

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2020

**KATEŘINA
JEŽOVÁ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ježová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **423278**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavební management**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Metoda akcelerované výstavby mostů

Název diplomové práce anglicky:

Accelerated Bridge Construction Method

Pokyny pro vypracování:

Popis/analýza metody akcelerované výstavby mostů (ABC). Porovnání ABC s tradičním přístupem k výstavbě z hlediska organizace, nákladů, kvality, životnosti a vlivu na dopravu. Výhody a nevýhody metody ABC a možnosti jejího uplatnění v ČR.

Seznam doporučené literatury:

U.S. Highway Agency: Accelerated Bridge Construction: Experience in Design, Fabrication and Erection of Prefabricated Bridge Elements and Systems Manual, 2011
Mohiuddin, Ali Khan: Accelerated Bridge Construction: Best Practices and Techniques, 2015

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Radan Tomek, MSc., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **05.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Radan Tomek, MSc.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Metoda zrychlené výstavby mostů

Accelerated Bridge Construction Method

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Radanu Tomkovi, MSc. za přínosnou konzultaci během tvorby této práce. Další poděkování patří společnosti SMP CZ, a.s. za poskytnutí důležitých podkladů k praktické části práce. V neposlední řadě patří velké díky mým rodičům, kteří mi byli velkou oporou po celou délku studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 05.01.2020

.....

Abstract

The Accelerated Bridge Construction method (ABC) is an approach developed for a bridge reconstruction and replacement. The method ABC combines several processes, which help to reduce total time needed for bridge reconstruction. Main principal of this method is use of prefabrication and technologies used for putting prefabricated elements and systems to its place. This thesis is focused on this methods analyses from technical and economical point of view and finds recommendations for its application in conditions of the Czech Republic. During the bridge reconstructions there are indirect costs for users of highways. These user costs are calculated and compared with direct costs for bridge reconstruction to demonstrate an economic impact on the society. The result of this thesis is a recommendation to create a manual with standardized procedures and systems for the bridge replacement and reconstruction. This manual would be a tool for bridge designers and contractors.

Key words: bridges, accelerated bridge construction, prefabrication, user costs

Abstrakt

Metoda akcelerované výstavby mostů - Accelerated Bridge Construction (ABC) je přístup vyvinutý pro rekonstrukci mostů. Metoda ABC kombinuje několik procesů, které pomáhají redukovat celkovou dobu výstavby projektu. Hlavním principem této metody je využití prefabrikace a technologií pro umístování prefabrikovaných prvků nebo celých částí mostní konstrukce. Tato práce se věnuje její analýze z hlediska technického i ekonomického a nachází doporučení pro její využití v podmínkách České republiky. Při rekonstrukcích mostů vznikají náklady uživatelům dálnic a ty jsou v této práci vypočteny a porovnány s náklady na samotnou realizaci pro demonstraci nepřímých nákladů vznikajících společnosti. Výsledkem práce je doporučení tvorby manuálu se standardizovanými postupy a systémy pro výměny a rekonstrukce mostů, sloužící jako podklad pro projektanty a realizační společnosti.

Klíčová slova: mostní konstrukce, metoda zrychlené výstavby mostů, prefabrikace, uživatelské náklady

Obsah

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Princip použití metody ABC | 3 |
| 2.1 | Výstavba mostů | 3 |
| 2.1.1 | Historie - vývoj a význam mostního stavitelství | 3 |
| 2.1.2 | Základní dělení mostů | 4 |
| 2.1.3 | Terminologie mostní konstrukce | 7 |
| 2.1.4 | Technologie | 8 |
| 2.2 | Metoda akcelerované výstavby mostů (ABC) | 12 |
| 2.2.1 | Popis metody ABC | 12 |
| 2.2.2 | Využití prefabrikace pro ABC metodu | 14 |
| 2.3 | Metody umístění prefabrikovaných částí mostů pro ABC | 16 |
| 2.3.1 | Využití jeřábové technologie | 17 |
| 2.3.2 | Posuvný most SIBC | 18 |
| 2.3.3 | Samohybné modulární transportéry SPMT | 22 |
| 3 | Použití metody ABC | 26 |
| 3.1 | Možnost aplikace ABC v podmínkách ČR | 26 |
| 3.1.1 | Manuál ABC Toolkit | 27 |
| 3.1.2 | Možnost aplikace ABC Toolkit pro dálniční most D1-035 | 31 |
| 3.1.3 | Použití manuálu v tuzemských podmínkách | 35 |
| 3.2 | Výpočet uživatelských nákladů | 36 |
| 3.2.1 | Uživatelské náklady zpoždění pro most D1-035 | 37 |
| 3.2.2 | Uživatelské náklady dopravních nehod pro most D1-035 | 45 |
| 3.2.3 | Celkové uživatelské náklady pro most D1-035 | 50 |
| 4 | Závěr | 51 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| <i>OBSAH</i> | vii |
| Seznam použitých zkratk | 53 |
| Literatura | 54 |
| Seznam obrázků | 56 |
| Seznam tabulek | 58 |

Kapitola 1

Úvod

Mosty jsou důležitou součástí dopravního systému a mají v něm nezastupitelnou roli. Most jako dopravní konstrukce umožňuje dopravním prostředkům i pěším překonat překážky, kterými jsou v případě silnic a dálnic zejména vodní plochy a údolí. Tato jejich, v daném místě nezastupitelná, role s sebou nese i riziko velkých dopravních komplikací v případě potřeby jejich oprav.

Tato práce se věnuje metodě, která by mohla být vhodným řešením pro výměnu nebo rekonstrukci mostní konstrukce i v prostředí a podmínkách České republiky. Metoda akcelerované mostní výstavby - Accelerated Bridge Construction (dále jen ABC) je zejména v zahraničí v poslední době čím dál tím více populárnější a využívanou. Jejím největším pozitivem je zejména zkrácení doby výstavby, které je nejvýhodnější pro rekonstrukci mostů s již existujícím provozem. Zejména Spojené Státy Americké jsou jejím předním propagátorem a dokáží využívat jejich výhod v nejvyšší míře.

ABC je jeden z nejnověji vyvinutých přístupů pro rekonstrukci mostů. Na rozdíl od tradiční metody výstavby je ABC kombinace několika procesů, které pomáhají redukovat dobu výstavby projektu. Základní princip je, co nejvíce redukovat mokrou výstavbu na místě, vystavět hlavní části mostu blízko budoucího umístění, a to vše za použití jeřábů, těžké techniky nebo samohybných transportérů.

V úvodní části práce je tato metoda detailně představena a jsou analyzovány všechny její technické i ekonomické aspekty. Jedním z těchto aspektů, který je pro metodu ABC co se týče urychlení výstavby či rekonstrukce z těch nejpodstatnějších, je využití prefabrikace a vhodné technologie umístění rekonstruovaných částí mostních konstrukcí, které jsou v práci také podrobně představeny.

Uzavření mostů, které jsou zatíženy velkým provozem, mají za následek nejen kritické

problémy dopravní, ale také problémy charakteru ekonomického, respektive finančního. Jsou jimi zejména dopravní zácpy nebo nucené objíždky, kvůli kterým následně vznikají škody environmentálního i zdravotního typu, zvýšená rizika nehod a v neposlední řadě náklady uživatelům silnic a dálnic. Tyto náklady pak nesou jednotliví uživatelé dopravní sítě a nejbližší okolí problematické uzavírky, ale i místní a národní ekonomika.

Práce se detailně věnuje výpočtu těchto výše jmenovaných uživatelských nákladů a porovnává je se standardními investičními náklady na výstavbu. Tento výpočet demonstruje výhodnost použití prefabrikace ve výstavbě se snahou o využití metod zrychlené výstavby mostů na silnicích a dálnicích.

Cílem této práce je zjištění, v jakých případech může být metoda ABC výhodnější oproti tradiční metodě výstavby pro použití v podmínkách České republiky, jaké jsou optimální podmínky pro její použití a jak ji implementovat, aby byla co nejefektivnější.

Kapitola 2

Princip použití metody ABC

2.1 Výstavba mostů

Vzhledem k velkým a specifickým zatížením, kterým musí mostní konstrukce odolávat je důležitá i volba vhodného materiálu. Tato práce je zaměřena na výstavbu mostů z betonu.

2.1.1 Historie - vývoj a význam mostního stavitelství

Lidská společnost a její vývoj je od samých počátků spjat s rozvíjením vzájemných společenských vztahů, které vyžadují dočasné i trvalé dopravní spojení. Člověk je tedy od počátku nucen překonávat různé přírodní překážky, díky čemuž se brzy stal stavitelem mostů [17].

Kmeny stromů a lana spletená z přírodních vláken jsou nejstaršími stavebními materiály. Ve starém Římě potom byly stavěny i klenbová přemostění a akvadukty. Evropský úpadek v mostním stavitelství nastal právě po pádu říše Římské. Teprve v 10. století došlo k rozvoji dopravních spojení kdy se začala rozvíjet města založená na březích řek. Ve středověku nedosahovala většina mostů technické ani umělecké úrovně mostů římských. Jejich založení bylo mělké s vozovkou nízko nad hladinou řek, malou světlostí otvorů a silnými pilíři. V případě povodní nebo ledu byly tyto mosty často vážně poškozeny nebo úplně zničeny. Dokonalejší architekturu přinesla renesance a téměř až do konce 17. století se mosty stavěly podle zkušeností přenášených z generace na generaci, citem a bez výpočtů. Novověk přinesl vývoj ve výstavbě mostů dřevěných, kamenných, zděných a kovových. Od poloviny 19. století po vyřešení způsobu výroby ocelových lan z jednotlivých drátů přímo na místě stavby se začaly stavět mosty visuté a později zavěšené, které jsou dodnes v mostním stavitelství využívány především při přemostění velkých rozpětí [17].

V druhé polovině 19. století se také začal v mostním stavitelství používat beton. Prostý beton, bez výztuže nepřinesl konstrukčně oproti kamenným mostům nic nového, jelikož jen velmi málo odolává tahovým napětím. U nás byl první železobetonový obloukový most o třech polích, s max. rozpětím 22,4 m, postaven přes Bečvu v Přerově roku 1903. Další výrazný pokrok v rozvoji betonových mostů nastal při použití předpjatého betonu [15].

Svou oblibu si získal předpjatý beton v minulém století při výrobě mostů pro malá i střední rozpětí. Ačkoli tato výstavba přinesla mnoho zkušeností a technických poznatků, tak ne všechny mosty byly provedeny kvalitně a dnes již nevyhovují požadavkům na ně kladeným. Dalším faktorem je změna intenzity zatížení a prakticky nefungovala údržba mostů. Z těchto důvodů se rozhoduje co s těmito mosty dále, jelikož jsou v nevyhovujícím stavu [17].

Mostní konstrukce jsou technologicky náročné stavby. Zhruba před stoletím byl vyvinut předpjatý beton, který je společně s ocelí nejpoužívanějším materiálem pro mostní konstrukce ve světě. Díky těmto materiálům si stavitelé mohou dovolit odvážnější konstrukce, vyvíjet moderní a efektivní metody pro rekonstrukce mostních konstrukcí a nová statická řešení [1].

2.1.2 Základní dělení mostů

Účelem mostu je převést dopravu přes překážku. Přitom musí být také cenově dostupný, postavitelný, bezpečný, odolný a vzhledově přijatelný. Mosty můžeme rozdělit například podle následujících kritérií [17]:

a) podle druhu převáděné komunikace

- mosty drážních komunikací
- mosty pozemních komunikací
- mosty ostatní

b) podle přemostované překážky

- nadjezdy - mosty přes dopravní komunikace
- mosty říční - mosty přes vodní toky
- viadukty - mosty přes velká údolí
- estakády - mosty přes zastavěná území

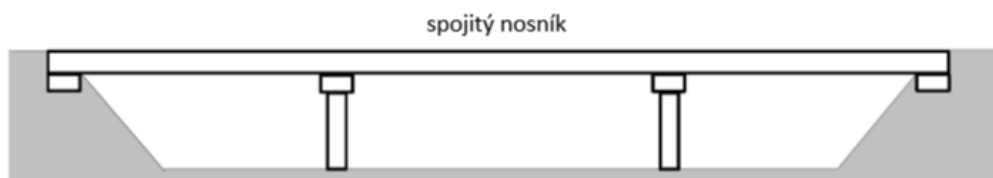
c) podle druhu přemostění

- mosty
- propustky

Pět základních typů mostů podle statické funkce hlavní nosné konstrukce jsou následující:

Trámový most

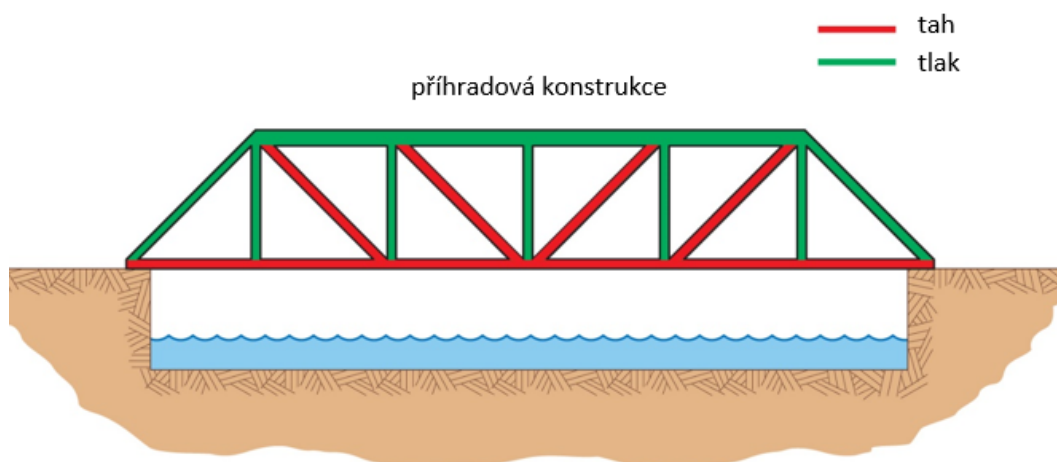
Trámové mosty nejsou považovány pouze za jedny z nejstarších typů mostů, jsou také jedním z nejjednodušších mostů pro konstrukční návrh a následnou výstavbu. Jak je znázorněno na obrázku 1, únosnost nosníku závisí na síle vozovky a může být zvýšena přidáním dalších pilířů. Přestože výstavba nosníku je snadná, jednou z hlavních nevýhod je skutečnost, že vzdálenost mezi pilíři je malá, takže je téměř nemožné stavět tento typ mostu přes vodu. Pro tento typ mostu je vhodné využít materiálů jako je beton, kov a kámen, a je vhodný pro různé typy rozpětí [1]. Z konstrukčního hlediska mohou být mosty řešený prostými nosníky nebo spojitým nosníkem, jak je zobrazeno na Obr. 2.1.



Obrázek 2.1: Konstrukční typ trámového mostu, zdroj: [13]

Příhradový most

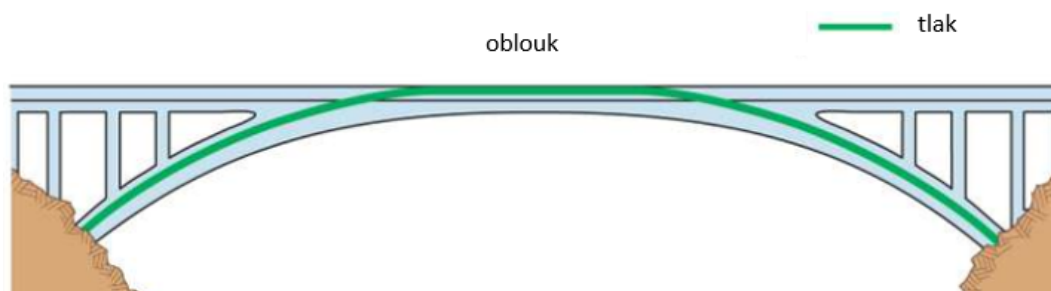
Příhradové mosty jsou jednou z nejoblíbenějších řešení mostu ve stavebnictví díky svým nezpochybnitelným výhodám, jako například použití poměrně málo materiálu za vysoké únosnosti. První příhradové mosty byly až do šestnáctého století vyráběny ze dřeva, přičemž první kovový příhradový most byl postaven v polovině devatenáctého století. Příhradové mosty jsou považovány za velmi únosné a lze je dokonce použít jako padací most nebo dokonce jako nadjezd pro železniční vlaky. Přestože se jedná o sofistikované konstrukční řešení, tak náklady na údržbu tohoto typu mostu jsou extrémně vysoké. Existuje několik typů příhradových mostů, podle toho, kudy je vedena doprava [1]. Na Obr. 2.2 je zobrazen jeden z mnoha možných typů konstrukčního řešení příhradové konstrukce.



