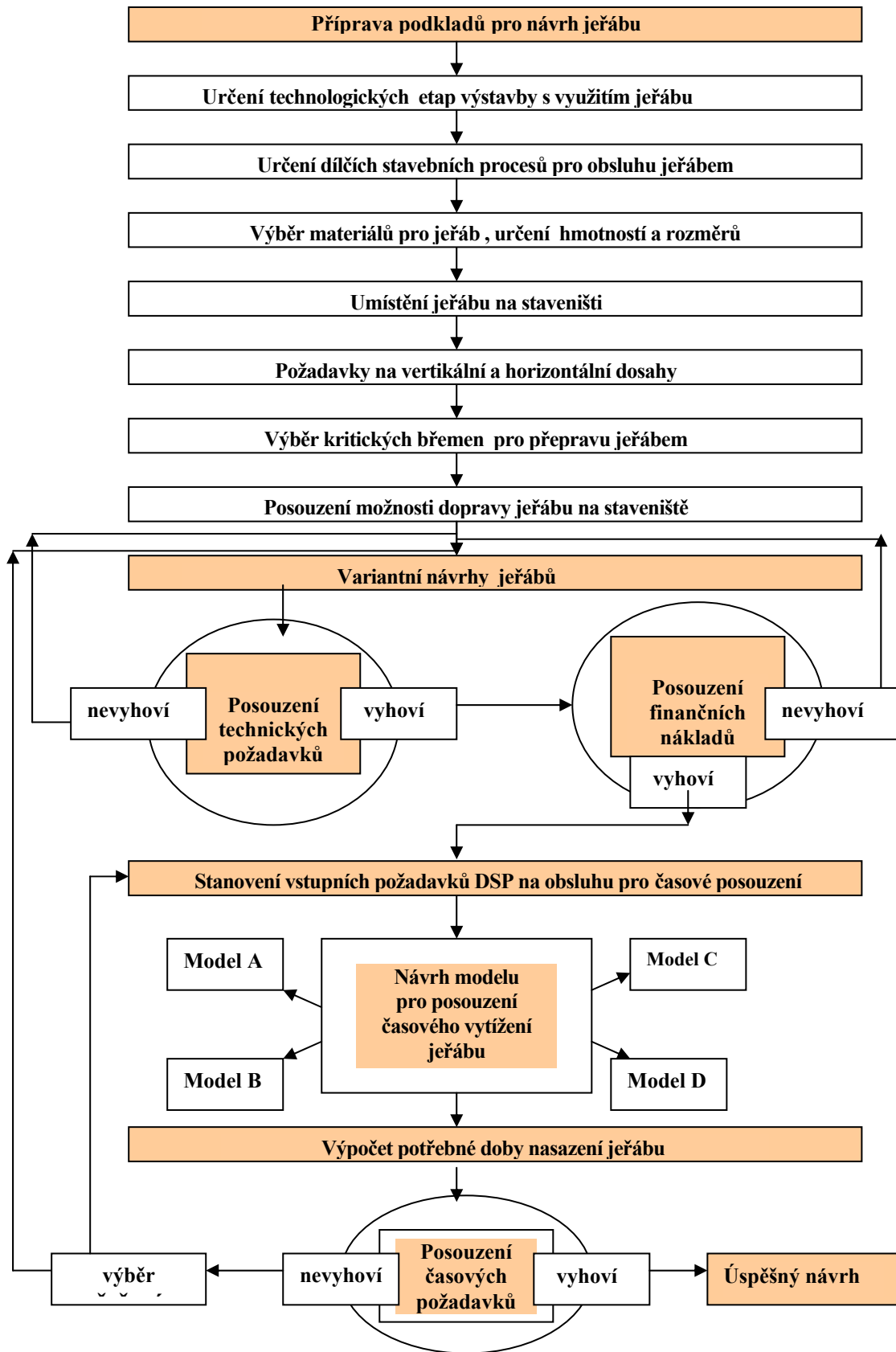
- charakter konstrukce objektu
- tvar a hmotnost zvedaných prvků, jejich rozměry a vzdálenosti při osazování (nejvýše osazovaný prvek, nejvzdálenější prvek od osy jeřábu, nejtěžší prvek, nejbližší prvek k ose

