

**Fakulta stavební Katedra ekonomiky a řízení ve
stavebnictví**

**Ekonomické aspekty prefabrikace v dálničním
stavitelství**

**Economical Aspects of Prefabrication in Highway
Construction**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Radan Tomek, MSc (Tilb)

Doktorský studijní program: (P3604) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3607V054) Stavební management a inženýring

Školitel: prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Praha, 2022

Prohlášení

Jméno doktoranda: Ing. Radan Tomek, MSc. (Tilb)

Název disertační práce: Ekonomické aspekty prefabrikace v dálničním stavitelství

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitelky prof. Ing. Renáty Schneiderové Heralové, Ph.D. a školitele specialisty Ing. Josefa Nováka, Ph.D.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 1.9.2022

podpis

Poděkování

V úvodu práce bych v první řadě rád poděkoval své školitelce prof. Ing. Renátě Schneiderové Heralové, Ph.D. za její vedení, cenné rady a připomínky. Dále pak svému školiteli-specialistovi Ing. Josefu Novákovi, Ph.D., zejména za jeho pomoc s technickou/technologickou stránkou práce a stejně tak i prof. Ing. Vítku Šmilauerovi, Ph.D. za konzultace realizovatelnosti uvažovaných technických řešení.

Abstrakt

V disertační práci je řešena problematika současné výstavby a rekonstrukce tuzemské dálniční sítě, v jejím rámci pak způsob rozhodování o investicích a jejich efektivnost, volba vhodného dodavatelského systému a možnosti a ekonomické aspekty prefabrikační technologie. V práci je objasněna uživatelská a ekonomická výhodnost jejího zapojení do dálniční výstavby a rekonstrukce. Jsou analyzovány možnosti a efekty zapojení této technologie na dvou standardních typech dálničních projektů – výstavbě mostního objektu a vozovkového krytu. Je prokázána výhodnost maximalizace podílu prefabrikovaných konstrukčních prvků a míry jejich standardizace a typizace u mostních objektů a využití prefabrikovaných panelových systémů v rámci rekonstrukcí vozovkových krytů v úsecích s nejvyšší dopravní intenzitou. Jsou navržena konkrétní řešení ohledně efektivnosti investic, způsobu hodnocení kritérií nehmotné povahy / uživatelských nákladů či jejich implementace do rozhodování o investicích a hodnocení veřejných soutěží. Ekonomičnost výstavby dálniční sítě je hodnocena z hlediska vhodnosti použitého dodavatelského systému. Je prokázána rizikovost a nevýhodnost v současnosti využívaného partnerství veřejného a soukromého sektoru a jsou doporučeny dva alternativní mimorozpočtové zdroje financování dálničního projektu.

Klíčová slova: prefabrikace, dálniční výstavba, dálniční rekonstrukce, efektivnost investic, uživatelské náklady, partnerství veřejného a soukromého sektoru, PPP

Abstract

The dissertation deals with the problematics of current construction and reconstruction of the domestic highway network, within which it mainly deals with the investment decision process and its effectiveness, the choice of a suitable project delivery method and the possibilities and economic aspects of prefabrication technology. The thesis explains the user and economic advantage of its involvement in highway construction and reconstruction, analyzes the possibilities and effects of the involvement of this technology on two standard types of highway projects - the construction of a bridge structure and a road pavement. The advantage of maximizing the proportion of prefabricated structural elements and the degree of their standardization and typification in bridge structures and the use of prefabricated panel systems within the reconstruction of road pavements in sections with the highest traffic intensity is proven. Specific solutions are proposed regarding the effectiveness of investments, the method of evaluation of criteria of an intangible nature / road user costs, or their implementation in decision-making about investments and the evaluation of public tenders. Economy of highway construction is evaluated from the appropriateness of the used project delivery system's point of view. The riskiness and disadvantages of the currently used public - private partnership are proven and two alternative off-budget sources of highway project financing are recommended.

Keywords: prefabrication, highway construction, highway reconstruction, investment efficiency, road user costs, public-private partnership, PPP

Obsah

1. ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A VYMEZENÍ TÉMATU PRÁCE	11
1.1 Cíle práce	11
1.2 Stav tuzemské dálniční sítě a vývoj dopravního zatížení	12
1.3 Nedostatečnost nové výstavby	17
1.4 Uživatelské náklady	19
1.5 Prefabrikace a standardizace možným řešením	20
1.6 Aplikace prefabrikace v tuzemsku a zahraničí	21
1.7 Výhody prefabrikovaných betonových vozovkových povrchů a mostních prvků	25
1.8 Metodika, způsob řešení	25
1.9 Výzkumné otázky	26
1.10 Hypotézy	26
2. KRITICKÉ ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO ZPŮSOBU VÝSTAVBY / REKONSTRUKCE DÁLNIČNÍ SÍTĚ Z HLEDISKA DÉLKY VÝSTAVBY / PŘERUŠENÍ PROVOZU	28
2.1 Urychlení dopravní výstavby v ČR	28
2.2 Modernizace D1	29
2.3 Rekonstrukce vozovek	30
2.4 Termínová pobídková a penalizační smluvní ustanovení	31
2.5 Rizikovost konceptu partnerství veřejného a soukromého sektoru	33
2.5.1 Koncept PPP	34
2.5.2 Možnosti financování projektu	36
2.6 Situace výstavby v okolních zemích – Německo	37
2.7 Situace výstavby v okolních zemích – Rakousko	38
3. PŘÍPADOVÉ STUDIE 1 A 2: EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PPP V SR A ČR	39
3.1 Rychlostní silnice R1, Slovensko	39
3.1.1 Kapitálové výdaje (CAPEX)	40
3.1.2 Provozní náklady (OPEX)	41
3.1.3 Náklady financování	41
3.1.4 Ekonomické srovnání vybraných způsobů financování	42
3.1.5 Výsledky a diskuse	44
3.2 Případová studie 2 - Dálnice D4, Česká republika	45
3.3 Závěry případových studií PPP	46
3.3.1 Vyšší finanční náročnost	46
3.3.2 Přidaná hodnota konceptu PPP	47
3.3.3 Celková ekonomičnost	47

4. EFEKTIVNOST INVESTIC DO DÁLNIČNÍ INFRASTRUKTURY	49
4.1 Efektivnost investic a jejich zdroje	49
4.2 Současný výzkum ekonomické efektivity investic	50
4.3 Současná praxe ekonomického hodnocení investice	50
4.4 Hodnotící nástroj HDM-4	52
4.5 Hodnotící nástroj HDM-4 – případová studie 3	53
4.6 Analýza nákladů životního cyklu	55
4.7 Realizační fáze a její efektivita	56
4.8 Shrnutí a závěry	59
5. KVALITA DÍLA	61
5.1 Problematika pevnosti betonu	61
5.2 Ultravysokohodnotný beton	62
5.3 Prefabrikované plastové vozovky	64
6. VYŠŠÍ INVESTIČNÍ NÁKLADOVOST PREFABRIKÁTU	68
6.1 Základní premisa	68
6.2 Náklady	68
6.3 Modulární stavebnictví	69
6.4 Vliv nákladů životního cyklu a celková ekonomie zkoumaných procesů	70
7. PREFABRIKOVANÉ VOZOVKY / PANELOVÉ SYSTÉMY	71
7.1 Vozovkové prefabrikované panelové systémy	71
7.2 Shrnutí charakteristik PCP	74
8. PREFABRIKOVANÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE / AKCELEROVANÁ VÝSTAVBA MOSTŮ	77
8.1 Současné využití	77
8.2 Prefabrikace a akcelerovaná výstavba mostů (ABC)	78
8.3 Výhodnost prefabrikace a unifikace mostních konstrukcí	79
8.4 Mosty využívající systém prefabrikovaných nosníků	81
8.5 Segmentová technologie	83
8.6 Spřažené mosty	84
8.7 Závěry	85
9. UŽIVATELSKÉ NÁKLADY A PREFABRIKACE	87
9.1 Uživatelské náklady	87
9.2 Metody výpočtu uživatelských nákladů	89
9.2.1 Rostoucí potřeba kapacit a prostředků údržby silnic	90
9.2.2 Navrhované řešení problému	90
9.3 Prefabrikovaný předpjatý beton jako možné řešení	91
9.4 Hromadná aplikace prefabrikace	92
9.4.1 Prefabrikované betonové vozovky	92
9.4.2 Případová studie 4 – renovace jízdnic pruhů I-66	92

9.5	Bezpečnost pracovních zón	93
9.6	Závěry	94
10.	PŘÍPADOVÁ STUDIE 5 – EKONOMICKÉ ASPEKTY VÝSTAVBY DÁLNIČNÍHO MOSTU D1-035 IN-SITU METODOU VERSUS PREFABRIKACÍ S METODOU ABC	95
10.1	Náklady provedené rekonstrukce a rozšíření mostu	96
10.2	Stanovení uživatelských nákladů realizované varianty	97
10.2.1	Stanovení uživatelských nákladů zpoždění	97
10.2.2	Stanovení uživatelských nákladů dopravních nehod	103
10.2.3	Stanovení uživatelských nákladů dopravních emisí	108
10.2.4	Stanovení celkových uživatelských nákladů	113
10.3	Náklady alternativní varianty	114
10.4	Vyhodnocení případové studie 5	115
11.	PŘÍPADOVÁ STUDIE 6 – EKONOMICKÉ ASPEKTY REKONSTRUKCE VOZOVKY ÚSEKU 05 DÁLNIČNICE D1 – CEMENTOBETONOVÝ VERSUS PREFABRIKOVANÝ KRYT	117
11.1	Stanovení uživatelských nákladů realizované varianty	117
11.1.1	Stanovení uživatelských nákladů zpoždění	117
11.1.2	Stanovení uživatelských nákladů dopravních nehod	121
11.1.3	Stanovení uživatelských nákladů dopravních emisí	125
11.1.4	Stanovení celkových uživatelských nákladů	129
11.2	Náklady alternativní varianty a vyhodnocení případové studie 6	129
12.	ZÁVĚRY, DOPORUČENÍ A DALŠÍ VÝZKUM	132
12.1	Cíle výzkumu	132
12.2	Prefabrikace v mostních projektech	132
12.3	Prefabrikace dálničního krytu	133
12.4	Rozhodování o investicích	134
12.5	Ekonomické aspekty nové výstavby – dodavatelské systémy	134
12.6	Výzkumné otázky	136
12.7	Hypotézy	137
12.8	Shrnutí výsledků práce – význam pro praxi a výzkum	138

Seznam zkratek

ABC – accelerated bridge construction – akcelerovaná výstavba mostů

CAPEX – capital expenses – kapitálové náklady

CB – cementobeton / cementobetonový

CIP – cast-in-place – monolitický beton (v kontextu disertační práce)

ČSÚ – Český statistický úřad

DB / D-B – design-build – dodavatelský systém

DBB – design-bid-build – dodavatelský systém

FHWA – Federal Highway Administration

HPC – high-performance concrete – vysokohodnotný beton

HSC – high-strength concrete – vysokopevnostní beton

HSV – hlavní stavební výroba

JV – joint venture – forma spolupráce právnických osob

LCCA – life-cycle cost analysis – analýza nákladů životního cyklu

MD ČR – Ministerstvo dopravy ČR

NSC – normal strength concrete – beton běžné pevnosti

OPEX – operational expenses – provozní náklady

PCP – precast concrete pavement – prefabrikovaná panelová vozovka

PPP – partnerství veřejného a soukromého sektoru

PSV – přidružená stavební výroba

RUC – road user costs – uživatelské náklady

ŘSD ČR – Ředitelství silnic a dálnic ČR

SFDI – Státní fond dopravní infrastruktury

UHPC – ultra vysokohodnotný beton (ultra high-performance concrete)

1. ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A VYMEZENÍ TÉMATU PRÁCE

1.1 Cíle práce

Cílem práce je přispět k řešení problému nedostatečné dopravní kapacity silniční sítě, pomalého tempa její výstavby, údržby a obnovy a zabránění současného trendu plýtvání veřejnými prostředky, například volbou nevhodného dodavatelského systému.

Jednou z cest k rychlejšímu dosažení žádoucího stavu silniční sítě ohledně její kapacity i kvality je i prefabrikace. Snahou je tedy identifikovat potenciál technologie prefabrikace a jejího využití v podmínkách tuzemské dálniční (příp. silniční) infrastruktury.

V rámci této snahy je provedena analýza současného způsobu výstavby a údržby, ať už co se týče použitých technologií (např. in-situ pokládka cementobetonového krytu), organizace projektu (zejména časové plánování) či používaného dodavatelského systému (design-bid-build vs. partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP)). Tomuto u nás v současnosti populárnímu způsobu realizace dopravní infrastruktury je pro jeho další plánované extenzivní využití věnována zvýšená pozornost.

Dále je v rámci analýzy současného způsobu výstavby a údržby věnována velká pozornost uživatelským nákladům, neboť obecně právě využitím prefabrikace lze dosáhnout jejich nejvyššího snížení. Zjištění velikosti a závažnosti relativně neviditelných uživatelských nákladů, upozornění na ně a nepřímá nápomoc ku jejich snížení je dalším z cílů této disertační práce.

V rámci disertační práce je provedena rešerše dostupných zdrojů a souhrnná analýza stávající situace problematiky, jak **ve věcech technických**:

- konstrukční a uživatelská kvalita vozovky a dálničních objektů realizovaných prefabrikační metodou, respektive jejich srovnatelnost s těmi, budovanými metodou standardní, tj. kompletně realizovanou na staveništi,
- doba životnosti budovaných dálnic vč. jejich objektů realizovaných prefabrikační metodou, včetně srovnání s metodou standardní,

tak **ve věcech ekonomických**:

- porovnání ekonomické výhodnosti současného a navrhovaného přístupu k výstavbě, údržbě a obnově dálniční infrastruktury, porovnání celospolečenských nákladů uživatelů dálniční sítě u obou řešených přístupů. Z výsledků tohoto ekonomického vyhodnocení jsou pak vyvozena závěrečná stanoviska a soubor doporučení.

Nejvýznamnější výzkumem poslední doby je v oblasti dálniční výstavby a údržby činnost Centra pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), jež se však možností využití metod prefabrikace zabývá okrajově. Tradičně velké tuzemské praktické

know-how je rozvíjeno relativně málo soukromými společnostmi, zejména společnostmi Metrostav a jednotlivými výrobci prefabrikátů.

V zahraničí je situace odlišná, zejména ve Spojených státech amerických se tématem dlouhodobě zabývá nejen státní dálniční organizace a akademická sféra, ale také množství soukromých společností, které metody prefabrikace a jejich využití v praxi aplikují a dále vyvíjejí. Naopak v tuzemsku není tato problematika v obdobné šíři doposud řešena.

Praktické využití metod prefabrikace v dopravní infrastruktuře se v ČR v současnosti omezuje pouze na malou část mostních či tunelových prvků, případně pro výstavbu protinázarových / protihlukových stěn. Zaměření výzkumu na využití prefabrikace pro např. vozovkové povrchy a mostní celky je v našich podmínkách původním.

Cílem práce tedy je:

CP1: identifikovat potenciál technologie prefabrikace a jejího využití v podmínkách tuzemské výstavby dálniční infrastruktury, tj. jak v rámci dodavatelského systému tradičního (DBB), tak v rámci nově propagovaného partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP);

CP2: vymezení problémů spojených s aplikací prefabrikačního přístupu k výstavbě/rekonstrukci, spojených zejména s:

- nedodržením uvažovaných uživatelských nákladů projektu,
- překročením termínů a nedodržením kvality/trvanlivosti projektu,
- nedodržením celkové nákladovosti projektu;

CP3: prokázat ekonomičnost výstavby z prefabrikátů pro nejvytíženější úseky dálniční sítě (např. Pražský okruh, D1 apod.), kde je doba výstavby/rekonstrukce klíčová a její ekonomický význam převažuje nad vyšší cenou technologie;

CP4: vyhodnotit ekonomičnost a opodstatněnost využití dodavatelských systémů nově prosazovaných v tuzemské dálniční výstavbě (partnerství veřejného a soukromého sektoru), porovnat jej s dodavatelským systémem tradičním;

CP5: přispět ke snížení celkové nákladovosti výstavby/rekonstrukce tuzemské dálniční sítě (celkové náklady výstavby/rekonstrukce = náklady investiční + náklady uživatelské).

1.2 Stav tuzemské dálniční sítě a vývoj dopravního zatížení

Dálniční síť České republiky je přetěžována stále se zvyšujícími objemy silniční dopravy, a proto stárne rychleji, než bylo plánováno v době její výstavby. Důsledkem toho je rostoucí míra opotřebení celé dálniční infrastruktury s dopadem do zvyšujícího se množství potřebných rekonstrukčních prací. Potřeba údržby tuzemské dálniční sítě pak v současné době úměrně jejímu rostoucímu využití roste také. Dálniční síť musí však neustále rostoucímu dopravnímu toku sloužit s minimálními přerušeními a veškerá její údržba (tj. průběžné opravy a rekonstrukce) musí být tedy prováděna za provozu.

Uživatelé dálniční sítě očekávají, resp. požadují, aby se veškerá její rekonstrukce a nová výstavba prováděla rychleji a s omezenými uzavírkami, dopravními zácpami, zpožděním a obtížemi. Stávající kapacity tuzemského stavebního sektoru však rostoucí poptávku po výstavbě, opravách a údržbě nejsou dlouhodobě schopny plně uspokojit.

Řešení takovýchto mimořádných kapacitních požadavků lze však nalézt v analogii s problémem zvýšené poptávky první poválečné generace po bytovém bydlení v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století – je jím aplikace prefabrikovaných stavebních systémů s využitím technologie prefabrikovaných předpjatých betonových prvků. Tato technologie má potenciál výstavbu a údržbu dálničních sítí dokonce výrazně změnit:

- během výstavby/oprav snižuje omezení provozu a zvyšuje bezpečnost,
- přináší vyšší kvalitu výsledného díla a z toho plynoucí zvýšení trvanlivosti a nižší potřeby další následné údržby.

Splnění výše navržené možnosti řešení nedostatečných kapacit stavebního sektoru technologií prefabrikace je však v současnosti možné také pouze v omezené míře. Důvodem je nedostatečná kapacita samotných pref (resp. výrobců betonových stavebních dílců a konstrukcí). Ústup od panelové bytové výstavby praktikované v masovém měřítku v sedmdesátých a osmdesátých letech znamenal počátkem let devadesátých zásadní snížení jejich kapacit. Přestože je v současnosti poptávka trhu vysoká, k nárůstu tuzemských prefabrikačních kapacit od té doby nevedla a jediným efektem je v současnosti zatím pouze nárůst nabídkových cen těchto výrobců, představující neopodstatněné zvýšení ceny prefabrikátů. V disertační práci dále diskutovaná možnost využití prefabrikace i v rámci dopravní výstavby a rekonstrukce však nejspíše sílu vyřešit tento stav objemem potenciální poptávky má.

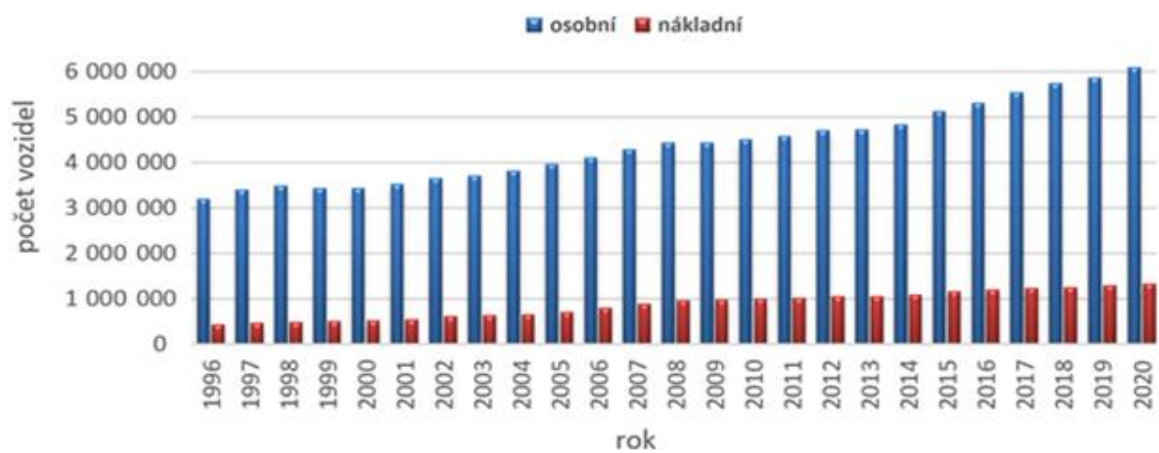
Zvyšující se míra opotřebení celé tuzemské dálniční infrastruktury je důsledkem trvalého nárůstu objemu dopravy – viz Grafy 1 a 2 níže – na který tato infrastruktura nebyla v době svého vzniku dimenzována.

Dle dat Ministerstva dopravy se celkové množství všech vozidel registrovaných v ČR, tj. osobních a nákladních, zvýšil z cca 3 milionů v roce 1996 na cca 6 milionů v roce 2020 (viz Graf 1). Například na páteřní komunikaci České republiky, na dálnici D1, se objem dopravy mezi lety 2010 a 2016 dokonce zdvojnásobil. Přestože nárůst objemu dopravy na ostatních evropských dálnicích není tak vysoký, je podle Eurostatu [1] realitou v každé zemi, pouze s několikaletou přestávkou v důsledku světové finanční recese mezi lety 2008 a 2012 či krátkého poklesu během světové pandemie v roce 2020. Od prvně zmíněné přestávky lze pak v rámci oživení ekonomiky opět sledovat trend dlouhodobého růstu objemu dopravy. Stejně tak počet vozidel se dle údajů Eurostatu téměř ve všech členských státech EU za posledních pět let opět zvýšil [2].

V následujících grafech uvádějících vývoj velikosti tuzemského vozového parku a objemu tuzemského přepravního výkonu silniční nákladní dopravy však nejsou zahrnuta vozidla registrovaná v zahraničí. Jejich počty jsou vzhledem ke strategické poloze České republiky v rámci Evropy vysoké a jimi způsobené opotřebení naší dálniční sítě je tedy značné. Například koncem roku 2019 bylo v souvislosti se změnou způsobu výběru

mýtného již do nového satelitního systému dle jeho provozovatele, společnosti CzechToll s.r.o. zaregistrováno téměř sto tisíc polských nákladních vozidel. Ke konci února 2022 bylo v systému elektronického mýtného zaregistrováno 658 tisíc vozidel s hmotností nad 3,5 tuny. Z toho více než 165 tisíc vozidel má domácí registrační značky, zbylých 493 tisíc automobilů je registrováno v zahraničí [3]. Výše vyslovenou tezi o strategické poloze naší dálniční sítě ve středu Evropy a z toho plynoucího vyššího opotřebení mezinárodním provozem lze tedy doložit tímto poměrem tří zahraničních nákladních vozů ku jednomu tuzemskému plynoucímu z dat elektronického mýtného systému.

Dle dat provozovatele mýta tedy trend nárůstu dopravy neustále pokračuje a spolu s ním i množství mýtným systémem generovaných prostředků. Dle společnosti CzechToll platí od začátku roku 2021 doposud, že k růstu výnosů přispělo kromě větší intenzity dopravy zejména zavedení trojsložkového mýtného – od začátku roku jsou v mýtných sazbách zahrnuty také poplatky za hluk a emise z provozu nákladních vozidel [3].

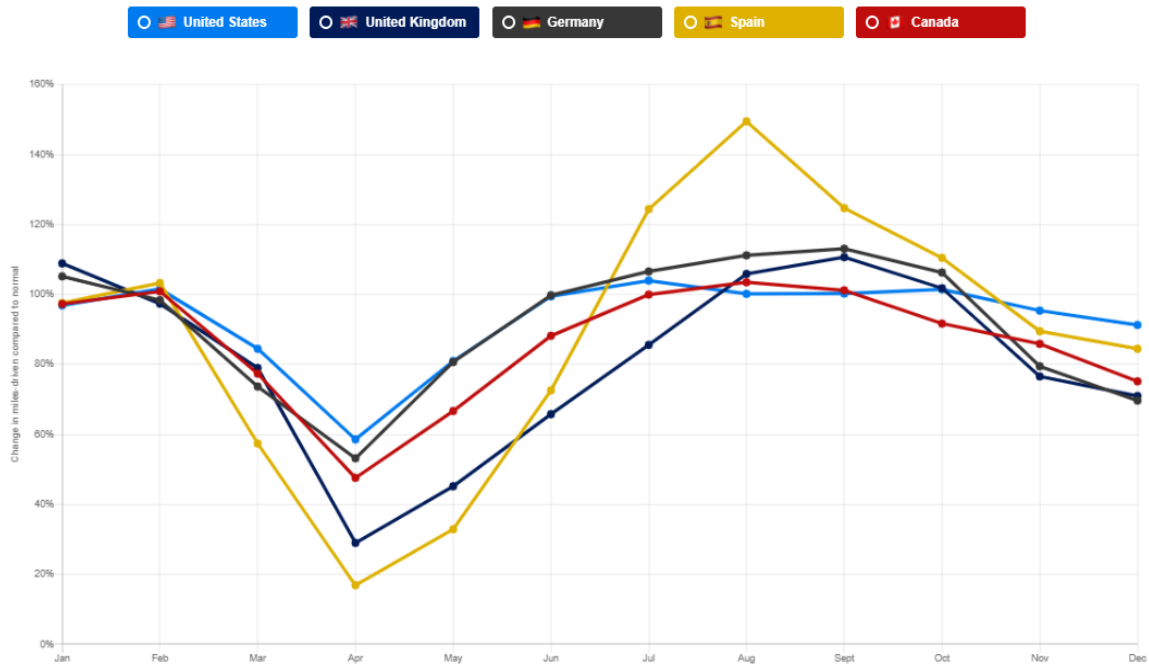


Graf 1: Vývoj dopravního parku v letech 1996-2020 - množství osobních a nákladních vozidel registrovaných v ČR. Zdroj: dle dat ČSÚ a MD [4]

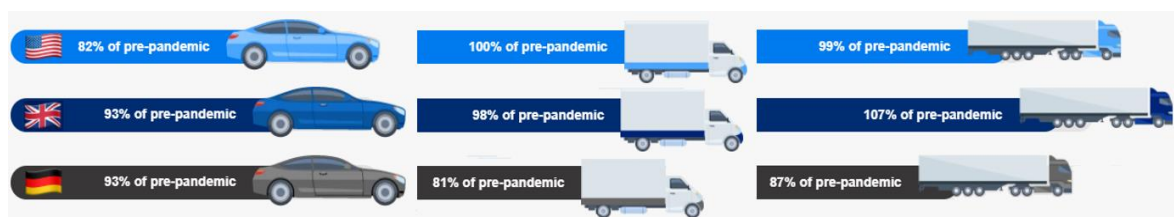


Graf 2: Vývoj přepravního výkonu silniční nákladní dopravy v ČR v letech 2008-20. Zdroj: Ministerstvo dopravy ČR [4]

Výše zmíněný trend dlouhodobého růstu objemu dopravy byl poprvé od doby světové finanční recese v současnosti přerušen až celosvětovou pandemickou krizí čínské chřipky Covid-19. V Grafu 3 níže je jasně patrný propad intenzity dopravy po nasazení protipandemických opatření vládami jednotlivých zemí na jaře roku 2020, zejména v rámci tzv. lockdownu v měsíci dubnu. Graf prezentuje výsledky mezinárodní big-data analýzy [5] provedené v padesáti zemích světa a ve více než tisíci městech, včetně České republiky, viz Tabulka 1 o průměrné době ztracené tuzemským řidičem v dopravní zácpě v následující podkapitole.