Obrázek 2.2: Příhradový most, zdroj: <https://www.britannica.com/>

Obloukový most

Obloukové mosty, respektive klenby byly stavěny především Římany před mnoha staletími. Tento typ mostu lze postavit z různých materiálů, jako je kámen, beton nebo ocel. Tato konstrukce funguje na přenosu horizontálního tlaku, jak je zobrazeno na Obr. 2.3 a přenáší své zatížení do opor (respektive podloží), přičemž v průběhu celé konstrukce nevzniká tah. Tento typ mostu je vhodné použít například pro přemostění údolí. Tento typ mostní konstrukce lze kombinovat s mostem zavěšeným [1].



Obrázek 2.3: Obloukový most, zdroj: <https://www.britannica.com/>

Visutý most

První věcí, která přijde na mysl u visutého mostu, ve srovnání s ostatními typy mostních konstrukcí, je obraz silného mostu, který má mnohem delší rozpětí. Tato unikátní mostní struktura není jen drahá, ale vytvoření takového mostu trvá dlouho a vyžaduje velké množství materiálů odolávajících tahovým napětím. Hlavními prvky v tahu tohoto typu mostu je pár hlavních lan vedoucích přes dvě věže a které jsou na svých koncích ukotveny, dále kratší lana,

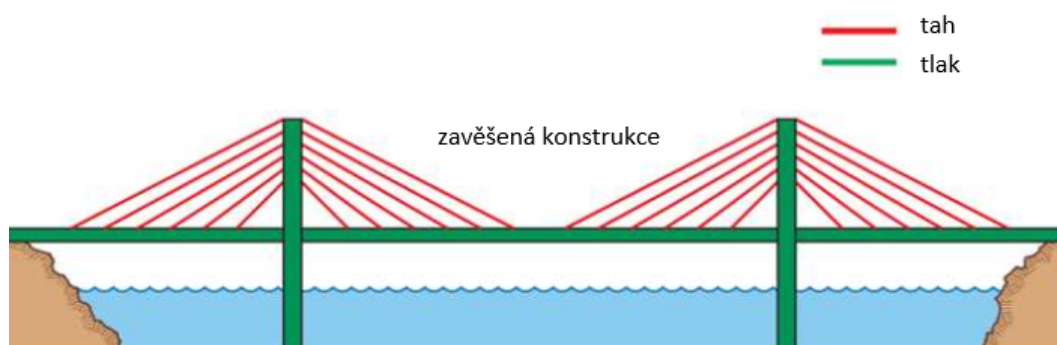
která jsou připojena k hlavním lanům a je na nich zavěšena mostovka [1]. Zatížení od vozovky je přenášeno lany, jenž vytvářejí tlak na věže mostu Obr. 2.4. Hlavními součástmi tohoto druhu mostů jsou nosníky / vazníky, hlavní lana, hlavní věže a kotviště.



Obrázek 2.4: Visutý most, zdroj: <https://www.britannica.com/>

Zavěšený most

Tento konkrétní typ mostu je považován za nejnovější formu mezi vyjmenovanými typy mostů, protože byl poprvé postaven teprve v polovině dvacátého století ve Švédsku a byl vytvořen jako ekonomická metoda pro mosty s dlouhým rozpětím. Tento typ mostu může mít jednu nebo více věží Obr. 2.5. Princip zavěšené konstrukce spočívá v tom, že přenáší převážně vertikální zatížení působící na nosník. Mostovka je tedy zavěšena na lanech, které jsou ukotveny na věžích, na které je vytvářeno tlakové napětí. Základními součástmi tohoto mostu jsou stožár nebo věž, kabely a nosník [1].

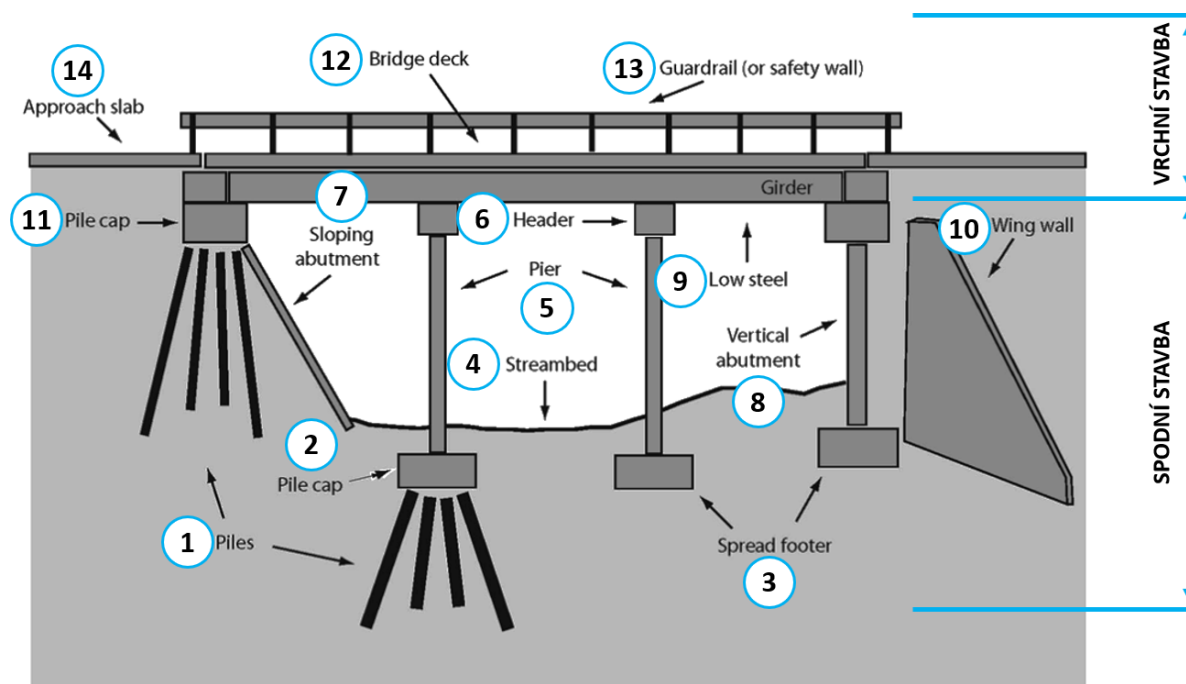


Obrázek 2.5: Zavěšený most, zdroj: <https://www.britannica.com/>

2.1.3 Terminologie mostní konstrukce

Tato práce se podrobněji věnuje betonovým mostům, které se vyskytují v převážném množství na tuzemských silnicích a dálnicích. Na Obr. 2.6 je blíže znázorněn jeden z možných

přístupů názvosloví právě prefabrikovaného mostu.



Obrázek 2.6: Popis částí mostní konstrukce. Zdroj: vlastní, dle <http://www.civildailyinfo.com/img/engineering/bridge-terminology.jpg>

Spodní stavba je tvořena základy hlubinnými (1), (2), patkami pilířů (3), přesypávkou (4), šikmými (7), (11) i svislými (8) krajními opěrami, mezilehlými podpěrami nebo-li pilíři (5), hlavicemi pilířů (6) a mostními křídly (10).

Vrchní stavba je tvořena hlavní nosnou konstrukcí (9), mostovkou a mostním svrškem (12), zábradlím nebo svodidly (13) a příjezdovou deskou (14), která poskytuje přechod mezi vozovkou a mostním svrškem.

2.1.4 Technologie

Betonové mosty mohou být betonovány na místě nebo jsou sestaveny z prefabrikovaných mostních dílců. Lze využít i kombinace prefabrikace a monolitického betonu, tedy některé konstrukce sestavit předem. Tyto konstrukce následně mohou sloužit jako podpůrná konstrukce (např. bednění) pro následnou betonáž. [20]

Jelikož je tradiční metoda výstavby proces využívající betonování na místě, je závislá i na dalších faktorech jako jsou podmínky počasí, vysoká kontrola kvality při provádění a při

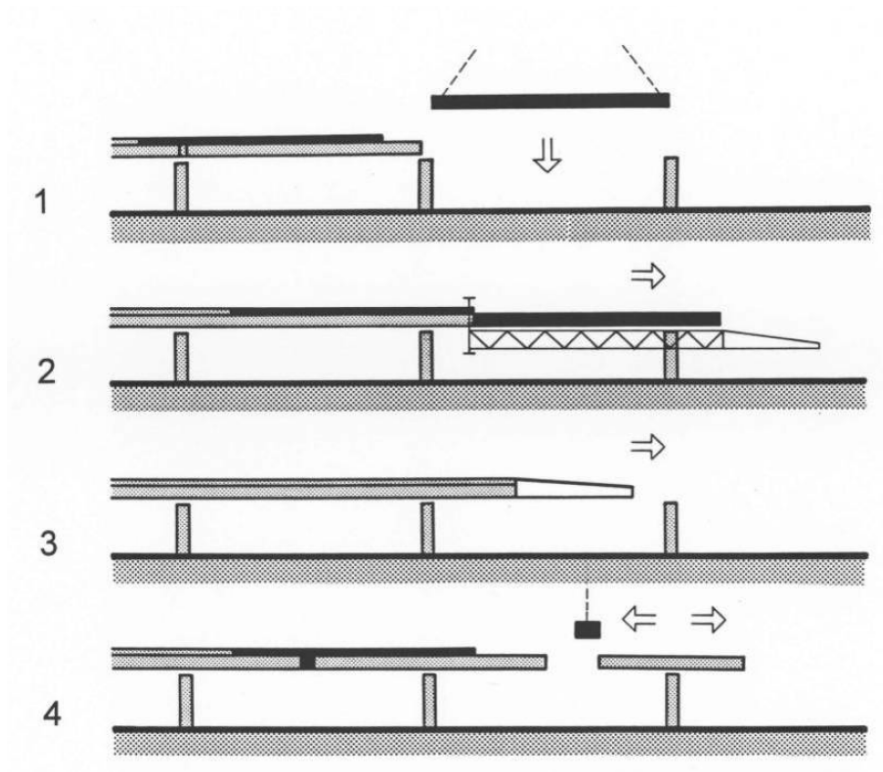
tvrdnutí betonu. Z těchto důvodů může být tradiční metoda výstavby časově velmi náročná. [1]

Monolitické konstrukce

Monolitické konstrukce mohou být betonovány různými způsoby, v závislosti na délce mostu nebo například jejím umístění. Konstrukce lze betonovat na místě následujícími způsoby [20]:

- Na pevných skružích
- Na výsuvných skružích
- Letmou betonáží
- Vysouványými konstrukcemi
- Konstrukcemi otáčenými

Na Obr. 2.7 jsou znázorněny základní typy níže vyjmenovaných metod. Jedná se o sestavování prefabrikovaných dílů (1), betonáž nebo montáž na skružích (2), vysouvání (3) a nebo betonáž nebo montáž letmo (4).



Obrázek 2.7: Metody výstavby monolitických a prefabrikovaných konstrukcí. Zdroj: [20].

Konstrukce betonované na pevných skružích situovaných po celé délce konstrukce jsou určeny pro kratší mosty do cca 100 m délky. Pojem skruž znamená podpěru samotného bednění mostovky. Při návrhu musí být dbáno mimo jiné na založení, podloží v místě stavby, ale i správný postup při montážích a demontážích pod hotovou mostovkou. Skruže lze navrhnout i pro případ obloukových mostů. V případě delších mostů se většinou betonuje po polích postupně s přečnívající konzolou, přičemž spára, která vzniká se obvykle volí v místě nulového momentu. V případě konstrukcí betonovaných najednou se konstrukce obvykle předpíná z obou konců napínanými, spojitými kabely. Spojkovat lze ve spáře maximálně polovinu kabelů z důvodu možného vzniku trhlin [20].

Pro delší konstrukce, případně konstrukce vedené nad nepřístupnou překážkou je vhodné betonovat na výsuvných skružích. Jedná se o důmyslné systémy vyvinuté dodavateli, díky nimž lze vybetonovat mostovku v prostorově zakřivené niveletě, konstantního nebo proměnného průřezu. Konstrukce skruží lze rozdělit z hlediska návrhu. Při prvním návrhu slouží skruž k betonáži celého pole, v druhém pro betonáž segmentů. Skruž pro betonáž celého pole je vhodnější pro menší rozpětí oproti skruži pro betonáž segmentů a bednění v tomto případě může být situováno jak nad mostovkou pole, tak pod mostovkou [20].

Při letmé betonáži se jedná o betonování po segmentech do bednění podpíraného betonářským vozíkem, který je zakotven do konstrukce, jenž byla dříve vybetonována a předepnuta. Vozík může být podobně jako u předem popsanych konstrukcí betonovaných na výsuvných skružích nad nebo pod mostovkou. Dokud konzoly nedosáhnou středu mostu, opakuje se postup napínání dalších kabelů po vybetonování segmentu, které připnou segment ke konstrukci. Betonářský vozík se pak posune do nové polohy. Nakonec se vybetonuje střední segment a předepne se kabely. Pro tento způsob je vhodný výrazně proměnný průřez, který odpovídá průběhu ohybového momentu. Letmá betonáž může být započata až po vybetonování tzv. zárodku na pevné skruži, na který se betonářský vozík osadí. Délka segmentu je s ohledem na namáhání naposledy vybetonovaného segmentu a váhu vozíku 3 až 5 m. Této metody lze využít i při výstavbě obloukových mostů [20].

Při betonáži po segmentech ve formě situované za opěrou se jedná o vysouvané konstrukce. Pomocí speciálního zařízení se po předepnutí postupně konstrukce vysune tak, aby bylo možno vybetonovat další segment. U tohoto způsobu vzniká v konstrukci velký konzolový moment, který je možný redukovat pomocí lehkého ocelového nosu, případně taženým pylonem se závěsy. Výsuvné zařízení může být dvojího typu: tlačné nebo tažené [20].

Posledním typem jsou konstrukce otáčené. Může se jednat také jen o část konstrukce. V tomto případě se mohou konstrukce postavit podél překonávané překážky a následně se otočit do projektované polohy. Při návrhu otáčené konstrukce je nutno mít na mysli, že je

nutné během otáčení konstrukci podepřít ve dvou přímkách. První přímka bude procházet navrženým bodem otáčení, druhá přímka prochází bodem, pomocí kterého se konstrukce uloží na montážní podpěru, která se posouvá po kruhové dráze [20].

Prefabrikované konstrukce

Betonové prvky vysoké kvality umožňuje průmyslová výroba ve stálých výrobnách. Tyto prefabrikované výrobky se musí na stavbu dovézt a následně smontovat na místě. Prefabrikované prvky mostní konstrukce lze dělit na prvky podélné nebo příčné [20].

V tuzemských podmínkách je běžné tvořit prefabrikovanou konstrukci pomocí podélných prvků, tedy nosíků a ze spřažené desky. Prefabrikované nosníky jsou nejčastěji otevřeného průřezu a obvykle montovány autojeřáby, případně pomocí zavážecího mostu, pokud je montáž nad nepřístupnou překážkou. Podélné prvky lze použít i pro obloukové konstrukce [20].

Ze segmentů délky 2,5 až 4,0 m jsou sestavovány příčně dělené konstrukce obvykle komorového průřezu. Segmenty mohou být vyráběny dvěma metodami: metoda dlouhé dráhy a metoda krátké dráhy [20].

Pro první metodu dlouhé dráhy je nejdříve sestavena dráha, jejíž geometrie odpovídá spodní hraně konstrukce a segmenty se betonují do formy, která se betonuje podél dráhy o délce poloviny mostního pole. Tento postup vyžaduje značný prostor, ale geometrii dráhy lze snadno ověřit. Při druhé metodě se betonují segmenty ve výrobní buňce, jejíž délka odpovídá délce právě dvou segmentů. Princip je takový, že po vybetonování prvního segmentu se vybetonuje druhý, první se odveze na sklad, druhý se přemístí na místo prvního a postup se opakuje. Výhodou této metody je potřeba poměrně malého prostoru oproti metodě předchozí, nevýhodou je, že vyžaduje přesné nastavení polohy konkrétního segmentu [20].

Pro montáž prefabrikovaných segmentů lze využít podobného postupu jako pro konstrukce monolitické: montáž na skruži nebo letmá montáž. V případě montáže na skruži probíhá montáž většinou po polích, kdy skruž podpírá segmenty jen v montovaném poli. Pro konstrukce s rozpětím větším jak 45 m je vhodné použít druhý způsob - montáž letmo. Tímto způsobem se segmenty konstrukce montují v rovnovážných konzolách od pilířů. V obou případech lze segmenty montovat autojeřáby nebo portálovými jeřáby montovanými na jeřábové dráze [20].

Popsané postupy lze také využít u hybridních konstrukcí kombinujících více materiálů, případně prefabrikovaný a monolitický beton. Princip těchto konstrukcí je, že základní nosný prvek ve formě visutého nebo závěsného kabelu, oblouku nebo nosníku slouží jako podpora

pro jinou část konstrukce. Prefabrikované prvky pak slouží jako skruž pro bednění pro dodatečně betonovaný konstrukční prvek. Výhodou je sestavené konstrukce z lehkých prvků, které se snadno dopravují na stavbu a tam se snadno smontují dostupnými montážními prostředky [20].