- jeřábu, výška prvku, výška závěsu, manipulační výška při osazování prvku)
- tvar a rozměry objektu a jeho dispoziční a výškové uspořádání
 - charakter staveniště vzhledem k dopravě, montáži a umístění jeřábu a umístění skládek materiálu
 - možnosti vnitrostaveništního dopravního systému
 - požadovanou rychlost výstavby
 - finanční náklady spojené s pronájmem, dopravou, montáží a provozem jeřábu

Pro optimální návrh stavebního jeřábu lze na základě získaných poznatků odvodit následující metodický postup:

1. Příprava podkladů pro návrh jeřábu:
 - koncepce situace staveniště s vyznačením předpokládaného staveništního provozu
 - podrobný časový plán stavby
 - plán čerpání potřebných zdrojů pro výstavbu, především materiálů vyžadujících dopravu staveništním jeřábem
 - technologický sled, případně technologické předpisy stavebních procesů, pro které bude zvedací prostředek využíván
 - katalog jeřábů s jejich technickými parametry

Pro posouzení časového využití jeřábu resp. jeho výkonnosti je možné vycházet ze sestavených tabulek 8.2 – 8.6 a grafů 8.2 – 8.55: Požadavky na zásobování vybranými materiály podle typu konstrukce a dále z vypočtených hodnot pro jednotlivé skupiny jeřábů, sestavených v tab 8.12 – 8.17: Stanovení doby přesunu materiálů podle TPC pro věžové jeřáby (jsou uvedeny v habilitační práci).
2. Určit technologické etapy výstavby u nichž se předpokládá využití stavebních jeřábů
3. Určit dílčí stavební procesy, které vyžadují obsluhu jeřábem
4. Pro jednotlivé dílčí stavební procesy vybrat materiály, které budou přepravovány jeřábem,
5. Zvážit možnost umístění stacionárních jeřábů, jeřábových drah nebo jeřábových stání pro mobilní jeřáby
6. Z variant umístění stacionárních jeřábů nebo jeřábových drah vyhodnotit potřebné vertikální a horizontální dosahy
7. Určit kritická břemena, která mohou vyvodit nejnepríznivější momenty na momentovém diagramu únosnosti jeřábu
8. Zohlednit možnosti dopravy jeřábu na staveniště, využití místa pro montáž jeřábu a případně další okolnosti, které mohou volbu jeřábu ovlivnit
9. Zpracovat variantní návrhy vyhovujících typů jeřábů, případně stanovit jejich počet (postupuje se od menšího počtu k většímu nebo se využije pro předběžný návrh některé metody využívající ukazatele viz kap. 7.6 habilitační práce) a rozmístění na staveništi
10. Posoudit potřebné finanční náklady spojené s pronájmem, dopravou, montáží a provozem jeřábu. Jde především o položky uvedené v kapitole 7.7 habilitační práce
11. Zvolit model (A, B, C nebo D) pro posouzení časového vytížení jeřábů
12. Podle navrhované metody posouzení časového vytížení jeřábu nebo jeřábové sestavy vypočítat potřebnou dobu pro nasazení jeřábu nebo jeřábové sestavy
13. Vyhodnotit potřebnou dobu nasazení jeřábů, (pokud návrh nespĺňuje závazné lhůty výstavby, je možné postupovat podle navržených možností viz kap. 8.3.2 habilitační práce)



Obr.22 Diagram pro postup návrhu stavebních jeřábů

Podklady pro sestavení počítačového programu

Pro rychlé posouzení časového vytížení jeřábu nebo jeřábové sestavy navrhovanou metodou se předpokládá využití počítačového programu. V následující části jsou uvedena předpokládaná vstupní a výstupní data.

Základní vstupní údaje, které je třeba zadat, jsou uvedeny v tab.16.