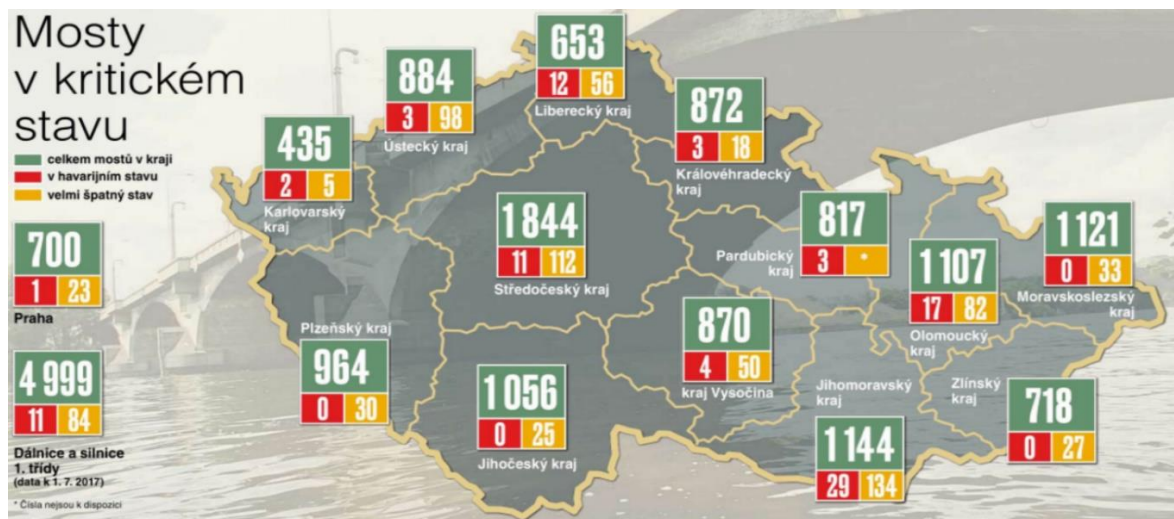
Graf 3: Vývoj celkové dopravní zátěže v roce 2020 ve světě. Zdroj: Inrix 2020 Global Traffic Scorecard, 2021 [5]



Graf 4: Vývoj dopravní aktivity jednotlivých druhů dopravy v USA, VB a SRN před pandemií Covid-19 a po ní. Zdroj: Inrix 2020 Global Traffic Scorecard, 2021 [5]

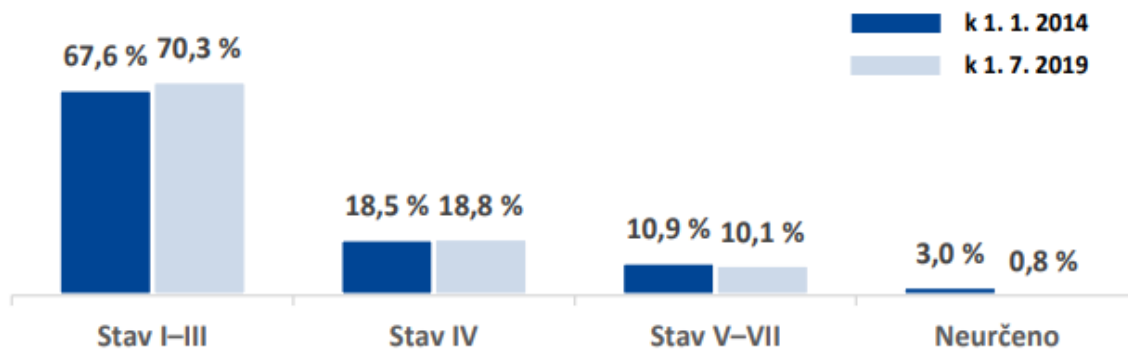
Světovou pandemií poznamenaný rok 2020 tedy zaznamenal významný propad veškeré dopravy, resp. její intenzity všech jejích druhů – pozemní, námořní i letecké. Jak je patrné z Grafu 4, v rámci dopravy pozemní (která je na rozdíl od dvou zbývajících tématem této výzkumné práce) se jediné doprava nákladní, zejména těžká, dokázala rychle opět zvednout a dostat téměř na předkrizové hodnoty.

Trendu nárůstu objemu dopravy však neodpovídá situace ve výstavbě a údržbě mostních objektů. Mostů, které jsou v neuspokojivém stavu, přibývá rychleji, než se daří mosty obnovovat a přestavovat. Jednou z příčin je nedostatek finančních prostředků, chybějí i kvalifikovaní stavebníci a specializované firmy s odpovídajícím vybavením a zkušenostmi, jak v roce 2017 v tiskové zprávě uvedla Unie mostařů České republiky (Graf 5 níže) či v roce 2020 Národní kontrolní úřad (NKÚ).



Graf 5: Počet mostů ve velmi špatném a havarijním stavu. Zdroj: Unie mostařů ČR

Stav se od té doby doposud bohužel nezměnil, o čemž svědčí i výsledky poslední publikované zprávy NKÚ z července 2020 [6] - viz Graf 6 níže. Tato zpráva dokonce výše uvedené tvrzení Unie mostařů o nedostatku finančních prostředků rozšiřuje konstatováním, že ani “o výši peněžních prostředků potřebných pro dosažení alespoň dobrého stavu dálničních a silničních mostů v majetku státu jejich opravami a pro zajištění jejich řádné údržby v rozsahu nezbytném pro udržení tohoto stavu nemá přesný přehled MD ani ŘSD“. Stav mostů na silnicích II. a III. třídy byl pak k datu ukončení poslední kontroly NKÚ ještě zanedbanější – ve špatném až havarijním stavu je jich celých 23,3 %.



17 533

Počet mostů na dálnicích a silnicích I. – III. třídy v České republice; z toho 1 701 mostů je na dálnicích a 3 236 mostů na silnicích I. třídy (ve správě ŘSD) a 12 596 mostů na silnicích II. a III. třídy (ve správě krajů).

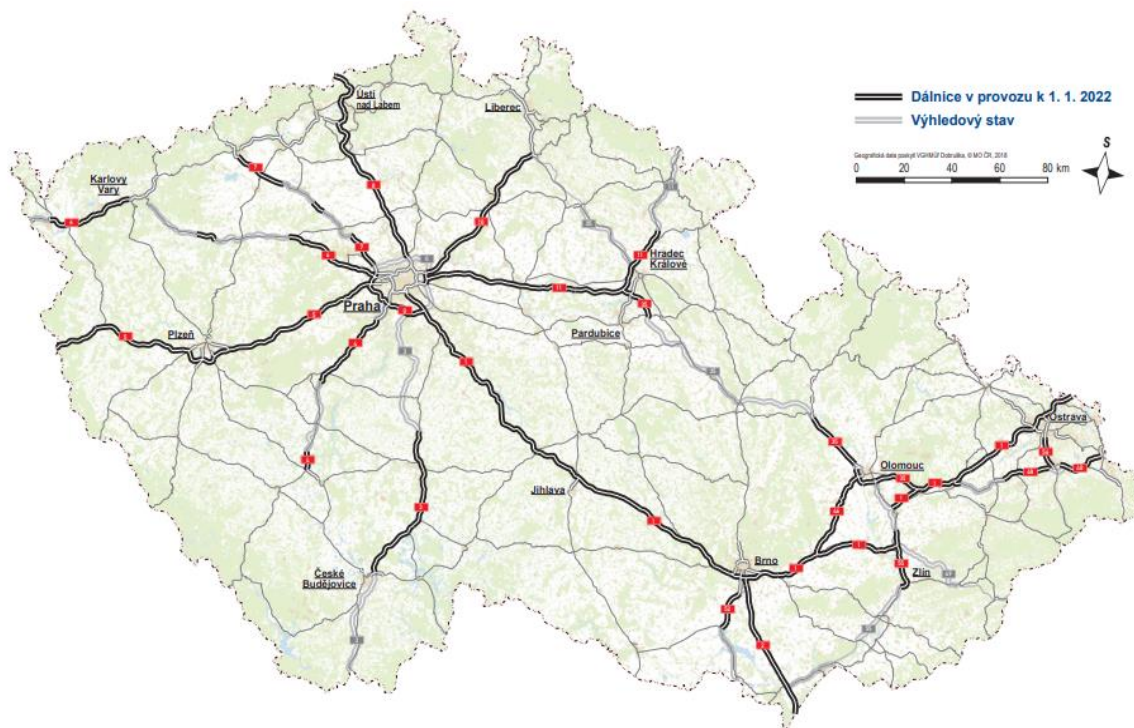
10,1 %

Podíl mostů na dálnicích a silnicích I. třídy ve špatném až havarijním stavu.

Graf 6: Stav mostů na dálnicích a silnicích I. třídy k 1. 1. 2014 a k 1. 7. 2019. Hodnocení stavu mostů na sedmistupňové škále dle ČSN 73 6221 *Prohlídky mostů pozemních komunikací*: stav I – bezvadný, II – velmi dobrý, III – dobrý, IV – uspokojivý, V – špatný, VI – velmi špatný, VII – havarijní, Zdroj: Zpráva NKÚ 7/2020 [6]

1.3 Nedostatečnost nové výstavby

Obdobné požadavky mají samozřejmě uživatelé dálniční sítě i ohledně výstavby nové, zejména ohledně funkčnosti dálniční sítě jako celku. Z plánovaného data dokončení základní dálniční sítě v roce 2050 jasně vyplývá, že její plnou funkčnost jako celku nelze ještě nejméně v následujících třech dekádách očekávat. - viz Obr. 1 níže. Současné tempo přípravy projektů, jejich povolování a výstavby však jasně naznačuje, že ani výše zmíněný rok 2050 není jistý.



Obr. 1: Dálniční síť ČR, stav ku 1.1. 2022, včetně výhledu plánované výstavby. Zdroj: ŘSD ČR

Za největší problém lze z hlediska velikosti potřebné kapacity dopravní obsluhy označit neschopnost státního investora dokončit severní spojení Čech s Moravou a Slezskem dálnicí D35 (dnes R35). Přitom dokončení tohoto spojení, které by kapacitně z velké míry východo-západní směr dopravního toku obsloužilo, bylo vždy jedním z klíčových předpokladů započítání rekonstrukce páteřní komunikace tohoto směru – dálnice D1. Argument o nutnosti okamžitého zahájení rekonstrukce, tj. bez dokončení výše zmíněné dálniční severní cesty, kvůli možnosti čerpání evropských fondů však v uvažování veřejného správce (vláda a MD ČR) převážil. Možnost jejich čerpání však svými podmínkami zásadně omezila způsob provedení této rekonstrukce. Tou nejproblematictější byla pak možnost dálnici pouze „modernizovat“, tj. sice opravit, avšak v jejích původních parametrech, tj. v režimu 2+2 (dva jízdní pruhy v každém směru). Otázka správnosti zvoleného způsobu rekonstrukce páteřní D1 je v práci dále řešena v rámci následující kapitoly; zajímavá zjištění ohledně zvoleného řešení modernizace pak také nabízí výsledky případové studie rekonstrukce úseku 05 v kapitole 11.

Nejen z makroekonomického hlediska tolik žádoucí dokončení základní dálniční sítě na délku plánovaných dvou tisíc kilometrů dříve než v současnosti stále vytyčeném roce 2050 bude vyžadovat stavební kapacity značného objemu. V současnosti (včetně úseků otevíraných během roku 2022) je k dispozici 1 379 km dálnic. Značnou část dopravního toku je pak dále schopen pojmout jeden a půl tisíce kilometrů silnic první třídy (1 470 km), který je od léta 2022 taktéž díky flexibilitě technologie zavedeného satelitního mýtného systému zpoplatněn.

1.4 Uživatelské náklady

V předchozí podkapitole ilustrovaná nedostatečnost (pokrytí celého území) a nedostupnost (omezená kapacita) dopravní sítě má významný dopad na ekonomickou výkonnost národního hospodářství. Tento dopad lze ekonomicky vyjádřit pomocí tzv. uživatelských nákladů (user costs), které jsou definované jako *veškeré dodatečné náklady, které uživatelé silniční sítě nesou v důsledku veškerých omezení plynoucích z probíhající opravy či výstavby v dané pracovní zóně* [7] (blíže viz kapitola 9).

Jedná se tedy o takové náklady, které by při neexistenci dopravních omezení a jejich důsledků nevznikly. Tuto pracovní zónu standardně definujeme jako *úsek silnice/dálnice, ve kterém údržba a stavební práce zasahují do počtu jízdých pruhů, které jsou k dispozici provozu, nebo ovlivňují provozní charakteristiky provozu procházejícího tímto segmentem* [8]; dle terminologie ŘSD ČR ji pak také nazýváme *pracovním místem* či *úsekem*). Těmito náklady nesenými uživateli – jak osobami fyzickými, tak právníckými – jsou zejména náklady zpoždění neboli ztráty produktivního času, zvýšené provozní náklady vozidla a náklady zvýšeného rizika dopravních nehod.

Další ekonomicky vyjádřitelnou složkou jsou pak tzv. mimostaveništní externality jako zdravotní dopady způsobené znečišťujícími látkami a hlukem, narušení obchodního obratu či mnohé další dopady na místní komunitu (vč. např. depopulace území) [9]. Jak již bylo dříve naznačeno, zjištění rozměrů a závažnosti relativně neviditelných uživatelských nákladů, upozornění na ně a nepřímá nápomoc ku snížení jejich negativních dopadů je jedním z cílů této disertační práce.

To, že se tyto náklady netýkají pouze každodennímu životu vzdálené pracovní zóny dálničního rekonstrukčního projektu, dokazuje i Tabulka 1 níže s aktuálními daty o množství času ztraceného řidiči díky dopravním zácpám v několika z našich měst. Pro nastínění ekonomické závažnosti problému uživatelských nákladů je zde možno uvést hodnoty vypočtené v rámci výše zmíněné celosvětové analýzy. Pomocí metodiky amerického ministerstva dopravy byly konkrétní náklady v dopravní zácpě ztraceného času odvozeny pro města v USA, Velké Británii a Německu: 325 Kč (14,80 USD) za hodinu v USA, 237 Kč (7,90 GBP) za hodinu ve Velké Británii a 234 Kč (9,00 EUR) za hodinu v Německu. Způsob stanovování výše uživatelských nákladů a jejich dopadů v ČR je pak podrobně řešen v kapitolách 4 a 9 a v rámci dvou případových studií v kapitolách 10 a 11.

město	hodiny v zácpě / rok (2020)	Δ hodiny v zácpě / rok (2020 vs 2019)	průměrná rychlost dopravy v městském centru (km/h)
Praha	43	-33 %	32
Brno	29	-	32
Č. Budějovice	29	-31 %	26
Pardubice	19	40 %	30
Hradec Králové	15	60 %	40

Ostrava	13	26 %	40
Olomouc	12	49 %	34
Ústí nad Labem	9	51 %	38
Karlovy Vary	8	40 %	30
Liberec	3	65 %	40

Tabulka 1: Množství času průměrně stráveného v dopravní zácpě v jednotlivých českých městech v roce 2020 každým účastníkem dopravního provozu. Zdroj: Inrix 2020 Global Traffic Scorecard, 2021 [5]

Přerušování dopravy prováděním oprav a sanací povrchu vozovek vede k dopravním zácpám. Provedená studie, ve které bylo analyzováno více než 200 000 dopravních zácp v 19 evropských zemích, ukázala, že jejich celkový ekonomický dopad by od roku 2016 do roku 2025 činil více než 160 miliard eur [10].

1.5 Prefabrikace a standardizace možným řešením

Výhodou prefabrikace je v rámci výstavby a rekonstrukce dálniční infrastruktury ve světě využíváno zejména ve dvou oblastech – pro povrchy vozovek a konstrukce dálničních objektů – mostů či tunelů. V tuzemsku se tak v současnosti děje pouze při výstavbě mostů a v malé míře i tunelů, jež jsou však stavbami zcela specifickými a v rámci naší sítě i velmi ojedinělými a tato práce se jimi podrobněji nezabývá.

Obecně řečeno se výstavba výše zmíněného za využití prefabrikace jeví jako možné variantní řešení zejména pro své výhody v podobě své rychlosti výstavby, vysoké jakosti a z toho plynoucí dlouhé životnosti.

Pro výstavbu budov a mostů již využitelnost prefabrikace ve velké míře (viz výše zmíněná bytová krize první poválečné generace v 60./70. letech či masová obnova druhou světovou válkou zničených mostů) prokázána byla. V poslední době se však stává stále proveditelnější alternativou i pro aplikaci v rámci silniční/dálniční výstavby a rekonstrukce.

Hlavní výhodou technologie je tedy rychlost výstavby a vyšší výrobní jakost v porovnání s konstrukcemi vyrobenými in-situ. Prefabrikované prvky jsou zhotovovány v kontrolovaných podmínkách - tj. zejména co se týče vhodné přípravy a uložení betonové směsi, přesného umístění výztuže, kvalitního ošetřování betonu za téměř neměnných klimatických podmínek – v prefabrikační kapacitě dlouho před tím, než budou potřeba, skladovány a přepraveny na staveniště až v době potřebné instalace. Konečná konstrukce pak může být na místě určení pomocí prefabrikátů relativně jednoduše sestavena. Potřeba na místě zhotovených částí (in-situ) je pak většinou malá (např. založení / pata mostního pilíře).

V rámci úvodního představení prefabrikace je třeba ještě jednou zmínit oblast výstavby, ve které jsme již v tuzemsku jejich výhod významně využít dokázali a nelze ji tedy opomenout. Rozsáhlou mírou standardizace a typizace, umožňující úsporu času, financí i

pracovních sil v tuzemsku poprvé začala v bytové výstavbě využívat již před druhou světovou válkou firma Baťa, tehdy nejspíše nejmodernější firma Československa a jistě i z nejmodernějších firem světových. Se začátkem válečného konfliktu došlo k útlumu výstavby a stavební oddělení se věnovalo projekčním a výzkumným pracím, které se týkaly především betonových prefabrikátů a výstavby panelových konstrukcí. Podmínkou pragmaticky založené firmy Baťa bylo, aby realizace montovaných staveb byla ekonomičtější a rychlejší než stavba zavedených cihlových domků. Montované domky z prefabrikovaných betonových dílců, vyvinuté zlínskými architekty a stavaři, se nabízely jako jedno z východisek řešení bytové nouze po druhé světové válce v Československu [16].



Obr. 2: Svému účelu dodnes sloužící první velký dům montovaný z celostěnových prefabrikovaných panelů v bývalém Československu postavený ve Zlíně podnikem Baťa (resp. Stavosvit, n.p.). Zdroj: [17]

První velký panelový dům G40 postavený ve Zlíně na přelomu let 1953 a 1954 (o čtyřiceti bytech; viz Obr. 2 výše), či následující masová výstavba v rámci jednotlivých konstrukčních soustav (např. řada T, VVÚ ETA, NKS či Larsen-Nielsen) prokazují v rámci bytové výstavby obdobné výhody či obecně charakteristiky co se týče zde řešené míry standardizace a typizace (resp. kvality, nákladnosti, doby výstavby apod.).

Bytový typ výstavby, ačkoliv se jedná o výstavbu prefabrikovanou/modulární, však není na úkor dopravní problematiky v rámci práce řešen. Nezpochybnitelně však představuje základ a výchozí bod veškeré tuzemské prefabrikace a jejího současného know-how, neseného několika velkými stavebními podniky a mnoha jednotlivými prefabrikačními výrobny (resp. panelárnami či tzv. prefami).

1.6. Aplikace prefabrikace v tuzemsku a zahraničí

Prefabrikované a standardizované mostní prvky (celky) a prefabrikované vozovkové systémy se zejména pro výrazně kratší dobu instalace jeví nejvhodnějšími pro nejvytíženější části dálniční sítě - tzn. pro ty, jejichž uzavírka představuje zásadní dopravní problém

(vysoký objem dopravy; neexistence blízké objízdné trasy) a představuje vysoké náklady uživatelů dopravní sítě.



Obr. 3: Levá polovina nově zhotoveného mostu D1-035 v km 29,161 dálnice D1 provedená za 106 dní od započetí demoličních prací mostu původního. Následně pak byla shodným postupem zbudována za dalších 110 dní jeho pravá část, neboť most byl pro zachování provozu vystavěn střídavě ve dvou fázích. Zdroj: Společnost SMP CZ [11].

Příkladem za stávajícího provozu nejvyšší intenzity nově zbudovaného mostu D1-035 (viz Obr. 3 a 4) se podrobně zabývá pátá případová studie této disertace (kapitola 10). Zhotovitelem (a velice pravděpodobně i objednatel) vyzdvihoaná doba trvání výstavby cca tři a půl měsíce od započetí demoličních prací mostu předcházejícího je totiž skvělou pouze zdánlivě. Spodní stavba byla totiž provedena monoliticky, tzn. časově náročnější výrobní technologií; pouze předpjaté nosníky byly zhotoveny prefabrikovaně. Spřažená železobetonová deska mostovky je pak zhotovována obvykle monoliticky (ať už běžným či ultra-vysokohodnotným betonem) a její případná prefabrikace se tedy v práci neuvažuje a nebude variantně ekonomicky posuzována. Tento postup byl zvolen i v případě již zmíněného mostu D1-035 - viz Obr. 4 níže, znázorňující právě betonáž spřažené desky mostovky.

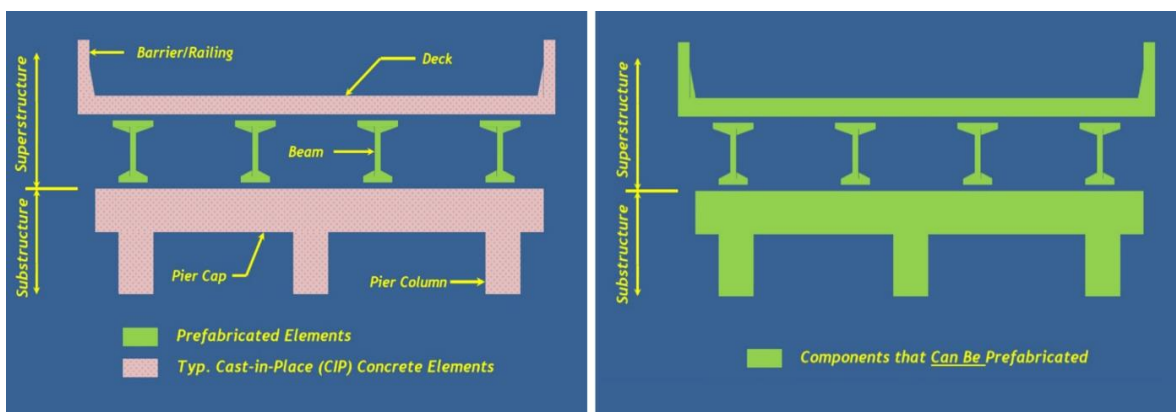
Ve světě (zejména USA, Kanada) je však i tato část konstrukce stále běžněji prefabrikována (viz. schéma na Obr. 5) a proto představuje další prostor pro případnou akceleraci výstavby. V tuzemsku je nejčastěji prefabrikace uplatněna pouze při zhotovení mostovky. Děje se tak buď využitím prefabrikovaných příčných nosníků (malé a střední mosty) či segmentové technologie (tj. prefabrikovaných segmentů) pro mosty větší či

tvarem/umístěním komplikovanější (oběma způsobům provedení se podrobně věnuje kapitola 8).



Obr. 4: Betonáž sřážené desky mostovky (levý most) v rámci rekonstrukce a rozšíření mostu D1-035 v km 29,161 dálnice D1. [12]

Přitom je to právě zejména využití prefabrikovaných předpjatých prvků, které přináší významné zvýšení kvality a trvanlivosti, a tedy zvýšení podílu prefabrikátů na každém nově budovaném či rekonstruovaném mostu by mělo být ekonomicky výhodným.