2.2 Metoda akcelerované výstavby mostů (ABC)

2.2.1 Popis metody ABC

Zaběhlé technologie pro obnovu mostů, tak jako každé jiné technologie, stárnou a doba se mění. S houstnoucí dopravou a většími nároky kladenými společnostmi a všemi uživateli pozemních komunikací je potřeba na tyto nároky reagovat.

Nové přístupy k návrhu, modernizaci a obnovám mostních konstrukcí vyplývají z potřeby zhušťující se dopravy a vzniku dopravních zácp v kombinaci se stárnoucími technologiemi. Na tyto potřeby reaguje Accelerated Bridge Construction (ABC) metoda, pomocí které se docílí minimalizace dopadu na stávající dopravu, a to v co nejnižším možném čase. ABC metoda prokázala svou schopnost splnit tyto potřeby již na několika zrealizovaných projektech nejen ve Spojených Státech Amerických [21].

ABC je jeden z nejnověji vyvinutých přístupů pro rekonstrukci mostů. Na rozdíl od tradiční metody výstavby je ABC kombinace několika procesů, které pomáhají redukovat dobu výstavby projektu. Základní princip je, co nejvíce redukovat mokrou výstavbu na místě, vystavět hlavní části mostu blízko budoucího umístění, a to vše za použití těžké techniky nebo samohybných transportérů [4].

ABC vykazuje několik benefitů zahrnující zmenšení dopravních zácp, zlepšující bezpečnost výstavby, urychlení výstavby, zmenšení dopadu na životní prostředí, za zvýšené kvality konstrukce, a to díky výstavbě hlavních elementů mostní konstrukce mimo vozovku [4].

Aktuálně je ABC metoda dražší než tradiční způsob výstavby, nicméně je předpokladem, že čím větší výskyt použití této metody bude do budoucna, tím bude cena nižší. Úspory, která může tato metoda nabídnout, mohou být nalezeny v jiných aspektech, jako je čas, použití strojů a lidských zdrojů. Vhodná je metoda ABC pro prefabrikované mostní konstrukce z předpjatého betonu nebo ocelových prvků [1].

Metodu je vhodné použít v případě obav velkého zvětšení objemu dopravy na objížďkách a v místech špatně přístupných pro záchranná vozidla. ABC metoda má své uplatnění tam, kde se očekává použití dočasných mostů, silnic a dálnic, a to zejména v místech, kde je

možnost dopravu rozumně odklonit smysluplnou objížděkou. Mostní konstrukci lze v těchto případech uzavřít úplně a zhotovit most velmi rychle a v mezičase použít odklon dopravy rozumným způsobem. Dle výzkumu uživatelé preferují větší, ale krátkodobý dopad nad dopadem středním, ale dlouhodobým [1].

Federal Highway Administration (Federální dálniční správa), dále jen FHWA, označila snižování stavebních dopadů na cestující veřejnost za hlavní prioritu národního programu dálnic [25].

V roce 2012 Strategic Highway Research Program (Program pro strategický dálniční výzkum) vydal zprávu *Innovative Bridge Designs for Rapid Renewal: ABC Toolkit*. Jedná se o průvodce, který popisuje jak postupovat od návrhu mostu až po jeho implementaci. Uživatelé tohoto průvodce zde najdou popsání standardizované přístupy jak k projektování, tak k realizaci kompletních mostních systémů a to například:

- Konstrukční standardy a příklady dokončených prefabrikovaných mostních systémů pro běžné mostní konstrukce s délkami rozpětí od 12 m až do 40 m,
- Návod, jak postupovat při montáži prefabrikovaných mostních dílců a systémů
- Návod, jak postupovat pro implementaci posuvného mostu SIBC



Obrázek 2.8: Výměna mostu Iowa U.S. 6 přes koryto řeky Keg. (a) a nově zhotovená mostní konstrukce (b) pomocí metody ABC a implementace postupu podle *ABC Toolkit*.

Zdroj: [5].

Nástroj *ABC Toolkit* byl demonstrativně aplikován na dvou ukázkových projektech. Jeden z nich: *Most Iowa U.S. 6 přes zátoku řeky Keg* je vidět na Obr. 2.8. Původně se jednalo o konstrukci z r. 1953. Nová mostní konstrukce byla téměř ze sto procent vystavěna z prefabrikovaných dílců, včetně svodidel. Prefabrikované dílce byly na stavbu doručeny a sestaveny

jako lego během dvou týdnů. Jediné komponenty lité z betonu na místě byly vrtané piloty. Během čtrnácti denní implementace byla zrealizována nová mostní konstrukce od základů až po horní stavbu pomocí metody ABC. Podařilo se eliminovat šesti měsíční uzavírku a 23 kilometrovou objížďku, oproti tradičnímu postupu výstavby. V porovnání s původním odhadem byla celá mostní konstrukce dražší o 25 procent. Pokud ovšem zahrneme do celkových nákladů úspory za dočasnou mostní konstrukci a za uživatelské náklady, tak ABC byla tou levnější a výhodnější variantou [5].

2.2.2 Využití prefabrikace pro ABC metodu

Tradiční metoda výstavby je metoda, která nijak významně nesnižuje dobu výstavby na místě potřebnou k vybudování, rekonstrukci nebo výměně mostního objektu. Jedná se o proces, kdy je potřeba v na sobě navazujících činnostech vystavět bednění pro spodní i vrchní stavbu, umístit výztuž a vylít beton, který je potřeba nechat ztuhnout. Jedním z důvodů, proč je vhodné minimalizovat výstavbu na místě, je dlouhodobá přítomnost zhotovitele, jeho vybavení, zaměstnanců a pracovišť, jenž může vést k rozptylování účastníků dopravy, a tím se snižuje bezpečnost a mobilita v dopravním úseku [6].

Jak již vyplynulo výše v textu, tak esenciální pro urychlení výstavby je použití prefabrikovaných prvků pro spodní i horní stavbu mostní konstrukce v co největším možném objemu. Prefabrikované elementy a systémy mohou být snadno umístěny na své místo za použití konvenčních zařízení, jako jsou jeřáby, s minimálním dopadem na omezení dopravy silnic a dálnic.

Prefabricated Bridge Elements and Systems (prefabrikované mostní elementy a systémy) dále jen PBES, je jednou ze strategií Spojených Států Amerických, která vede ke zrychlené výstavbě. Jedná se o strukturální komponenty mostu, které jsou postaveny mimo staveniště, případně v blízkosti mostu. Bez ohledu na to, co vede k volbě využití PBES, doba výstavby na místě je obvykle, v porovnání s konvenčními způsoby výstavby, kratší [6].

Využití PBES pomáhá splnit cíle metody ABC a poskytuje další výhody nad rámec pouze zkrácení doby výstavby [6]:

ABC zlepšuje:

- proveditelnost výstavby,
- celkovou dobu dodání projektu,
- kvalitu použitého materiálu a trvanlivost konstrukce,

- bezpečnost pracovní zóny pro dopravní uživatele, ale i pracovníky na stavbě.

ABC snižuje:

- negativní dopady na dopravu,
- dobu výstavby,
- zpoždění projektu z důvodu nepřízně počasí.

ABC umí minimalizovat:

- negativní dopady na životní prostředí,
- dopady na stávající nerovnosti vozovky,
- přeložení stávající technické infrastruktury.

Prefabrikované elementy jsou jednotlivými komponenty mostu. Prefabrikované elementy v kontextu s ABC metodou zkracují nebo eliminují dobu výstavby na místě, která je nezbytná pro stavbu podobného konstrukčního prvku za použití konvenčních metod. Prvky jsou navrženy standardizovaných rozměrů, aby se redukovaly náklady. Mezi prefabrikované elementy využívané metodu ABC patří:

- desky,
- trámy a nosníky,
- pilíře,
- opěrné stěny,
- ostatní prvky.

Prefabrikované systémy se skládají z celého systému spodní stavby, vrchní stavby nebo celého mostu, který je utvořen modulárním způsobem tak, aby bylo po umístění systému ihned umožněno uživatelům užívání mostu. Prefabrikované systémy jsou za pomoci různých systému posouvány, spouštěny, zvedány, tlačeny nebo jiným způsobem transportovány na místo. Díky specifickému způsobu instalace systémů je vyžadováno velké inovace v plánování, inženýrském návrhu, kvalitních materiálech a metodách umístování. Výhody používání prefabrikovaných systému jsou následující:

- minimální nutnost přeložení technických sítí,
- žádná, případně minimální nutnost objížděk,
- zachování stávající vozovky,
- žádné dočasné mostní konstrukce,
- žádné, případně minimální dopravní omezení.

Nespornou výhodou prefabrikace je také výroba prefabrikovaných prvků ve výrobnách, kde je dodržována vysoká technologická kázeň, a tudíž samotné prvky vedou k vyšší kvalitě zpracování a životnosti. Samotnou výstavbu tak neovlivňuje ani počasí, na které je potřeba se ohlížet při využití tradičních metod výstavby.

2.3 Metody umístění prefabrikovaných částí mostů pro ABC

Jak již bylo zmíněno výše v textu, mosty jsou stavební konstrukce, které jsou namáhány několika vlivy, ať už se jedná o vlivy vnějšího okolí nebo namáhání dopravou. Tak jako každá stavba mají i mosty svou životnost, po jejichž ukončení je potřeba je vyměnit.

Mnoho z mostních konstrukcí v České republice je podporou pro komerční dopravu a vytváří nezbytné ekonomické spojení napříč celou zemí. Při využití tradičních metod pro výměnu mostních konstrukcí vznikají zdlouhavé objíždky, které mohou způsobit přetížení silnic nižších tříd, tvoří se dopravní zácpy, spotřebovává se více paliva a zvyšují se uživatelské náklady z důvodu zpoždění. Zrychlené způsoby a metody výstavby mostů mohou snížit čas a náklady potřebné k výměně stávajících mostů [23].

Je více způsobů pro umístění jednotlivých elementů nebo celých systému konstrukce mostu. Záleží na umístění mostu a konstrukčním systému konkrétní mostní konstrukce. Jeden přístup pro použití metody ABC je kombinace prefabrikovaných elementů, které jsou pomocí jeřábů poskládány přímo na místě nové mostní konstrukce. Níže jsou také stručně popsány dvě nejčastěji využívané metody pro ABC, které za pomoci pohyblivé technologie přesouvají celý mostní systém z místa sestavení nového mostu na místo nové mostní konstrukce. Jedná se o metodu posuvného mostu (SIBC) a použití samohybných modulárních transportérů (SPMT).

2.3.1 Využití jeřábové technologie

Pro využití metody ABC nemusí být ani potřeba využití speciálních technologií. Jako jeden z demonstrativních příkladů použití jeřábové technologie je uvedena výměna dálničního mostu 86 přes Mitchell Gulch ve státě Colorado Obr. 2.9, realizovaná roku 2002. Most byl původně postaven jako dřevěný roku 1953. V srpnu 2002 byla zahájena výměna původně dřevěného mostního objektu plně prefabrikovaným. Doprava sčítající 12 000 vozidel denně byla odkloněna krátkou objížďkou a celá rekonstrukce byla realizována během 46 hodin o víkend, čímž nebyla ovlivněna doprava v dopravní špičce. V případě výstavby nového mostu tradičními metodami byla odhadnuta doba výstavby na dva až tři měsíce. U tohoto 12 m dlouhého mostu je předpokládána životnost 75 let díky využití prefabrikace a důrazu na kvalitní provedení prefabrikovaných spojů. Původní návrh inženýrů bylo postavit nový most jako tři monolitické propustky vedle sebe. Nový návrh postavit most jako plně prefabrikovaný během dvou dnů byl akceptován s tím, že je omezený rozpočet a zhotovitel se musí vejít do původního rozpočtu 394 200 dolarů. Dalším kritériem bylo, že v případě zpoždění o hodinu bude zhotovitel platit pokutu ve výši 500 dolarů, která byla stanovena na základě uživatelských nákladů. Zhotoviteli, Lawrence Construction Company, se podařilo dokončit výměnu ještě o 13 hodin dříve a zároveň realizovat výměnu mostu za nejnižší nabídku o 7% nižší než byl původní odhad nákladů. Tato realizace je tedy příkladem, jak lze zprovoznit most v rychlém čase, za použití kvalitních materiálů, ušetření nákladů uživatelů dálnice, zajištění větší bezpečnosti na stavbě a zároveň dodržení původního rozpočtu [9].



Obrázek 2.9: Výměna mostu 86 přes Mitchel Gulch probíhající v noci pomocí jeřábu (a) a již kompletně zhotovený nový most 86 z prefabrikovaných dílů (b). Zdroj:

<http://utcdb.fiu.edu/bridgeitem?id=185>

Dalším příkladem využití jeřábové technologie pro metodu ABC je výměna Mill Street

mostu přes řeku Lamprey v New Hampshire Obr. 2.10, realizována roku 2004 z důvodu již zastaralých mostních polí. Díky možnosti krátké objížďky a menší dopravní hustoty bylo možné most kompletně uzavřít k rekonstrukci. Most byl navržen jako prefabrikovaný, se zcela prefabrikovanou spodní stavbou a použito bylo celkem 32 prefabrikovaných prvků. Celková doba uzavření mostu byla 2 měsíce, kdy samotná montáž od umístění základů po otevření mostu veřejnosti trvala 8 dnů. V případě využití tradičních metod výstavby byla doba realizace odhadována na 5 měsíců. Díky využití kvalitních materiálů jako je vysokopevnostní beton, využití prefabrikace, kvalitní provedení spojů prefabrikovaných prvků a důkladné údržbě, je předpokládaná životnost tohoto mostu 75 let. Inženýrský odhad nákladů byl 950 000 dolarů a nejnižší nabídku nakonec podala společnost R. M. Piper Construction s cenou 1 050 000 dolarů. Nabídková cena tedy byla vyšší o 10% oproti původnímu odhadu. Díky této realizaci mohly být zkušenosti získané na této zakázce využity k návrhu standardizovaných prvků spodní i vrchní stavby, které mohou nahradit prvky z monolitického betonu [9].



(a)

(b)

Obrázek 2.10: Výstavba prefabrikované spodní stavby mostu Mill Street Bridge přes řeku Lamprey v New Hampshire (a) a již kompletně zhotovený nový most Mill Street Bridge z prefabrikovaných dílů (b). Zdroj: <http://utcdb.fiu.edu>

2.3.2 Posuvný most SIBC

Metodou Slide-in bridge construction (metoda posuvného mostu), dále jen SIBC je nový most postaven na dočasných podporách, obvykle paralelně s existujícím mostem. Během výstavby nového mostu není dopravní provoz na stávajícím mostě přerušen. Teprve po dokončení výstavby nového mostu je silnice dočasně uzavřena. Stávající struktura je zbourána nebo odstraněna. Nová část mostu je umístěna na místo původní konstrukce, svázána se stávající konstrukcí a zpevněna obvykle do 72 hodin. Jiný přístup umožňuje posunutí existujícího mostu do místa rovnoběžně vůči původnímu umístění, kde může být použit jako dočasný

objížďkový most, zatímco nová konstrukce je postavena na původním místě. Metoda může být použita také k rozšíření stávajícího mostu [25].

Jako příklad jsou níže na Obr. 2.11 až 2.16 popsány kroky, které je nutno provést pro výměnu celé mostní konstrukce, která mimoúrovňově křížuje čtyřproudovou komunikaci. Jedná se o konkrétní demonstraci výměny mostu M-50 ve státě Michigan, který musí denně přepravit více než 6.000 cestujících. Cílem projektu bylo při výměně rozšířit komunikaci o 2 jízdní pruhy. Popis i obrázky jsou převzaty z [14].

Fáze 1 SIBC - Obr. 2.11: Nejprve se umístí dočasné pažení a pilíř. Dále se umístí část spodní stavby pro dočasnou konstrukci, která zároveň bude součástí nové mostní konstrukce.



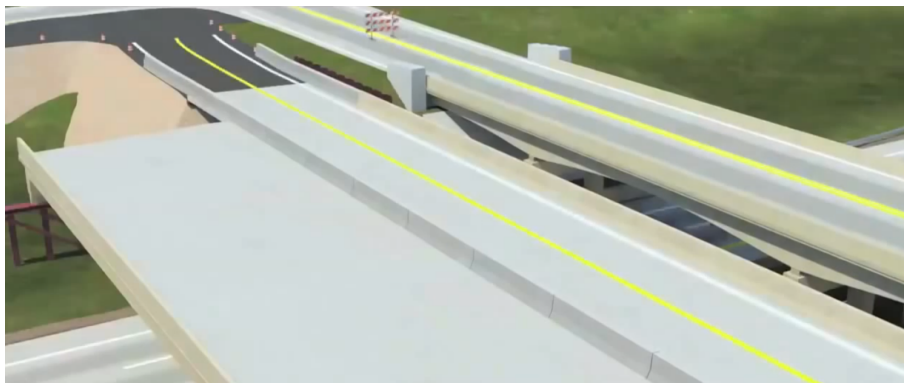
Obrázek 2.11: SIBC - fáze 1

Fáze 2 SIBC - Obr. 2.12: Na spodní stavbu se umístí horní stavba. Nejprve se položí nosníky a následně se zhotoví deska a umístí se svodidla. Takto je zhotovena konstrukce, která je finálně připravena pro budoucí mostní konstrukci.