Tab.16 Základní vstupní údaje pro posouzení časového vytížení věžového jeřábu

| | |
|----------------|--|
| TE | technologická etapa výstavby, ve které budou využity věžové jeřáby |
| T _s | doba trvání pracovní směny - čistý čas práce v minutách |
| DSP | DSP a materiály, vyžadující přepravu věžovým jeřábem |

Dále se pro výpočet zadávají tyto údaje:

Tab.17 Vstupní údaje pro posouzení časového vytížení věžového jeřábu

| | |
|----------------|--|
| Q _c | celkové požadované množství materiálů pro přepravu |
| P _s | počet pracovních směn vyžadujících dodávku sledovaného materiálu |
| J | jednotkové množství materiálu pro přesun jeřábem |
| m | hmotnost jednotkového množství materiálu pro přesun jeřábem |
| R M | rozhodující materiály v jednotlivých skupinách podle charakteru zásobování |
| překládka | vyžadovaná překládka rozhodujícího materiálu na staveništní skládku |
| předzásob. | možnost předzásobení rozhodujícím materiálem |

Dále se zadává:

- druh navrhovaného jeřábu podle účelu využití
- TPC jeřábu
- hmotové těžiště pro zásobování technologické etapy

Při zadávání vstupních dat lze vycházet z již zpracovaných podkladů v rámci přípravy stavby. Zpracování těchto podkladů si v současné době vyžaduje využití stavebních softwarů pro přípravu a řízení staveb, které obsahují řadu uvedených potřebných vstupních údajů a informací pro posouzení časového vytížení jeřábu nebo jeřábové sestavy navrhovanou metodou .

Následující tabulka 18 uvádí výstupní data navrhované metody.

Tab.18 Označení výstupních údajů pro vyhodnocení časových požadavků na navrhovaný věžový jeřáb (časové údaje jsou uváděny v minutách)

| Označení | Popis výstupu |
|-------------|---|
| datum | datum pracovní směny vyhodnocovaného období (technologická etapa) |
| $S_{T(1)}$ | doba pro nasazení jeřábu v posuzované pracovní směně při zásobování „rozhodujícími materiály“ DSP 1.skupiny v dané sekci. |
| S_K | využití jeřábu (ve sledovaném čas.úseku) při samostatně obsluhovaných DSP |
| S_v | volná kapacita jeřábu při samostatně obsluhovaných DSP |
| $T_{(2)}$ | doba potřebná pro nasazení jeřábu v jedné směně při souběžném zásobování plánovaných DSP 2.skupiny |
| R+ | doba překročení plánované pracovní doby pro jeřáb |
| $T_{(2^-)}$ | doba potřebná pro nasazení jeřábu v jedné směně při souběžném zásobování plánovaných DSP 2.skupiny. - bez materiálů které lze předzásobit |
| P | doba potřebná pro předzásobení vybraným materiálem (pro množství odebrané za jednu směnu). |
| $K(T_2')$ | využití jeřábu při předzásobení vybranými materiály |
| $K(T_2)$ | využití jeřábu při obsluze „rozhodujících materiálů“ 2.skupiny (bez předzásobovaných materiálů) |
| K | celkové uvažované využití jeřábu (zohlednění „ostatních“ materiálů) |
| $v(p)$ | volná kapacita jeřábu (k využití pro předzásobení) |
| T1 | celková doba pro nasazení jeřábu při obsluze DSP 1.skupiny v jedné směně |
| T2 | celková uvažovaná doba pro nasazení jeřábu při obsluze DSP 2.skupiny v jedné směně |
| T3 | celková doba pro nasazení jeřábu při obsluze DSP 3.skupiny v jedné směně |
| ΣT | celková doba pro nasazení jeřábu v jedné směně |
| R | celková doba překročení pracovní směny |
| směna | doba pro nasazení navrhovaného jeřábu – vyjádřeno ve směnách |
| návrh | výsledný požadavek na obsluhu jeřábem – vyjádřeno graficky |
| překládka | čas uvažovaný pro překládku materiálu za směnu |

Výsledná výstupní data, pro posouzení potřebné doby nasazení věžového jeřábu v jednotlivých směnách, která se zohledňují při návrhu jeřábu, jsou zpracována tabelárně. Podle tohoto podkladu přípravitel posoudí požadované časové nasazení jeřábu a rozhodne o možnosti jeho využití, případně navrhne další řešení (podrobněji kap.8.3.2 habilitační práce).