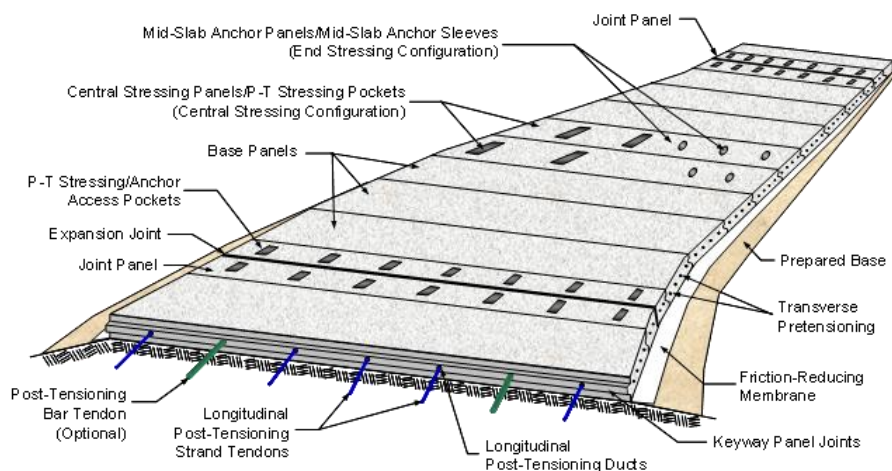
Obr. 5: Porovnání v současnosti obvyklého postupu výstavby, tj. metodou cast-in-place, se způsobem výstavby plně využívajícím prefabrikované díly konstrukce. Zdroj: Federal Highway Administration [14]

Ideální směr vývoje prefabrikace formulovaný v rámci konference Mosty 2011 se však v tuzemské praxi skutečností stává jen na některých projektech: „...vývoj

prefabrikovaných konstrukcí se ubírá směrem k využívání robustních prvků, odstraňují se subtilní detaily a rovněž v případě monolitických částí konstrukce se preferují masivnější monolitické prvky. Cílem všech těchto opatření je zvýšit užitkovou hodnotu těchto konstrukcí, zvýšit životnost a trvanlivost a omezit náklady na údržbu konstrukcí v průběhu životnosti konstrukce“ [13].

Současné mostní objekty dokáží výhodně kombinovat obě technologie - tj. přínosy a výhody prefabrikace, tak i přednosti monolitických betonů, tzv. cast-in-situ. Nicméně je-li požadavkem zejména rychlost zhotovení mostního objektu, výhody co nejvyššího podílu prefabrikovaných částí konstrukce převažují. Tato problematika je dále podrobně řešena v kapitole 8.

V zahraničí je situace odlišná, tématem se dlouhodobě zabývají nejen státní dálniční organizace a akademická sféra, ale také množství soukromých společností, které metody prefabrikace a jejich využití v praxi aplikují a dále vyvíjejí. Jak již bylo naznačeno v podkapitole 1.5 výše, mimo u nás představitelného využití prefabrikace v rámci mostní (případně tunelové) výstavby, je aplikace technologie rozšířena i do oblasti výstavby a rekonstrukce (té zejména) dálničních vozovkových povrchů. Nejpokročilejšími a nejrozšířenějšími jsou pak mezi nimi následující modulární prefabrikované systémy: Fort Miller Super Slab, Michigan, Uretek Stitch a Kwik [15].



Obr. 6: Schématické zobrazení typického systému předpjatých prefabrikovaných silničních panelů (Prestressed Precast Concrete Panels (PPCP)), Zdroj: Precast/Prestressed Concrete Institute, USA [18]

Jejich vývoji bylo v zahraničí dlouhodobě věnováno rozsáhlé úsilí a prostředky. V tuzemsku lze o tomtéž hovořit pouze v oblasti mostní výstavby. Co se týče vývoje systémů vozovkových, mají v této oblasti zahraniční zhotovitelé náskok stoprocentní a případné zakoupení licencí již vyvinutých systémů (viz Obr. 6 výše) vzhledem k náročnosti jejich dlouhodobého vývoje (cca 20 let) jeví ekonomicky efektivnějším než jejich samostatný vývoj tuzemský.

1.7 Výhody prefabrikovaných betonových vozovkových povrchů a mostních prvků

Hlavními výhodami prefabrikátů tedy na základě výše uvedeného jsou:

- vyšší tempo stavebních prací, které odpovídá potřebě zkrátit dobu omezení dopravního toku,
- vyšší a stabilnější kvalita díky lépe řízenému výrobnímu procesu ve specializovaném výrobním objektu (panelárně, resp. prefě) a možnosti uplatnění předem a dodatečně předpínaného betonu,
- využití vysokohodnotného betonu, jenž lze na staveništi vyrobit jen obtížně,
- kontrola jakosti dílců před montáží [13],
- dlouhodobá životnost díky kvalitnějšímu technologickému procesu výroby ve standardizovaných a kontrolovaných podmínkách,
- z delší životnosti plynoucí méně častá údržba kritických částí dopravní sítě - tj. vozovkového povrchu a mostů,
- vyšší ekonomická efektivnost vynaložených prostředků díky hromadné výrobě všech standardizovaných prvků (tj. úspory z rozsahu),
- úspora pracnosti a nákladů na návrh a technickou přípravu výroby,
- menší závislost na klimatických podmínkách znamenající vyšší stabilitu kvality a rozměrové přesnosti a celkově delší a z důvodu nevhodného počasí méně často přerušovanou stavební sezónu.

1.8 Metodika a způsob řešení

V rámci disertační práce byl prováděn:

- výzkum orientovaný,
- výzkum aplikovaný.

Vytyčených cílů výzkumu bylo již částečně dosaženo skrze syntézu již existujících (zejména zahraničních) teoretických poznatků a shromážděných praktických zkušeností, a to jak z úspěšných projektů zahraničních, tak analýzou současného tuzemského stavu.

Pro dosažení cílů práce bylo použito následujících vědeckých metod [19]:

- metody empirické,
- metody logické,
- metody ověření,

- metody standardizace.

1.9 Výzkumné otázky

Z výše uvedeného shrnutí současné situace tuzemské dálniční infrastruktury, její komplikované výstavby a rekonstrukce, včetně možných metod řešení dané problematiky vyplývají následující výzkumné otázky:

VO1: Existují možnosti a nástroje nápravy či řešení současného neuspokojivého stavu tempa výstavby a rekonstrukce naší dálniční sítě?

VO2: Ovlivňuje tento neuspokojivý stav dálniční infrastruktury ekonomickou výkonnost národního hospodářství?

VO3: Je možno nalézt způsob snížení vysokých uživatelských nákladů, plynoucích z omezené funkčnosti dálniční sítě?

VO4: Přinesla by konstrukční standardizace budovaných mostních objektů a jejich povinná aplikace zvýšení rychlosti výstavby/rekonstrukce dálniční sítě spolu s úsporami kapitálových investic a provozních nákladů na opravy a údržbu?

VO5: Je metoda prefabrikace vhodnější pro výstavbu dálnice nové, či rekonstrukci stávající (případně pro oboje)?

1.10 Hypotézy

Z výzkumných otázek lze formulovat následující pracovní hypotézy:

H1a: Vyšší nákladovost prefabrikační metody výstavby cementobetonového krytu vozovky (oproti standardní metodě in-situ) je v rámci nových dálničních výstavbových projektů ekonomicky převýšena poklesem celkových uživatelských nákladů.

H1b: Vyšší nákladovost prefabrikační metody výstavby cementobetonového krytu vozovky (oproti standardní metodě in-situ) je v rámci dálničních rekonstrukčních projektů ekonomicky převýšena poklesem celkových uživatelských nákladů.

H2: Vyšší kvalita a z toho plynoucí delší trvanlivost prefabrikovaného cementobetonového krytu vozovky (oproti na místě pokládané standardní metodě) znamená úspory v rámci nákladů životního cyklu.

H3: Aplikace standardizovaných prefabrikovaných mostních objektů vede k ekonomickým úsporám v pořizovacích nákladech i nákladech životního cyklu.

H4: Realizovat velké veřejné infrastrukturní projekty, zejména dálnice, je ekonomicky výhodnější tradičním způsobem (prostřednictvím standardního způsobu realizace projektu typu design-bid-build) než prostřednictvím modelu PPP.

H5: Veřejnému sektoru se vyplatí v situaci nedostatku vlastních rozpočtových zdrojů zvolit jiné způsoby financování projektu než partnerství se sektorem soukromým (PPP).

2. KRITICKÉ ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO ZPŮSOBU VÝSTAVBY/REKONSTRUKCE DÁLNIČNÍ SÍTĚ

Současný stav dálniční sítě i způsob a tempo její výstavby, případně rekonstrukcí, byl již naznačen v předchozí kapitole.

Jistou nadějí ve zrychlení celého procesu přináší nedávno schválená novela tzv. liniového zákona diskutovaná v následující podkapitole. Veliké zklamání pak současný příklon vlády k prokazatelně neekonomické výstavbě dalších úseků dálniční sítě pomocí modelu partnerství veřejného a soukromého sektoru.

V létě letošního roku (2022) byl současný průběh předraženého projektu pilotního dálničního projektu PPP výstavby úseku D47 vládou ČR vyhodnocen jako úspěšný - *Usnesení vlády České republiky ze dne 24. srpna 2022 č. 708 o vyhodnocení dosavadního průběhu projektu PPP D4 a posouzení možností realizace části D35 formou PPP projektu* a ministr dopravy byl pověřen přípravou dalšího projektu stejným způsobem - 35 km dálnice D35 z nichž 4 km a 1.3 km mají formu finančně výjimečně nákladných tunelových staveb (4 kilometry dlouhý tunel Dětrichov by byl nejdelším dálničním tunelem v zemi).

O nesprávnosti vládního vyhodnocení úspěšnosti projektu D4 svědčí vyčíslení jeho finanční nevýhodnosti a celkové zhodnocení přínosu zapojení soukromého sektoru pojednává v podrobnosti podkapitola 2.5 níže. Zapojení soukromého kapitálu totiž obecně pro výstavbový dálniční projekt s nízkými riziky, tj. takový projekt, který disponuje potřebnými povoleními či je v pozitivně probíhajícím schvalovacím řízení, ošetřenou situací ohledně výkupu pozemků či zpracovanou bezproblémovou projektovou dokumentací nepřináší v poměru k vyšší ceně žádnou zásadní přidanou hodnotu. Soukromý subjekt totiž výše zmíněná zásadní rizika, kterými odůvodňuje svou vyšší cenu, nedokáže řešit lépe než stát samotný (z povahy věci ani nemůže - např. nucený výkup pozemků či proces schvalování projektu) a převzetím rizik ostatních svou výrazně vyšší cenu vyvážit nelze.

Dalším negativem rozhodnutí vlády pokračovat v tomto směru spolupráce se soukromým sektorem je pak skutečnost, že jde o kapitál zahraniční a veškeré jeho zisky jsou tedy ze země vyvedeny. Možná opatření k nápravě této z pohledu zájmů národního hospodářství nekoncepční krátkozraké politiky jsou součástí nálezů a doporučení v rámci závěrečné kapitoly této práce.

2.1 Urychlení dopravní výstavby v ČR

Novela zákona o urychlení výstavby dopravní, vodní a energetické infrastruktury, zkráceně tzv. liniový zákon, nabyla své účinnosti 1. ledna 2021. Na jaře tohoto roku (2022) pak byl Ústavním soudem zamítnut návrh skupiny senátorů na zrušení jeho části, která urychluje klíčové stavby dopravní, energetické a elektronické infrastruktury.

Cílem zákona je dle Ministerstva dopravy zkrátit dobu přípravy vybraných strategických dopravních staveb (novela zákona obsahuje jejich konkrétní seznam) zhruba o třetinu až polovinu, ze stávajících třeba až třinácti let [20]. Z pohledu výstavby dopravní infrastruktury jde tedy nesporně o pozitivní vývoj. Podaří-li se díky ní zjednodušit veškeré povolovací procesy dopravní stavby jejich sloučením v jediném řízení, půjde o posun zásadní. Zejména potřeba méně podrobné dokumentace, s níž je spojen také pouze jediný přezkum, zavedení tzv. jednotného závazného stanoviska nahrazujícího veškeré správní akty vydávané podle zákona o ochraně přírody a krajiny [20] a zavedení pevné lhůty pro vydávání závazných stanovisek spolu s instrumentem tzv. fikce souhlasu (v případě, že není příslušným orgánem vydáno rozhodnutí do 30 dní (či 60 dní ve zvláště složitých případech), je v řízení dále pokračováno stejně, jakoby orgán souhlas vydal), se jeví jako časově velmi úsporné.

2.2 Modernizace D1

V době rozhodování o největším dálničním projektu v historii ČR (9 let, 22 miliard Kč bez DPH) se mezi odbornou veřejností diskutovaly nejméně čtyři varianty modernizace a jejich různé kombinace: 1) rozšíření vozovky vně dálnice, 2) rozšíření vozovky dovnitř dálnice, 3) recyklace stávajícího krytu dálnice s vytvořením nového cementobetonového krytu nebo 4) fragmentace stávající vozovky a její překrytí asfaltovým povrchem [21].

Zjištění nevládních organizací, že zadavatel neměl k dispozici před rozhodnutím o způsobu modernizace žádné zevrubné zhodnocení výše zmíněných variant, jež by bralo do úvahy jejich časovou a finanční náročnost, finanční ztráty podnikatelských subjektů v důsledku delšího trvání rekonstrukce, stav a náklady na opravu objízdných tras kolem dálnice D1 nebo absenci spojení R35 mezi Hradcem Králové a Mohelnicí, které by spolu s D11 tvořilo severní kapacitní propojení s Moravou [21] bylo nedávno potvrzeno i nálezem Nejvyššího kontrolního úřadu [22]. Shodou okolností byl způsobu rozhodování v rámci GŘ ŘSD přítomen i autor této práce a neexistenci výše zmíněných podrobných analýz jednotlivých variant může potvrdit.

Níže uvedené citace z Kontrolního závěru z kontrolní akce 16/06 Peněžní prostředky určené na modernizaci dálnice D1 [22], při němž byly kontrolovanými subjekty MD ČR, SFDI a ŘSD ČR, způsob provedení této největší investiční akce v historii naší dálniční výstavby charakterizují dostatečně.

ŘSD neprovedlo před schválením realizované varianty rekonstrukce dálnice D1 v roce 2012 porovnání společensko-ekonomické efektivity možných variant. Neprokázalo tak, že zvolená varianta modernizace zajišťuje nejvyšší efektivity použití peněžních prostředků. Neprovedlo porovnání variant modernizace dálnice D1 cementobetonovým krytem nebo asfaltovým krytem formou analýzy celkových nákladů životního cyklu. [22]

ŘSD prokázalo efektivity jen zvolené varianty, a to až v roce 2012, kdy již mělo pro pět staveb pořízenou projektovou dokumentaci. V roce 2013, kdy již probíhala realizace čtyř staveb, sice zadalo posouzení čtyř variant rekonstrukce dálnice D1, nešlo však o jejich

společensko-ekonomická hodnocení. NKÚ kromě toho považuje provedené posouzení za nepřesvědčivé. [22]

O problematičnosti způsobu výběru varianty k realizaci se tehdy mezi odbornou veřejností všeobecně vědělo a drtivá většina odborníků, vedoucích pracovníků stavebních firem, projektantů, laboratoří či akademiků s ní nesouhlasila. Na nesprávnost zvolené metody rekonstrukce náhradou stávajícího cementobetonového krytu jeho kompletním vybouráním a náhradou za nový cementobetonový kryt, se všemi důsledky, které tato metoda přináší, upozornila MD ČR například skupina stavebních odborníků pod vedením Ing. Jiřího Petráka ve svém stanovisku v lednu roku 2013. Diskuze ke zvolené variantě však nebyla veřejným objednatelem brána v potaz a prosazení násobně dražší varianty nakonec zvítězilo.

2.3 Rekonstrukce vozovek

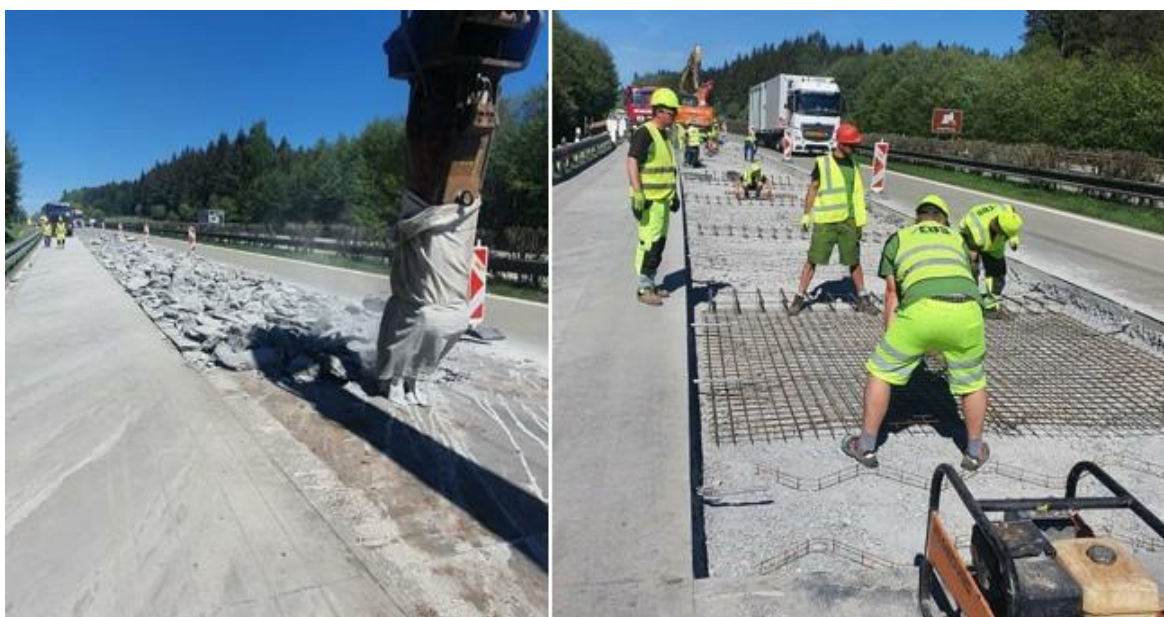
Z technologického hlediska je v současnosti pro výstavbu i rekonstrukci dálničních staveb v tuzemsku využívána technologie přímé betonáže či pokládky asfaltového koberce na místě (tzv. cast-in-place (CIP)). Pro vozovky toto platí bez výjimky, pro mostní objekty pak částečně, neboť pro tyto jsou mimo betonáž in-situ používány i prefabrikované konstrukční prvky.

Jak již bylo také v úvodní kapitole naznačeno, jsou největšími přednostmi využití prefabrikace při rekonstrukci dálniční sítě jednoznačně její rychlost, dosažení standardní kvality a menší závislost na počasí než u způsobu standardního, tj. výše zmíněného in-situ. Dalším, zásadním faktorem hovořícím pro využití prefabrikace pro rekonstrukce stávajících vozovek (včetně jejich mostních objektů), tzn. realizovaných za provozu, je výrazné snížení omezení provozu.



Obr. 7: Stav původního cementobetonového krytu vozovky dálnice D5, resp. jeho asfaltových výprav, po 25 letech provozu. Zdroj: ŘSD ČR [23]

Obvyklý stav cementobetonového krytu po zhruba dvou desítkách let provozu je patrný na obrázku 7. Příčiny tohoto stavu opotřebení jsou přiblíženy v kapitole 5.1. Současnou praxi rekonstrukce dálničních úseků (nejde-li o výměnu celkovou jako v případě modernizace D1) pak jasně dokumentuje Obrázek 8, ukazující standardní technologický postup dvou hlavních fází rekonstrukce. Je jím nejprve odstranění krytu poškozeného a následná příprava a provedení in-situ betonáže cementobetonového krytu nového, která je v porovnání s prefabrikací (podrobně popsanou v kapitole 9.3) časově nesrovnatelně náročnější. Zde konkrétně vybraným úsekem je dálnice D5 u Rozvadova (mezi kilometry 143 a 139,3), oprava omezí provoz na celých 11 dní. Jak je u oprav tohoto typu obvyklé, provoz je veden pouze jedním (zde levým) jízdním pruhem, odstavný a druhý (zde pravý) pruh dálnice je uzavřen a v místě je omezena rychlost.



Obr. 8: Odstraňování původního cementobetonového krytu vozovky v rámci rekonstrukce úseku dálnice D5 u Rozvadova v červnu a červenci 2022 a příprava položení CB krytu nového. Zdroj: EKS Trade, s.r.o. [126]

2.4 Termínová pobídková a penalizační smluvní ustanovení

Stejně jako u nás jsou i ostatní evropští provozovatelé dálniční sítě pod rostoucím tlakem, aby zkrátily dobu výstavby nebo rekonstrukci dálnic. Tento tlak pramení zejména ze současného přetížení dopravní sítě, citlivosti veřejnosti na její nedostatečnost a politizaci celého problému. Potřeba omezit dopravní zpoždění a ostatní způsobené dopady na cestující veřejnost a podnikatelskou sféru se staly politikem již i v tuzemsku. Žádoucí zkrácení doby trvání stavebních projektů nebo rekonstrukcí by tedy mělo být motivací k využití všech prostředků k ní vedoucích.

Jako jedny z nejúčinnějších prostředků jsou ve světě vnímány a široce využívány i termínově podmíněná dodavatele motivující smluvní ustanovení. Obecně jde o taková

smluvní ustanovení, která dodavatele buď za dodržení či překonání jednotlivého kritéria smlouvy bonifikují a za jeho nesplnění naopak penalizují. Bylo by jistě užitečné i částečně převzít praxi založenou na aplikaci těchto ustanovení u smluv o výstavbě dálnic. To se týká zejména:

- typu standardních smluvních ustanovení,
- rozsahu, v jakém jsou použity,
- reálné úspěšnosti a kritérií použitých k určení jejich vhodnosti,
- nejvhodnější ustanovení, která se mají zvolit,
- metody používané ke stanovení částky bonifikace za splnění smluvních ustanovení a jejich dopady na kvalitu realizovaného projektu.

Kromě omezení možného zpoždění uživatelů dálnic/silnic mají ustanovení o pobídkách a penalizaci, v souvislosti s dobou výstavby další dopady na objednatele a všechny dodavatele.

Jako možné dopady je možno uvažovat a zkoumat dopady smluvních ustanovení o pobídkách a penalizaci na následující problematiku projektu:

- náklady — urychlení stavby spojené s dosažením dřívějšího dokončení vede většinou ke zvýšení stavebních nákladů. Míra navýšení nákladů závisí na mnoha faktorech. Tržní vlivy ze systému s nejnižšími nabídkami, který často používají správy dálnic, však primárně přispívají k navýšení konečných nákladů. Cena zaplacená za zrychlení, požadovaná ustanoveními o pobídkách a penalizaci, je tedy velmi ovlivněna konkurenčním nabídkovým procesem. Ve většině případů to přináší prospěch zadavateli,
- technické inovace projektu – soutěžní a smluvní podmínky motivují dodavatele i k používání inovativních metod a materiálů, jejichž výsledkem je zejména úspora času. Pobídky pro včasné dokončení však musí poskytovat dodavatelům prostředky k pokrytí dodatečných nákladů spojených s použitými inovativními metodami a materiály,
- řízení smluv – možnost získání smluvní pobídky a odrazující penalizace je ovlivněna tím, jak se měří doba trvání smlouvy. Stejně důležitý je férový postup ke stanovení časového dopadu objektivně nastalých zpoždění. Účinnost stanovení podmínek pro ustanovení pobídky / penalizace je snižována nejasnostmi v procesu měření času a výskytem omluvitelných zpoždění,
- personální obsazení projektu – zrychlené časové plány realizace jsou často doprovázeny navýšením počtu pracovníků a případně i směnností (prodloužených směn). Toto zvýšení má dopad na dodavatele a účast personálu zadavatele,
- kvalita – podle prozkoumané literatury nemají časově závislé smluvní systémy akcelerace projektu a penalizace za zpoždění negativní dopad na kvalitu díla,

- bezpečnost — dodavatelé i zadavatelé dálničních staveb většinou postupují i při akceleraci projektu podle předpisů bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP). Dodržování těchto předpisů by vliv na možnost realizovat akcelerované harmonogramy práce mít nemělo. Zásadním zůstává, že celkově bezpečnostní riziko pro veřejnost při průjezdu stavebními zónami v důsledku zkrácení doby expozice klesá.

Pro efektivní využívání metody urychlení výstavby dálničních staveb, je, co se týče pobídek, třeba respektovat následující poznatky:

- pobídky by měly být omezeny jako metoda ke snížení rizika z vysokého přeplatku za akceleraci,
- měření smluvního času pro stanovení zkrácení nebo prodloužení by mělo být založeno na kalendářních dnech, na rozdíl od dnů pracovních,
- pro nastavení velikosti pobídek by měly být využity uživatelské náklady, tedy v případě úspěšného efektu urychlení stavby díky těmto pobídkám reálně možné uspořené finanční prostředky. Odhady uživatelských nákladů by měly být výsledkem zdokumentovaného a jednotně aplikovaného přístupu.

2.5 Rizikovost konceptu partnerství veřejného a soukromého sektoru

Tato kapitola se zabývá hodnocením aplikace konceptu partnerství veřejného a soukromého sektoru (Public Private Partnership – PPP) při výstavbě dopravní infrastruktury a jeho porovnáním s tradičním způsobem (DBB). V současnosti se v důsledku rozhodnutí vlády podpořit další aplikaci konceptu na klíčové části naší dálniční sítě – dálnici D35 (oproti relativně méně významné D4 v rámci pilotního PPP projektu) stává diskuze o ekonomických aspektech tohoto typu výstavby čím dál tím více důležitou. Současné vedení státu totiž z nepochopitelných důvodů zcela ignoruje prokazatelné zahraniční zkušenosti (viz dále v rámci této kapitoly zkušenost britská, v kapitole následující pak zkušenost slovenská a česká) a jeho celkovou dlouhodobou ekonomickou nevýhodnost nebere v potaz.

Využití PPP předcházela zhruba dvě desetiletí úvah, legislativních a metodologických příprav. Vznikla soukromé subjekty sdružující Asociace PPP, jejíž byl autor práce sám v rámci své poradenské praxe členem, či Centrum PPP, založené Ministerstvem financí, které v roce 2004 stát založil s cílem propagovat a přímo řídit projekty PPP a které pak bylo v roce 2012 bez jediného realizovaného projektu zrušeno. V současnosti se o propagaci konceptu zasazuje zejména Asociace pro rozvoj infrastruktury (ARI) a všechny poradenské společnosti působící v této oblasti (zejména PwC a Ernst&Young) a jistě i díky nim byl již první infrastrukturní projekt zahájen. Další se pak plánují, mimo dálničního úseku na D35, jehož přípravou již byl ministr dopravy pověřen, se také uvažuje o IV. železničním koridoru nebo výstavbě některých vysokorychlostních tratí.