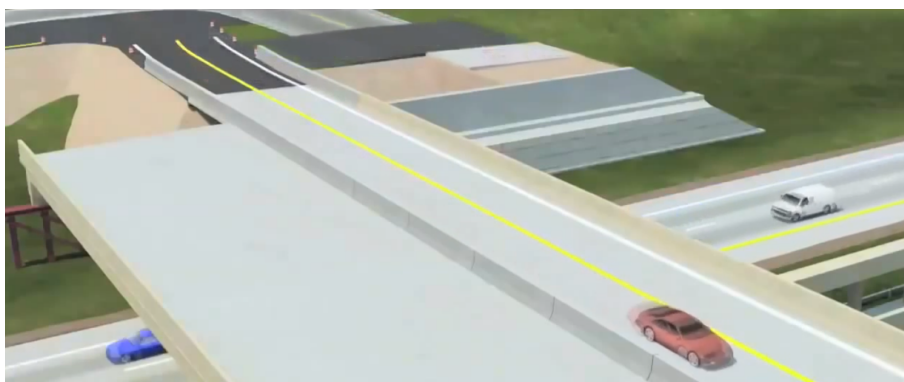
Obrázek 2.12: SIBC - fáze 2

Fáze 3 SIBC - Obr. 2.13: Následuje položení dočasné komunikace pro dočasný most. V této fázi je vše již připraveno pro odklon stávající dopravy.



Obrázek 2.13: SIBC - fáze 3

Fáze 4 SIBC - Obr. 2.14: Doprava je odkloněna a dochází k odstranění původního mostu. Až do této fáze nebyla nijak narušena stávající doprava. Probíhá zhotovení spodní stavby pro novou mostní konstrukci a příprava nové silnice pro napojení na mostní konstrukci.



Obrázek 2.14: SIBC - fáze 4

Fáze 5 SIBC - Obr. 2.15: Finálně nastává "slide-in", tedy přesun dočasné mostní konstrukce na pozici původního mostu, a to za úplného, ale krátkodobého odklonu dopravy. Dočasné komunikace jsou odstraněny a zbývající silniční komunikace k mostní konstrukci jsou připraveny pro poježdění vozidel.



Obrázek 2.15: SIBC - fáze 5

Fáze 6 SIBC - Obr. 2.16: Po dokončení napojení silniční komunikace na mostní konstrukci je nový most je otevřen k provozu.



Obrázek 2.16: SIBC - fáze 6

Je zjevné, že tato technologie umožňuje vysoké snížení dopravních zácp a omezení v dopravě oproti metodě tradiční výstavby nové mostní konstrukce.

Podle [23] není metoda SIBC vhodná pro každý projekt, ale může být aplikovatelná pro mnoho situací. SIBC technologie je obecně vhodná:

- Pro silniční přejezdy, kde most má průměrný denní provoz větší než silniční cesta pod tímto mostem.
- Jsou-li uživatelské náklady hlavním faktorem kvůli velkému objemu projíždějících osobních a nákladních vozidel.
- Pro mosty se složitými dopravními situacemi nebo jinými bezpečnostními problémy.

- Pro výměny mostů, které vyžadují dlouhou objížďku nebo kde není k dispozici žádná objížďka.
- Pro výměny mostů, kde použití fázované výstavby není žádoucí nebo povoleno.
- Pro rekonstrukci mostu, kdy může být nějaká nebo celá část spodní stavby opravena.
- Když je doba výstavby omezena.
- Pro mosty s omezenou šířkou.
- Pro železniční mosty.

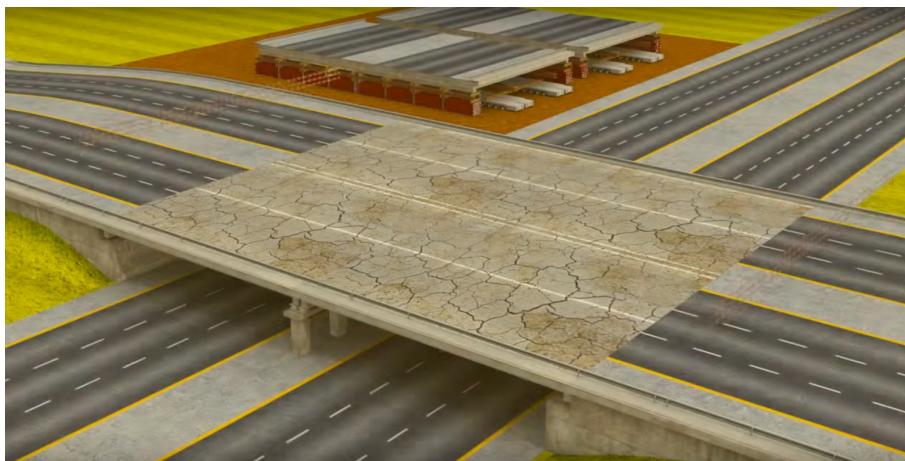
Dále musí být brány v potaz další faktory jako je umožnění dostatečné velikosti staveniště, zajištění věcných břemen okolních pozemků v okolí měněného mostu nebo geometrická omezení okolního terénu, jako je například sousedící příkrý svah s mostem. Pro úspěšnou realizaci SIBC je potřeba důsledného plánování projektu z důvodu technologické náročnosti, organizace projektu a pro případ nepředvídatelných událostí, kterými může být selhání techniky, zranění nebo nerovnoměrné posunutí mostní konstrukce [23].

2.3.3 Samohybné modulární transportéry SPMT

Self Propelled Modular Transporter (samohybný modulární transportér), dále SPMT je kombinací vícenápravových platforem provozovaných prostřednictvím nejmodernějšího počítačově řízeného systému a schopen otáčení o 360 stupňů podle potřeby pro zvedání, přenášení a manipulaci s velmi velkými a těžkými břemeny. SPMT jsou motorová vozidla, která se pohybují rychlostí chůze a jsou schopna nést velké konstrukce, jako jsou právě mosty, z míst mimo staveniště a umisťovat je přesně do konečné polohy. [24]

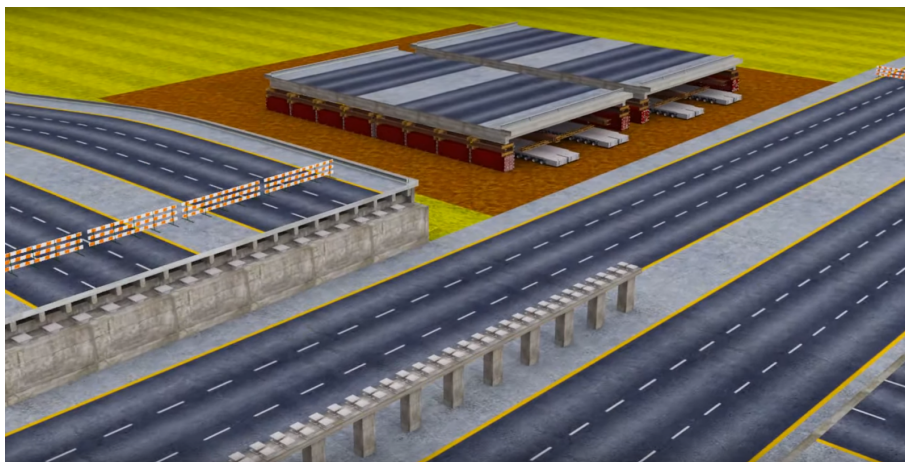
Níže je popsán na Obr. 2.17 až 2.20 obecný princip fungování SPMT pro metodu ABC. Na popsaném příkladu se jedná o výměnu dvoupólového mostu se čtyřmi jízdnicemi pruhy, který mimoúrovňově křížuje čtyřproudovou komunikaci. Popis i obrázky jsou převzaty z [7].

Fáze 1 SPMT - Obr. 2.17: Nejprve se mimo silniční komunikaci sestaví na zabezpečeném staveništi celá vrchní konstrukce mostu a umístí se na samohybné modulární transportéry. Tímto způsobem lze zajistit zvýšenou bezpečnost uživatelů silniční komunikace bez omezení dopravy.



Obrázek 2.17: SPMT - fáze 1

Fáze 2 SPMT - Obr. 2.18: Původní konstrukce mostu je odstraněna a nová vrchní stavba mostu je sestavena mimo hlavní stavbu. Nyní je nutno zajistit uzavírku obou silničních komunikací a lze uvést SPMT do pohybu.



Obrázek 2.18: SPMT - fáze 2

Fáze 3 SPMT - Obr. 2.19: Postupně nastává přesun pomocí SPMT obou částí mostní konstrukce, které byly sestaveny mimo hlavní staveniště a nová vrchní stavba je umístěna místo původní konstrukce.



Obrázek 2.19: SPMT - fáze 3

Fáze 4 SPMT - Obr. 2.20: Po zajištění spoje mostu a silniční komunikace lze uvést obě komunikace do provozu pro uživatele.



Obrázek 2.20: SPMT - fáze 4

FHWA uvádí několik benefitů technologie SPMT jako je například výrazné snížení narušení provozu, zvýšení bezpečnosti na stavbě a zvýšení kvality provádění. SPMT umožňují pracovníkům odstranit nebo umístit celé mostní struktury na frekventované silnice během několika hodin nebo minut. Během tradičního způsobu rekonstrukce mostu je provoz cestujících pod mostem obvykle značně omezen, aby byla zajištěna bezpečnost motoristů. SPMT mohou výrazně zkrátit dobu takových přerušování.

Výhodou je, že většina složitých a často nebezpečných prací na stavbě se děje mimo staveniště. K přerušení vozovky dochází pouze ve velmi krátkých časových intervalech, ve

kterých je most umisťován na své místo nebo naopak přepravován mimo lokalitu pro demolicí. Tím, že SPMT umožňuje prefabrikovanou výstavbu mostu v kontrolovaném prostředí, zůstává důraz kladen spíše na výstavbu než na potřebu přizpůsobení provozu [24].

Kapitola 3

Použití metody ABC

3.1 Možnost aplikace ABC v podmínkách ČR

Cílem této kapitoly je pomocí vydaného *ABC Toolkit* manuálu zhodnotit, zda by bylo vhodné pro konkrétní případ již zrealizované rekonstrukce mostu v České republice, použít metodu ABC. Zejména jde o zhodnocení z hlediska času a nákladů. Jako demonstrativní příklad byl vybrán dálniční most D1-035 v km 29,161 dálnice D1 zobrazený na Obr. 3.1.



Obrázek 3.1: Letecký pohled na nově provozněný most D1-035. Zdroj: [19].

Rekonstrukce mostu D1-035 byla realizována společností SMP CZ, jako přímým zhotovitelem pro Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD). Most D1-035 převádí čtyřpruhovou dálnici D1 přes údolí Dražanského potoka, silnici II/109 a jedinou příjezdovou komunikací do obce

Hvězdonice. Z těchto důvodů musel být zachován provoz nejen v obou směrech dálnice, ale také musela být zachována plynulost dopravy pod mostem. Jak píše na svých webových stránkách SMP CZ, a.s., tak tyto okolnosti komplikovaly nejen průběh stavby, ale také bezpečnost pohybu na stavbě. Bezpečnost je právě jeden z mnoha důvodů, proč by bylo vhodně využít co největší prefabrikace nejen pro horní, ale zejména i pro spodní stavbu.

Realizace mostu probíhala v období od 08/2015 do 10/2016. Původně měla být rekonstrukce součástí modernizace D1 - úseku 2, avšak po provedení diagnostického průzkumu bylo rozhodnuto o nutnosti výměny celé mostní konstrukce [19].

Nosná konstrukce dálničního mostu je staticky tvořena soustavou 3 polí o rozpětí 29,16 m z prostých nosníků spojených pérovými deskami do jednoho dilatačního celku. Pro založení bylo maximálně využito založení původního mostu. Spodní stavba je tvořena z pilířů betonovaných na místě do bednicích forem ze systémového bednění PERI. Horní stavba je navržena jako sprážená železobetonová deska s dodatečně předpjatými nosníky tvaru "T" s vylehčenou stojnou, jejichž dodavatelem byla společnost PREFA PRO. Nosníky byly osazovány pomocí mobilního jeřábu společnosti Hanyš - Jeřábnické práce. Osazování nosníků trvalo vždy tři dny pro každou stranu [19].

3.1.1 Manuál ABC Toolkit

Cílem této kapitoly je popsat obsah a postupy uvedené v manuálu *ABC Toolkit* a následně podle něj v další kapitole zhodnotit, zda by bylo vhodné použití ABC pro zvolený most D1-035.

Manuál *ABC Toolkit* je rozdělen celkem na 3 kapitoly:

- Kapitola 1 - ÚVOD
- Kapitola 2 - STANDARDNÍ KONCEPT A DETAILY PRO ABC
- Kapitola 3 - PŘÍKLADY VÝPOČTŮ PŘI NÁVRHU A SPECIFIKACE PRO ABC

Dalšími částmi manuálu jsou přílohy:

- Příloha A - ABC STANDARDNÍ KONCEPT
- Příloha B - ABC PŘÍKLADY VÝPOČTŮ PRO NÁVRH
- Příloha C - DOPORUČENÉ SPECIFIKACE PRO ABC NÁVRH

- Příloha D - DOPORUČENÉ SPECIFIKACE PRO ABC VÝSTAVBU

Kapitola 1 manuálu *ABC Toolkit* začíná úvodem do metody ABC. Pro metodu je klíčové využití prefabrikace v co největším množství. Existují dva přístupy vyvinuté ve Spojených Státech Amerických: zrychlená výstavba mostů za užití prefabrikace a běžné technologie a druhým přístupem je využití posuvné technologie (jako je např. SPMT) a vybavení pro přesun celých částí konstrukce z místa staveniště do finální polohy.

Manuál rozděluje konstrukční návrhy na pět tříd na základě doby trvání dopadu na dopravu:

- Třída 1: Dopravní omezení trvají do 24 hod
- Třída 2: Dopravní omezení trvají do 3 dnů
- Třída 3: Dopravní omezení trvají do 2 týdnů
- Třída 4: Dopravní omezení trvají do 3 měsíců
- Třída 5: Celkový časový plán projektu a omezení dopravy se zkracuje z let na měsíce

Každá třída nařizuje typ technologie, který musí být pro konstrukční návrh použit. Například pro Třídu 1 se jedná o SIBC nebo SPMT metodu, kdežto pro Třídu 2 a 3 je vyžadováno použití prefabrikovaných elementů a systému s jejich montáží na místě pomocí jeřábů [5].

Pro vývoj manuálu bylo klíčové rozšíření použití PBES a jejich standardizace. Snaha tohoto manuálu byla optimalizovat a standardizovat návrh PBES pro modulární výstavbu pro urychlení výstavby a rozšíření použití PBES pro ABC.

V Kapitole 1 manuálu *ABC Toolkit* v podkapitole "*Cíle pro ABC Toolkit*" je uvedeno, že i při uvážení faktu snižování nákladů a nákladů životního cyklu konstrukce se investoři zdráhají použít ABC metodu z důvodu vyšších počátečních nákladů a vnímaných rizik. Právě standardizace metody ABC od návrhu, přes použití PBES až po standardizované postupy při realizaci by měla pomáhat inženýrům při volbě použití této metody. Další výhodou bude větší vůle zhotovitelů nakoupit zařízení a technologie potřebné pro určité metody díky možnosti znovupoužití této technologie, případně mohou využívat pro umístování prvků konvenční jeřáby.

Nejobsáhlejší kapitolou je **Kapitola 2**, která již z úvodu upozorňuje, že pro získání co největších výhod z metody ABC je klíčové použít PBES nejen pro vrchní konstrukci ale i pro spodní stavbu a základy. Právě spodní stavba a základy jsou v mnoha případech nejvíce časově náročné části konstrukce mostu.

Je vhodné standardizovat i návrh jednotlivých prefabrikovaných segmentů pro typické rozpětí mostů běžných mostních konstrukcí, aby bylo možné je převážet a manipulovat s nimi na stavbě. Díky standardizaci rozměrů budou jednotlivé komponenty snadněji dostupné u výrobců, což zároveň sníží náklady a dodací lhůtu prvků. Nejvíce nákladově výhodné je dále použití jeřábu pro umístování prvků na jejich finální pozici.