Navrhovaná metoda pro posouzení časového vytížení věžových jeřábů je v habilitační práci ověřována na konkrétních příkladech zásobovacích úloh. Využití metody pro posouzení extenzivního vytížení věžových jeřábů je podrobně předvedeno v kapitole 9 habilitační práce.

6 ZÁVĚR

Část 1 až 5 předložené habilitační práce je úvodem do problematiky výrobní přípravy, která je jednou ze základních podmínek úspěšné realizace každého výrobního procesu, tedy i procesů ve stavebnictví. Tato skutečnost je doložena příklady z historie i současnosti.

Součástí výrobní přípravy je také modelování výrobního prostoru stavby. Ten je obvykle vymezen tvarem a rozměry stavěných objektů, způsoby jejich provádění, souborem nutných objektů zařízení staveniště a půdorysným i výškovým dosahem hlavních zvedacích mechanismů – jeřábů.

Část 6 zdůvodňuje a specifikuje hlavní záměr habilitační práce, jímž je optimalizace návrhu věžových jeřábů, které jsou při realizaci stavby důležitým faktorem technickým, technologickým i ekonomickým.

V části 7 je provedena a vyhodnocena analýza současného stavu při zásobování výrobních procesů potřebnými materiály pomocí věžových jeřábů. Zabývá se základními modely dodávky materiálu na stavbu a požadavky na zásobování pracovních čet u řídicích procesů výstavby. Uvádí reprezentanty základních druhů jeřábů používaných při výstavbě objektů pozemních staveb, hodnotí možnosti jejich využití a uvádí jejich základní technické parametry. Analyzuje také současné metody jejich výběru a návrhu pro danou stavbu a poukazuje na jejich nedostatky.

Část 8 je zaměřena na exaktní řešení návrhu jeřábu pro konkrétní stavbu, se specifickým konstrukčním systémem, technologií výstavby a závaznou lhůtou jejího provedení. Zabývá se způsobem stanovení požadavků na kapacitu jeřábu, výpočtem požadavků řídicích procesů na zásobování materiálem a propočtem doby jejich obsluhy jeřábem. Posuzuje způsoby stanovení pracovních cyklů jeřábů, jejich výpočtu, možnost tvorby typových pracovních cyklů a z toho odvozené praktické výkony jeřábů. Řeší extenzivní časové vytížení věžových jeřábů, využívá přitom matematické teorie hromadné obsluhy při zásobování výrobních procesů. Zjišťuje tak skutečné časové využití jeřábů a vytváří vhodné modely pro jejich posouzení.

V závěru této kapitoly předkládá metodický postup pro návrh věžového jeřábu pro stavbu a také specifikuje podklady pro sestavení počítačového programu, který by navázal na výstupy z již užívaného systému automatizovaného zpracování dokladů výrobní přípravy stavby (např. CONTEC).

Část 9 obsahuje ověření zpracované a předložené metody pro posouzení časového vytížení jeřábů na praktickém příkladě, a to pro staveniště objektu s 87. bytovými jednotkami v Brně, ul. Bělohorská.

Naplnění záměru habilitační práce

Z oblasti problematiky modelování výrobního prostoru stavby byla vybrána jedna z důležitých částí, a to optimalizace vnitrostaveništního zásobování výrobních procesů věžovými jeřáby a vytvoření metodiky exaktního způsobu výběru vhodných jeřábů – pro konkrétní stavbu prováděnou na určeném místě, danou technologií a v pevně stanovené časové lhůtě.