Standardně jsou všechny tyto investiční projekty plně financovány veřejným sektorem z jeho rozpočtových zdrojů a soukromý sektor je zapojen po uskutečněných

veřejných tendrech víceméně pouze ve fázi projekce a výstavby. Cílem této kapitoly je najít a ekonomicky vyhodnotit další možné mimorozpočtové zdroje a jejich výhodnost pro financování velkých infrastrukturních projektů a porovnat je s v současnosti vládou propagovaným konceptem PPP. Jako případové studie jsou následně v kapitole 3 vyhodnoceny dva „tuzemské“ projekty - podrobně projekt rychlostní silnice R1 ze sousední Slovenské republiky a rámcově pak v současnosti teprve probíhající výstavba úseku Háje-Mirotice dálnice D4. Způsob tohoto srovnání a diskuze o finančním modelu pro velké projekty je však obecně aplikovatelná na všechny velké infrastrukturní projekty a jeho závěry lze uplatnit napříč jednotlivými odvětvími hospodářství, neboť podmínky financování velkých projektů jsou mezi nimi téměř totožné.

2.5.1 Koncept PPP

Otázka financování výstavby infrastruktury je aktuálnější než kdy jindy kvůli výraznému snížení toku dotací z Evropské unie po roce 2023. Tato problematika je tedy v současné době jedním z klíčových úkolů zejména vlád postkomunistických členů EU, kteří mají obecně dopravní infrastrukturu stále ve výrazně horším stavu, resp. stupni rozvoje.

Využití konceptu PPP je o zapojení soukromého sektoru (poskytnutí koncese), jeho kapitálu a zkušeností k financování výstavby veřejné služby, jejího provozování a údržby. Veřejný sektor soukromého koncesionáře průběžně odměňuje platbami za dostupnost veřejné služby jejímu uživateli (občanu), přičemž dostupností je myšlena míra plnění v koncesní smlouvě definované kvality a rozsahu poskytované služby).

Při správném nastavení modelu PPP by mělo být pro veřejný sektor dosaženo následujících výhod:

- obecně zrychlení rozvoje infrastruktury bez potřeby investičního kapitálu pro fázi výstavby,
- přenos/sdílení stavebního rizika [24] (hlavně nedodržení harmonogramu projektu a překročení nákladů) [25],
- celkové rozložení nákladů na delší časové období,
- využití know-how a zkušeností soukromého sektoru,
- možné zvýšení kvality veřejné služby.

Mezi hlavní nevýhody pak patří následující:

- infrastruktura nebo služby mohou být celkově nákladnější,
- závazky veřejného sektoru vyplývající z projektů PPP jsou rozloženy na dlouhé časové období a mohou negativně odrážet budoucí fiskální ukazatele neboli dnešní výstavbou zadlužují budoucí generaci,

- proces zadávání veřejných zakázek je delší, vyžaduje vyšší odbornost než tradiční zadávání veřejných zakázek, a tak je velmi náročný na nákladné externí poradenství.

Potřeba veřejného sektoru využívat externí, tj. soukromé poradenské služby (pro nedostatek vlastních odborných kapacit) pro komplikovaný koncesní dialog, koncesní smlouvu a finanční model, přináší významné a často zcela opomíjené riziko ohledně skutečné nestrannosti těchto poradců, kteří mají na projektu také svůj vlastní finanční zájem (průběžné poskytování poradenských služeb a poplatků za realizaci, resp. úspěch projektu, tzv. success fee). Evropská investiční banka zjistila, že „transakčním nákladům“ transakcí PPP se sice „nevěnuje velká pozornost“, přesto činí více než 10 % (!) celkové hodnoty kapitálu projektu [26].

Vysoké fixní transakční náklady (právní a poradenské poplatky) u smluv o partnerství veřejného a soukromého sektoru tak vlastně také přispívají k trendu směřujícímu k větším, složitějším projektům a delším časovým rámcům zadávání veřejných zakázek [27].

Například u v rámci dopravní infrastruktury jediného v současnosti aktivního tuzemského PPP projektu dálnice D4 mezi Příbramí a Pískem (tj. v celém rozsahu PPP projektu) poskytovaly poradenské činnosti státu hned čtyři subjekty: advokátní kancelář White&Case, Česká spořitelna a.s., Obermeyer Helika a.s. a Siebert+Talaš s.r.o. [28]. Více o režimu jednotlivých úseků, tj. o co se týče rozsahu soukromým sektorem poskytovaných služeb střídmejším Operate & Maintain a o kompletním servisu v rámci právě budovaného Design-Build-Finance-Operate mezi Háji a Miroticemi v kapitole 3.2 a na Obr. 10 tamtéž.

Tento fakt pouze potvrzuje zcela nedostatečnou úroveň vlastní expertizy státu v dané problematice a nutné velmi nákladné outsourcingování těchto služeb soukromým poradcům. V tomto případě, kdy problematice PPP a koncesního dialogu na straně státu dokonale nerozumí téměř nikdo, je riziko privatizace veřejného projektu, a tedy i zásadní ohrožení efektivnosti využití veřejných prostředků v řádu desítek miliard značné.

Světová banka v listopadu 2020 uvádí 139 zemí, které přijaly zákony umožňující nebo související s PPP [29]. V prosinci 2016 bylo zařazeno pouze 92 zemí, trend rostoucí popularity konceptu PPP a jeho používání národními vládami je tedy jasný. Na druhé straně ochota soukromého sektoru účastnit se projektů PPP zůstává stabilní na 50 % [30].

Ve Spojeném království, kolébce konceptu PPP, je však trend zcela opačný. Vzhledem k tomu, že jde o zemi s nejdelší a největší zkušeností s aplikací tohoto způsobu financování a provozování veřejných služeb, jde o věc jistě zasluhující zásadní pozornost. Rozsáhlé a dlouhodobé využívání konceptu PPP (zejména v sociální a zdravotní péči) totiž odhalilo jeho vyšší finanční náročnost a uvrhlo místní sektor veřejných služeb do současného nedostatku peněžních toků a dlouhodobého zadlužení. PPP jsou z toho důvodu ve Velké Británii velmi nepopulární, přičemž 68 % respondentů v Anglii a 76 % ve Skotsku dokonce uvedlo, že PPP by měly být zcela zakázány [26].

Zásadní otázkou v rámci této kapitoly tedy na základě výše uvedeného je: je ekonomicky výhodnější pořizovat velké infrastrukturní projekty, zejména dálnice, tradičním

způsobem (prostřednictvím standardního způsobu realizace projektu typu design-bid-build) nebo prostřednictvím modelu PPP? Odpovědět na ni je úkolem následující třetí kapitoly skrze detailní rozbor dvou konkrétních PPP projektů a porovnání jejich ekonomičnosti s jejich hypotetickým provedením standardní metodou DBB. Cílem tedy je:

- a) potvrdit hypotézu o celkové vyšší finanční náročnosti využití konceptu partnerství veřejného a soukromého sektoru v současných podmínkách členských zemí EU,
- b) provést jeho srovnání se standardním způsobem dodávání projektů (design-bid-build) s využitím dalších možných mimorozpočtových zdrojů financování.

2.5.2 Možnosti financování projektu

Standardním zdrojem financování projektů veřejného sektoru je především státní rozpočet. Mimorozpočtové financování jsou pak obecně dále využívány následující způsoby financování projektu [31]:

- PPP,
- emise státních dluhopisů,
- mezaninové financování,
- dotace – fondy Evropské unie, státní fondy,
- soukromý kapitál – úvěr, nájem, leasing,
- kombinace různých možností.

Při zvažování mimorozpočtových zdrojů lze jako nákladově nejvýhodnější vyhodnotit dva způsoby financování. Je jím půjčka od Evropské investiční banky (EIB), s výhodou nízké úrokové sazby, na druhé straně však s nevýhodou omezených úvěrových linek. Nedávným potvrzením stále trvajících výhodnosti této půjčky oproti jiným zvažovaným možnostem jsou podmínky úvěru pro hlavní město Prahu z července 2022. Při půjčce jedné miliardy euro (s možností čerpání i v korunách) na 40 let byla EIB poskytnuta při úrokové míře pod dvě procenta p.a. [127] [128]. Druhou nákladově nejvýhodnější možností je pak emise státních dluhopisů. Tato druhá možnost byla u následujících případových studií vyhodnocena jako ekonomicky výhodnější (obecně v závislosti na úvěrovém hodnocení dané země) a spolehlivější (její využití není podmíněno souhlasem druhé strany, tj. je v plně v kompetenci veřejného sektoru). Tato „spolehlivost“ je pak v neposlední řadě podpořena v nejbližší minulosti mnohokrát prokázanou vysokou poptávkou ze strany veřejnosti/investorů.

Náklady financování infrastrukturní výstavby jsou dále v podrobnosti vyhodnoceny v rámci dvou případových studií (ČR a SR) v následující kapitole 3.

2.6 Situace výstavby v okolních zemích - Německo

Doba přípravy dopravních staveb, trvání povolovacích procesů či obecně tempa výstavby je v Německu, obdobně jako v níže analyzovaném Rakousku, nesrovnatelně kratší než v tuzemsku. Co se týče technologických postupů, lze již s Rakouskem i Českou republikou hovořit o podobnosti mnohem větší, neboť právě z Německa jsme po sametové revoluci většinu technologických postupů nové dálniční výstavby převzali (ty správné, avšak i ty chybné - viz cementobetonové směsi s rychlým náběhem pevnosti komentované v kapitole 5). Ohledně využití prefabrikace je situace taktéž velmi podobná jako u nás, v následující podkapitole řešeném Rakousku, potažmo celé Evropě. Její využití je doposud obvyklé pouze pro některé mostní či tunelové prvky, případně silniční svodidla či protihlukové stěny.

V důsledku ústavní reformy je správa dálnic spolkovým zemím odňata a od 1. ledna 2021 převedena na spolkovou vládu, respektive na novou státní infrastrukturní společnost. Jejím cílem je dosáhnout vyšší společenské hospodárnosti dopravního systému silniční dopravy. Systém by měl být celkově ekonomičtější z hlediska celkových společenských nákladů. Synergie nového řešení s sebou údajně přinese vyšší ekonomičnost dopravního systému, zrychlení a zefektivnění plánování a financování a zpružnění řízení provozu a údržby [130]. Německé řešení je nejspíše částečně inspirováno prověřeným obdobným způsobem správy v dálničním systému v USA, kde jsou federální dálnice ve správě Federal Highway Administration (FHWA), zatímco lokální státní dálnice spravují státní agentury (State Department of Transportation).

Převod správních kompetencí je v Německu vzhledem ke své složitosti považován za jednu z největších infrastrukturních politických reforem za celá desetiletí. Zda nová organizační struktura skutečně zvýší efektivitu, se teprve ukáže.

Obecně jsou v Německu pravidla nastavena velmi striktně a opatrně. PPP projekty nelze aplikovat na klíčové části dálniční sítě. Zapojení soukromých subjektů do plánování, výstavby, provozu a údržby dálnic nebo jiných spolkových dálnic je povoleno pouze do maximální délky projektu jednoho sta kilometrů, přičemž více projektů PPP na sebe nesmí navazovat [130]. Tzn. že soukromému sektoru není dovoleno provozovat celou dálniční síť, pouze jednotlivé nepropojené úseky.

Po první skupině čtyř pilotních projektů a druhé skupině projektů devíti již v roce 2015 spolková vláda představila třetí skupinu projektů, „novou generaci“ PPP s 11 dalšími projekty potenciálně vhodnými pro realizaci jako PPP. Zatímco z druhé série bylo zahájeno a oceněno zatím šest projektů, z třetí série byly zatím vybrány pouze tři projekty [130], tzn. tempo udělování koncesí celkově zpomaluje.

Spolková vláda v současnosti uvažuje maximálně o realizaci dvou až tří projektů ročně, ale v praxi je obvykle současně vypsán projekt pouze jeden. Lhůty pro jednotlivá výběrová řízení jsou výrazně delší než jeden rok od oficiálního zahájení do zadání zakázky. Navíc dopady současné pandemie koronaviru daný sektor do jisté míry zpomalily. I podle zkušeností ze Spojených států jsou PPP projekty spíše nesystémový krok komplikující

efektivní a řádné řízení, správu a údržbu. V tomto směru jde tedy vývoj v Německu (o Spojených státech nemluvě) zcela opačným směrem než u nás.

2.7 Situace výstavby v okolních zemích - Rakousko

Zaměření projektů veřejné infrastruktury prochází v Rakousku jistým vývojem. V posledních několika letech se PPP zaměřovaly spíše na sociální infrastrukturu, jako jsou školy či nemocnice. Většinou jsou provozovány v rámci modelu BFO (Build-Finance-Operate, zde nazývané jako Betreibermodelle) [132]. V současnosti se využití těchto modelů směřuje k infrastruktuře environmentální a digitálních sítí. Co se týče aplikace PPP v rámci výstavby dopravní infrastruktury, které rakouská vláda stále přistupuje konzervativně a je jí využíváno vzácně. Na rozdíl od naší vlády nejspíše rakouská vláda dokáže lépe čelit lobbistickému tlaku soukromého sektoru. Zároveň lze také z již realizovaných projektů vyvodit, že je tato alternativní cesta výstavby (jakkoliv se jí mnohé lobbistické / zájmové skupiny (v ČR například Asociace pro infrastrukturu (ARI)) snaží vykreslovat jako zcela standardní, moderní a výhodnou) není připuštěna do projektů v rámci páteřní rakouské dálniční sítě, avšak pouze do jejích částí „vedlejších“.

Situaci lze tedy shrnout tak, že rakouská spolková vláda dodavatelské modely typu PPP či jiné nové formy spolupráce se soukromým sektorem nijak nepreferuje. Spíše se vrátila ke standardním a časem prověřeným smlouvám s generálními dodavateli typu DBB (nejčastěji), JV či D-B (téměř výhradně pro mostní díla). Doposud realizované PPP projekty byly spolufinancovány půjčkami z evropských zdrojů (od Evropské investiční banky) a pouze na soukromém kapitálu tedy nezávisely [131].

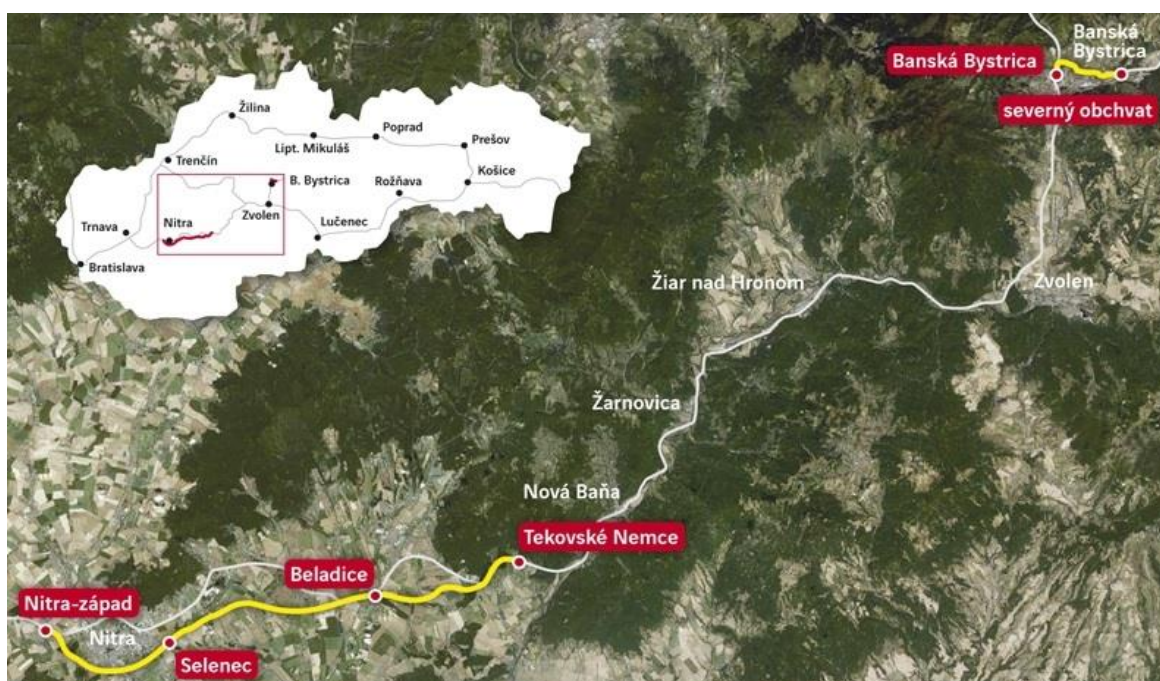
Závěrem lze tedy konstatovat, že rakouská vláda nehledá pomoc v zapojení soukromého kapitálu a v současnosti k podpoře výstavby potřebné infrastruktury stále více využívá schémat dotačních a daňově-pobídkových [132].

3. PŘÍPADOVÉ STUDIE 1 A 2: EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PPP V SR A ČR

3.1 Rychlostní silnice R1, Slovensko

První případová studie se podrobně zabývá prvním velkým infrastrukturním projektem rychlostní silnice R1 na Slovensku, protože v České republice v roce 2022 zatím žádný PPP projekt v provozní fázi ještě není. Provoz a údržbu (Operate & Maintain) zajišťovaný soukromou společností v úseku D4 za plnohodnotný PPP projekt jistě považovat nelze. První tuzemský dálniční projekt je v současnosti ve výstavbové fázi, vítěz výběrového řízení je znám, koncesní smlouva je podepsána (2/2021). Ministerstvo dopravy od Koncesionáře očekává provedení stavebních prací v souladu s Koncesionářskou smlouvou, která datum zprovoznění dálnice v celé délce stanovuje na konec roku 2024 [28]. Tento tuzemský pilotní dálniční PPP projekt je předmětem případové studie 2.

Analyzovaný úsek rychlostní silnice R1 v celkové délce 51,6 km z Nitry do Tekovských Němců + obchvat Banské Bystrice je slovenským pilotním dálničním PPP projektem na základě koncesní smlouvy uzavřené v roce 2009 a dokončené z většiny v roce 2011 (v režimu předčasného užívání). Geograficky na sebe oba úseky vůbec nenavazují, jsou relativně dost vzdáleny, avšak jsou předmětem jednoho koncesního projektu, resp. koncesní smlouvy – viz Obr. 9 níže.



Obr. 9: Analyzovaný úsek rychlostní silnice R1, Slovenská republika. Zdroj: Webové stránky koncesionáře [32].

Hlavním záměrem případové studie je ekonomické vyhodnocení správnosti rozhodnutí slovenské vlády o zapojení soukromého kapitálu do svého klíčového dálničního projektu. Studie uvažuje situaci, ve které nejsou pro výstavbu projektu využity prostředky veřejného rozpočtu. Pro vzájemnou porovnatelnost je totiž třeba tuto nejspíše největší výhodu zapojení soukromého koncesionáře vyvážit a uvažovat tedy situaci, kdy je stát nucen (ať už z jakéhokoliv důvodu) využít na pokrytí veškerých potřeb projektu prostředky mimorozpočtové. Soukromý sektor tedy k výstavbě i provozu využívá kapitál svůj vlastní, později pak z pravidelných každoročních plateb za dostupnost finance veřejné. Pro veřejný sektor je pak zvolen nejvýhodnější způsob mimorozpočtového zajištění financování projektu a obvyklý způsob zajištění jeho výstavby a fungování, tedy pomocí smlouvy design-bid-build a správa Národní dálniční společností (NDS).

Případová studie tedy vyčísluje veškeré náklady na projekt, které veřejný klient platí soukromému provozovateli, a je diskontován po celou dobu trvání smlouvy na třicet let. Tyto veškeré náklady, které slovenská vláda má, resp. v budoucnu mít ještě bude, jsou pak porovnány se všemi náklady (tj. na financování, výstavbu, provoz, údržbu projektu), které by státní správa dálnic měla při potenciální realizaci projektu sice standardním způsobem pomocí smlouvy design-bid-build, avšak v situaci, kdy na projekt v rozpočtu nejsou prostředky. V rámci studie je tedy pro vzájemné porovnání s uzavřenou koncesní smlouvou zvolena nejvýhodnější varianta mimorozpočtového financování – emise státních dluhopisů. Pro účely srovnání jsou náklady emise, provozování projektu a jeho údržby standardně také diskontovány po dobu trvání smlouvy PPP (30 let). Celkové podmínky, věcný a časový rozsah smlouvy jsou tedy v zájmu nejvyšší možné vypovídací hodnoty porovnání a vyhodnocení ekonomické výhodnosti obou variant identické.

3.1.1 Kapitálové výdaje (CAPEX)

Finanční model rychlostní silnice R1 ukazuje, že investiční náklady na analyzované úseky byly odhadnuty na 887 milionů EUR (viz Tabulka 2 níže) [33]. Veřejný sektor zastoupený Národní dálniční společností (NDS a.s.) v té době realizoval vlastní výstavbové projekty tradičním dodavatelským systémem design-bid-build v průměru za 8-10 milionů EUR za kilometr [33]. Jednalo se o dálnice o šířkovém profilu 26,5 metru, přičemž R1 je plochodrážní dráha postavená pouze v šířkovém profilu 22,5 metru a měla by být proto ještě levnější. S přihlédnutím ke stejné investiční specifikaci a harmonogramu by bylo možné příslušné sekce postavit za 413 milionů EUR [33]. To naznačuje, že náklady na výstavbu se zdají být koncesionářem předražené. Poměr CAPEX-OPEX také neodpovídá obvyklému složení dvou ku jedné třetině v rámci životního cyklu dálničního projektu [34]. Celkově vzato tedy byla výstavbová fáze projektu uskutečněna v rámci PPP projektu více než dvojnásobně dražší, než by se dalo předpokládat při zajišťování stavby tradičním DBB způsobem.

	varianta PPP	tradiční DBB varianta	rozdíl
CAPEX (výstavba)	887	413	+474
OPEX (30 let provozování, oprav a údržby)	771	771	0
finanční a ostatní náklady (za 30 let)	1 716	434	+1 282
celkem	3 374	1 618	+1 756

Tabulka 2: Nákladové porovnání realizované PPP a hypotetické DBB varianty (v milionech EUR).

3.1.2 Provozní náklady (OPEX)

Finanční model uvádí, že náklady na provoz a údržbu byly koncesionářem oceněny na 771 milionů EUR po celou dobu trvání smlouvy. Výše ročních nákladů na provoz, údržbu a režií přilehlých úseků podobné délky, kterou udržuje NDS a.s., je zhruba poloviční. Tyto úseky jsou přitom starší a s větším počtem křižovatek [33].

Pro účely srovnání je třeba stanovit hypotetické náklady veřejné správy, která by s údržbou budovaného úseku v případě nevyužití PPP konceptu měla. Na rozdíl od pevně v koncesní smlouvě dohodnutých provozních nákladů koncesionáře je lze pro NDS a.s. pouze odhadovat. V porovnání použitá hodnota 771 milionů euro byla odvozena ze dvou skutečností. Za prvé z výše zmíněného údaje o poloviční výši nákladů na srovnatelný úsek, resp. i na provoz a údržbu náročnější úsek. Za druhé z faktu, že je koncesionář smlouvou vázán dodržovat vyšší standard kvality údržby než státní organizace [35] a proto tedy pro ni mohou být náklady o málo vyšší než pro státní organizaci. Rozdíl v požadovaném standardu však jednoznačně není důvodem ke dvojnásobně vyšší nákladovosti koncesionáře. Z těchto dvou skutečností lze tedy vyvodit předpoklad, že by státní organizace byla schopna nově vystavěné úseky provozovat a udržovat za nižší cenu než dohodnutou v koncesní smlouvě. Vzhledem k tomu, že rozdíl mezi cenou provozu a údržby soukromým a veřejným sektorem v součtu představuje z celkové ceny projektu část zanedbatelnou, lze pro zjednodušení porovnání obě částky považovat za stejné, tzn. částku z koncesní smlouvy stanovit také jako potenciální OPEX Národní dálniční společnosti.

3.1.3 Náklady financování

Finanční model koncesionáře ukazuje, že cena, tedy úroková sazba úvěru, kterým spoluzajišťovala financování projektu, činila 10,27 % p.a. Tuto výši lze oprávněně považovat za relativně vysokou i pro soukromý sektor, zvláště pak s ohledem na kapitálovou sílu koncesionáře, kterým je společnost Granvia Construction, s.r.o., stoprocentně vlastněná Eurovíí CS, členem skupiny Vinci Group, která je dlouhodobě v top 10 nejziskovějších globálních stavebních společností. Koncesionáře zároveň nelze podezřívat z umělého navýšení této sazby za účelem zvýšení nákladnosti projektu.

Jakkoliv je nevýhodnost této úrokové sazby diskutabilní, stále se jedná jen a pouze o koncesionářovy vlastní náklady a vyjednání jejich nejnižší možné výše s financujícími institucemi je v jeho zájmu. V následujícím odstavci je provedeno vyhodnocení potenciální výše nákladů, které by měl s analyzovaným koncesním projektem státní investor v rámci tradičního dodavatelského schématu. Pro možnost vzájemného porovnání je uvažována situace, kdy stát vlastní prostředky nemá, a proto si je také musí vypůjčit.

Standardní formou vládních půjček jsou dluhopisy (v současné době tvoří 86 % dluhu Slovenské republiky). Jsou pro stát finančně nejvýhodnější, a proto jsou pro tuto analýzu považovány za jediný pravděpodobný zdroj externího financování. Průměrná úroková sazba ze státních dluhopisů vydaných do roku 2009 se pohybovala od 1,73 % p.a. až 5,19 % p.a. [33]. Protože průměrná splatnost financování PPP projektu rychlostní silnice R1 je více než 15 let, je správné porovnat její cenu se státními dluhopisy s nejdelšími splatnostmi, přes které si tehdy stát půjčoval, obvykle za ceny nad 4,5 % p.a. [33]. Také výborné hodnocení mezinárodních agentur z roku 2009: Standard & Poor's: A+, Moody's: A1, Fitch: A+, dokazuje výhodné slovenské možnosti získání nízkých úrokových sazeb.

Skutečnost, že náklady na financování projektů koncesionáře jsou dvakrát vyšší, je klíčová pro celkové posouzení proveditelnosti koncepce PPP pro nízkorizikové projekty. Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole, účast soukromého sektoru vyvažuje svou relativní finanční nevýhodnost převzetím většiny rizik projektu. Riziko však na projektu nedosahuje tak vysokých hodnot, a zapojení soukromého sektoru proto zůstává nesmírně předražené. Kromě toho představuje finanční zátěž na celých třicet let (včetně v koncesním kontraktu implementované protiinflační indexace).