V podkapitole "*Uvážení návrhu pro ABC spoje*" Kapitoly 2 je kladen důraz na spojení prefabrikovaných částí mostní konstrukce, které hrají klíčovou roli pro dosažení rychlosti výstavby a zároveň musí splňovat nároky konstrukčního provedení. Jak snadno jdou spojit jednotlivé prvky mezi sebou a jaký je počet spojů hraje kritickou roli pro využití PBES, tudíž je žádoucí minimální použití litého betonu pro tvorbu těchto spojů. V "*ABC Toolkit*" je dále uvedeno, že spoje vrchní stavby jsou možná nejvíce náročný aspekt pro ABC projekty.

Standardizované návrhy pro spodní i horní stavbu byli podle *ABC Toolkit* rozděleny do následujících kategorií dle rozponů mostů:

- $12 \text{ m} \leq \text{rozpon} \leq 21 \text{ m}$
- $21 \text{ m} \leq \text{rozpon} \leq 30 \text{ m}$
- $30 \text{ m} \leq \text{rozpon} \leq 40 \text{ m}$

Konstrukční návrh, detaily, výroba a montáž jsou stejně aplikovatelné i na jiné šířky mostu. Výhodou mostů do rozponu 40 m lze využít předem předpjatých prvků bez nutného vkládání dodatečného napětí na stavbě. Konstrukce spodní stavby zabírá významnou část celkové doby výstavby na místě. U všech projektů s potřebou rychlé obnovy mostní konstrukce je zkrácení doby trvání práce na spodní stavbě zásadní. Všechny navržené standardizované prefabrikované prvky pro modulární výstavbu mají proto navržené rozměry a váhu tak, aby se snadno převážely pozemní komunikací a snadno se umísťovaly do své konečné pozice tradičními stroji, jako jsou jeřáby.

S Kapitolou 2 úzce souvisí příloha A. V této příloze jsou metody prezentované pro standardizované ABC koncepty a skládají se z následujících listů, které podrobně tyto ABC koncepty popisují:

- Listy G1 až G3: uvádí obecné informace o užívání standardizovaných konceptů, instrukce a navádí uživatele manuálu o dalším postupu tak, aby byly náležitě vyřešeny veškeré návaznosti od návrhu, až po finální umístování prvků mostní konstrukce
- Listy A1 až A12: jsou zaměřeny na návrh a umístování částí spodní stavby jako jsou opěrné stěny za minimalizace použití spojů

- Listy P1 až P9: se věnují návrhu a detailům pro mostní pilíře
- Listy S1 až S8: jsou věnovány návrhu a detailům pro horní stavby z ocelových nosníků
- Listy C1 až C11: jsou zaměřeny na návrh a detaily pro horní stavbu z betonových nosníků

Veškeré návrhy a detaily jsou koncipovány tak, aby jednotlivé prefabrikované prvky bylo možné navrhnout pro převoz na silnici a umístit je na své finální místo za pomoci typické stavební techniky. Z tohoto důvodu jsou komponenty navrženy co nejlehčí.

V podkapitole "*Standardizované koncepční detaily pro ABC technologie umístování konstrukce*" Kapitoly 2 jsou rozděleny technologie umístování na dvě kategorie:

- Pohybové mostní systémy - využití SIBC, SPMT apod.
- Montážní mostní systémy - využití jeřábové technologie

Kde to stavební podmínky dovolí, tam manuál "*ABC Toolkit*" upřednostňuje využití tradiční montážní technologie.

Dále manuál nezapomíná ani zdůraznit důležitost rychlosti demoličních prací. Urychlení demoličních prací je stěžejní, jelikož tato etapa vyžaduje uzavírky a další dopravní úkony, které ovlivňují provoz uživatelů. Zde je poukázáno výhodnost použití podobné technologie pro demolici i následující montáž prvků. Opětovné použití technologie užitá pro demolici zamezuje zdvojování dočasných podpůrných podmínek, jako jsou jeřábové rohože, násypy a další. Výhoda využití tradiční technologie je, že většina zhotovitelů má snadný přístup k jeřábům nebo je vlastní. Projektant musí do svého návrhu zohlednit využitou technologii pro montáž prefabrikovaných prvků. Manuál v TAB. 2.6 a 2.7. nabízí také seznam výkresů a návodů pro organizaci staveniště za využití jeřábu pro montáž prvků, za různých staveništních podmínek. Lze si vybrat jednotlivý případ dle rozpětí nebo například podle toho, zda mostní konstrukce mimoúrovňově křížuje jinou silnici nebo vede nad vodním zdrojem. Cílem této kapitoly je dále upozornit na nutnost standardizovat návrhy mostních konstrukcí a PBES, aby se návrhy daly využívat opakovaně a tím se ušetřily náklady. Samozřejmě počítá s několika řešeními pro různé podmínky stavby, to znamená např. půdní podmínky, charakteristiky mostu, hustota dopravy apod.

Kapitola 3 manuálu "*ABC Toolkit*" se věnuje zejména zatížení, která vznikají při zrychlené výstavbě. Zrychlená výstavba může vyvolat kritické kombinace zatížení pro jednotlivé prefabrikované komponenty i celé části mostní konstrukce nebo neočekávaná napětí během

manipulace s prefabrikovanými komponenty. Dále musí být věnována pozornost jednotlivým spojům prefabrikovaných prvků.

Příklady statických výpočtů pro návrh vyvinuté v tomto projektu budou sloužit jako školicí nástroje ke zvýšení znalosti problematiky při návrhu ABC metody a návrhových kritérií mezi inženýry. V příloze B jsou uvedeny tři vzorové výpočty návrhu, které ilustrují proces návrhu ABC pro následující prefabrikované modulární systémy:

- Ocelový nosník mostovky
- Prefabrikovaný předpjatý betonový nosník mostovky
- Prefabrikovaný pilíř

3.1.2 Možnost aplikace ABC Toolkit pro dálniční most D1-035

Jak již bylo zmíněno výše, tak účelem této kapitoly je aplikace doporučení obsažených v manuálu *ABC Toolkit* pro konkrétní případ tuzemského projektu - již zrealizovaného mostu D1-035 - a určení postupu návrhu, realizace a výstavby.

ABC Toolkit - Příloha A

Cílem této přílohy je poskytnout informace ohledně návrhu, detailů, výroby, manipulace a umístování prefabrikovaných komponentů používaných pro ABC metodu. Nejdříve se příloha věnuje v listech G1 až G2 obecným informacím pro spodní stavbu. Jedná se o stručné informace ohledně specifikací návrhu, zvedání a manipulace s ohledem na vzniklá napětí v prvcích, detailů a plánu umístování prvků, výrobních tolerancí, lití betonu, kontrol rozměrů, použití lehčeného betonu a o obecných postupech při instalaci modulů spodní stavby. List G3 se v podobném duchu jako předešlé věnuje obecným informacím pro vrchní stavbu ohledně specifikací návrhu, výrobních tolerancí, lití betonu, obecných postupech instalace prvků, požadavků pro spoje, řezání na stavbě, kontrol rozměrů, zakřivení prvků a použití lehčeného betonu.

Součástí této přílohy je 11 výkresů, které představují ABC koncept pro montáž prefabrikovaných betonových prvků na typizovaném dvoupruhové mostu. Veškeré uvedené koncepty, detaily a přístupy jsou aplikovatelné i na jiné šířky mostů.

Jedná se o poměrně podrobnou výkresovou dokumentaci zahrnující půdorysy, pohledy, detaily vyztužení opěr, detaily vyztužení křídel, řezy, napojení hlavní nosné konstrukce na opěrnou zeď.

ŘSD vydalo v roce 2014 *Katalog mostů* [18]. V tomto katalogu jsou podle jejich uvedení nejčastěji se vyskytující křížení na dálnicích a rychlostních silnicích. Jednotlivé zvolené typy mostních konstrukcí byly vybrány především s ohledem na zjednodušení návrhu mostních konstrukcí a snahu o unifikaci stavebních objektů s cílem optimalizovat investiční náklady a náklady na provoz a údržbu. Cílem katalogu je dále podle ŘSD poskytnutí základních informací pro širokou odbornou veřejnost - zejména pak ale pro pracovníky ŘSD ČR jako pomůcky v rámci rozhodovacího procesu ve všech fázích projektové přípravy staveb.

Z hlediska ekonomické výhodnosti by se mělo jednat o povinnou součást zadání pro projekční práce. Katalog je velmi strohý a měl by sloužit zejména jako podklad pro projektanty a případně realizační firmy, pro standardizaci a usnadnění použití prefabrikovaných výrobků.

Spodní stavba mostu D1-035 byla realizována jako monolitická. Podle informací od společnosti SMP CZ, a.s. trvala realizace vždy jedné poloviny mostu 3 měsíce. Z toho výstavba pilířů 32 dnů (při zhotovení dvou pilířů naráz). Vrtání pilot zabralo 24 dnů pro každou půlku mostu a základy pro pilíř 17 dní pro každou polovinu mostu. Na Obr. 3.2 je vidět původní konstrukční řešení, které by šlo standardně zhotovit z prefabrikovaných výrobků. S ohledem na faktory, jako jsou projektování a sestavení atypického bednění pro pilíř spodní stavby a následné lití betonu na místě viz. Obr. 3.3, bezpečnosti na staveništi a zejména časového hlediska by bylo efektivnější navrhnout i spodní stavbu z prefabrikovaných dílů. Tyto díly by byly dovezeny na stavbu s předstihem a pak sestaveny na místě, čímž by se rapidně zkrátila doba výstavby. Jak již bylo zmíněno výše v textu, spodní stavba je velmi časově náročná.



Obrázek 3.2: Havarijní podepření původního mostu D1-035 a jeho původní řešení spodní stavby. Obrázek převzat z [10].

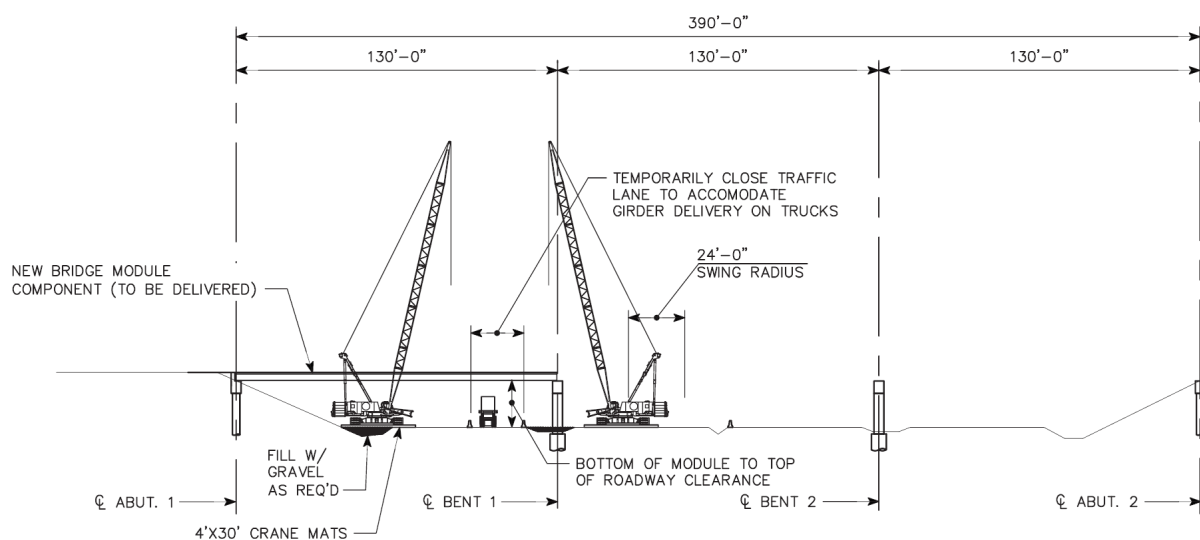


Obrázek 3.3: Montáž bednění pilíře pravého mostu (vlevo) a dokončený pilíř levého mostu (vpravo). Komentář i obrázek převzaty z [10].

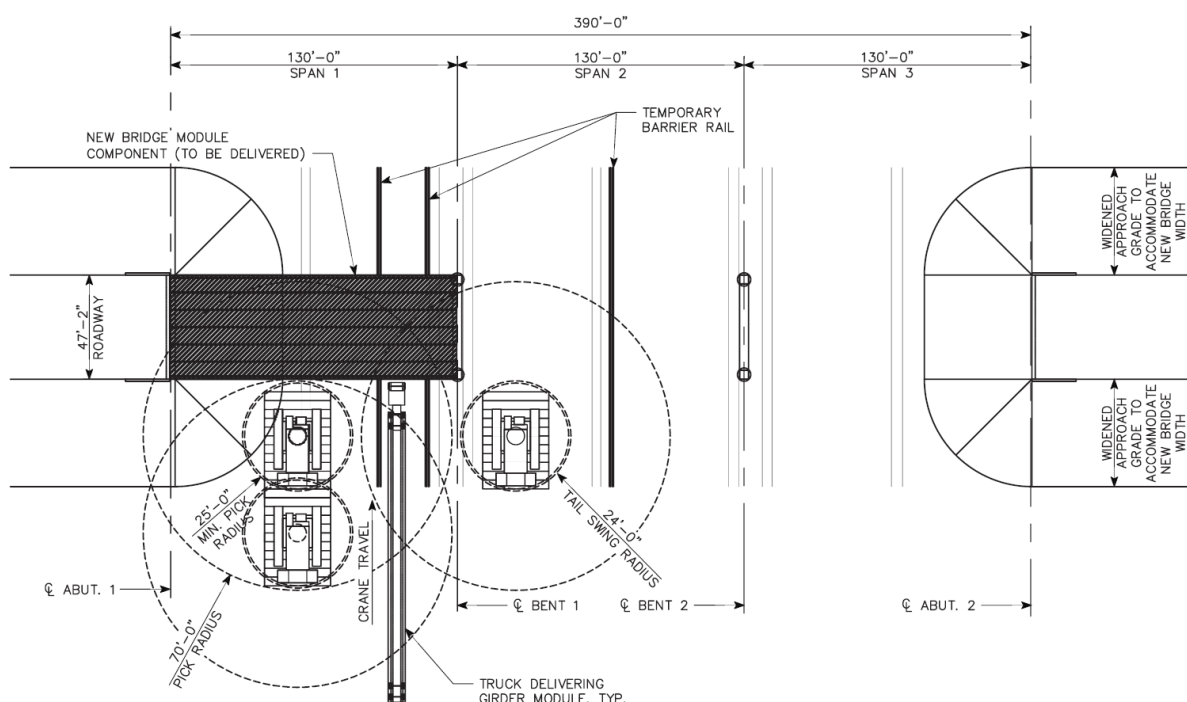
Další důležitou částí Přílohy A je volba technologie montáže. K tomu zda zvolit použití jeřábu nebo jiné mechanizace slouží krátký rozhodovací formulář. Jeho zkrácená verze je uvedena níže:

Počet stejných rozponů v projektu? **Mnoho** / Málo

Je vhodné použití tradičního jeřábu? **Ano - použití jeřábu** / Ne



Obrázek 3.4: Pohled na zařízení staveniště při montáži prvků pro levý rozpon. Zdroj: ABC Toolkit [21].



Obrázek 3.5: Půdorys zařízení staveniště při montáži prvků pro levý rozpon. Zdroj: ABC Toolkit [21].

Podle typu, umístění mostu a volby technologie pro montáž prvků lze najít listy, které odpovídají schémátům pro organizaci na staveništi. Pro případ mostu D1-035 se jedná o listy C15 až C17. Příklad, jak může vypadat zařízení staveniště z hlediska umístění jeřábů je vidět na Obr. 3.4 a Obr. 3.5.

ABC Toolkit - Příloha B

V této příloze lze najít příklady statických výpočtů v následujícím pořadí:

- Vzor výpočtu 1: Návrh mostovky z ocelových nosníků pro ABC
- Vzor výpočtu 2: Návrh prefabrikovaného předpjatého betonového nosníku mostovky pro ABC
- Vzor výpočtu 3: Prefabrikovaný pilíř pro ABC

Tato kapitola nebude dále rozváděna, jelikož není předmětem této práce hodnotit statické výpočty, které jsou prací projektantů a statiků. Důležité je však zmínit, že přesně za takovýmto účelem by měly být veškeré podklady pro projekční komunitu a obecně odbornou veřejnost koncipovány.

3.1.3 Použití manuálu v tuzemských podmínkách

Přes fakt, že rekonstrukce dálničního mostu D1-035 je pro běžné podmínky v ČR úspěšnou realizací, tak při použití správných přístupů lze docílit ještě lepších výsledků.

Manuál by mohl sloužit jako vzor pro použití v podmínkách ČR a mohl by být upraven a přizpůsoben českým normám a standardům. Jak říká manuál "*ABC Toolkit*": "Komunita projektantů potřebuje podporu anebo návod, jak postupovat pro různé metody umístování prvků modulární výstavby."