Jak vyplývá z řešení a závěrů zejména částí 7, 8 a 9, je možné konstatovat, že stanovený záměr byl splněn.

Předpokládaný přínos práce pro obor a společenskou praxi

Přínosem práce je výpočet nezbytné doby obsluhy konkrétních stavebních procesů jeřábem u dané stavby, propočet časového vytížení jeřábu a návrh metodiky umožňující technologicky správné a ekonomické stanovení druhu, velikosti a počtu jeřábů pro připravovanou stavbu.

V rámci vědního oboru technologie staveb rozšiřují dosažené výsledky možnost exaktního modelování a optimalizace výrobního prostoru stavby.

Pro stavební praxi přinášejí výsledky práce způsob kvalifikovaného výběru a posouzení jeřábu v rámci řešení výrobní přípravy, při respektování požadované rychlosti provedení konkrétní stavby.

7 LITERATURA

- [1] BÖTTCHER, P. D. N., NEUENHAGEN, H.: Baustelleneinrichtung, Wiesbaden und Berlin, Bauverlag GmbH, ISBN 3-7625-3209-5
- [2] BRAMEL, J., SIMCHI-LEVI, D.: The Logic of Logistics, Theory, Algorithms and Applications for Logistics Management, Springer-Verlag, New York, 1997
- [3] CAIS, L., HYBEN, I.: Stavebné stroje I, Stroje na zemné a skalné práce, Košice: Elfa s.r.o., 2002, ISBN 80-89066-55-0
- [4] DREES, REPMMANN.: Kennzahlen für den Einsatz von Turmdrehkränen im Hochbau. Baumaschinentechnik 10/77, Berlin, 1977
- [5] DREES, SOMMER, ECKERT.: Zweckmassiger Einsatz von Turmdrehkränen auf Hochbaustellen, Baumaschinentechnik 9/80, Berlin, 1980
- [6] FICKULIAK, I., GAŠPARÍK, J., MAKÝŠ, P., BÚCIOVÁ, M., HULÍNOVÁ, Z., TALIAN, J.: Výstavba objektov a staveb, Bratislava, STU Bratislava, 2004, ISBN 80-227-2167-0
- [7] HYBEN, I., SZCZYGLIOVÁ, Z.: Pracovné prostredie jako súčasť integrovaného systému riadenia výstavby, Príspevek na mezinárodní konferenci Techsta 2004, Praha, 2004, ISBN 80-01-02 916-6
- [8] JARSKÝ, Č.: Automatizovaná příprava a realizace staveb, Contec, Kralupy nad Vltavou, 2000, ISBN 0-7844-0513-1
- [9] JARSKÝ, Č.: Matematické modelování v přípravě a řízení realizace stavby, Bratislava, STU Bratislava, Stavebná fakulta, 2004, ISBN 80-227-2151-4
- [10] JARSKÝ, Č., MUSIL, F., SVOBODA, P., LÍZAL, P., MOTYČKA, V., ČERNÝ, J.: Technologie staveb II, Příprava a realizace staveb, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2003, ISBN 80-7204-282-3
- [11] JELEN, V., PICKA, A.: Organizace a plánování výstavby, část 3, Příprava staveb, Praha, ČVUT v Praze, 1988
- [12] JURÍČEK, I. a kolektiv.: Konstrukce budov z monolitického betonu, Eurostav spol. s r.o., 2005, ISBN 80-969024-2-3
- [13] JURÍČEK, I.: Technológia pozemných stavieb - hrubá stavba, Bratislava, Jaga group, 2001, ISBN 80-88905-29
- [14] Kolektiv pracovníků: Technologická pravidla panelové stavby typu G 57, Praha, Výzkumný ústav stavebních výroby, 1960
- [15] KOČÍ, B., a kolektiv: Technologie pozemních staveb I., technologie stavebních procesů, Brno, VUT v Brně, ISBN 80-214-0354-3
- [16] KOZLOVSKÁ, M., HYBEN, I.: Stavbyvedúcí, manažér stavebného procesu, Eurostav spol. s r.o., 2005, ISBN 80-969024-6-6
- [17] KOLDA, S.: Úvod do počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky, Brno, VUT v Brně, 1978, 55-643-78
- [18] KOŽOUŠEK, J.: Organizace výrobních podniků, Praha, 1947
- [19] KŮS, O., a kolektiv.: Projekty stavění, Praha, ČVUT v Praze, 1983
- [20] LADRA, J., MUSIL, F., POSPÍCHAL, V., SVOBODA, P.: Technologie staveb II, Realizace železobetonové monolitické konstrukce budov, Praha, ČVUT v Praze, 2002, ISBN 80-01-02487-3
- [21] MAKÝŠ, O.: Příprava realizácie stavieb v súčasných podmienkách, Sborník mezinárodní vědecké konference VUT FAST v Brně, Brno, VUT FAST v Brně, 1999, ISBN 80-214-1443-X
- [22] MAKÝŠ, O., MAKÝŠ, P.: Projekt organizácie výstavby, Bratislava, STU v Bratislavě, 2000, ISBN 80-227-1444-5
- [23] MAKÝŠ, O., MAKÝŠ, P.: Stavenisková prevádzka, zariadenie staveniska, Bratislava, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2003, ISBN 80-227-1847-5
- [24] MAKÝŠ, P., MOTYČKA, V.: Autožeriavy pomáhajú při výstavbe málopodlažných objektov, Bratislava, Stavba 7/2006, ISSN 1335-5406