3.1.4 Ekonomické srovnání vybraných způsobů financování

Níže uvedená Tabulka 3 porovnává obě analyzované varianty, tedy realizovanou a vybranou ideální hypotetickou z hlediska výše nákladů, které pro veřejný sektor představují na roční bázi a za celé trvání projektu. První možností je tedy skutečně implementovaná koncesní smlouva se společností Granvia Construction, dceřinou společností Eurovie CS. Druhá je hypotetická varianta, ve které veřejný objednavatel dodává projekt sám a prostřednictvím standardní metody dodávání projektu DBB s jedinou výjimkou oproti standardu – s využitím mimorozpočtového financování.

rok	PPP		DBB se státními dluhopisy	
	ročně	kumulativně celkem	ročně	kumulativně celkem
2011	91.0	91.0	413 + 40.16	453.16
2012	92.3	183.3	40.16	493.32
...				
2018	100.4	765.2	40.16	734.28

...				
2040	137.0	3 374.3	40.16	1 617.8

Tabulka 3: Porovnání výše nákladů obou analyzovaných variant v čase z pohledu veřejného objednavatele (v milionech EUR). Za pozornost stojí bod zlomu v sedmém roce (rok 2018), ve kterém se emise dluhopisů hypoteticky stává výhodnější oproti ročním platbám za dostupnost PPP.

V rámci skutečně realizované varianty, tj. konceptu PPP, jsou v Tabulce 3 výše vyčíslené roční splátky platbami za dostupnost soukromým koncesionářem poskytované služby (možnost využívat rychlostní komunikaci v kapacitě a kvalitě definované v koncesní smlouvě). Stát je tyto splátky povinen hradit po celou dobu platnosti smlouvy. Tyto platby se zvyšují podle inflace (indexované ve smlouvě). Hodnoty uvedené v tabulce níže jsou orientační (hodnoty platby za dostupnost se budou v jednotlivých letech lišit podle kvality výkonu koncesionáře). Jejich zprůměrování bylo provedeno v zájmu přehlednosti a znázornění celkového průběhu finanční náročnosti zakázky pro veřejný sektor. Jejich celková částka však odpovídá skutečným celkovým částkám 3,4 miliardy EUR za celých 30 let trvání smlouvy.

Sloupec „DBB se státními dluhopisy“ v Tabulce 3 zobrazuje potenciální náklady pro veřejný sektor v případě, že by byl projekt rychlostní silnice R1 realizován formou design-bid-build s využitím emise vyhrazených vládních dluhopisů. Výše nákladů, a tedy i hodnota vydaných bondů byla jako nezbytná pro realizaci projektu, pokud nebyl použit přístup PPP (viz odstavec CAPEX výše) samotnou vládou SR zpětně stanovena v roce 2012 na celkem 413 milionů EUR [33]. Pro srovnatelnost s podmínkami koncesní varianty byla také splatnost dluhopisů stanovena na 30 let. V prvním roce jsou z důvodu srozumitelnosti zahrnuty kapitálové výdaje v plné výši 413 milionů EUR (namísto jejich rozprostření do předchozích dvou let výstavby). Ve všech letech jsou náklady na splacení dluhopisů a veškeré náklady na provoz a údržbu brány v úvahu rovnoměrně (jejich rozklad viz Tabulka 4 níže). Za obzvláště významný moment srovnání provedeného v Tabulce 3 je pak nutno považovat rok 2018, ve kterém dochází k bodu zlomu, ve kterém se emise dluhopisů hypoteticky stává výhodnější oproti ročním platbám za dostupnost PPP.

splátka dluhopisu (jistiny)	13.77
splátka 5 % kupónu (úroku)	0.69
OPEX	25.7
celkem	40.16

Tabulka 4: Struktura ročních nákladů veřejného objednavatele při hypotetické variantě DBB s dluhopisovým financováním – roky 2 až 30 (v milionech EUR).

Částka 40,16 milionu EUR tedy představuje celkové roční náklady veřejného sektoru (po dokončení stavby) při potenciální realizaci projektu samostatně (bez účasti soukromého

sektoru) a vzhledem k tomu, že pokrývá veškeré služby koncesionáře, hrazené mu státem v rámci platby za dostupnost, jsou tyto částky vzájemně plně porovnatelné. Zcela zodpovědně lze tedy konstatovat, že zajištění zcela stejného rozsahu služeb je v rámci podmínek analyzovaného projektu veřejný sektor schopen více než dvakrát levněji.

3.1.5 Výsledky a diskuse

Bylo provedeno ekonomické srovnání mezi realizací projektu s využitím partnerství veřejného a soukromého sektoru a tradičním přístupem design-bid-build s mimorozpočtovým zdrojem financování. Jeho hlavním cílem bylo zjistit, zda je v situaci nedostatku financí veřejného sektoru koncepce PPP ekonomicky výhodná, nebo zda se veřejnému sektoru vyplatí najít jiné způsoby financování projektu (zejména pro výstavbu, tzn. jeho finančně nejnáročnější fázi a hlavní důvod a přínos zapojení soukromého kapitálu do nízkorizikových typů projektů). Emise státních dluhopisů byla vybrána jako mimorozpočtový zdroj finančních prostředků na základě jejich nejvyšší ekonomické výhodnosti a dosavadním (tj. k hodnocenému roku 2009) pozitivním zkušenostem s jeho využitím, včetně prokázané vysoké poptávky po nich, tzn. významného elementu tohoto způsobu financování – jeho vysoké spolehlivosti.

Relativní rychlost příjmu z úspěšné emise státních dluhopisů plus rozložení jejich splácení na celou dobu trvání projektu kompenzuje dvě hlavní výhody zapojení soukromého sektoru. Další hlavní výhodou koncepce PPP, kterou je přenos rizika z veřejného na soukromý sektor, nepředstavuje v analyzovaném projektu významnou hodnotu. Zejména by mělo jít o poptávku po veřejné službě, tedy o množství provozu na soukromě provozovaných úsecích rychlostní komunikace. Podle smlouvy toto riziko však nese veřejný sektor a koncesionář je odměňován pouze na základě dostupnosti a kvality služby, nikoli dle rozsahu jejího skutečného využívání soukromými či ekonomickými subjekty. Dalšími nejvýznamnějšími riziky při výstavbě infrastruktury jsou připravenost k vypořádání pozemků a majetku nebo všechna potřebná povolení, zejména ta environmentální. I ty byly na straně zadavatele.

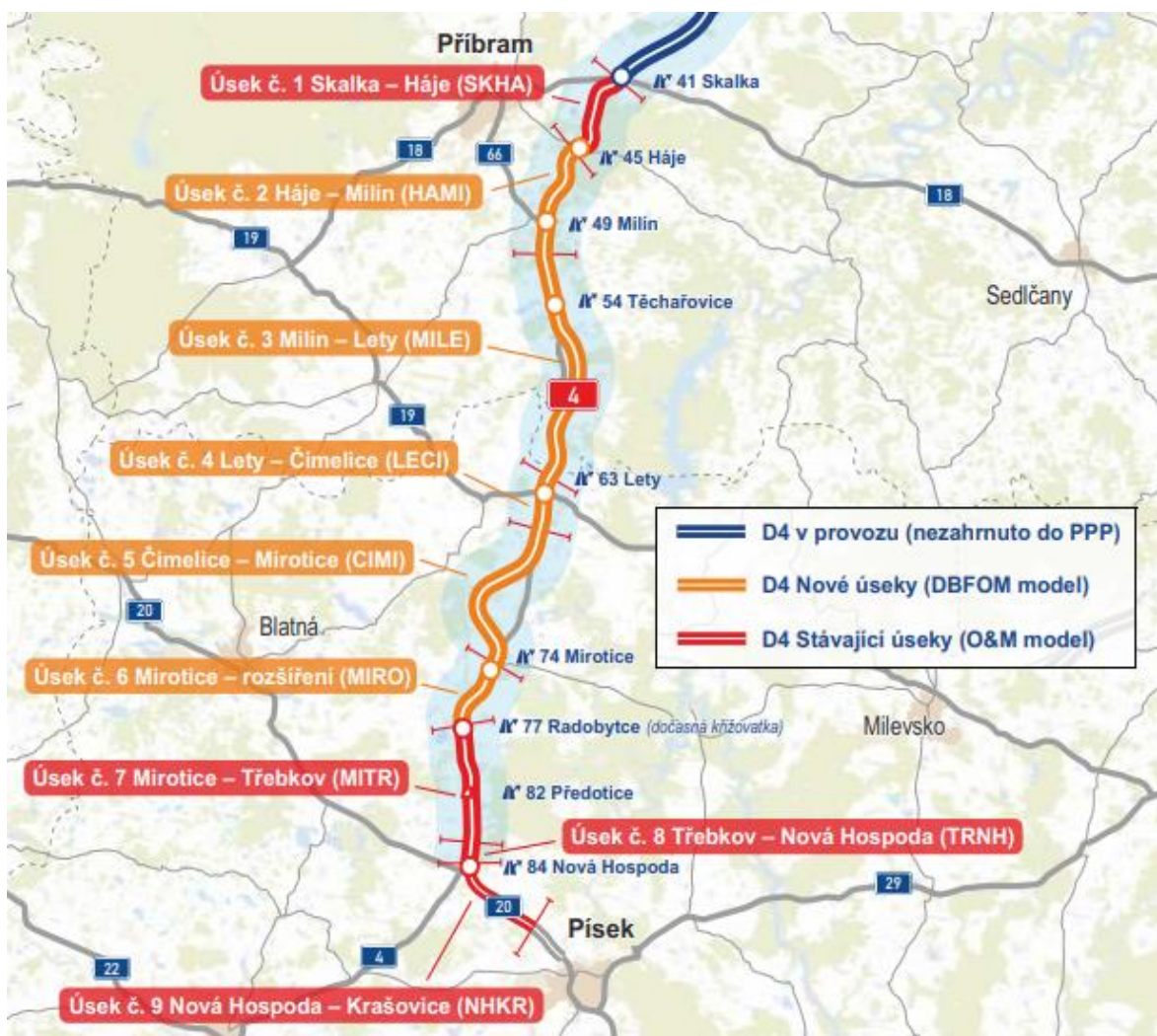
Na základě analyzovaných údajů tedy bylo prokázáno, že projekt PPP s celkovou cenou více než 3,4 miliardy EUR není ekonomicky nejvhodnějším řešením. **Cena projektu rychlostní silnice R1 v analyzovaném úseku z Nítry do Tekovských Němců vč. obvodu Banské Bystrice je při zapojení soukromého sektoru v rámci konceptu PPP 2,1x vyšší,** než by byla jeho implementace tradičním a standardním způsobem, tj. prostřednictvím dodavatelského schématu design-bid-build v kombinaci s vydáním vládních dluhopisů použitých na kapitálové výdaje projektu.

Rizika projektu převzatá soukromým sektorem byla vyhodnocena jako nízká, a proto více než dvojnásobné náklady na projekt nevyvažují. Existují však dva další důležité důvody, proč mají vlády obecně stále projekty PPP v relativně velké oblibě. Za prvé, stát zdánlivě nevynakládá žádné stavební výdaje a přímo tak nezatěžuje státní rozpočet. Za druhé, roční splátka projektů PPP se neodráží ve veřejném dluhu (tzv. mimobilanční klasifikace

projektu), je povolena Eurostatem, a je tedy politicky velmi výhodná. Přesto však reálně vzniká skrytý dluh, který bude zemi zatěžovat po celou dobu splácení [36].

3.2 Případová studie 2 - Dálnice D4, Česká republika

Případová studie 2 analyzovala aktuálně probíhající pilotní projekt v České republice na dostavbu dálnice D4, úsek Háje-Mirotice. Smlouva s koncesionářem byla podepsána v únoru 2021 a budovaný úsek má být v provozu v roce 2024. Koncesionář nejprve postaví 32 kilometrů dálnice a následně bude komunikaci provozovat dalších 25 let, včetně již stávajících 16 kilometrů.



Obrázek 10: Úsek dálnice D4 budované soukromým koncesionářem (32 km; oranžově) spolu se dvěma již existujícími úseky (16 km; červeně) jím převzatými do provozování a údržby dle koncesní smlouvy uzavřené v únoru 2021. Zdroj: MD ČR – webové stránky projektu [28]

Přímé závazky státu dohromady představují přibližně 1 150 milionů EUR [37]. Cenu však budou postupně zvyšovat další vlivy, například inflace nebo vývoj kurzu CZK. Finanční model není veřejně dostupný, jedinou dostupnou informací je celková cena projektu (viz výše) a úroková sazba 4 %, za kterou si koncesionář půjčuje kapitál. Ke hrubému vyhodnocení celkové finanční náročnosti využití konceptu PPP však při znalosti ostatních ekonomických údajů (zejména cenu kapitálu pro veřejný sektor) tato skromná data postačují.

Obvyklá úroková sazba, za kterou si v době podpisu smlouvy (tj. počátkem roku 2021) půjčovala česká vláda, byl 1-2 % p.a., protože úvěrový rating České republiky byl v tehdejší době na vynikající úrovni AA / AA- / Aa3 (S&P / Fitch / Moody's) [38].

Přestože neznáme náklady na provoz a údržbu koncesionáře, i při absenci možnosti jejich porovnání se stejně zaměřenými náklady veřejného sektoru (při hypotetické realizaci projektu tradičním způsobem), můžeme při srovnání nákladů na jeho výpůjčky s možnostmi veřejného sektoru dojít k závěru, že **celková cena projektu je zapojením soukromého sektoru minimálně o 170 milionů EUR vyšší**.

Druhý obvyklý největší přínos zapojení soukromého sektoru, tj. přenesení významných rizik na koncesionáře, vyšší finanční náročnost oproti standardnímu DBB v případě tohoto projektu veřejnému objednateli taktéž nevyváží. Rizika projektu jsou totiž neobvykle nízká, protože stát veškeré potřebné stavební parcely již vlastnil, stavební povolení bylo platné a hotový návrh a stavba dálnice standardním postupem v geologicky klidné oblasti složitá není a neobvyklé riziko tedy nepředstavuje. Politická motivace realizovat projekt prostřednictvím „nového a moderního“ PPP však zřejmě může být silnější než argumenty o jeho ekonomické nevýhodnosti.

3.3 Závěry případových studií PPP

3.3.1 Vyšší finanční náročnost

Veřejnému sektoru (respektive vládě, hovoříme-li o velkých infrastrukturních projektech v měřítku větším než krajském), kterému chybí finanční prostředky na investice, avšak má relativně solidní úvěrový rating, se vytváření partnerství se soukromým sektorem formou PPP ekonomicky nevyplácí.

Rozdíl v ceně kapitálu byl v podrobně analyzovaných případových studiích značný. V případě slovenského již naplno fungujícího projektu rychlostní silnice R1 byl dokonce více než dvojnásobný – vládních 4,5 % p.a. oproti 10,27 % soukromého sektoru.

V případě českého PPP projektu dostavby dálnice D4 (úsek Háje-Mirotice) je pak rozdíl procentuálně menší (1,5 % versus 4 % p.a.), ve finančních objemech obvyklých v dálniční výstavbě však celkově stále velký (cena kapitálu soukromého koncesionáře o 170 milionů EUR vyšší).

Z výše uvedeného jednoznačně vyplývá, že v případě, že má veřejný sektor dostatečnou kredibilitu (úvěrový rating) pro úspěšnou emisi dluhopisů (ať už obecných

nebo projektově dedikovaných), které byly vyhodnoceny jako nejméně výhodnější forma státní půjčky, je pro něj tento zdroj financování kapitálových výdajů stavebního projektu výhodnější než zapojení soukromého kapitálu. Případné využití možnosti získání úvěru u Evropské investiční banky za podobných podmínek, které vyjednalo v červenci město Praha pro výstavbu nové linky svého metra (úrok pod 2 % p.a. [127] [128]) je pak další reálnou možností, téměř stejně výhodnou jako dluhopisová emise, a stále zhruba dvakrát výhodnější než zapojení soukromého partnera.

3.3.2 Přidaná hodnota konceptu PPP

Za předpokladu, že má veřejný sektor kvalitní úvěrový rating, dokáže úspěšná emise projektově dedikovaných dluhopisů dvě zásadní výhody zapojení soukromého sektoru zcela kompenzovat.

První výhodou a z hlediska veřejného sektoru na celém konceptu PPP i bezpochyby tou nejméně zásadnější, je zapojení soukromého kapitálu pro investičně nejnáročnější výstavbovou fázi projektu. Rychlý příjem z výnosu dluhopisů, které se z většiny vždy upíší hned v počátku jejich emise, je však výše zmíněnou finančně náročnou fází projektu schopen pokrýt.

Druhou důležitou výhodou je pak pro veřejný sektor časové rozložení potřeby vlastního kapitálu přes celé trvání projektu. Délka této potřeby kapitálu (povinnosti splácet) je rozložena přes mnoho volebních období, což je taktéž neoddiskutovatelným plusem pro ty, jež o využití konceptu PPP rozhodují. Stejně jako u průběžných plateb za dostupnost koncesionáři po celou dobu trvání koncese je však u dluhopisů vyplácen věřitelům úrok také po celou dobu trvání jeho emise.

Relativně nízká potřeba vlastního kapitálu v rámci jednotlivých let a dlouhá doba splácení je tedy pro oba diskutované způsoby financování obdobná a přestává tedy být přidanou hodnotou konceptu PPP.

3.3.3 Celková ekonomičnost

Zapojení soukromého sektoru se vládě vyplatí pouze tehdy, když hodnota projektového rizika neseného soukromým dodavatelem převáží vyšší nákladnost jeho angažování (v porovnání se standardním dodavatelským systémem). Pro komplikovanost koncesního kontraktu je však tento přenos rizik značně problematický, resp. z pohledu veřejného sektoru spíše iluzorní. Jak ukazuje výše zmíněná slovenská případová studie, koncesionářovy náklady na financování projektu mohou být u projektů s nízkým rizikem více než dvojnásobné než náklady veřejného sektoru. Česká případová studie pak tento závěr doplňuje tím, že náklady na samotné financování projektu mohou být reálně i čtyřikrát vyšší s následkem zbytečného zvýšení celkových nákladů na projekt o 15 % (přibližně 170 milionů EUR).

Koncept PPP byl v současných podmínkách České republiky vůči standardnímu dodavatelskému systému prokázán jako celkově ekonomicky nevýhodný. Přesto však první započatý dálniční projekt formou PPP a veřejná deklarace (ku 12.1.2022) nastupujícího ministra dopravy o připravenosti takto realizovat projekty další však svědčí o tom, že je současný vývoj dalšímu využívání konceptu PPP naopak nakloněn. Tento směr byl pak potvrzen v plném rozsahu v létě 2022, kdy byl dosavadní průběh pilotního projektu D4 vyhodnocen vládou ČR jako úspěšný. Lze konstatovat, že na základě zprávy podané ministrem dopravy o úspěšném plnění harmonogramu, stavebním pokroku apod. (nejspíše však spolupřipraveném soukromými poradci), avšak jistě se zavádějícími informacemi o celkovém ekonomickém vyznění projektu.

Na základě tohoto „pozitivního“ vývoje byl pak ministr dopravy pověřen realizovat *další kroky směřující k realizaci úseků D35 Opatovec – Staré Město a Staré Město – Mohelnice formou PPP projektu* [39].

Perspektiva a účelnost pokračování řešení této problematiky a veřejná diskuze jeho výsledků se tak jeví jako obzvláště důležitá a potenciálně všeobecně přínosná.

4. EFEKTIVNOST INVESTIC DO DÁLNIČNÍ INFRASTRUKTURY

4.1 Efektivnost investic a jejich zdroje

Nutnost zařazení tématu efektivnosti investic do disertační práce je dána především růstem jeho významu v rámci současné situace změny struktury zdrojů financování dálniční výstavby. Potřeba efektivnějšího vynakládání prostředků do tuzemské výstavby dálniční infrastruktury je zásadní nejen pro obrovský objem vynakládaných veřejných prostředků, ale zejména zásadní důležitostí a potřebou jejího kvalitního fungování pro celou ekonomiku a společnost.

V roce 2020 celkové investiční výdaje do dopravní infrastruktury oproti dřívějšímu vzrostly a činily více než 80 mld. Kč. Nárůst v roce 2020 byl ještě významnější než v předchozím roce, kdy navýšení v absolutní částce 12 mld. Kč činilo téměř 25 %. Meziroční navýšení investičních prostředků za rok 2020 bylo 19 mld. Kč, což reprezentuje více než 30% nárůst. Hodnota investičních výdajů do dopravní infrastruktury byla v roce 2020 nejvyšší za posledních 12 let a druhá nejvyšší za více než 25 let [4].

Z pohledu vývoje naší dopravní infrastruktury jednoznačně chvályhodné navyšování rozpočtu dále pokračovalo i v letech následujících – tedy 2021 a 2022. Státnímu fondu dopravní infrastruktury (SFDI) byl schválen rozpočet ve výši 127,5 a 127,6 miliardy korun [40].

Téma efektivnosti investic je v současnosti, s blížícím se koncem přílivu evropských finančních prostředků, nutno považovat za ještě závažnější a aktuálnější než v minulosti. V současnosti je doposud objem investic příznivý zejména díky fondům Evropské unie (Fond soudržnosti a Evropský fond pro regionální rozvoj). Tyto prostředky jsou určeny především na podporu tras, které by se měly stát součástí transevropských dopravních sítí (tras TEN-T). Česká republika se infrastrukturu těchto tras zavázala dokončit do roku 2030. To má probíhat v rámci operačního programu dopravy Evropské unie.

To znamená, že do roku 2030 by Česká republika měla téměř zdvojnásobit délku své dálniční a dálniční sítě – ze skutečných 1242 km na 2180 km. Toto je však velmi nepravděpodobné, a to ne z důvodů způsobu financování, avšak zejména z důvodů administrativních. Dostupnost výše zmíněných zdrojů Evropské unie bude však od roku 2023 omezena.

Aby byla udržitelnost rozvoje v tomto stanoveném tempu výstavby zajištěna i po tomto datu, změna v celkovém přístupu a v jejím důsledku i významné zvýšení efektivity investic se jeví jako velmi potřebná. Toho lze dosáhnout pouze zvýšením důrazem na ekonomické, procedurální a manažerské aspekty obou fází výstavby silniční infrastruktury – investičního rozhodovacího procesu a fáze realizace výstavby.

Tato kapitola se zabývá hlavními nedostatky a problémy v současných procesech rozhodování o investicích do dálniční sítě a neefektivitou vynakládaných prostředků v jednotlivých po sobě jdoucích fázích realizace výstavby. Stručně pak řeší i problematiku,

resp. úskalí řádného řízení a správy všech aktiv spravovaných státním dálničním investorem a správcem (tj. ŘSD ČR). Jejím účelem je prozkoumat možnosti zlepšení účinnosti procesu investičního rozhodování a fáze realizace prostřednictvím návrhu možných konkrétních opatření. Celkově se tedy jedná o syntézu správného řízení aktiv s účinnějším investičním programem pro dosažení výsledné vyšší kvality dálniční infrastruktury.

Přestože je tato kapitola o současné situaci v silniční infrastruktuře v České republice, tj. zabývá se a pracuje s tuzemskými reáliemi, skutečnostmi a daty, analyzuje také globální zkušenosti a jeho zjištění tedy usilují o obecnou platnost a použitelnost. Pro lepší porozumění současné praxi hodnocení ekonomické efektivity dálničních (resp. silničních) projektů, je v kapitole analyzováno i jedno takové konkrétní hodnocení - výstup u nás široce používaného softwaru HDM-4 a způsob, jakým jsou jeho výsledky chápány a interpretovány.

4.2 Současný výzkum ekonomické efektivity investic

Tématem zvyšování ekonomické efektivity výstavby silničních staveb se v tuzemsku v současnosti bohužel systematicky zabývá velmi málo vědeckovýzkumných kapacit. Nejvýznamnější výzkumem poslední doby je činnost Centra pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), který se zabývá taktéž přímo dálniční výstavbou. Problematika ekonomiky či efektivity investic je však i v rámci tohoto centra pouze jedním z mnoha témat v rámci výstavby dálniční infrastruktury, témata technická/technologická převažují.

Ve světě je problematika efektivity investic řešena dlouhodobě a v mnohem větším rozsahu. V zahraničí je situace zcela odlišná, protože zejména ve vyspělých ekonomikách se tématem efektivity investic dlouhodobě zabývá mnoho vědeckých institucí i relevantních státních organizací a je jimi dlouhodobě prezentováno nepřeborné množství studií a výsledků výzkumů a projektů. Tyto výsledky jsou samozřejmě poplatné příslušným lokálním podmínkám, specifikům a odlišnému právnímu prostředí, takže je nutno je pro jejich případnou aplikaci v prostředí ČR přehodnocovat a modifikovat. Zejména výsledky americké, britské či německé a rakouské však veliký potenciál i pro uplatnění v českém prostředí mají. Tato kapitola je z velké části založena na dřívějším výzkumu autora disertace a dále jej rozvíjí [41].

4.3 Současná praxe ekonomického hodnocení investic

Nejen na základě rozsáhlých studií tuzemských i světových (zejména amerických) státních dálničních společností jsou hlavní cíle a oblasti, které je třeba brát v úvahu při hodnocení ekonomické účinnosti investic do dálnic, následující:

- účinnost dopravního systému: zvýšení jeho spolehlivosti a účinnosti,
- pohyb osob i zboží a podpora ekonomického rozvoje: zlepšení kapacity silniční sítě a regionální propojení,

- bezpečnost provozu: výrazně snížit počet úmrtí a zranění lidí v důsledku provozu na všech silnicích,
- omezení dopravního přetížení: výrazné snížení přetížení silničního systému, tj. dopravních zácp a z toho plynoucích zvýšených nákladů jeho uživatelů,
- rozvoj infrastruktury: strategie údržby, oprav a obnovy všech silnic a staveb,
- dopady na životní prostředí: minimalizace dopadů dopravy na přírodu, životní prostředí a obyvatelstvo [120].

Bez vyhodnocení a zapracování všech těchto kritérií nemůže být proces investičního rozhodování kompletní.