Tuzemské realizace dopravních staveb jsou stále řešeny monoliticky, případně v kombinaci s prefabrikáty. Aby se projekční firmy a následně realizační pouštěly do výstavby pomocí prefabrikátů, je potřeba společnosti pomoci. Velkým faktorem v rozhodování se o použití prefabrikace ve výstavbě může být i menší znalost realizačních firem v této výstavbě. K tomu, aby se začalo používat prefabrikace, by měl sloužit právě manuál ABC. Katalog by měl obsahovat následující body:

- Úvod s obecnými informacemi o použití standardizovaných prefabrikovaných elementů pro celou mostní konstrukci, v čem tkví výhody prefabrikace a se specifikacemi, pro jaký případ je vhodné prefabrikaci využít.
- Seznam typizovaných mostních konstrukcí, které by bylo nařízeno použít již ve fázi výběrového řízení od ŘSD, pro snížení celkových nákladů konstrukce.
- Uvedení standardizovaných prefabrikovaných elementů ve formě výkresové dokumentace pro jednotlivé mostní části, včetně detailů napojení jednotlivých prvků a jejich vyztužení.
- Specifikace, jakým způsobem mají být prefabrikované elementy skladovány, převáženy a zejména, jak má být s prvky manipulováno při realizaci.
- Možnosti využití různých technologií. Nejen využití jeřábové technologie, ale i inspirace ve využití posuvné technologie, která je typická například pro využití mostu vedoucího přes řeku.
- Vzorové statické výpočty sloužící jako podklad pro projektanty mostů.
- Vzory již úspěšně realizovaných projektů pomocí prefabrikace a metody ABC.

Dále je potřeba spolupráce s výrobními firmami prefabrikovaných prvků mostů, které by měly ve svém sortimentu výrobků právě standardizované prvky, čímž by se zlepšila spolupráce

s realizačními firmami a také by se snížily náklady a zkrátila se dodací lhůta, jelikož by nešlo o atypické prvky.

ŘSD, jako zadavatel veřejných zakázek, by mělo zahrnout do svých budoucích plánů i hledisko společensko-ekonomické, tedy kolik stojí společnost zdržení uživatelů na tuzemských silnicích a dálnicích. Při výběrovém řízení sice může rozhodovat cena, ale je potřeba vzít v úvahu i jiné faktory, jako je vliv výstavby na společnost z hlediska zpoždění uživatelů silnic a dálnic, vyšší riziko dopravních nehod, environmentální faktory typu hluk, prašnost nebo riziko bezpečnosti nejen na staveništi. Těmto faktorům se bude věnovat následující kapitola, pro demonstraci toho, že by se nemělo pohlížet pouze na náklady realizace a životního cyklu stavby, ale také na náklady společnosti.

3.2 Výpočet uživatelských nákladů

V následující kapitole bude proveden výpočet uživatelských nákladů zpoždění pro demonstraci toho, že "čas jsou peníze" a jaký vliv mohou mít dopravní omezení na efektivitu ekonomiky společnosti.

Společnost SMP CZ, a.s. byla velice ochotna při poskytování dodatečných informací ohledně realizace užitečných pro tuto kapitolu a výpočet uživatelských nákladů. V roce 2015 byly realizovány přípravné objekty a to zřízení přejezdu středního dělicího pásu a provizorní oprava zpevněné krajnice. Vlastní výstavba mostu trvala od 01.04.2016 do 30.10.2016, tj. celkem 40 týdnů. V období od 01.11.2015 do 31.03.2016 probíhala zimní přestávka bez omezení provozu. Celková realizace je tedy s ohledem na zimní technologickou přestávku 10 měsíců.

Rekonstrukce mostu D1-035 probíhala na úseku D02 dálnice D1. Po celou dobu byla doprava vedena v režimu 2+2 pruhy s šířkou zhruba 3,00 a 3,25 m. Rychlost byla omezena na 80 km/h. Celková délka úpravy byla kolem 500 m, ale bezprostředně navazovala na dopravní opatření pro stavbu modernizace D1 - úseku 03. S ohledem na tyto skutečnosti bude pro výpočet uvažována délka pracovní oblasti 1 km.

Pro výpočet bude klíčová k porovnání celková cena realizace, kterou SMP CZ, a.s. také poskytla a činí 105 344 412,67 Kč bez DPH.

Uživatelské náklady nebo-li "*silniční uživatelské náklady pracovní zóny*" jsou definovány jako dodatečné náklady vzniklé motoristům a společnosti v důsledku činností v pracovní zóně. Pracovní zóna je charakterizována jako oblast silnice nebo dálnice, kde probíhají stavební práce, údržby nebo jiné pomocné práce [13].

Faktory ovlivňující uživatelské náklady pracovní zóny se dělí na zpeněžitelné dopady a ostatní dopady. Mezi ostatní dopady jsou zahrnuty hluk a obchodní dopady. Pro výpočet ostatních dopadů není zatím k dispozici obecná metoda pro jejich stanovení, jelikož faktory ovlivňující jejich výpočet jsou často specifické pro danou lokalitu. Mezi zpeněžitelné dopady patří [13]:

- Náklady na zpoždění uživatele
- Náklady při zvýšeném riziku vzniku dopravních nehod
- Náklady dopravních emisí

V této práci budou podrobeny výpočtu náklady vzniklé zpožděním uživatelů a náklady při zvýšeném riziku vzniku dopravních nehod. Bude aplikována úvaha, že při nižších rychlostech vozidel jsou vzniklé emise nižší. Na hodnoceném úseku je uvažována změna rychlosti ze 130 km/h na 80 km/h a tudíž budou emisní náklady pro výpočet zanedbány.

V roce 2006 vydala Evropská unie zprávu Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project assessment, dále jen HEATCO, jejíž obsahem jsou mimo jiné:

- Hodnoty času a dopravních zácp
- Hodnoty snížení rizika úrazu
- Náklady na zdravotní dopady vzniklé znečištěním a hlukem

Tyto odhadované hodnoty budou dále uvedeny a využity pro výpočet uživatelských nákladů.

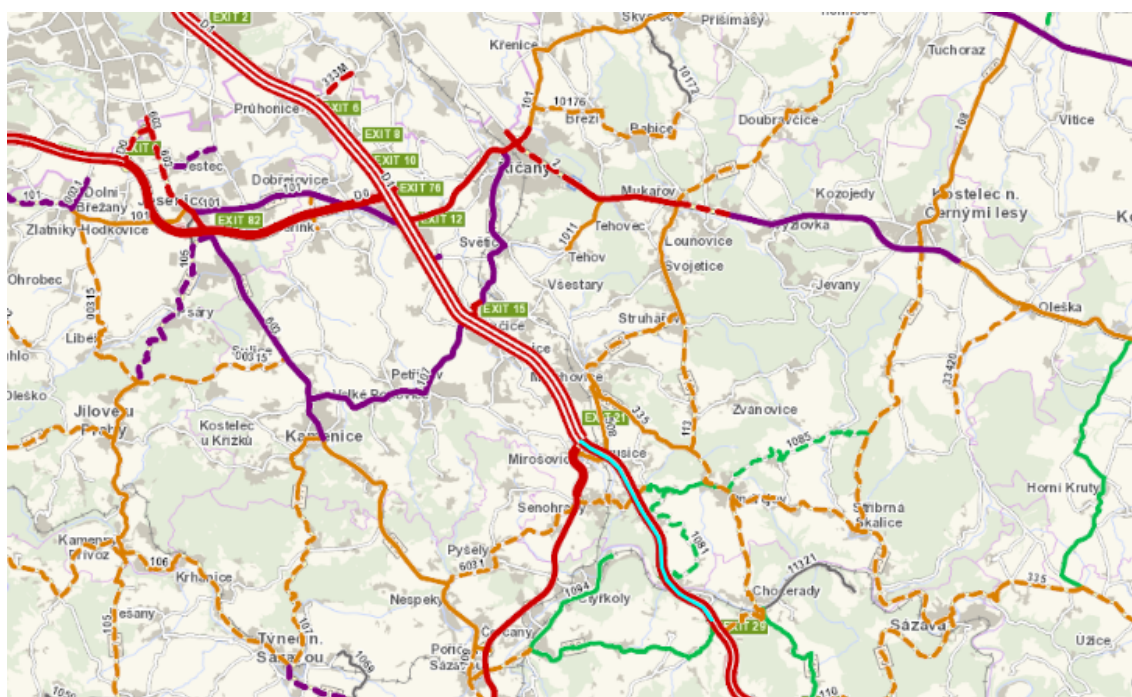
3.2.1 Uživatelské náklady zpoždění pro most D1-035

Náklady zpoždění cesty se vypočítají jako násobek odhadovaných zpoždění osobních automobilů, autobusů a nákladních automobilů způsobených průjezdem pracovní zóny jednotkovými náklady na cestovní čas [13].

Čas zpoždění je dodatečná doba jízdy nezbytná k průjezdu pracovní zóny nebo vzniklá při objížděcí pracovní oblastí [13]. V této práci bude zahrnut pro zjednodušení výpočtu a z důvodu dostupnosti dat pouze čas zpoždění z důvodu nižší rychlosti přikázané pro průjezd pracovní oblastí. Bude zanedbáno zpoždění ze změny rychlosti pro přibrzdění z původní

rychlosti na příkázanou rychlost v pracovní oblasti a naopak z příkázané na původní rychlost. Dále bude zanedbán čas zpoždění při objížďkách a při tvorbě kolon při překročení dopravní kapacity v pracovní oblasti.

Pro výpočet času zpoždění je potřeba znát roční průměr denních intenzit, dále jen RPDI, v obou směrech. Tyto informace poskytuje ŘSD formou interaktivní mapy na svých stránkách: <http://scitani2016.rsd.cz/>.



Obrázek 3.6: Sčítání dopravy 2016 - úsek dálnice D02. Zdroj: <http://scitani2016.rsd.cz/>

| Sčítání dopravy 2016 (sč.úsek: 1-8030) ... význam zkratek | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|----|----|-----|--------|--------|-------|--------|----|-------|
| Roční průměr denních intenzit dopravy | | LN | SN | SNP | TN | TNP | NSN | A | AK | TR | TRP | TV | O | M | SV | | |
| RPDI - všechny dny | voz/den | 3 822 | 1 398 | 291 | 253 | 54 | 5 575 | 447 | 0 | 0 | 0 | 11 840 | 32 658 | 63 | 44 561 | | |
| | | LN | SN | SNP | TN | TNP | NSN | A | AK | TR | TRP | TV | O | M | SV | | |
| RPDI - pracovní den (Po-Pá) | voz/den | 4 733 | 1 731 | 363 | 313 | 67 | 6 952 | 517 | 0 | 0 | 0 | 14 676 | 33 836 | 59 | 48 571 | | |
| RPDI - volné dny (mimo svátky) | voz/den | 1 543 | 565 | 111 | 102 | 21 | 2 133 | 271 | 0 | 0 | 0 | 4 746 | 29 712 | 74 | 34 532 | | |
| Hodinová intenzita dopravy | | | | | | | | | | | | TV | SV | | | | |
| Padesátirázová intenzita dopravy | voz/h | | | | | | | | | | | 1 137 | 4 278 | | | | |
| Špičková hodinová intenzita dopravy | voz/h | | | | | | | | | | | 1 030 | 3 877 | | | | |
| Těžká nákladní vozidla - TNV | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hodnota TNV | voz/den | | | | | | | | | | | | | | 15 824 | | |
| Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty | | | | | | | | | | | | OA | NA | NS | Celkem | | |
| Roční průměr intenzit, den (06-18) | voz/den | | | | | | | | | | | 24 555 | 4 255 | 3 722 | 32 532 | | |
| Roční průměr intenzit, večer (18-22) | voz/den | | | | | | | | | | | 5 857 | 799 | 1 042 | 7 698 | | |
| Roční průměr intenzit, noc (22-06) | voz/den | | | | | | | | | | | 2 309 | 866 | 1 156 | 4 331 | | |
| Emise | | | | | | | | | | OA | LNA | TNA | NS | BUS | Celkem | | |
| Roční špičková hodinová intenzita dopravy | voz/h | | | | | | | | | | | 5 301 | 619 | 267 | 959 | 72 | 7 218 |
| Koeficienty nerovnoměrnosti dopravy | | | | | | | | | | | | alfa | beta | gama | PS | | |
| Koeficient nerovnoměrnosti dopravy | - | | | | | | | | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | | |
| Intenzita cyklistické dopravy | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cyklistická doprava | cyklo/den | | | | | | | | | | | | | | 0 | | |

Obrázek 3.7: Sčítání dopravy 2016 - úsek dálnice D02. Zdroj: <http://scitani2016.rsd.cz/>

Pro vybraný úsek D1-02 na Obr. 3.6 - vyznačen modře - byly zjištěny hodnoty RPDI znázorněné v tabulce na Obr. 3.7.

Z Obr. 3.7 lze vyčíst následující RPDI pro rok 2016 v obou směrech:

- 32 658 osobních vozidel/den
- 447 autobusů/den
- 11 393 nákladních vozidel/den

Další údaje které je potřeba znát jsou následující:

- Kapacita jízdního pruhu - 900 (voz./hod/jízdni pruh) [3]
- Ekvivalentní jednotka osobních automobilů PCU (passenger car unit) pro autobusy a nákladní vozidla - 3 (-) [12]

Termín *kapacita dopravního pruhu* je maximální počet vozidel, u nichž lze očekávat, že budou opakovaně projíždět pruhem za daný čas. Záleží tedy na převládajících silničních, dopravních podmínkách a kvalitě provozu.

Každé vozidlo má rozdílný účinek na kapacitu dopravního pruhu z důvodu rozdílné velikosti vozidla, nutného rozestupu apod. Pro sjednocení účinku na kapacitu, jinými slovy pro přesnější rozložení intenzity vozidel slouží právě *PCU - ekvivalentní jednotka osobních automobilů*.

Během dne je rozložení intenzity vozidel rozdílné. Výpočet zpoždění bude sumou zpoždění jednotlivých hodin během dne. Rozložení intenzit během dne bude vypočteno pomocí průměrných koeficientů intenzit dopravy pro běžný pracovní den převzatých z dokumentu Stanovení intenzit dopravy [2] na pozemních komunikacích, který byl schválen Ministerstvem dopravy. Níže je uveden vzorový postup výpočtu pro čas 8 až 9 hod. Ostatní hodnoty v 3.1 jsou vypočteny pomocí stejného postupu.

- Výpočet Intenzity I pro jeden směr:

$$I = ((RPDI_{os.voz.} + RPDI_{autobus} * PCU + RPDI_{nakl.voz.} * PCU) * K_I * 0,01)/2$$

$$I = ((32658 + 447 * 3 + 11393 * 3) * 7,05 * 0,01)/2 = 2402 \text{ voz./h}$$

- Pokud klesne poměr K/I pod hodnotu 1,0 znamená to, že byla překročena kapacita jednoho směru a rychlost bude vypočtena zjednodušeně nepřímou úměrou vůči kapacitě pruhu a rychlosti.
- Rychlost vozidla v (km/h):

$$v = 80 * (K/I) = 80 * (1800/2402) = 59,9 \text{ km/h}$$

- Ztráta času Z na 1 km (s) je potom:

$$Z = (130 - v)/3,6 = (130 - 59,9)/3,6 = 19,5 \text{ s}$$

Tabulka 3.1: Rozložení intenzity při délce úseku 1 km a výpočet ztráty času pro režim 2+2 pruhy. Zdroj: vlastní.

| Čas | Koefic. intenzity | Intenzita 1 směr - I | Kapacita jednoho směru - K | Překročení kapacity K/I | Rychlost vozidla - v (km/h) | Ztráta času na 1 km (s) |
|---------|-------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0 - 1 | 0,93 | 316 | 1 800 | 5,7 | 80,0 | 13,9 |
| 1 - 2 | 0,73 | 250 | 1 800 | 7,2 | 80,0 | 13,9 |
| 2 - 3 | 0,69 | 234 | 1 800 | 7,7 | 80,0 | 13,9 |
| 3 - 4 | 0,79 | 270 | 1 800 | 6,7 | 80,0 | 13,9 |
| 4 - 5 | 1,15 | 392 | 1 800 | 4,6 | 80,0 | 13,9 |
| 5 - 6 | 2,45 | 836 | 1 800 | 2,2 | 80,0 | 13,9 |
| 6 - 7 | 5,06 | 1 724 | 1 800 | 1,0 | 80,0 | 13,9 |
| 7 - 8 | 6,72 | 2 291 | 1 800 | 0,8 | 62,9 | 18,6 |
| 8 - 9 | 7,05 | 2 402 | 1 800 | 0,7 | 59,9 | 19,5 |
| 9 - 10 | 6,25 | 2 131 | 1 800 | 0,8 | 67,6 | 17,3 |
| 10 - 11 | 5,65 | 1 926 | 1 800 | 0,9 | 74,8 | 15,3 |
| 11 - 12 | 5,60 | 1 908 | 1 800 | 0,9 | 75,5 | 15,1 |
| 12 - 13 | 5,71 | 1 945 | 1 800 | 0,9 | 74,0 | 15,5 |
| 13 - 14 | 5,98 | 2 037 | 1 800 | 0,9 | 70,7 | 16,5 |
| 14 - 15 | 6,38 | 2 173 | 1 800 | 0,8 | 66,3 | 17,7 |
| 15 - 16 | 6,77 | 2 306 | 1 800 | 0,8 | 62,4 | 18,8 |
| 16 - 17 | 6,92 | 2 357 | 1 800 | 0,8 | 61,1 | 19,1 |
| 17 - 18 | 6,60 | 2 251 | 1 800 | 0,8 | 64,0 | 18,3 |
| 18 - 19 | 5,67 | 1 933 | 1 800 | 0,9 | 74,5 | 15,4 |
| 19 - 20 | 4,35 | 1 483 | 1 800 | 1,2 | 80,0 | 13,9 |
| 20 - 21 | 3,16 | 1 076 | 1 800 | 1,7 | 80,0 | 13,9 |
| 21 - 22 | 2,35 | 799 | 1 800 | 2,3 | 80,0 | 13,9 |
| 22 - 23 | 1,77 | 602 | 1 800 | 3,0 | 80,0 | 13,9 |
| 23 - 00 | 1,31 | 447 | 1 800 | 4,0 | 80,0 | 13,9 |

Pomocí výsledných hodnot ztrát času na 1 km z Tab. 3.1 jsou vypočteny celkové časy zpoždění pro jednotlivé typy vozidel a jsou zapsány do Tab. 3.2 .