- [25] MOTYČKA, V.: Assessment of Crane Operating Time Utilization on the Construction Site, Příspěvek na mezinárodní konferenci, TU Košice, 2007
- [26] MOTYČKA, V.: Stanovení optimální skladovací plochy na staveništi, Brno, KDP, VUT v Brně, 2001
- [27] MOTYČKA, V.: Design of the toner crane aiming at the required output of supply, Bratislava, Příspěvek na mezinárodní konferenci – Vývojové tendencie v technologii staveb, STU Bratislava, 2006, ISBN 80-227-2478-5
- [28] MUSIL, F., TUZA, K.: Atelierová tvorba, stavebně-technologické projekty hrubé vrchní stavby, Brno, Nakladatelství VUT Brno, ISBN 80-214-0335-7
- [29] MUSIL, F., sen.: Problematika výrobní přípravy pozemních staveb, Praha, ČVUT FAST, 1961
- [30] MUSIL, F., sen.: Racionalizační snahy a rozbor hospodářských zásad zlínského stavebnictví, Praha, Česká akademie technická, 1945
- [31] MUSIL, F., LOJDA, J., ŠKARDA, E.: Technologie pozemních staveb II, Výstavba objektů a celků, Brno, VUT v Brně, 1990, ISBN 80-214-0163-X
- [32] NOP, D.: Matematické metody v dopravních stavbách, Brno, VUT v Brně, 1981, 55-594-81
- [33] OCELÍKOVÁ, E.: Multikriteriálne rozhodovanie, Košice, Elfa s.r.o., ISBN 80-89066-28-3
- [34] SEELING, BURGHARDT.: Anwendung von Warteschlangenmodellen für den Einsatz von Turmdrehkranen im Hochbau, RWTH Aachen, 1981
- [35] SCHROGL, F.: Technická příprava, obsluha a kontrola výroby strojírenských podniků, Praha, ES ČVUT, 1958
- [36] STRAKA, M., MALINDŽÁK, D., a kolektiv.: Distribuční logistika, Košice, VEGA, 2005, ISBN 80-8073-296-5
- [37] ŠLAPETA, V., MUSIL, F., JANÁČEK, V.: Stavební kniha 2003 – Funkcionalismus na Moravě, Brno, Expo Data, 2003, ISBN 80-7293-077-X
- [38] VANĚK, A.: Strojní zařízení pro stavební práce, Praha, Sobotáles, ISBN: 80-85920-61-1
- [39] VÁVRA, I., ZAPLETAL, I.: Mechanizace a provádění staveb, Praha, ČVUT v Praze, 1992, ISBN 80-01-00274-8
- [40] VIESTOVÁ, K.: Distribúcia a logistika, Bratislava, Alfa, 1993, ISBN 80-05-01129-6
- [41] VIESTOVÁ, K., a kolektiv.: Distribučné systémy a logistika, Bratislava, Ekonomická univerzita v Bratislavě, 1994, ISBN 80-225-0528-5
- [42] Kolektiv autorů: Encyklopedie výkonnosti, svazek II, Výroba, Praha, 1932
- [43] ABRAMOVIČ, N., M.: Organizace strojírenské výroby, Praha, 1952
- [44] PEŠKO, Š.: Stochastické modely, Slovenská Univerzita v Nitře, 2002-2003
- [45] ZAPLETAL, I., BŘOUŠEK, M., GAŠPARÍK, J., JARSKÝ, Č., KLEPSATEL, F., RAVINGER, R., VÁVRA, I.: Inženýrské stavby – technologie 2, STU, Bratislava, ISBN 80-227-1156-X
- [46] Základné výkonové normy, Práce při montáži ocelových konstrukcí, ministerstvo stavebnictva SR a ministerstvo stavebnictví ČR, 1995, 1.44.107
- [47] Základné výkonové normy, Práce montážní HSV, ministerstvo stavebnictva SR a ministerstvo stavebnictví ČR, 1995, 1.44.151
- [48] Standardy času – ZVN, Práce odbedňovací, práce betonářské, Praha, ÚRS Praha a.s., 1995, 1.29.006
- [49] Standardy času – Práce zednické a osazovací, Práce omítkářské, Praha, ÚRS Praha a.s., 1995, 1.29.008
- [50] Základní výkonové normy 1988, Přesun materiálů (substrátů), ministerstvo stavebnictví ČSR a ministerstvo stavebnictva SSR, 1988, 1.44.067
- [51] Nomogramy lhůt výstavby stavebních objektů, Praha, ÚRS Praha, 1991, 1.13.005
- [52] Sborník sazeb normohodin, Praha, Ústav racionalizace ve stavebnictví, FCÚ: VC-20/71