MD ČR spolu se SFDI společně v roce 2018 vydali Rezortní metodiku pro hodnocení ekonomické efektivity projektů dopravních staveb. Dále v disertační práci řešené uživatelské náklady však sama přímo nezohledňuje: „Vzhledem ke své povaze nejsou externí náklady dopravy zachyceny v rámci hodnocení přímých přínosů projektu a je třeba je vyhodnotit zvlášť“ [42]. Hodnocení ekonomické efektivity výstavby silnic se tedy prakticky provádí pomocí metodiky Českého systému hodnocení silnic (CSHS). Pro skutečné ekonomické hodnocení je metodika CSHS určena softwarovým nástrojem HDM-4, který vyvinula univerzita v Birminghamu (Velká Británie) s podporou Světové banky [121]. Tento software je díky své komplexnosti a flexibilitě s velkým počtem faktorů a vstupů využíván v mnoha evropských zemích [122]. Jeho data byla Ředitelstvím silnic a dálnic pro Českou republiku kalibrována a jeho vypovídací schopnost tedy tuzemským požadavkům vyhovuje.

Tento široce používaný nástroj pro hodnocení však musí pracovat s daty různé povahy. Musí totiž také zpracovat data a informace, které jsou spíše kvalitativní nebo dokonce nehmotné povahy. Kvantifikovat a ekonomicky vyjádřit hodnotu bezpečnosti, lidského života nebo dopadu na životní prostředí je však ze své podstaty velmi obtížné. Přestože tento nástroj pracuje z většiny s údaji kvantitativního druhu, vhodnějšími pro ekonomické posouzení, tato hůře uchopitelná data představují významnou část hodnocení. Celkový výsledek analýzy je na veškeré datové vstupy velmi citlivý, rozdíly mezi jednotlivými variantami často minimální a umělá změna dat kvalitativních ukazatelů tedy může představovat rozhodující rozdíl ve prospěch jedné z variant.

Taková možnost ovlivnit celkový výsledek analýzy „vyladěním“ uvedených měkkých dat je sama o sobě tedy velkým problémem. Analytik by neměl mít možnost rozhodovat o výsledcích analýzy. Na základě výše uvedeného se tedy pro dosažení přiměřené úrovně srovnatelnosti jednotlivých investičních projektů jeví vhodnou potřeba standardizace kvantifikace a finančního hodnocení výše zmiňovaných kvalitativních / nehmotných kritérií. Vzhledem k současné neexistenci takovéto standardizace lze tedy problém považovat spíše než za nedostatek využívaného softwaru za nedostatek v celkovém přístupu k posuzování / hodnocení investic.

Pro kvalitní a komplexní hodnocení ekonomické účinnosti investičního projektu však není třeba jen vyváženého ohodnocení jeho kvalitativních či nehmotných kritérií;

posuzování environmentálních a sociálních (E&S) nákladů spojených s výstavbou a rekonstrukcí dálnic představuje mnoho dalších výzev, jak naznačují Surahyo a El-Diraby [123]:

- nedostatek jasných definic: neexistence jasného a obecně přijímaného vymezení nákladů na E&S. To lze přičíst subjektivitě samotné domény a skutečnosti, že se jedná o vyvíjející se oblast zájmu tvůrců rozhodnutí;
- nejednoznačnost při určování příslušných nákladů: podobně jako s výše diskutovanými kvalitativními náklady, neexistují žádné standardizované prostředky k určení, které E&S náklady jsou pro který projekt relevantní. Rovněž neexistuje jasný a daný způsob, jak spojit konkrétní projektové úkoly s konkrétními environmentálními / sociálními dopady;
- nejasné hranice: neexistuje shoda o geografickém rozsahu dopadů na životní prostředí při výstavbě dálnic. Zatímco některé studie zvažují makro / globální dopady, jiné se omezují pouze na mikro / okamžité dopady;
- nejednotné metody odhadu: některé metody používají socioekonomické postupy, zatímco jiné používají postupy čistě technické a inženýrské. Metody používané vědci a odborníky k odhadu těchto nákladů jsou tedy zjevně nekonzistentní;
- každý projekt probíhá v různých environmentálních a sociálních podmínkách, a proto se stejně jako náklady E&S budou také lišit jejich dopady. Je proto obtížné vyvinout univerzální normu, která by výše uvedené řešila. Důležitým se tedy jeví postupné a důsledné zdokumentování poznatků získaných výzkumníky i praktiky při řešení jednotlivých projektů.

Vzhledem k výše uvedeným bodům a ke skutečnosti, že enviro-sociální okolnosti každého projektu vstupujícího do ekonomického hodnocení budou do jisté míry odlišné, vytvoření databáze, která by umožnila shromažďování dat každého projektu (tj. všechny prakticky nalezené i teoreticky očekávané / vypočtené náklady), by bylo vhodným krokem pro vyšší přesnost a vzájemnou porovnatelnost budoucích ekonomických hodnocení.

4.4 Hodnotící nástroj HDM-4

Birminghamská univerzita vyvinula software HDM-4 s podporou Světové banky. Jeho primárním úkolem je posoudit ekonomickou efektivitu projektů dopravní infrastruktury, ale díky schopnosti práce i s technickými daty (moduly) může hodnotit i tyto aspekty projektu. Z ekonomického hlediska je software založen na principu porovnávání nulových variant (současný stav) s novými variantami (navrhovaný projekt) ve srovnání s jednotlivými ekonomickými informacemi, včetně souhrnných ukazatelů, jimiž jsou čistá současná hodnota (NPV), vnitřní míra výnosnosti (IRR) a poměr přínosů a nákladů (BCR).

Z těchto standardních a obecně uznávaných indikátorů můžeme porovnat dvě nebo více možností a rozhodnout se o nejefektivnějším řešení. Hodnoceny jsou data investiční a provozní povahy, včetně výše diskutovaných složitěji oceňovatelných povahy kvalitativní a

nehmotné. Celkové hodnocení projektu je primárně založeno na společenském prospěchu [124].

Z ekonomického hlediska je nejzajímavějším výstupem z HDM-4 součet diskontovaných toků projektu. Příklad takového výstupu je uveden v tabulce 5 níže. Existují dvě základní skupiny nákladů.

První skupinu tvoří náklady spojené s provozem dopravní cesty. Jedná se zejména o náklady na údržbu silnic, dopravní prostředky (palivo, náhradní díly), nehody (materiální škody a úrazy na zdraví) a čas cesty. Ve druhé skupině jsou náklady uživatelské (externality) související s dopady na životní prostředí. Jedná se o náklady na znečištění ovzduší, nadměrný hluk a výfukové plyny.

Ostatní zásadní (obecně oproti softwarem řešeným dopadům na životní prostředí významně vyšší) uživatelské náklady, tj. zejména zdržení a nehod, standardně softwarem z důvodu složitosti uvažovány nejsou. Toto lze považovat za podstatnou chybu současné praxe hodnocení variant projektů, nejen pro překvapivě vysoký poměr celkových uživatelských nákladů k nákladům investičním, vypočtený dále v rámci případových studií v kapitolách 9 a 10.

4.5 Hodnotící nástroj HDM-4 - případová studie 3

Tabulka 5 níže představuje příklad praktické aplikace porovnání dvou variant projektu. Tato malá případová studie pracující s reálnými daty [43] je v disertační práci uvedena pro znázornění velikosti rozdílů mezi posuzovanými variantami a z toho plynoucí význam, který má ze strany hodnotitele do jisté míry subjektivní hodnocení výše zmiňovaných měkkých vstupů. Srovnává stávající stav předmětu projektu (obec Sklené nad Vltavou bez obchvatu), tzv. nulovou variantu a situaci, která je investiční příležitostí, tzv. navrhovanou variantu (obec s obchvatem).

Zero Variant (current state)						
Costs						
Year	Management	Operational	Travel time	Accidents	Externalities Total	Total
2016	0,79	19,32	18,26	1,62	7,02	47,01
2017	0,65	18,76	17,53	1,57	6,65	45,16
2018	2,48	18,03	17,22	1,50	6,35	45,58
2019	0,61	17,48	16,65	1,47	6,01	42,22
2046	0,16	5,51	5,36	0,46	1,59	13,08
2047	0,14	5,21	5,15	0,44	1,52	12,46
2048	0,14	4,70	4,89	0,42	1,44	11,59
Total:	15,28	362,36	349,88	30,78	115,56	873,86
Proposed Variant						
Costs						
Year	Management	Operational	Travel time	Accidents	Externalities Total	Total
2016	18,72	19,32	18,26	1,62	7,02	64,94
2017	47,60	18,76	17,53	1,57	6,65	92,11
2018	39,20	18,03	17,22	1,50	6,35	82,30
2019	0,87	17,02	13,06	1,62	2,65	35,22
2046	0,21	5,41	4,20	0,59	0,74	11,15
2047	0,20	5,10	4,01	0,49	0,71	10,51
2048	-6,66	4,59	3,80	0,46	0,69	2,88
Total:	116,27	353,67	286,66	33,85	62,05	852,50

Net Present Value	10,90
Internal Rate of Return	6,10%
Benefit-Cost Ratio	1,2115

Tabulka 5: Výstup HDM-4 posouzení projektu obchvatu obce Sklená nad Vltavou (v milionech Kč; zdroj: [41]).

Projektem je konkrétně výstavba 4 km obchvatu obce s protihlukovými opatřeními (protihluková stěna). Stavební náklady byly stanoveny na 110 milionů Kč. Veškerá potřebná data o navrhovaném projektu byla získána z průvodní zprávy o projektu od Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD ČR) [43], dále pak výpočtem za použití softwaru HDM-4 a modelu Exnad pro výpočet externalit. Projekt byl vyhodnocen na 30 let provozu. Hlavním kritériem pro posouzení, zda je projekt ekonomicky životaschopný, je ukazatel IRR, který musí dosáhnout vyšší hodnoty než samotná diskontní sazba. Při hodnocení projektu (resp. navrhované varianty) IRR dosáhlo 6,1 %, zatímco pevná diskontní sazba byla 5,5 %. Díky tomu byla navrhovaná varianta přijatelná a znamenala, že představuje úspory pro celou společnost, tedy v konečném důsledku doporučení vedoucí k realizaci projektu. Rozhodujícími okamžiky celkového vyhodnocení této varianty byly celkové zjištěné časové úspory, snížení hluku a celkový dopad na životní prostředí.

Velmi těsný výsledek tedy výše zmíněný problém citlivosti kvalitativního a nehmotného oceňování dat v rámci v současnosti v tuzemsku používané metody

hodnocení potvrzuje. Subjektivní ohodnocení těchto vstupů představuje pro celý jinak velmi sofistikovaný nástroj a přístup slabé místo.

Možným způsobem řešení tohoto problému je unifikace a standardizace hodnot těchto subjektivně hodnotitelných faktorů státním/krajským investorem. Výsledkem by pak byla kvalitnější porovnatelnost posuzovaných variant a celková vyšší kvalita hodnocení celých projektů.

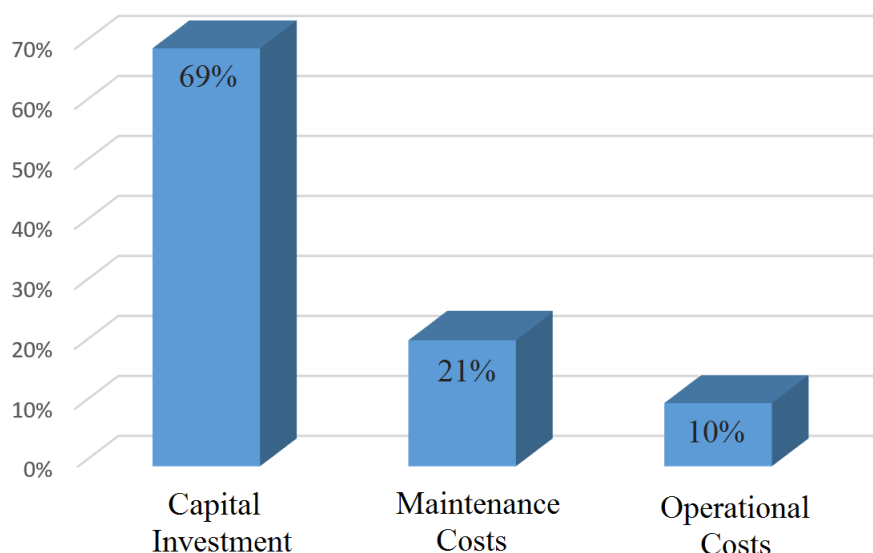
Praktickým krokem k dosažení tohoto cíle a zpřesnění kritérií požadovaného ekonomického hodnocení je vytvoření databáze všech nákladů tohoto charakteru, která by byla přístupná všem zúčastněným stranám. Technické řešení prostřednictvím online dostupné databáze je pravděpodobně nejpraktičtější, nejlépe pak pokud by uživatelům umožnilo nejen přístup ke všem datům (tj. nákladům) podobným jejich vlastním posuzovaným projektům, ale také možnost přispět do databáze nahráním a sdílením dat vlastních.

4.6 Analýza nákladů životního cyklu

Metoda analýzy nákladů životního cyklu (LCCA) je obecně přijímána a považována za velice užitečný nástroj pro hodnocení investic / projektů. V současné době se uznává evidentní potřeba a využitelnost tohoto komplexního pohledu na náklady během celého trvání projektu. Hodnocení a posuzování v dřívějším období vycházelo zejména z nákladů investičních. Nyní se tato metoda využívá samozřejmě ve všech oborech investování a je jednoznačně rostoucí nejen v dálničním stavitelství, avšak napříč všemi odvětvími.

LCCA tedy vyjadřuje náklady spojené s projektem od jeho počáteční přípravy až po jeho likvidaci, většinou tedy v řádu desítek let. Pomáhá najít optimální variantu daného projektu. Komplexní LCCA odráží všechny základní ekonomické proměnné pro hodnocení. Jedná se zejména o: kapitálové náklady investora, náklady na údržbu, uživatelské náklady zpoždění/opotřebení/nehod/emisí, náklady na bezpečnost spojené s projekty údržby a obnovy apod. Všechna tato data jsou sledována v rámci celého životního cyklu. Potřeba optimalizace nákladů na výstavbu a provoz v současném prostředí rostoucích cen energie a prohlubující se tlak na úspory a snižování nákladů jsou obecným trendem zvláště v současném období.

Standardním prostředkem pro stanovení LCCA je čistá současná hodnota (NPV), která představuje současnou hodnotu budoucích nákladů vzniklých během životního cyklu projektu; jako optimální varianta z hodnocených scénářů je pak považována ta s nejnižší konečnou současnou hodnotou budoucích nákladů. Kromě vždy přítomných (avšak řešitelných) technických problémů s implementací LCCA však existuje také problém s výběrem vhodné diskontní sazby. Jedním z nich je získávání důvěryhodných podpůrných dat a informací, včetně údajů o provozu nebo projektování budoucích dopravních toků. Navzdory takovým technickým obtížím, zatím omezenému výzkumu a pochopení tohoto komplexního konceptu má LCCA potenciál poskytnout nám cenné údaje a závěry.



Graf 7: Náklady životního cyklu výstavby dálniční infrastruktury (zdroj: vlastní výzkum na základě dat ŘSD ČR, uvažováno v rámci padesáti let, bez fáze odstranění stavby).

Ve výstavbě dopravní infrastruktury jsou na rozdíl od konvenčních budov nebo průmyslových staveb největší náklady spojeny s investiční fází životního cyklu – viz Graf 7 výše. Skutečnost, že zhruba dvě třetiny všech nákladů jsou spojeny s fází kapitálové investice do projektu, nabízí skvělou příležitost dosáhnout významných úspor právě díky zvýšení efektivity procesu investičního rozhodování a fáze návrhu a realizace stavby.

4.7 Realizační fáze a její efektivita

Z hlediska stavebního podnikání jsou inženýrské stavební projekty relativně tou rentabilnější oblastí vzhledem k dosahované vyšší marži. Tato vyšší marže je nutná vzhledem k podstatně vyšším kapitálovým investicím do potřebného mechanizačního vybavení. Charakteristickým rysem je i realizace větší části stavebních prací vlastními kapacitami vzhledem k podstatně vyššímu podílu prací HSV. Typické je to právě u silničního stavitelství, kde podíl PSV prací je nižší a s tím i podstatně nižší podíl subdodávek. Většina projektů silničního stavitelství u nás je zatím v dodavatelském režimu Design-Bid-Build, tj. realizovaných jako měřený kontrakt, kde celková cena zakázky se stanoví jako násobek jednotkové ceny a změřeného množství skutečně provedených prací [125]. Tento princip je historicky typický pro inženýrské stavitelství.

V daném typu projektů existuje značné riziko nesprávně odhadnutého množství a odlišných podmínek staveniště, a to zejména podmínek podzemních a klimatických. Tento problém (odlišné podmínky staveniště) je proto v oboru inženýrských staveb nejčastějším claimem v rámci arbitrážních či soudních sporů, nesprávně specifikovaná množství pak druhým až třetím nejčastějším [44].

Obvyklá vyšší marže (mark-up) u dopravních staveb je poměrně náhodně reálně modifikována několika faktory, a to jak negativně, tak pozitivně. Průměrná rentabilita

dosahovaná na standardním projektu je pak relativně stabilní vzhledem k mnoha rizikovým/ náhodným faktorům. Přirozeně vždy v závislosti na profesionální zkušenosti a úrovni daného týmu správce stavby může docházet i k nesprávnému určení předem stanovených a reálně změřených množství skutečně provedených prací. Typicky to může být ovlivněno i na základě jiných parametrů prováděných zemních prací, odlišných geologických podmínek při zakládání apod.

Výrazným faktorem, který může vést k omezení cenových či nákladových fluktuací v rámci dopravního stavitelství a specificky u mostních a tunelových děl, je realizace většího podílu inženýrských staveb na bázi v této práci řešené **prefabrikace a standardizace**. Zavedením vyzkoušených **konstrukčních soustav, typových řešení nebo alespoň opakovaných projektů** v rámci veřejného investora lze dosáhnout úspor ve všech fázích výstavbových projektů. Jedná se o úspory z hlediska urychlení přípravy, projekce, doby a nákladů realizace staveb včetně záruční doby i samotného užívání.

Z hlediska efektivity přípravy, realizace a provozování stavebních projektů je poučné sledovat postupy zavedených zahraničních veřejných výstavbových a provozních organizací jako je například britská National Highways. Ta ve své činnosti při řízení podřízených agentur prosazuje typová či vzorová řešení u podstatné části všech druhů stavebních objektů a pečlivě vyhodnocuje výhodnost jednotlivých investičních projektů za celou dobu jejich životnosti (60 let) [129].

Tato práce se zaměřuje na možnosti ovlivnit urychlení přípravné i realizační fáze výstavby a rekonstrukcí dopravní infrastruktury zejména s cílem zajistit minimalizaci uživatelských nákladů na provozovaných dopravních dílech.

Pro rychlé a bezporuchové budování potřebných stavebních děl dopravní infrastruktury je třeba vždy definovat metody a postupy, které se osvědčily a jsou prakticky realizovány v jiných zemích.

Jedná se zejména o:

- Bezvadnou projektovou dokumentaci využívající maximálně osvědčené a standardizované prvky, zejména pak ty nejdražší a klíčové prvky se zaručenou a dříve osvědčenou kvalitou. To se týká zejména prvků pro vystrojení tunelů, prefabrikovaných mostů nebo jejich částí, protihlukových stěn.
- Důkladné digitální skenování terénu a aplikace Building Information Modeling (BIM), jež neponechává prostor pro jakékoliv významnější změny smlouvy během výstavby nebo claimy z titulu prokazatelně odlišných množství a dodatečných změn. Pravidelná nebo opakující se frekvence trojrozměrného skenování je také dobrým nástrojem, jak získat přehled a kontrolu skutečně zpracovaných množství (například zeminy) a šanci zvýšit věrohodnost fakturace.
- Správný odhad nákladů na všechny jednotlivé položky (kontrolní rozpočet) návrhu na základě přesného vyúčtování množství odhadovaných prací připraveného objednatelem a na základě jeho vlastní srovnávací databáze nákladů. Outsourcing

jakékoli z těchto činností je z hlediska věrohodnosti nevhodný (např. zpracovaný projektantem).

- Následná realizační fáze využívá tato data pro srovnání se skutečně fakturovanými na základě skutečných množství. Osobní odpovědnost projektového manažera za tyto úkoly a jeho integrita má vždy zásadní význam.
- Vyhodnocování konkurenčních nabídek na základě vlastního bezchybného odhadu nákladů na kontrolu (rozpočet) státní správy a odmítnutí těchto nabídek s neobvykle nízkými nebo vysokými hodnotami ($\pm 10-15\%$ oproti kontrolním a srovnávacím rozpočtům). Takový přístup rovněž vylučuje většinu důvodů uchazečů o odvolání proti výsledkům výběrového řízení, a tudíž urychluje proces realizace.
- Objektivní, nezávislé a odborné provádění a výkon role vlastního správce stavby/technického dozoru) realizovaných stavebních prací včetně schválených změn projektové dokumentace během realizační fáze. Tento požadavek je vždy spojen s tím, že vynikající dálniční správy (USA, Rakousko) pracují jen se zkušenými a celoživotně zaměstnávaným a prověřenými inženýry, kalkulanty a ekonomy. Zásadně se vyhýbají masivně najímaným externistům na vedoucí pozice v projektovém týmu zákazníka. U nás se v dané roli vyskytuje značné procento ad hoc najímaných externistů nebo celých týmů.
- Potvrzování provedených množství včetně schválených změn dokumentace během realizační fáze nezávislým oprávněným subjektem (správce stavby / technický dozor) nad obvyklý rozsah. Případný další nezávislý konzultant nebo prověření úrovně kvality a úplnosti provedených množství je vhodným opatřením pro verifikaci fakturace a provedených množství včetně změn. Při miliardových objemech realizovaných prací je delegace těchto řídicích a kontrolních činností na pováženou – lze konstatovat s tím spojený **vysoký stupeň finančního a majetkového rizika**.
- V citlivé oblasti ochrany životního prostředí je jasná potřeba mnoha průběžných opatření, rozsah ekologických opatření bývá velmi subjektivní. Zároveň jsou taková opatření často finančně náročná.
- Uplatňování jakýchkoli opatření na ochranu životního prostředí nebo projektových variací založených spíše na poměru pravděpodobnosti jevu, a nikoli ve formě preventivního opatření, může přinést výrazné úspory.
- Velkou roli by mohla hrát právní možnost vyloučit z dalších nových projektů výběrové řízení ty dodavatele, kteří jsou v jakékoli formě sporu o jakýkoli minulý projekt se státem. Přestože se tento princip osvědčil v různých státech v Evropě, stále není implementován do právních předpisů pro veřejné zakázky většiny států. Když je implementován a praktikován, výrazně zlepšuje vyjednávací pozici státu. Rovněž zásadně upravuje chování dodavatelů vůči státním agenturám a přibližuje je standardům chování / vztahů vlastníka-dodavatele v soukromém sektoru. Toto

doporučení může být významným prvkem lepšího kooperativního způsobu realizace.

4.8 Shrnutí a závěry

V současném procesu rozhodování o investicích do silniční a dálniční sítě existují významné prvky neefektivnosti a rizika.

V procesu investičního rozhodování existují různé metodiky (založené na lokalitě, ale pro skutečné ekonomické posouzení projektu je nejrozšířenější softwarový nástroj HDM-4. Vzhledem ke své složitosti a flexibilitě při zahrnutí velkého počtu faktorů a vstupů je možné tento nástroj považovat za vhodný a případovou studii v podkapitole 4.5 také ověřený. Hlavní zjištěný nedostatek však nebyl nalezen v softwaru, ale v obecném přístupu k posouzení v rámci každé investiční jednotky.

Hlavní nesrovnalost spočívá v různých typech dat, která musí být zpracována. Do rozhodovacího procesu musí být zahrnuty standardní technické i finanční údaje a zároveň informace, které jsou kvalitativní a nehmotné povahy. Ačkoli je to technicky možné, problémem jsou různé výsledky založené na intervalu hodnot vstupních dat.

Důvodem je nekonzistentnost v oceňování těchto kvalitativních / nehmotných údajů. Pouze správné a důsledné sjednocení tohoto ocenění u všech projektů posuzovaných v rámci každé investiční jednotky / oblasti / země může zlepšit vzájemnou srovnatelnost a kvalitu výsledného investičního rozhodnutí. Na základě výše uvedeného je zřejmé, že k dosažení slušné úrovně srovnatelnosti jednotlivých investičních projektů je nutné standardizovat kvantifikaci a finanční hodnocení těchto kvalitativních / nehmotných kritérií. Možným způsobem sjednocení a zpřesnění těchto hodnotících kritérií je vytvoření databáze všech nákladů tohoto charakteru, která by byla přístupná všem zúčastněným stranám.

Technická řešení prostřednictvím obecně přístupné databáze jsou pravděpodobně nejpraktičtější, pokud všem svým uživatelům umožňuje nejen přístup k informacím (tj. nákladům) všech ostatních hodnocených projektů, ale také sdílet jejich data, výsledky a zjištění.

Při další analýze struktury nákladů životního cyklu v projektech dálnic se potvrzuje, že komplexní technika analýzy nákladů životního cyklu má potenciál poskytnout nám cenné údaje a závěry. Skutečnost, že zhruba dvě třetiny všech nákladů jsou spojeny s fází kapitálové investice projektu, zjevně představuje velkou příležitost k dosažení významných úspor díky zvýšené účinnosti procesu investičního rozhodování a fáze návrhu a realizace stavby.