Tabulka 3.2: Výpočet celkových zpoždění na základě typu vozidla v 1 směru (2 pruhy).

Zdroj: vlastní.

| Čas | Počet os. voz./h | Zpoždění os. voz. (h) | Počet nákl. voz./h | Zpoždění nákl. voz. (h) | Počet autobusů/h | Zpoždění autobusů (h) |
|---------|------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|
| 0 - 1 | 151 | 0,58 | 53 | 0,20 | 2 | 0,01 |
| 1 - 2 | 120 | 0,46 | 42 | 0,16 | 2 | 0,01 |
| 2 - 3 | 112 | 0,43 | 39 | 0,15 | 2 | 0,01 |
| 3 - 4 | 129 | 0,50 | 45 | 0,17 | 2 | 0,01 |
| 4 - 5 | 188 | 0,72 | 66 | 0,25 | 3 | 0,02 |
| 5 - 6 | 400 | 1,55 | 140 | 0,54 | 5 | 0,04 |
| 6 - 7 | 826 | 3,19 | 288 | 1,11 | 11 | 0,06 |
| 7 - 8 | 1 097 | 5,68 | 383 | 1,98 | 15 | 0,08 |
| 8 - 9 | 1 151 | 6,22 | 401 | 2,17 | 16 | 0,08 |
| 9 - 10 | 1 021 | 4,91 | 356 | 1,71 | 14 | 0,06 |
| 10 - 11 | 923 | 3,93 | 322 | 1,37 | 13 | 0,05 |
| 11 - 12 | 914 | 3,85 | 319 | 1,34 | 13 | 0,05 |
| 12 - 13 | 932 | 4,02 | 325 | 1,40 | 13 | 0,06 |
| 13 - 14 | 976 | 4,46 | 340 | 1,56 | 13 | 0,07 |
| 14 - 15 | 1 041 | 5,12 | 363 | 1,79 | 14 | 0,07 |
| 15 - 16 | 1 105 | 5,76 | 385 | 2,01 | 15 | 0,08 |
| 16 - 17 | 1 129 | 6,00 | 394 | 2,09 | 15 | 0,08 |
| 17 - 18 | 1 078 | 5,49 | 376 | 1,92 | 15 | 0,06 |
| 18 - 19 | 926 | 3,96 | 323 | 1,38 | 13 | 0,04 |
| 19 - 20 | 710 | 2,74 | 248 | 0,96 | 10 | 0,03 |
| 20 - 21 | 516 | 1,99 | 180 | 0,69 | 7 | 0,02 |
| 21 - 22 | 383 | 1,48 | 134 | 0,52 | 5 | 0,02 |
| 22 - 23 | 288 | 1,11 | 101 | 0,39 | 4 | 0,01 |
| 23 - 00 | 214 | 0,83 | 75 | 0,29 | 3 | 0,00 |
| | | 75,00 h | | 26,16 h | | 1,01 h |

Pro finální výpočet uživatelských nákladů je nutné znát jednotkové náklady na cestovní čas, nebo-li hodnoty cestovního času, které jsou převzaty z HEATCO reportu [3]. Jednotkové náklady jsou uvedeny pro rok 2002 a budou tedy pomocí hrubého domácího produktu na

obyvatele ČR, dále jen HDP, přepočteny na rok 2016, jelikož v tomto roce se odehrávala větší část rekonstrukce dálničního mostu D1-035. Měnový kurz bude pro výpočet zanedbán. Změna HDP je uvedena v Tab. 3.3, podle které je změna HDP o 84,9% pro rok 2016 oproti roku 2002. Touto hodnotou budou navýšeny jednotkové náklady na cestovní čas z reportu HEATCO, tak jak je znázorněno v Tab. 3.4.

Tabulka 3.3: Znázornění rozdílu HDP pro rok 2002 a 2016. Zdroj: vlastní, hodnoty HDP převzaty z [11].

| rok | HDP | Počet obyvatel | HDP / obyvatel |
|-------------|-----------------|----------------|----------------|
| 2016 | 4 712,9 mld. Kč | 10 553 843 | 446 558 Kč |
| 2002 | 2 464,4 mld Kč | 10 203 268 | 241 530 Kč |

Tabulka 3.4: Jednotkové náklady, nebo-li hodnoty času při přepravě osob a zboží přepočtené pomocí HDP na rok 2016. Zdroj: vlastní.

| Hodnota pracovního času (EUR/os./hod) | | | |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Osobní vozidlo (2002) | Autobus (2002) | Osobní vozidlo (2016) | Autobus (2016) |
| 26,57 | 21,31 | 49,12 | 39,40 |

| Hodnota osobního času (EUR/os./hod) | | | |
|-------------------------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Osobní vozidlo (2002) | Autobus (2002) | Osobní vozidlo (2016) | Autobus (2016) |
| 11,51 | 8,28 | 21,28 | 15,31 |

| Hodnota přepravovaného zboží (EUR/t/hod) | |
|--|-------------------------|
| Silniční doprava (2002) | Silniční doprava (2016) |
| 3,83 | 7,08 |

Kromě jednotkových nákladů dopravy je potřeba znát následující údaje:

- Průměrná obsazenost osobních automobilů - 1,9 (os./vozidlo) [16]
- Průměrná obsazenost osobních autobusů - 36 (os./vozidlo) [16]

- Rozložení účelu cest osobních automobilů je 80% osobních a 20% pracovních [22]
- Průměrné naložení nákladního vozidla pro r. 2016 - 12 (tun) [8]

Postup výpočtu **celkových uživatelských nákladů zpoždění** je převzat z podkladů FHWA [13]. Výsledné uživatelské náklady zpoždění budou součtem následujících:

- Uživatelské náklady zpoždění osobní cesty UN_1 (EUR/den):

$$UN_1 = T_1 * OV * H_1 * PTC$$

$$UN_1 = 75 * 1,9 * 21,28 * 0,8 = 2426 \text{ EUR/den}$$

kde: T_1 - čas zpoždění os. vozidel (h); OV - obsazenost vozidla (os./voz.); H_1 - hodnota osobního času cestováním (EUR/os./h); POC - podíl osobních cest (%)

- Uživatelské náklady zpoždění pracovní cesty UN_2 (EUR/den):

$$UN_2 = T_1 * OV * H_2 * PPC$$

$$UN_2 = 75 * 1,9 * 49,12 * 0,2 = 1400 \text{ EUR/den}$$

kde: T_1 - čas zpoždění os. vozidel (h); OV - obsazenost vozidla (os./voz.); H_2 - hodnota pracovního času cestováním (EUR/os./h); PPC - podíl pracovních cest (%)

- Uživatelské náklady zpoždění cesty autobusem UN_3 (EUR/den):

$$UN_3 = T_3 * OV * H_1 * POC + T_3 * OV * H_2 * PPC$$

$$UN_3 = 1,01 * 36 * 15,31 * 0,8 + 1,01 * 36 * 39,40 * 0,2 = 332 \text{ EUR/den}$$

kde: T_3 - čas zpoždění autobusů (h); OV - obsazenost vozidla (os./voz.); H_1 - hodnota osobního času cestováním (EUR/os./h); POC - podíl osobních cest (%) H_2 - hodnota pracovního času cestováním (EUR/os./h); PPC - podíl pracovních cest (%)

- Uživatelské náklady zpoždění nákladních vozidel (přeprava zboží) UN_4 (EUR/den):

$$UN_4 = T_4 * NV * H_4$$

$$UN_4 = 26,16 * 12 * 7,08 = 2223 \text{ EUR/den}$$

kde: T_4 - čas zpoždění nákladních vozidel (h); NV - naložení vozidla (t/voz.); H_4 - hodnota přepravovaného zboží (EUR/t/h);

Celkové uživatelské náklady zpoždění jsou:

$$UN_{celkem} = UN_1 + UN_2 + UN_3 + UN_4 = 2426 + 1400 + 332 + 2223 = 12763 \text{ EUR/den/km}$$

Celkové uživatelské náklady zpoždění za dobu rekonstrukce 10 měsíců a přepočítané na Kč podle průměrného kurzu (1 EUR = 27,033 Kč) uvedeného na stránkách <https://www.kurzy.cz/> pro rok 2016 jsou:

$$UN_{15mes} = 12763 * 10 * 30 * 27,033 = 103\ 503\ 802 \text{ CZK}$$

3.2.2 Uživatelské náklady dopravních nehod pro most D1-035

Uživatelské náklady dopravních nehod budou vypočítány na základě statistiky nehod na vybrané trase, v tomto případě pro celý úsek dálnice D-02, aby vzorek dopravních nehod měl reprezentativní hodnotu. Na následujícím Obr. 3.8 je statistický přehled o nehodách z vybraného úseku na Obr. 3.9. Vybraný úsek je za období 2007 až 2016, tedy do ukončení rekonstrukce mostní konstrukce.

| Souhrnný statistický přehled o nehodách na komunikacích zvolené trasy | |
|---|-----|
| Počet nehod celkem | 341 |
| Počet nehod s následky na zdraví | 55 |
| Počet usmrcených osob (stav do 24 hod.) | 2 |
| Počet těžce zraněných osob (stav do 24 hod.) | 6 |
| Počet lehce zraněných osob (stav do 24 hod.) | 67 |
| Počet nehod pod vlivem alkoholu | 0 |

Obrázek 3.8: Celkový přehled nehod pro úsek D-02. Zdroj: <http://maps.jdvm.cz/>



Obrázek 3.9: Celkový přehled nehod pro úsek D-02. Zdroj: <http://maps.jdvm.cz/>

Přítomnost pracovní zóny zvyšuje pravděpodobnost srážek v daném místě. Z tohoto důvodu se míra nehodovosti obvykle odhaduje pomocí faktoru nazývaného modifikační faktor nehodovosti pocházející anglického crash modification faktor, dále jen CMF. Ten se aplikuje na hodnoty míry havárií pro období v "předpracovní zóně". Četné studie dokládají, že v případě vytvoření pracovní zóny se míra nehodovosti po zahájení prací zvýší pravděpodobně o 20 až 70 procent [13].

Míra srážek je vyjádřena jako počet nehod na milion kilometrů jízdy. Vzorec pro výpočet míry nehodovosti je převzat z podkladů FHWA [13]:

$$UN_{nehody} = \left(\frac{A * 10^6}{T * L * RPDI * 365} \right) * CMF$$

- kde: A - průměrný počet nehod pro dané období (-); T - doba hodnoceného času (roky); L - délka analyzovaného úseku (km); RPDI - roční průměrné denní intenzity v obou směrech (voz.) pro rok 2016; CMF - faktor nehodovosti (-)

Před zahájením výpočtu je nejdříve potřeba hodnoty uvedené na Obr. 3.9 vynásobit korekčními koeficienty pro nenahlášené dopravní nehody viz. Tab. 3.5.

Tabulka 3.5: Výpočet množství dopravních nehod se zahrnutím nenahlášených dopravních nehod. Zdroj: vlastní.

| | Počet nehod v úseku 02 | Korekční index pro nenahlášené dopravní nehody, Zdroj: HEATCO | Počet nehod celkem pro výpočet |
|------------------|------------------------|---|--------------------------------|
| Úmrtí | 2 | 1,02 | 2,04 |
| Těžká zranění | 6 | 1,5 | 9 |
| Lehká zranění | 67 | 3 | 201 |
| Škody na majetku | 286 | 6 | 1716 |

Modifikační faktory nehodovosti jsou převzaty z podkladů FHWA [13] a jsou uvedeny v Tab. 3.6.

Tabulka 3.6: Hodnoty CMF pro výpočet míry nehodovosti. Zdroj: vlastní.

| | CMF |
|------------------|------|
| Úmrtí | 1,77 |
| Těžká zranění | 1,6 |
| Lehká zranění | 1,6 |
| Škody na majetku | 1,9 |

Jednotlivé míry nehodovosti podle typu nehody budou vypočteny následujícím způsobem:

- Míra nehodovosti s usmrcenými osobami MN_1 (poče nehod/ mil km):

$$MN_1 = \left(\frac{2,04 * 10^6}{9 * 7,7 * 44561 * 365} \right) * 1,77 = 0,003203 \text{ nehod/milkm}$$

- Míra nehodovosti s těžce zraněnými osobami MN_2 (poče nehod/ mil km):

$$MN_2 = \left(\frac{9 * 10^6}{9 * 7,7 * 44561 * 365} \right) * 1,6 = 0,012776 \text{ nehod/milkm}$$

- Míra nehodovosti s lehce zraněnými osobami MN_3 (poče nehod/ mil km):

$$MN_3 = \left(\frac{201 * 10^6}{9 * 7,7 * 44561 * 365} \right) * 1,6 = 0,285322 \text{ nehod/milkm}$$

- Míra nehodovosti s následkem poškození majetku MN_4 (poče nehod/ mil km):

$$MN_4 = \left(\frac{1716 * 10^6}{9 * 7,7 * 44561 * 365} \right) * 1,9 = 2,892610 \text{ nehod/milkm}$$

Pro finální výpočet je potřeba dopočítat celkové najeté miliony kilometrů MKM (mil.km) pro úsek D02:

$$MKM = L * RPDI * T_{celkem} = 7,7 * 44561 * 10 * 30/10^6 = 103 \text{ mil.km}$$

kde: L - délka analyzovaného úseku (km); RPDI - roční průměrné denní intenzity v obousměrech (voz.) pro rok 2016; T_{celkem} - celková délka prací (dny);

Posledním krokem je obdobně jako v případě uživatelských nákladů zpoždění zahrnout do výpočtu jednotkové náklady následků dopravních nehod. Na webových stránkách Policie ČR (www.policie.cz) lze ze statistik nehodovosti použít průměrnou škodu na majetku připadající na jednu nehodu, jenž činí 58 709 Kč. V roce 2016, byl průměrný kurz EUR/Kč podle stránek www.kurzy.cz: 1 EUR = 27,033 Kč. Pro ostatní typy nehod jsou jednotkové náklady převzaty z podkladů HEATCO [3], přepočteny obdobně jako v případě uživatelských nákladů zpoždění pomocí HDP a uvedeny v Tab. 3.7.