ABSTRACT

The inaugural dissertation deals with the area of production preparation in civil engineering. An integral part of it represents also construction site production area. This is as a rule defined by the site borders and height radius of the main lifting means, usually cranes. It must secure an efficient activity of working teams, enable efficient transportation of necessary materials to the working place and secure economical and high quality execution of works.

As these days the preparation of building operations is often underestimated, the work includes a brief situation analysis. Based on the analysis recommended division of contents of building technology preparation in recent times are given. Also site plants are mentioned and in more details tower cranes are dealt with. The latter affect the production area of the construction site to a significant extent. From this one of the major problems is deduced which is based on the recent requirements for building operations. This is **optimisation of the construction site supplying of production processes by tower cranes**. The main part of the inaugural dissertation deals with this topic.

This is based on models of the site supplying with necessary materials and products. It deals with impacts of the building operations output fluctuations on the supply requirement. A basic overview of the most frequently applied building cranes is given. Existing methods of determination of their performance are analysed. The shortcomings in recent methods for crane planning for the construction are pointed out and more qualified procedures are proposed.

Requirements of partial building processes for supplying with materials in the given technology stage of construction and possible working cycles of cranes are dealt with. The initial background information is represented by requirements for the continuity of the course of selected management processes, their demands on supplying with necessary materials, realistic working cycles of cranes, of this resulting performance and their economic utilization. Then, on examples the proposed method of the selection of a crane for a particular construction and binding time period of its execution are demonstrated.

The contribution of this thesis is calculation of the necessary periods of operation of particular building process serviced by cranes, calculation of the crane utilization and proposal of the methodology enabling technologically correct and economical determination of type, size and number of cranes for the prepared construction. The output is a contribution to the possibility of exact modelling and optimisation of the production area of the construction site.