Pokud jde o realizační fázi investičního projektu silniční infrastruktury, je vhodné se zaměřit na hlavní problémy a nízkou účinnost. Na základě praxe projektového řízení v tomto typu projektu jsme shrnuli oblasti, které vedou k ekonomické neefektivnosti

nejčastěji. Byl navržen soubor základních opatření, metod a postupů, které jim umožní účinně čelit. Ty, které mají nejvyšší význam, jsou následující:

- Bezchybná projektová dokumentace zahrnující maximální standardizaci, důkladné digitální skenování terénu a aplikaci Building Information Modeling; snížit objem hlavních změn smlouvy během výstavby a zvýšit kontrolu skutečně zpracovaných množství a zvýšit spravedlivost fakturace.
- Kontrolní rozpočet investora připravený na základě jeho vlastní databáze množství a nákladů; osobní odpovědnost projektového manažera za rozpočet řízení a jeho soulad s následnou realizační fází.
- Vyhodnocení konkurenčních nabídek na základě vlastního bezchybného kontrolního rozpočtu investora a odmítnutí nabídek s neobvykle nízkou nebo vysokou hodnotou předem stanoveným přísným pravidlem.
- Provádění vlastního technického dozoru - outsourcing není pro tento úkol přijatelný.
- V případě potřeby zaměstnání dalšího oprávněného subjektu třetí strany pro technický dozor vyšší úrovně.
- Uplatnění jakýchkoli opatření na ochranu životního prostředí nebo projektových variací založených na poměru pravděpodobnosti jevu a nikoli ve formě preventivního opatření.
- Legální možnost vyloučit z dalších projektů výběrové řízení na ty dodavatele, kteří mají jakoukoli formu sporu o jakýkoli minulý projekt se státem, aby výrazně zlepšili vyjednávací pozici investora a standardizovali chování dodavatelů vůči němu.

5. KVALITA DÍLA

5.1 Problematika pevnosti betonu

Současná obvyklá technologická praxe dálniční výstavby a veškeré okolnosti včetně doby jejího trvání je díky nepopulárnímu téměř devět let trvajícím projektu modernizace páteřní D1 všeobecně známa. Tento projekt byl, stejně jako všechny projekty poslední doby, proveden s využitím technologie pokládky cementobetonového krytu, často pak konkrétně položením tzv. vymetaného betonu (s povrchem z obnaženého kameniva) pro jeho očekávanou delší životnost. Obecně je pak dle údajů ŘSD v rámci tuzemských dálnic poměr mezi cementobetonovým a asfaltovým (asfaltobetonovým) povrchem zhruba 1:2. U silnic I. třídy a nižších pak jde o poměr 1:99. [45] [46]

Problém současné in-situ cementobetonové výstavby lze najít ve změně norem v devadesátých letech, kdy začala být vyžadována větší pevnost betonu. Ten je dnes tedy pevnější než dříve, dle předního odborníka na tuto oblast prof. Šmilauera vyloženě pevnější, než je vlastně nutné a ovšem také podstatně křehčí. [46]

Beton s jemněji mletým cementem, jehož se výše uvedené normy týkaly, rychleji tvrdne a dálnici lze proto rychleji uvést do provozu. Po letech ale dochází také k daleko rychlejšímu šíření přirozeně se tvořících trhlin.

Na druhé straně experimenty ukazují, že cementy s pomalými náběhy pevností jsou vůči vzniku trhlinek během vysychání odolnější. [47] Trhliny vznikající z důvodu vysychání a počátečního smršťování jsou spojené s kvalitou ošetřování betonu. Díky rostoucímu tlaku na rychlost výstavby existuje však v současné době na českém trhu těchto cementů pouze několik. [47]

Statistika z laserového skenovacího a monitorovacího systému CleveRA ukazuje, že po 10 až 15 letech provozu je 75 % krytů v České republice již viditelně popraskaných. Údaje ze systému CleveRA dále umožňují porovnat starší výstavbu krytů, kde např. starý úsek D1 mezi km 93,74 - 95,03 sloužící bezmála 40 let vykazoval před modernizací stejný stav trhlin jako dnešní vozovky po 10 až 15 letech provozu [49]. Tehdejší sedmidenní pevnost cementu je dnes dosažena již ve třech dnech a 28denní pevnost v sedmi dnech. [47]

Zcela opačný přístup, oproti výše zmíněnému v tuzemsku bohužel doposud standardnímu tlaku na rychlost výstavby, je vyžadován v rámci oprav vozovek prefabrikáty prováděných americkou FHWA. Americký objednavatel – zde konkrétně Department of Transportation státu Wisconsin [51], tato platná praxe je však v rámci stejná na federální úrovni - obecně po všech zhotovitelích v rámci technických podmínek prefabrikace výslovně požaduje „neodstraňovat bednění nebo zvedací panely, dokud beton nedosáhne pevnosti alespoň 34,5 MPa, pokud není v plánech uvedeno jinak. Nepřepřavovat ani neumísťovat panely, dokud nedosáhnou požadované 28denní pevnosti v tlaku 5 000 psi.“

Pozitivním výhledem na budoucí možné řešení problému je pak ochota veřejného investora problematiku řešit a v rámci spolupráce s FSv ČVUT (prof. V. Šmilauer) jeho

podpora výzkumu umožněním realizace zkušebního úseku dálnice s cementobetonovým krytem za použití cementu „pomaleho“ s cílem zvýšit jeho odolnost vůči vzniku trhlinek.

Tento úsek s „pomalým“ cementem (75 % cement CEM I 42,5 R (sc) + 25 % vysokopevní mleté granulované strusky SMŠ 400) měří bezmála 9 km na dálnici D1 mezi Přerovem a Lipníkem nad Bečvou s cílem zvýšit odolnost cementobetonového krytu vůči vzniku trhlinek [50] a je v současnosti ve fázi vyhodnocování. Obecně lze konstatovat, že je tento projekt ukázkou velmi dobré spolupráce mezi veřejným objednatelem, zhotovitelem a akademickou sférou.

Ačkoliv je výše zmíněná současná praktická realizace stále ve fázi dlouhodobého vyhodnocování a tato fáze může trvat desetiletí, veškerá teoretická zjištění odborníků spolu s poznatky z realizace starší – původního cementobetonového krytu dálnice D1 postavené v 70. letech - hovoří jasně pro cementy pomalejší a požadavek na jejich používání pro výstavbu současnou je tedy nutné doporučit okamžitě.

Výměna betonové vozovky každých 20 let je finančně i ekonomicky (především související s narušením dopravy) neúnosná [48].

5.2 Ultravysokohodnotný beton

V rámci prefabrikace lze UHPC (Ultra-High-Performance Concrete – ultra-vysokohodnotný beton) označit jako jeden z nových směrů jejího vývoje. Jeho uplatnění je vhodné pro nejvytíženější úseky vozovky / nejzatíženější prvky mostní konstrukce, to vše při zachování standardní tloušťky; případně pro prvky, kde je při zachování vysoké trvanlivosti a odolnosti požadována tloušťka minimální.

UHPC betony jsou zpravidla navrhovány a používány jako kompozity vyztužené mikrovlákny, někdy na bázi různých plastů PP, PVA, častěji na bázi vysokopevnostních ocelových vláken. V takových případech je vhodné užívat označení UHPFRC, Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete, v češtině UHPC s vlákny nebo rozptýlenou výztuží. [52] Vlákna zastoupená ve směsi mimo jiné také snižují riziko vzniku trhlin od smršťování, které je při vysokém zastoupení cementu shodné jak pro beton běžný, tak pro beton ultravysokohodnotný.

Česká republika se v posledním desetiletí velmi významně zapojila do proudu vývoje a realizace konstrukcí z UHPC. Proběhl intenzivní materiálový výzkum [52] a byly realizovány první praktické aplikace z tohoto materiálu [53]. Výtečným příkladem je naším nejvyspělejším domácím zhotovitelem společností Metrostav realizovaná lávka v Čelákovcích, oceňovaná pro svůj způsob realizace i v zahraničí [52] – viz Obr. 11 níže.



Obr. 11: Lávka z UHPC v Čelákovících a využití formy pro betonáž segmentů v blízkosti realizace (Metrostav, 2014).

V rámci výzkumných projektů se pracuje na ověření technologií využívajících UHPC pro dílčí prvky (např. spoje betonových konstrukcí) a pro zesilování existujících betonových konstrukcí [53] - například zesílení původní betonové mostovky Barrandovského mostu zmíněné níže). Snahou o zavedení výroby prefabrikátů z UHPC do průmyslového prostředí a zejména do průmyslového měřítka je spolupráce jejich výrobce KŠ PREFA, projekční kanceláře Pontex a Kloknerova ústavu ČVUT v Praze v rámci dotačního programu TAČR Epsilon [52]. Dalším výzkumem a vývojem metod využití UHPC pak lze jistě obecně nazvat i progres našich ostatních stavebních společností při stále častějším reálném využití tohoto materiálu.

Materiálové charakteristiky UHPC jsou značně odlišné od běžného nebo vysokohodnotného betonu. Z tohoto důvodu se o UHPC často mluví jako o cementovém kompozitu, a ne o betonu [53]. Technické podmínky (TP54) vydané ministerstvem dopravy pro Železobetonové desky spřažené s prefa nosníky mostů pozemních komunikací definují UHPC jako: beton s ještě lepšími vlastnostmi (nebo vlastnostmi) než má vysokohodnotný beton. Používá se ve speciálních případech. Aplikace těchto betonů by měla mít nějakou výraznou výhodu, například kvalitativní, ekonomickou, nemožnost užití stávající technologie apod. [54]

Mimořádné vlastnosti UHPC jsou dosahovány návrhem hutné struktury kompozitu bez pórů a speciálními technologiemi výroby. Nepravidelné dutiny, póry a trhlinky jsou místa, ve kterých se koncentruje napětí při zatěžování a zde začíná proces porušování betonu. Všechny složky i technologie výroby jsou voleny tak, aby výsledkem byl kompozit s minimem pórů [56].

Výrobně i finančně je tedy UHPC ve srovnání s betony běžné pevnosti (NSC), betony vysokohodnotnými (HPC) i vysokopevnostními (HSC) náročnějším. Tato náročnost je však vyvážena jeho lepšími fyzikálními vlastnostmi (vysokou pevností, pružností, velkou duktilitou, odolností při opakovaném namáhání) a vyšší dobou životnosti. Pro vyšší náročnost jeho přípravy jsou samozřejmě ideálními podmínkami prefabrikační výroby s možností zejména kvalitního tepelného ošetření, avšak ve zvláštních případech je velmi praktický také pro betonáž in-situ. Pro jeho vysokou tahovou pevnost například jako dobetonávku spřažení ocelobetonového mostu (jinak využívajícího prefabrikátů z betonu standardního). Nedávným příkladem tohoto využití je jeho aplikace společností PORR při

opravě pražského Barrandovského mostu, kde byl položen jako vyrovnávací vrstva na povrchovou vrstvu původní konstrukce. Zde sice bylo dle objednatele stavby následně v srpnu 2022 identifikováno „několik lokalizovaných a ohraničených oblastí, kde nedošlo k dokonalému spojení“ [55] těchto dvou vrstev, avšak celkově lze využití UHPC a z toho plynoucí očekávané prodloužení životnosti mostu jako úspěšné.

Vzhledem k náročnosti technologie výroby UHPC, nutnosti pečlivé kontroly při výrobě je kompozit UHPC využíván především pro výrobu prefabrikovaných dílců [56]. Dále je to také vysoká rychlost hydratace UHPC, která jeho využití jako kompozitu vyráběného in-situ výrazně komplikuje a omezuje. Přesto se i tento způsob aplikace vyplácí a nárokovat technologii UHPC pouze prefabrikačnímu způsobu využití je nesmyslné. Potvrzením výhodnosti in-situ aplikace je např. výše zmíněný projekt rekonstrukce Barrandovského mostu, resp. obecně prodloužení životnosti starší do jisté míry degradované konstrukce jejím překrytím cementovým kompozitem, které životní cyklus konstrukce nejen prodlouží, ale i sníží jeho náklady údržby.

Závěrem lze tedy konstatovat, že UHPC je ve většině případů nejvýhodnější využívat právě prefabrikační metodou a že jeho finančně vyšší náročnost se při promyšleném způsobu využití ve výsledku pro jeho výjimečné fyzikální vlastnosti a pro dopravní stavby tak důležitou odolnost vůči působení živlů vyplácí.

5.3 Prefabrikované plastové vozovky

Vozovky mohou být vyrobeny z recyklovaného plastu a kameniva. Standardní asfaltový povrch je vyroben z kameniva a živice. Recyklovaný plast je však jednou z možností, jež by mohla živici nahradit. Tato záměna vstupní suroviny má potenciál snížit náklady výstavby, pomoci snížit množství skládkovaného plastu a případně i vést k vozovce trvanlivější.

Platným argumentem pro další výzkum a vývoj tohoto konceptu je také jeho slibná celková ekonomičnost. Ač jde o oblast obecně zatím v brzkém stadiu vývoje, lze předpokládat, že bude celkově levnější. Kilogram plastu lze pořídit zhruba za 30 % ceny živice [57]. Zároveň také mohou být velmi výrazným způsobem sníženy náklady údržby, a naopak zvýšena celková životnost. Celkové náklady životního cyklu tradiční asfalto-kameninové a alternativní plastovo-kameninové se nejspíše budou výrazně lišit.

Technologie recyklovaných silnic je však stále relativně nová a mnoho důkazů o tom, jak dlouho tyto silnice z dlouhodobého hlediska vydrží, neexistuje. Obecně se tedy od tohoto typu vozovky očekává větší odolnost vůči vlivům počasí / změnám teplot a vůči opotřebení. Druhým, taktéž již zmíněným aspektem je ekologický přínos konceptu, neboť aplikace plastů v rámci silniční výstavby se netýká plastu nového, nýbrž odpadového. Vždy jde o plast již použitý, určený k recyklaci. Například americká společnost Technisoil Industrial se chlubí schopností kompletní recyklace stávající vozovky (tj. včetně původního asfaltu) a uplatněním přibližně 150 000 plastových lahví na jednu míli (tj. 1,6 km) v jízdním pruhu [58], již včetně i úspěšné praktické aplikace ve Spojených státech amerických. Tento

recyklačně-výstavbový proces dokonce zcela realizují přímo na místě a snižují tak dalším způsobem finanční náklady a ekologické zatížení. Konečným výsledkem je zcela nová kategorie plastových vozovek, které mají potenciál vydržet 2-3x déle než tradiční asfaltové vozovky. Tímto směrem se pak zatím celosvětově v největším měřítku vydala Indie, kde je od roku 2016 přidávání plastu do asfaltových vozovek již povinné a od té doby již jich bylo tímto způsobem zhotoveno kolem 100 tisíc kilometrů [59].

Směr výzkumu a vývoje aplikace plastů se tedy ubírá zejména dvěma směry a do značné míry kopíruje problematiku v rámci vozovek tradičních – první variantou výše zmíněné nahrazení živice plastem a standardní způsob pokládky povrchu vozovky in-situ (viz Obr. 12), druhou variantou pak je prefabrikace celé vozovky mimo staveniště (viz například holandský PlasticRoad na Obr. 13 níže),



Obr. 12: Asfalt s přísadou TonerPlas vyrobený ze směsných měkkých plastů zde v roce 2020 využitý k obnově povrchu vozovky ve Fremantle v západní Austrálii [60]. Pravá polovina obrázku pak detail materiálu Neo společnosti TechniSoil Industrial používaný v Los Angeles, USA [58]

PlasticRoad stejnojmenné holandské společnosti je navržen tak, aby byl prakticky bezúdržbovým produktem a nebyl ovlivněn korozí a povětrnostními vlivy. Konstrukce vozovky umožňuje vedení technických sítí, vydrží teploty od -40 do +80 stupňů Celsia, má být celkově mnohem odolnější vůči chemické korozi, dle odhadů se předpokládá, že životnost silnice se ztrojnásobí. Takové parametry by případně znamenaly méně údržby silnic a z nich plynoucích dopravních omezení [61].



Obr. 13: Návrh kompletního řešení vozovky z plastových prefabrikátů. Zdroj: Společnost PlasticRoad [61].

Z recyklovaného plastu lze tedy vyrábět prefabrikované silniční díly, které se pak instalují v jednom kuse, tj. obdobným způsobem jako prefabrikáty betonové. Tyto části se tedy prefabrikují mimo staveniště, následně jsou dopravovány na místo instalace a stejně jako u prefabrikace betonové je výsledkem kratší doba výstavby a dopravních omezení pracovní zóny. Méně kongescí způsobených silničními pracemi pak potenciálně znamená také nenáročná údržba tohoto typu povrchu. Oproti prefabrikátům betonovým je pak jejich přeprava snazší a levnější, neboť se jedná o materiál významně lehčí. Je také mnohem snazší kontrolovat kvalitu vozovky (tuhost, odvod vody, či v suchých oblastech naopak její skladování – viz Obr.14). V suchých oblastech, jakým je například Mexico City, nabízí celoplastová dutá konstrukce prefabrikátu funkci dočasného skladování vody a odvodnění. Je ideální pro zachycení vody během extrémních srážek a záplav a úpravou tvaru prefabrikátu (přidáním částečně propustných částí dílců) je schopen následně vodu postupně vsakovat zpět do země. Dle výrobce je pak zároveň jeho odolnost a nenáročnost na údržbu znamenají sníženou uhlíkovou stopu až o 72 % po dobu životnosti ve srovnání s tradičními silničními strukturami [62].



Obr. 14: Modulární design plastové silnice instalované v Mexico City. Zdroj: SmartCitiesWorld [62]

Další výhodou prefabrikované plastové silnice je relativní snadnosti její pokládky. Její dutou konstrukci lze jednoduše nainstalovat na pískový a štěrkopískový podklad. Kromě výše uvedených možností je možné ve fázi prefabrikace integrovat i další prvky. Mezi tyto prvky patří snímače dopravních smyček, měřicí zařízení a přípojky pro světelné stožáry. Aby byl PlasticRoad odolný proti smyku, vyvíjí se v současnosti také nanosení písku nebo drceného kamene na povrch lisováním nebo tiskem, čímž by se požadovaná drsnost zajistila.



Obr 15: První celoplastová silnice na světě otevřena v obci Zwolle v Nizozemsku v 11/2018. PlasticRoad je 30 metrů dlouhá a obsahuje recyklovaný plastový ekvivalent více než 218 000 plastových kelímků [61].

Hlavními výhodami prefabrikované plastové silnice tedy jsou:

- lehká prefabrikovaná konstrukce,
- rychlejší výstavba (až o 70 %) a kratší doba údržby,
- v továrních podmínkách kontrolovaná kvalita a delší životnost,
- vyžaduje malou až žádnou údržbu, materiál je velmi odolný vůči počasí či plevelu,
- složení a struktura eliminuje riziko prasklin a výmolů a snižuje potřebu údržby,
- dutý prostor v panelech lze využít pro shromažďování dešťové vody nebo jako prostor pro kabely a potrubí,
- možnost stálé (dopravní) bezpečnosti a odvádění vody,
- veškeré dopravní značení / zařízení může být taktéž prefabrikováno (silniční značení, zábradlí),
- přispívá k řešení problematiky plastového odpadu.

6. VYŠŠÍ INVESTIČNÍ NÁKLADOVOST PREFABRIKÁTU

Dle výsledků výzkumu zadaného evropskou komisí (jejím generálním ředitelstvím pro výzkum a vývoj) jsou celkové náklady na použití prefabrikovaných mostních prvků obvykle s tradičními stavebními technikami dokonce srovnatelné. Celkové náklady však mohou být výrazně nižší než u tradiční konstrukce, vezmeme-li v úvahu životnost a uživatelské náklady [63]. U systémů panelových vozovek, jimž se věnuje následující kapitola či případová studie modernizace úseku 05 dálnice D1, je situace komplikovanější. Obecně lze však úvodem situaci shrnout tak, že přestože na rozdíl od provedení betonové pokládky in-situ, tyto systémy nevyžadují nákladnou specializovanou techniku (finišery), vyžadují od zhotovitele vysokou přesnost a jsou tedy na kompletaci složitější a náročnější na jeho zkušenost.

6.1 Základní premisa

Základním předpokladem úvahy o možném směřování inženýrského stavebnictví je, že zejména veřejný objednatel ve svém konání vychází z požadavku na co nejrychlejší a nejkratší realizaci projektu a zahájení či pokračování v poskytování veřejné služby (silnice, železnice, tunel apod.). Minimalizace tzv. uživatelských nákladů, které by byly způsobeny přerušením dané veřejné služby, jsou tedy jedním z jeho hlavních zájmů.

6.2 Náklady

Celkové náklady na použití prefabrikovaných konstrukčních prvků značně závisí na rozsahu prefabrikace na jednotlivém projektu a opakovatelnosti využití potřebných speciálně vyrobených dílů forem. Obecně platí, že čím vícekrát se daná forma použije při výrobě jednotlivých prefabrikátů, tím nižší jsou jednotkové náklady na daný prefabrikovaný prvek. Při čtenějším použití lze rovněž optimalizovat tvar a vyztužení za účelem snížení nákladů. To umožňuje dosahovat značných úspor nákladů a času jak v inženýrském stavitelství (dopravní a průmyslové stavby), tak v pozemním stavitelství (byty, školy, administrativní budovy).

Co se týče mostů, celkové náklady na použití prefabrikovaných mostních prvků jsou obvykle srovnatelné s tradičními stavebními technikami. Celkové náklady však mohou být výrazně nižší než u tradiční konstrukce, vezmeme-li v úvahu životnost a „náklady uživatele“ [63]. Přestože tedy mohou být zpočátku investiční náklady u prefabrikované vozovky vyšší, úspory uživatelských nákladů jejich výši výrazně převyšují [64].

Celkové náklady na použití prefabrikovaných mostních prvků i silničních panelů značně závisí na rozsahu prefabrikace. Čím vícekrát se tato prefabrikace opakuje, tím nižší jsou náklady. Americká studie [65] uvádí, že pro zhotovitele, potažmo veřejného zadavatele, kteří používají prefabrikaci zřídka, jsou počáteční náklady na stavbu postavenou pomocí prefabrikace o něco vyšší než u tradičních postupných stavebních postupů.

Jsou to však celkové náklady neboli náklady celkového životního cyklu stavby, které je třeba se standardně provedenou konstrukcí porovnat, aby bylo možné určit, která z nich je výhodnější. Jednotlivé státní dopravní organizace v USA (tzv. Departments of Transport), tedy obdoby našeho ŘSD, které používají prefabrikaci důsledněji, zjišťují, že se nabídkové ceny zhotovitelů nabízejících provedení prací za pomoci prefabrikačních systémů v rámci jimi organizovaných soutěží s nabídkami standardního in-situ provedení blíží [66]. Přičítají to stoupající míře zkušeností s těmito systémy a bližší míře seznámení se s nimi, respektive jejich vylepšením.

6.3 Modulární stavebnictví

Modulární stavebnictví, tedy skládání rozměrově unifikovaných prostorových jednotek - modulů, a s tím související tovární výroba jednotlivých konstrukčních prvků je jednou ze základních strategií pro dosažení vyšší produktivity práce, kvality a rozměrové přesnosti.

Světový příklon k modulárnímu stavebnictví je velmi pravděpodobný. Základní faktory změny v sektoru stavebnictví jsou zde zejména:

- trvale rostoucí nedostatek kvalifikované i nekvalifikované pracovní síly na stavbách pozemního i inženýrského sektoru,
- trvale stagnující produktivita i rentabilita (celosvětově (vyjma Číny) jsou dané indikátory na cca stejné úrovni již 30 let),
- klesající ukazatele celkové kvality díla.

Například dle Royal Institute of British Architects mohou modulární konstrukce nebo panelová řešení v rámci pozemních a průmyslových staveb snížit počet zaměstnanců potřebných na staveništi až o 70 procent a snížit celkové náklady na stavbu o 20 až 40 % [67].

Vývoj v oblasti prefabrikace, jako základního prvku výše zmíněného modulárního stavebnictví, není v ČR zatím nijak progresivní. Z hlediska historie lze konstatovat: Zhruba minimálně od r. 1958 do roku 1995 byly ročně realizovány velké bytové a občanské soubory staveb v objemech až 70 tis. bytů. včetně občanské vybavenost a podmiňovacích investic.

Značná část paneláren včetně technologie a know-how byla po roce 1990 zrušena, určitá část přešla na malo-sériový a méně náročný výrobní program. Pozemek většiny zrušených paneláren pak byl využit pro jiné podnikání. Znovuzískání vhodné lokality s parametry potřebnými pro ekologicky zatěžující provoz, jakým prefy jsou, je přitom relativně velkým problémem. Tyto provozy totiž vyžadují velký objem přepravy materiálu a obtěžují tak vysokou dopravní zátěží okolí, vykazují vysokou prašnost a hlučnost. Zároveň pak ideálně nesmí být příliš vzdáleny od budoucích stavenišť (tzv. just-in-time montáž) a prodražovat tak dopravními náklady projekt.

6.4 Vliv nákladů životního cyklu a celková ekonomie zkoumaných procesů

Studie US Highways Administration uvádí, že pro dálniční správy jednotlivých států Unie (State Highway Agency), které používají prefabrikované mosty, jen zřídka, jsou počáteční náklady na stavbu postavenou pomocí PBE (Prefabricated Bridge Elements) jen o něco vyšší než u tradičních stavebních postupů kompletně realizovaných přímo na staveništi. Jsou to však i celkové náklady neboli také náklady životního cyklu staveb, které je třeba porovnat s tradiční konstrukcí. Jen tak je možné určit, která z metod poskytuje nejlepší výsledky.

Stavební firmy z oboru dopravních staveb v USA, které využívají prefabrikaci jako trvalou součást svého výrobního programu a mají tedy způsob instalace panelových systémů zvládnutý, většinou uvádějí, že jejich nabídkové ceny se rovnají konkurenčním nabídkám tradiční metodou nebo jsou dokonce nižší. Podstatný rozdíl je však většinou v době výstavby daného projektu a záleží pak na nastavení váhy jednotlivých hodnotících kritérií v rámci soutěže.

Celkové náklady na použití prefabrikovaných mostních prvků tedy značně závisí na rozsahu využití prefabrikace na daném projektu případně opakovaně na dalších projektech stejného typu a rozpětí. Opakované projekty výrazně zlevňují výrobu - zásadní časová a nákladová úspora spočívá v minimalizaci výroby dalších kvalitních ocelových forem.

Rozhodující však jsou vždy celkové náklady neboli náklady na „životní cyklus“ konstrukcí, které je třeba porovnat s tradičním výstavbovým řešením. Pak je možné určit, která z variant poskytuje nejlepší hodnotu [66].