Tabulka 3.7: Jednotkové náklady následků dopravních nehod přepočtené pomocí HDP na rok 2016 v EUR. Zdroj: vlastní.

| Hodnota následku dopravní nehody | | | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Úmrtí (2002) | Těžká zranění (2002) | Lehká zranění (2002) | Škoda na majetku (2002) |
| 932 000 | 125 200 | 9 100 | - |
| Úmrtí (2016) | Těžká zranění (2016) | Lehká zranění (2016) | Škoda na majetku (2016) |
| 1 723 148 | 231 479 | 16 825 | 2 172 |

Vzorce pro výpočet **celkových uživatelských nákladů dopravních nehod** jsou převzaty z podkladů HEATCO [3]. Výsledné uživatelské náklady dopravních nehod pro celý úsek D1-02 budou součtem následujících:

- Uživatelské náklady zpoždění s následkem usmrcení $UNDN_1$ (EUR/den):

$$UNDN_1 = MN_1 * JN_1 * MKM$$

$$UNDN_1 = 0,003203 * 1723148 * 103 = 568214 \text{ EUR/den}$$

kde: MN_1 - míra nehodovosti s usmrcenými osobami (počet nehod/mil km); JN_1 - jednotkové náklady následků dopravních nehod (EUR/os./h); MKM - celkové najeté miliony kilometrů (mil km)

- Uživatelské náklady zpoždění s následkem těžkého zranění $UNDN_2$ (EUR/den):

$$UNDN_2 = MN_2 * JN_2 * MKM$$

$$UNDN_2 = 0,012776 * 231479 * 103 = 304410 \text{ EUR/den}$$

kde: MN_2 - míra nehodovosti s následkem těžkého zranění (počet nehod/mil km); JN_2 - jednotkové náklady následků dopravních nehod (EUR/os./h); MKM - celkové najeté miliony kilometrů (mil km)

- Uživatelské náklady zpoždění s následkem lehkého zranění $UNDN_3$ (EUR/den):

$$UNDN_3 = MN_3 * JN_3 * MKM$$

$$UNDN_3 = 0,285322 * 16825 * 103 = 494140 \text{ EUR/den}$$

kde: MN_3 - míra nehodovosti s následkem lehkého zranění (počet nehod/mil km); JN_3 - jednotkové náklady následků dopravních nehod (EUR/os./h); MKM - celkové najeté miliony kilometrů (mil km)

- Uživatelské náklady zpoždění s následkem škody na majetku $UNDN_4$ (EUR/den):

$$UNDN_4 = MN_4 * JN_4 * MKM$$

$$UNDN_4 = 2,892610 * 2172 * 103 = 646720 \text{ EUR/den}$$

kde: MN_4 - míra nehodovosti s následkem škody na majetku (počet nehod/mil km); JN_4 - jednotkové náklady následků dopravních nehod (EUR/os./h); MKM - celkové najeté miliony kilometrů (mil km)

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod na 1 km jsou potom:

$$UNDN_{celkem} = (UNDN_1 + UNDN_2 + UNDN_3 + UNDN_4)/7,7 km$$

$$UNDN_{celkem} = (568214 + 304410 + 494140 + 646720)/7,7 = 261492 \text{ EUR}/km$$

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod za dobu rekonstrukce 10 měsíců a přepočítané na Kč podle průměrného kurzu (1 EUR = 27,033 Kč) uvedeného na stránkách <https://www.kurzy.cz/> pro rok 2016 jsou:

$$UNDN_{10mes} = 261492 * 27,033 = 6\ 694\ 184 \text{ CZK}$$

3.2.3 Celkové uživatelské náklady pro most D1-035

Součtem uživatelských nákladů zpoždění a uživatelských nákladů dopravních nehod získáme celkovou částku:

110 197 986 Kč

Jedná se tedy zhruba stejnou hodnotu jako jsou náklady pro samotnou realizaci výstavby. Z výpočtu je zjevné, že uživatelské náklady tvoří nemalou součást celkových nákladů a mělo by na tento faktor být pohlíženo z hlediska organizace výstavby se snahou zkrátit celkovou dobu výstavby pro minimalizaci především ekonomické zátěže společnosti.

Kapitola 4

Závěr

Největším benefitem metody akcelerované výstavby mostů (ABC) je rapidní zkrácení výstavby oproti metodám tradičním. Metoda ABC by mohla být vhodnou metodou i pro tuzemské podmínky. Tento benefit již byl demonstrován ve světě na bezpočtu úspěšně zrealizovaných projektů. Hlavním principem této metody je jiná organizace práce a využití co největší míry prefabrikace. Díky možnosti využití jeřábové technologie je vhodná i pro podmínky České republiky, zejména pro rekonstrukce důležitých dopravních tepen, jako je právě dálnice D1, kterou se zabývá případová studie.

Metoda ABC využívá prefabrikace také pro výstavbu spodní stavby mostu, která je dominantní částí celkového času realizace. Například pro most D1-035 se jednalo o jednu třetinu času celkové realizace. Další důraz by měl být kladen i na rychlost provedení demolice původního mostu. Při demolicích je využíváno stejné technologie jako pro následující umisťování prefabrikovaných výrobků a díky tomu může zhotovitel využít shodné techniky, což také šetří čas i náklady. Kromě urychlení výstavby poskytuje metoda ABC další výhody jako jsou zvýšení bezpečnosti pracovníků zhotovitele, uživatelů dálnic projíždějících pracovní zónou, lepší kvalitu provedení, ale také snížení dopadů na životní prostředí, jako je například snížení hluku a prašnosti v okolí výstavby.

Investiční náklady se pro tradiční metodu a metodu využívající prefabrikace příliš neliší, avšak pouze pokud neuvažujeme náklady uživatelské, které jsou často opomíjeny. Při započtení uživatelských nákladů - nákladů zpoždění a dopravních nehod - k nákladům investičním vede tato metoda ke značným úsporám. Jedná se o úspory celospolečenského charakteru. Investoři pravděpodobně budou váhat při rozhodování o použití ABC kvůli vyšším počátečním nákladům a neznámým rizikům, které mohou techniky ABC metody přinést.

Jedním z možných řešení tohoto problému v České republice by byla tvorba nástrojů pro zrychlenou výstavbu mostů za použití prefabrikace. Inspirace by mohla přijít například z

již ověřených zahraničních uskutečněných rekonstrukcí nebo výměn mostů metodou ABC a zejména z již vytvořených zahraničních manuálů a nástrojů.

Na základě vypočtených uživatelských nákladů zpoždění a nákladů rizika dopravních nehod na příkladu rekonstrukce dálničního mostu D1-035 bylo zjištěno, že náklady, které vzniknou uživatelům, jsou zhruba ve stejné výši jako náklady na samotnou realizaci. Uživatelské náklady jsou vypočteny ve výši cca 110 milionů korun, oproti nákladům na realizaci, které činily 105 milionů korun. Prefabrikovaná výstavba využívaná v metodě ABC vykazuje ovšem vyšší náklady na realizaci. Tyto náklady by se daly snížit několika způsoby. Například existence standardizovaných prvků vyžadovaných investorem po projektantovi, větší míra spolupráce s prefa výrobny a obecně i lepší informovanost zhotovitelů o metodě ABC s odkazem na již úspěšně zrealizované výměny a rekonstrukce mostů. Domluva s prefa výrobny je důležitá zejména z důvodu snížení nákladů na jinak atypické prvky a zkrácení dodacích lhůt.

Jako vhodnou lze doporučit tvorbu takového manuálu, který by nedoporučoval (jak je tomu v případě ŘSD manuálu doposud), ale přikazoval standardizované postupy a systémy pro výměny a rekonstrukce mostů od počátku vytváření projektu, přes použití prefabrikovaných standardizovaných prvků až po způsob jejich aplikace na místě. Manuál by v tomto případě vedl ke snížení nákladů a minimalizaci individuálních, nestandardních řešení, které zvyšují celkové náklady na projekt. Ředitelství silnic a dálnic poskytuje katalog mostů který je podle jejich uvážení pomůcka zejména pro pracovníky ŘSD v rámci rozhodovacího procesu. Katalogy a manuály by však měly sloužit zejména jako podklad pro projektanty a realizační společnosti.

Konkrétně by měl manuál obsahovat obecné informace o metodě ABC, prefabrikaci, seznam typizovaných mostních konstrukcí, standardizované prefabrikované elementy včetně detailů napojení, technologie, vzorové statické výpočty a ke každému typu mostu za vzor sloužící již úspěšně realizovaný projekt.

Závěrem lze tedy metodu akcelerované výstavby mostů státnímu investorovi doporučit, včetně tvorby manuálu pro její uplatnění a co nejdřívejší praktické uplatnění v dálniční výstavbě a rekonstrukci v České republice.

Seznam použitých zkratek

ABC Accelerated Bridge Construction (Zrychlená výstavba mostu)

FHWA Federal Highway Administration (Federální dálniční správa)

SIBC Slide-in-bridge construction (Posuvná mostní konstrukce)

SPMT Self-Propelled Modular Transporters (Samohybné modulární transportéry)

PBES Prefabricated Bridge Elements and Systems (Prefabrikované mostní prvky a systémy)

HDP Hrubý domácí produkt

ŘSD Ředitelství silnic a dálnic

Literatura

- [1] ALASHARI, M. Accelerated Bridge Construction (ABC), A Better Approach to Bridge Construction? *International Journal for Innovation Education and Research*, 4(8), 2016. 1-30.
- [2] BARTOŠ, Luděk. *Stanovení intenzity dopravy na pozemních komunikacích: Technické podmínky*. II. vydání. Plzeň: EDIP s.r.o., 2012. 76 s. ISBN 978-80-87394-06-9.
- [3] BICKEL, Peter a FRIEDRICH, Rainer a BURGESS, Arnaud. *HEATCO: Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*. Proposal for Harmonised Guidelines. 2. vydání. IER Germany, 2006. 193 s.
- [4] BURAK, Rob a SERADERIAN, Rita. Paper prepared for presentation at the “Bridges – Adjusting to New Realities (A) Session of the 2010 Annual Conference of the Transportation Association of Canada. *Accelerated Bridge Construction – On the Fast Track to Success*, 2010. 1-15.
- [5] Corporate Communications and Brand Optimization Department of HNTB Companies. SOLVE, Infrastructure Solution. *Accelerated Bridge Construction: Speeding the replacement of workhorse bridges to minimize traffic disruption and user costs*, 2015.
- [6] CULMO, P. Michael. *Accelerated Bridge Construction - Experience in Design, Fabrication and Erection of Prefabricated Bridge Elements and Systems*. Final Manual. Report č. HIF-12-013, 2011. 346 s.
- [7] Enerpac Heavy Lifting Technology [online]. Jack-up System - Accelerated Bridge Construction. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=0kB_ajybFTg.
- [8] Eurostat. Road freight transport by journey characteristics [online]. Lucemburk: Eurostat, 2018 [Cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Road_freight_transport_by_journey_characteristics. ISSN 2443-8219.

- [9] Federal Highway Administration. *Prefabricated Bridge Elements Systems (PBES)*. PBES Cost Study: Accelerated Bridge Construction Success Stories, 2006. 56 s. Dostupné z:
<https://www.fhwa.dot.gov/bridge/prefab/successstories/091104/index.cfm>.
- [10] KONSTRUKCE Media, s.r.o. Dálniční most D1-035 [online]. © 2002 - 2020. Dostupné z: www.silnice-zeleznice.cz/clanek/dalnicni-most-d1-035.
- [11] Kurzy.cz, spol. s.r.o. HDP 2020, vývoj hdp v ČR [online]. © 2000 - 2020. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/makroekonomika/hdp/>. ISSN1801-8688].
- [12] LAY, M. G. *Handbook of Road Technology*. 4. vydání. Oxon: Spon Press, 2009. 942 s. ISBN 0-203-89253-4.
- [13] MALLELA, Jagannath a SADASIVAM, Suri. *Work Zone Road User Costs: Concepts and Applications*. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2011. 208 s. ISBN: FHWA-HOP-12-005.
- [14] Michigan Department of Transportation [online]. Slide-in Bridge Construction. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=-mUQa5xbTFM&t=2s>.
- [15] MOTYČKA, Ludvík. *Mostní Stavby*. Letohrad: Průmyslová střední škola v Letohradě, 2013. 19 s.
- [16] Operační program Doprava, Evropská Unie. Příručka INDIKÁTORY: pro monitoring a hodnocení Operačního programu Doprava. 2010.
- [17] POKORNÝ, Jiří a ŠERTLER, Hynek. *Mosty*. Část první. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2013. 129 s.
- [18] Pontex s.r.o. Ředitelství silnic a dálnic ČR, ÚKS, Katalog Mostů. 2014. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/technicke-predpisy/smernice-a-pokyny-pro-vystavbu>.
- [19] SMP CZ, a.s. Rekonstrukce a rozšíření mostu D1-035 v km 29,161 dálnice D1 [online]. © 2011–2014. Dostupné z:
<http://www.smp.cz/referencni-projekty/detail/rekonstrukce-a-rozsireni-mostu-d1-035-v-km-29-161-dalnice-d1>.
- [20] STRÁSKÝ, Jiří a NEČAS, Radim. *Betonové mosty II*. Modul M01: Technologie výstavby mostů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. 43 s.

- [21] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD OF NATION ACADEMIES. *Innovative Bridge Designs for Rapid Renewal: ABC Toolkit, SHRP 2 Report S2-R04-RR-2*. 2013. 323 s. ISBN: 978-0-309-12952-7.
- [22] UDIMO spol. s.r.o. RAILHUC. *Přepravní prognóza ve veřejné dopravě: přestupní terminály a páteřní síť veřejné dopravy Kraje Vysočina*. Ostarva,, 2014.
- [23] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. TECHBRIEF, FHWA-HIF-13-056. *Slide-in Bridge Construction, Executive Summary*, 2014.
- [24] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration [online]. Self Propelled Modular Transporters. [Cit. 07.26.2018]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/abc/spmts.cfm>.
- [25] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration [online]. Slide-in Bridge Construction [Cit. 27.06.2017] . Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/construction/sibc>.

Seznam obrázků

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Konstrukční typ trémového mostu, zdroj: [13] | 5 |
| 2.2 | Příhradový most, zdroj: https://www.britannica.com/ | 6 |
| 2.3 | Obloukový most, zdroj: https://www.britannica.com/ | 6 |
| 2.4 | Visutý most, zdroj: https://www.britannica.com/ | 7 |
| 2.5 | Zavěšený most, zdroj: https://www.britannica.com/ | 7 |
| 2.6 | Popis částí mostní konstrukce. Zdroj: vlastní, dle http://www.civildailyinfo.com/img/engineering/bridge-terminology.jpg | 8 |
| 2.7 | Metody výstavby monolitických a prefabrikovaných konstrukcí. Zdroj: [20]. | 9 |
| 2.8 | Výměna mostu Iowa U.S. 6 přes koryto řeky Keg. (a) a nově zhotovená mostní konstrukce (b) pomocí metody ABC a implementace postupu podle <i>ABC Toolkit</i> . Zdroj: [5]. | 13 |
| 2.9 | Výměna mostu 86 přes Mitchel Gulch probíhající v noci pomocí jeřábu (a) a již kompletně zhotovený nový most 86 z prefabrikovaných dílů (b). Zdroj: http://utcdb.fiu.edu/bridgeitem?id=185 | 17 |
| 2.10 | Výstavba prefabrikované spodní stavby mostu Mill Street Bridge přes řeku Lamprey v New Hampshire (a) a již kompletně zhotovený nový most Mill Strett Bridge z prefabrikovaných dílů (b). Zdroj: http://utcdb.fiu.edu | 18 |
| 2.11 | SIBC - fáze 1 | 19 |
| 2.12 | SIBC - fáze 2 | 19 |
| 2.13 | SIBC - fáze 3 | 20 |
| 2.14 | SIBC - fáze 4 | 20 |
| 2.15 | SIBC - fáze 5 | 21 |
| 2.16 | SIBC - fáze 6 | 21 |
| 2.17 | SPMT - fáze 1 | 23 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.18 | SPMT - fáze 2 | 23 |
| 2.19 | SPMT - fáze 3 | 24 |
| 2.20 | SPMT - fáze 4 | 24 |
| 3.1 | Letecký pohled na nově zprovozněný most D1-035. Zdroj: [19]. | 26 |
| 3.2 | Havarijní podepření původního mostu D1-035 a jeho původní řešení spodní stavby. Obrázek převzat z [10]. | 32 |
| 3.3 | Montáž bednění pilíře pravého mostu (vlevo) a dokončený pilíř levého mostu (vpravo). Komentář i obrázek převzaty z [10]. | 33 |
| 3.4 | Pohled na zařízení staveniště při montáži prvků pro levý rozpon. Zdroj: ABC Toolkit [21]. | 33 |
| 3.5 | Půdorys zařízení staveniště při montáži prvků pro levý rozpon. Zdroj: ABC Toolkit [21]. | 34 |
| 3.6 | Sčítání dopravy 2016 - úsek dálnice D02. Zdroj: http://scitani2016.rsd.cz/ | 38 |
| 3.7 | Sčítání dopravy 2016 - úsek dálnice D02. Zdroj: http://scitani2016.rsd.cz | 38 |
| 3.8 | Celkový přehled nehod pro úsek D-02. Zdroj: http://maps.jdvm.cz/ | 45 |
| 3.9 | Celkový přehled nehod pro úsek D-02. Zdroj: http://maps.jdvm.cz/ | 46 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Rozložení intenzity při délce úseku 1 km a výpočet ztráty času pro režim 2+2 pruhy. Zdroj: vlastní. | 41 |
| 3.2 | Výpočet celkových zpoždění na základě typu vozidla v 1 směru (2 pruhy). Zdroj: vlastní. | 42 |
| 3.3 | Znázornění rozdílu HDP pro rok 2002 a 2016. Zdroj: vlastní, hodnoty HDP převzaty z [11]. | 43 |
| 3.4 | Jednotkové náklady, nebo-li hodnoty času při přepravě osob a zboží přepočtené pomocí HDP na rok 2016. Zdroj: vlastní. | 43 |
| 3.5 | Výpočet množství dopravních nehod se zahrnutím nenahlášených dopravních nehod. Zdroj: vlastní. | 47 |
| 3.6 | Hodnoty CMF pro výpočet míry nehodovosti. Zdroj: vlastní. | 47 |
| 3.7 | Jednotkové náklady následků dopravních nehod přepočtené pomocí HDP na rok 2016 v EUR. Zdroj: vlastní. | 48 |