7. PREFABRIKOVANÉ VOZOVKY / PANELOVÉ SYSTÉMY

7.1 Vozovkové prefabrikované panelové systémy

Většina současných PCP systémů (Precast Concrete Pavement) byla vyvinuta v USA. Dle míry jejich rozšířenosti jde zejména o systémy Fort Miller Super-Slab, Michigan, Uretex a Kwik [15]. Jsou vyvíjeny a úspěšně využívány již téměř 20 let [64].



Obr. 16: Instalace světově nejrozšířenějšího vozovkového panelového systému Super-Slab společnosti Fort Miller. Zdroj: Fort Miller Company [68]

Hlavním důvodem upřednostnění technologie prefabrikace dálničního krytu vůči standardní pokládce in-situ, je samozřejmě zejména rychlost provedení. Z důvodu rekonstrukce a nedostupnosti dopravní komunikace vzniklé uživatelské náklady, které nesou motoristé a veřejnost jako celek v důsledku rekonstrukčních prací na silnici jsou tak sníženy na minimum. Podstata metody vychází ze **zkrácení doby, po kterou je daný pruh vozovky blokován pracemi na rekonstrukci**. Nejvhodnějším načasováním veškerých těchto prací jsou pak z hlediska průměrných intenzit dopravy bezesporu noční hodiny a dny pracovního klidu – viz Tab. 6 a Obr. 17 níže. Typické načasování jednotlivých nočních pracovních směn zde ilustrované harmonogramem konkrétního projektu počítá se začátkem směny dlouho po skončení večerní dopravní špičky v půl desáté večer a stanovuje jednotlivé činnosti tak, aby jejich provedení skončilo v pět hodin ráno, tedy s relativní rezervou před nástupem špičky ranní.

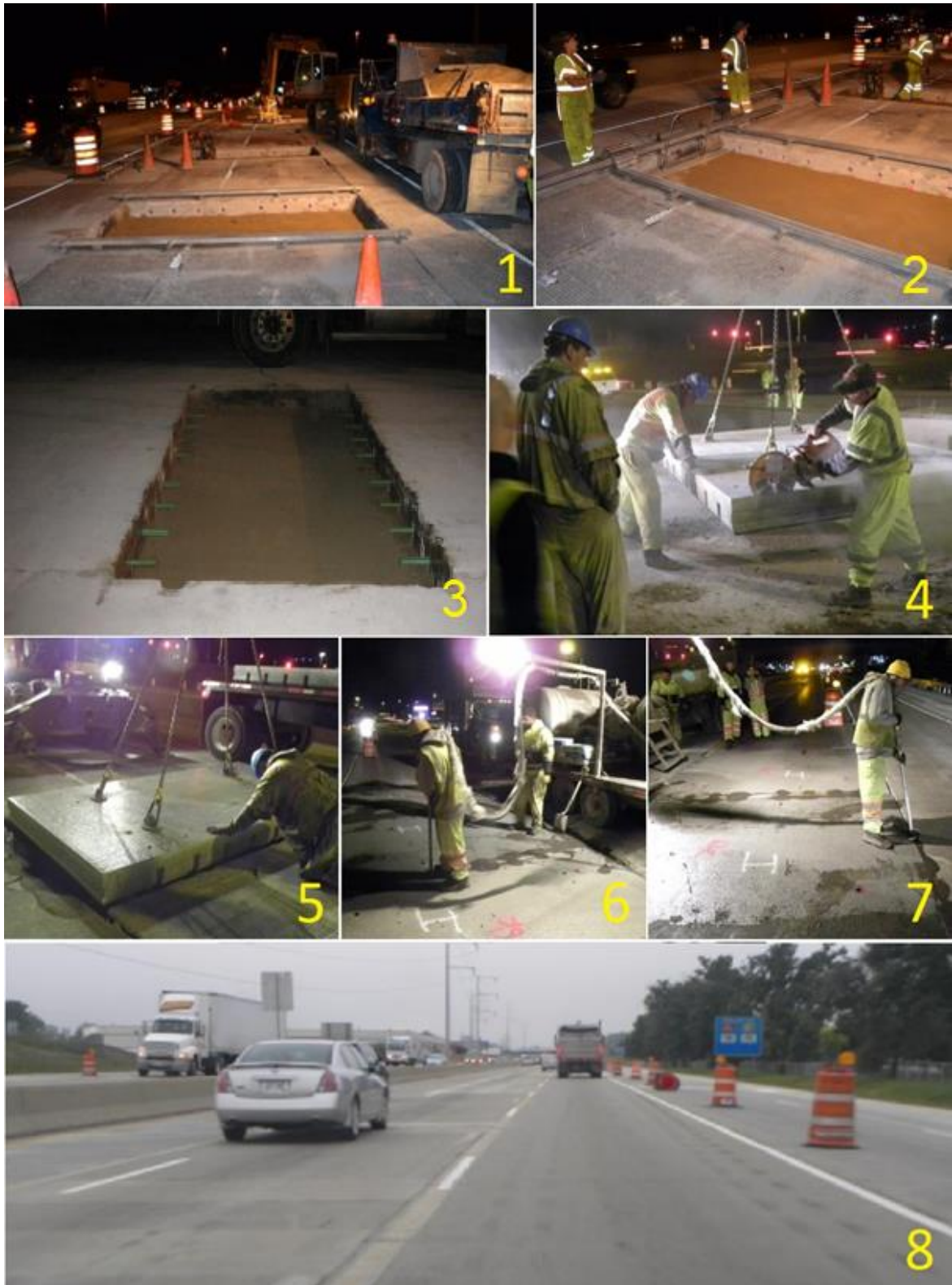
Takovou rychlost opravy, proveditelnou v krátkém čase mimo dopravní špičku (například během osmihodinové směny v rámci jedné noci) nabízí právě díky již hotovým silničním povrchům pouze prefabrikační technologie. Veškeré ostatní postupy vyžadují tuhnutí položeného povrchu vozovky a takto načasovaná a krátká přerušení dopravního toku neumožňují.

Activity description	Time/Patch, min	Time for 15 Patches, Hours	9:30 PM	10:00 PM	10:30 PM	11:00 PM	11:30 PM	12:00 AM	12:30 AM	1:00 AM	1:30 AM	2:00 AM	2:30 AM	3:00 AM	3:30 AM	4:00 AM	4:30 AM	5:00 AM
Setup Lane Closure - 30 min total			■															
Vermeer Patches	5	1.25		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Remove Patches	15	3.75			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Drill Patches	15	3.75			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fine Grade/Set Rails	20	5.00				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Install Dowels	10	2.50					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Set Panels	15	3.75						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pull Down Lane Closure - 30 min total																	■	

Tabulka 6: Standardní harmonogram noční výstavbové směny během dopravního provozu pracovních dnů. Při těchto rekonstrukčních pracích v rámci projektů americké dálniční společnosti (FHWA) je uzavřena pouze část vozovky, tzn. částečná průjezdnost pracovní oblasti je stále zachována. [51] Činnosti harmonogramu (řazeno chronologicky): vyznačení uzavírky – celkově 30 minut, fragmentace původního betonového povrchu, odstranění původního betonového povrchu, úprava podkladu, vyrovnání podkladu za použití vibrační lišty, instalace ocelových výztuží, přesná instalace nových panelů, odstranění uzavírky – celkově 30 minut.

Průběh zásadních momentů výše uvedeného harmonogramu noční rekonstrukční směny je v časové posloupnosti prezentován na Obr. 17 níže. V rámci 7,5 hodin je možno degradovaný povrch zcela nahradit novým a okamžitě jej v momentu skončení směny uvolnit pro provoz. Konkrétně se zde jedná o projekt u města Madison (Wisconsin, USA) v délce přes jedenáct kilometrů. Činnosti v rámci jednotlivé noční pracovní směny:

- krok 1) odstranění původních poškozených betonových desek, jednotlivě či několika navazujících. Nejdelší souvislá délka odstraněných a nahrazených desek během směny byla 64 m,
- krok 2) srovnání ložné vrstvy vibrační lištou (výšková odchylka nejvýše 5 mm). Podklad je srovnán a ztuhne pomocí vibrační lišty. Do s opravou sousedícího původního povrchu jsou vyvrtány otvory pro výztuže,
- krok 3) instalace spřahovací výztuže spolu s epoxidem,
- krok 4) případná úprava jednotlivých panelů příříznutím na místě pomocí ruční pily. K dosažení maximálního akceptovatelného výškového rozdílu 5 mm je obvykle třeba několik úprav,
- krok 5) instalace panelu,
- kroky 6) a 7) aplikace spárovací hmoty do prostor výztuží a v místech styku se sousedícím panelem/povrchem,
- krok 8) obnovení provozu přes vozovku včetně opraveného jízdního pruhu (na fotografii pod stříbrným osobním automobilem).



Obr. 17: Standardní průběh noční výstavbové směny při rekonstrukčních pracích projektu americké FHWA. [51]

Posuzujeme-li kapitálové investiční náklady (CAPEX) obou základních možných přístupů k rekonstrukci povrchu vozovky dálniční infrastruktury, tj. provedení betonáže

krytu vozovky přímo na stavbě nebo využití pro tento účel vysoce jakostní propařované prefabrikovaných dílců dovezených z panelárny, můžeme konstatovat, že při malém rozměru projektu, tj. nízkém počtu použitých panelů, jsou náklady prefabrikační metody zhruba dvojnásobné [64]. Tyto závěry americká dálniční agentura (FHWA) činí na základě poznatků dvaceti let praxe využívání těchto systémů [69]. Toto tvrzení je však opravdu velmi obecné, neboť nákladové rozdíly zásadně závisí na rozsahu využití prefabrikace, tedy na množství opakování využití jednotlivých dílcových forem. Při vysokém počtu využití těchto relativně nákladných forem (dle typu a velikosti, průměrně přes půl milionu korun) je možno se v rámci oproti venkovnímu staveništi levnější tovární produkci nákladově oběma metodami vzájemně přiblížit. Například přesná detailní kalkulace dvou identických mostních pilířů [70] zhotovených mimo staveniště a in-situ způsobem došla k výsledku, že pilíř prefabrikovaný je při jednom výrobním kuse pouze o 18,7 % dražší než ten, který byl plně zhotoven na místě. Zároveň byl však ale zhotoven 5,5x rychleji.

Při porovnání jejich nákladů na životní cyklus (LCC) a rozsahu, v jakém stavební proces obou variant ovlivňuje veřejnost, životní prostředí a místní ekonomiku, lze rozpoznat značné rozdíly. Prefabrikace jakéhokoli konstrukčního prvku, realizovaná mimo staveniště, poskytuje ve srovnání s tradičními metodami stavění in situ, značné úspory času a provozních nákladů. Technologie prefabrikovaných předpjatých vozovek a částí a prvků prefabrikovaných mostů nabízí podstatné zvýšení trvanlivosti, zejména ale také podstatně snižuje dobu výstavby a výsledné uživatelské náklady.

Ačkoliv se závěry výzkumu týmu katedry betonových a zděných konstrukcí FSV ČVUT vedeného prof. Kohoutkovou a prof. Křístkem (spolu se společností KŠ PREFEA, s.r.o.) týkaly prefabrikovaného systému dlážděné vozovky pro pojezdové plochy letišť s rychlostí provozu do 50 km/h, zcela korespondují s výše uvedenými zjištěními ohledně povrchů silničních. Citace: Ačkoliv počáteční náklady na výstavbu dlážděné vozovky převyšují náklady spojené s výstavbou běžných vozovek s monolitickým cementobetonovým krytem, podle uvedených předpokladů se lze domnívat, že z pohledu nákladů za celý životní cyklus je navržená dlážděná vozovka finančně efektivnější. [71]

7.2 Shrnutí charakteristik PCP

Hlavními výhodami prefabrikovaných systémů silničních/dálničních povrchů jsou:

1. Rychlost

- rychlá instalace,
- uspořádání otevření provozu ku prospěchu veřejnosti i podnikatelskému sektoru
- více kontroly objednatele nad termíny projektu
- zpoždění v důsledku nepřízně počasí zcela výjimečně
- z vyšší rychlosti realizace, resp. kratší doby trvání stavby, plynoucí vyšší bezpečnost provozu i pracovníků zhotovitele

- zcela vynechává čas na zrání a tuhnutí na místě pokládaných povrchů (vyjma asfaltového podkladu)

2. Vysoká kvalita, dlouhá životnost

- prokázaná trvanlivost - v příznivých klimatických podmínkách až 50 let, v tuzemském podnebí však stále dvojnásobná oproti v současnosti používaném cementobetonu nevhodné tvrdosti a křehkosti
- konzistentní kvalita - certifikované postupy inspekce / testování materiálu (produktu)
- přesná výroba panelů splňující stanovené tolerance projektu

3. Menší dopady do životního prostředí

- výrazně menší plocha staveniště, skladovacích prostor materiálu a z toho plynoucí jeho nižší znečištění,
- méně práce na staveništi a z toho plynoucí nižší znečištění jeho a okolí (půda, podzemní či přilehlá nadzemní voda, atp.),
- vyšší ekologičnost výroby díky kontrolovanému prostředí prefabrikačního provozu (vyšší LEED/BREEAM/SBTool body),

4. Náklady

- nesrovnatelně nižší celospolečenské (uživatelské) náklady projektu
- nižší pracnost a náklady na zaměstnance (mzdy) plynoucí z kratší doby realizace
- vyšší počáteční náklady jsou vyvážené kratší dobou výstavby, prací a delší životností

5. Zkušenosti Objednatele

- v zahraničí stovky úspěšných projektů,
- výhodnost jistějšího plánování díky možnosti volby termínu dodávky,
- všestrannost / trojrozměrnost využití - povrchové úpravy, zkosení, převýšení a konfigurace desek atp.,

Hlavními nevýhodou prefabrikovaných systémů silničních/dálničních povrchů pak je zejména náročnost instalace. Práci s panelovým systémem tým zhotovitele musí precizně zvládnout, neboť je pro požadovaný vyrovnaný povrch vozovky nutná téměř milimetrová přesnost vzájemného poutání jednotlivých panelů. Ta je na stavbách velkého měřítka obtížně dosažitelná. [51]

K víceméně stejnému závěru opět došel také výzkumný tým profesorů Kohoutkové a Křístka [71]. Dle jejich zjištění ukazuje pilotní výstavba a dosavadní zkušenosti s provozem prefabrikované vozovky na skutečnost, že systém vyniká zejména rychlostí výstavby, která je oproti běžným vozovkám s cementobetonovým krytem efektivnější. Důvodem je rychlá

montáž dlážděného krytu vozovky, který může být okamžitě vystaven provozu. Skutečnost, že se dílce skládají do ucelené plochy, však vyžaduje značnou technologickou kázeň, aby byly splněny vysoké požadavky na geometrickou přesnost vyrovnávací vrstvy z cementové malty a samotných prefabrikovaných dílců. [71]

8. PREFABRIKOVANÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE / AKCELEROVANÁ VÝSTAVBA MOSTŮ

8.1 Současné využití

Prefabrikace mostních částí a prvků a jejich výroba mimo staveniště je vyzkoušeným postupem. Zároveň je velmi **výhodná ekonomicky** z hlediska sériové výroby, unifikace, nižších nákladů údržby a minimálního omezení veřejnosti a obchodu i **technologicky** díky vyšší kvalitě betonu a trvanlivosti.

Přestože patří mosty v rámci každého dopravního projektu bezesporu mezi nejnákladnější z budovaných objektů, výše zmíněná ekonomická výhodnost prefabrikace k jejímu zvýšenému uplatnění v dálniční výstavbě obecně zatím nevede. Příčinu tohoto nedostatku lze přitom identifikovat relativně snadno - je jím volná specifikace požadavků státního objednatele na technické řešení v rámci soutěžených projektů, která svědčí o tom, že celkové ekonomické vyhodnocení možných variant zřejmě v potaz bráno není. Univerzální technické řešení mostního projektu samozřejmě neexistuje, avšak v rámci například dálničních nadjezdů a křížení podmínky projektu téměř úplnou typizací a požadavek nejekonomičtějšího řešení umožňují.

Zcela konkrétní ilustrací tohoto přístupu je fakt, že v katalogu typizovaných mostních konstrukcí ŘSD ČR, který byl zpracován za účelem sjednocení poptávaných mostních objektů, tj. zjednodušení jejich návrhu, snížení jejich investičních a následně i údržbových nákladů, sice možnost prefabrikované varianta u většiny mostů uvedena je, není však závazná. Například pro jeden z jednodušších typů staveb - Dálniční most jednopolový 10-20m, integrální - je v rámci její charakteristiky uvedeno doslova, že *nosnou konstrukci lze navrhnout z předpjatých betonových prefabrikátů, ze spřažené konstrukce ocel-beton nebo z monolitického betonu*. Volba je tedy na zhotoviteli a k plánované unifikaci, která by urychlení výstavby a zlevnění a zjednodušení údržby přinesla, nedochází.

Mosty a tunely mají vždy v harmonogramu každého dálničního výstavbového projektu pevnou pozici. Z technologických důvodů totiž existují jen omezené možnosti, jak dobu jejich realizace zkrátit. U drtivé většiny dálničních objektů - jimiž jsou mosty malé a střední velikosti (resp. rozpětí) - však taková možnost existuje. Tou možností je prefabrikace co nejvyššího podílu jejich částí – viz Obr. 5 v první kapitole. Prefabrikaci co nejvyššího podílu konstrukčních prvků stavebního objektu mimo staveniště lze nepochybně obecně považovat za základní možnost, jak se s požadavkem urychlení výstavby vypořádat. To platí a platilo jak pro inženýrské stavitelství, tak pro stavitelství pozemní i průmyslové.

Mosty současně vytvářejí nejvíce problémové přirozené překážky pro dopravní toky, a proto je jakékoliv urychlení procesu výstavby vysoce žádoucí z hlediska dopravní obsluhy daného území. Toto urychlení přináší podstatné bezpečnostní výhody, snižuje narušení provozu a zvyšuje celkové pohodlí pro účastníky silničního provozu [72].

8.2 Prefabrikace a akcelerovaná výstavba mostů (ABC)

Výhodnost prefabrikace mostních konstrukcí vyplývá ze skutečnosti, že mosty patří mezi stavby, které jsou:

- relativně nákladné,
- objektivně s delší dobou výstavby,
- náročné na kvalitu provedených prací a odbornost,
- vyžadující potřebné náročné strojní vybavení,
- tvoří přirozenou překážku pro dopravní toky.

Zejména proto je pak velmi důležité uvažovat o formě dodavatelského systému, která by zajistila uvedené požadavky. Významný požadavek je právě na **urychlení procesu výstavby**. Z hlediska této práce, která je zaměřena na **možnosti snížení uživatelských nákladů** pomocí urychlení veškerých prací na silnicích, které by mohly vytvářet překážku v normálním dopravním toku, hrají mosty významnou úlohu.

Prefabrikovaná technologie přináší mnoho výhod a je užitečnou pro oba hlavní typy prací - výstavbu mostních objektů nových i opravy a údržbu těch stávajících. Hlavním současným trendem, respektive přímo novým přístupem ke zvládnutí obou těchto typů prací je zatím zejména v zahraničí úspěšně adaptovaná metoda řízení nazvaná Accelerated Bridge Construction (ABC).

ABC se zaměřuje na inovativní plánování a podřizuje konstrukční systém této technologii. V rámci metody ABC se jedná zejména o nový přístup k systému řízení projektu, respektive o kombinaci postupů zkracujících dobu výstavby na místě realizace. Systém je založen na možnostech, které poskytuje prefabrikace. Co nejvyšší podíl konstrukčních prvků je prefabrikován, tedy vyroben mimo staveniště, případně se vyrobí přímo vedle místa budoucího uložení. Během výroby však nijak nebrání dopravnímu toku. Na své místo se pak pouze ve velmi krátké době přesune pomocí těžké techniky (jeřáby) či pomocí kolových/kolejových transportérů (viz Obr.18 níže) [73].



Obr. 18: Instalace hotových celků / prefabrikátů pomocí těžké techniky umožňující kratší omezení dopravního toku. [73] [11]

Stejně jako u prefabrikovaných vozovek jde tedy i při využití ABC zejména o zkrácení doby výstavby, a tedy i zkrácení omezení dopravního toku. Dalším hlediskem je opět také zvýšení doby trvanlivosti provedeného díla, a to zejména v důsledku vyšší kvality betonu vyráběného v panelárně. Je tedy potřebné vyrábět většinu prvků mostní konstrukce vyrábět jako prefabrikáty. Pokud jde o stavební náklady - výsledek také významně závisí na vyrobených množstvích.

Proto také podobné systémy prefabrikace aplikované v osmdesátých letech byly ekonomicky výhodné zejména z důvodu vysokého počtu realizovaných mostů. Vždy platí, že pokud jsou tato množství dostatečná pro reálné snížení nákladů, budou existovat zřejmé důvody pro přechod na masovou prefabrikaci, unifikaci a standardizaci. Pokud jde o vyčíslení a srovnání s uživatelskými náklady, které by mohly snadno překročit náklady na výstavbu, je prefabrikát zřejmě výhodnější alternativou.

8.3 Výhodnost prefabrikace a unifikace mostních konstrukcí

Prefabrikace je přirozenou volbou, pokud jsou vyžadována podstatná urychlení výstavby pomocí standardizovaných mostů, spojená s podstatnou úsporou nákladů [74]. Tato řešení předpokládají unifikaci konstrukčního řešení. Hlavní efekty dosažitelné pomocí prefabrikace jsou vždy spojeny s maximalizací množství jednotně navržených a aplikovaných projektů/konstrukcí. Velice často lze dosáhnout synergických efektů pomocí standardizace smluvního zajištění a řešením systému mnoha mostů v rámci jejich hromadné obnovy. Výhodné může být i řešení pomocí aplikace dodavatelského systému typu Design Build (tzv. Žlutý FIDIC).

Projekty pro menší a střední mosty jsou zřejmě řešitelné výrobou v rámci dané prefabrikované konstrukční soustavy. Taková tovární výroba umožňuje dosáhnout vysoké

kvality a produktivity v rámci standardních podmínek výroby (kvalita forem, výztuže i propařování betonu) se zaměřením na opakované standardní návrhy.

Mostní projekty větších rozpětí využívající prefabrikaci jsou pak možné zejména díky rozvoji v oblasti stavební mechanizace a technologie, využívající těžké jeřáby, transportní prostředky a montážní soubory [74]. Při zachování technických a ekonomických výhod prefabrikace lze díky tomu realizovat i rozsáhlé stavby a mosty s velkým rozpětím (u nás nosníky asi 40 m a příčně dělené konstrukce asi 60 m, v zahraničí do 100 m) [74].

Dle společnosti Pontex, s.r.o, předního mostního tuzemského projektanta, může mít prefabrikace mostních konstrukcí i negativní dopady a vždy je třeba pečlivě uvážit vhodnost systému pro dané prostředí. Zejména je nutno zabránit monotónnímu opakování, doladit tvarové návaznosti konstrukcí, vyřešit pracovní a dilatační spáry a přenos smykového namáhání mezi jednotlivými prvky [74]. S tímto lze jednoznačně souhlasit, vyjma negativního vnímání jevu monotónního opakování prvků, jež je naopak důležité považovat z ekonomického hlediska za vhodné, a to v nejvyšším možném rozsahu. Většina takovýchto mostů malé a střední velikosti je lokalizována ve většinou zcela odlehlejších extravilánů a estetická rozmanitost jeho skladebných prvků je proto nadbytečná. Například dálniční mostní objekty s ozdobnými prvky ze spodní strany mostovky, které jsou vysokou rychlostí projíždějící veřejností oceněny zřídka, jsou ze strany veřejného investora čistým plýtváním prostředky.

Jak vyplývá ze zjištění průzkumu zadaného americkou federální dálniční agenturou (FHWA) o současné stavební praxi v Evropě a Japonsku [75], jsou na stavbách velkých mostů většinou zapotřebí individualizované formy pro in situ výrobu velkých a těžkých prvků. Toto zjištění tuzemská praxe mírou unikátně bedněných a betonovaných mostních prvků (zejména pilířů) potvrzuje.

Prefabrikace na místě výstavby, tj. přímo na staveništi, není – na rozdíl od jiných zemí – v tuzemsku obvyklá (avšak na některých projektech jí využito je – viz betonáž mostních segmentů na jednom z břehů lávky v Čelákovcích na Obr. 11 v páté kapitole). Přestože její výstupy kvality totožné se specializovanou výrobou dosáhnout plně nemohou, má tento postup jiné přínosy. Jde zejména o snížení transportních nákladů velkých prvků (které jsou značné) a snížení rizika ohrožení harmonogramu projektu plynoucího z možných transportních komplikací a z kooperace s externí výrobou (jež je povětšinou zároveň externím dodavatelem).



Obr. 19: Rozměry prefabrikovaných dílů jejich transport značně komplikují a představují tak riziko pro harmonogram projektu. Zdroj: Prefa Nový Bydžov, a.s., www.prefa-nb.cz

8.4 Mosty využívající systém prefabrikovaných nosníků

Kompozitní nosníkové systémy jsou nejčastějším způsobem využití prefabrikace u nás. Jejich instalace vyžaduje pouze velmi krátkou uzávěru pod ní vedoucí vozovky, a i z tohoto důvodu by na tuzemských dálničních projektech měly jednoznačně být nejčastěji využitým technickým řešením.

Významným řešením je v rámci ČR jistě spolupráce společností Pontex, s.r.o, Stavby silnic a železnic (nyní Eurovia Group) a Stavby mostů Praha (nyní v rámci Vinci Construction CS) na vývoji systémů dodatečně napínaných nosníků pro rozpětí 12 až 27 m a lehkých nosníků optimalizovaných pro 24 až 36 m, respektive pro rozsah 33 až 42 m [74], jež byly a jsou úspěšně využívány na velké řadě projektů. I přes standardizaci prvků v rámci tohoto systému umožňuje toto řešení návrh mostu pro každý projekt optimalizovat dle jeho konkrétních požadavků. S ohledem na místní podmínky výhodnou optimalizaci jednotlivých stavebních prvků, včetně zde diskutovaných předpjatých nosníků, však jsou schopni nabídnout mnozí další tuzemští výrobci železobetonových prefabrikátů [76], což lze jistě považovat za důkaz, že odborné znalosti v oblasti prefabrikace v České republice stále přetrvávají, i když se nevyžívají ve stejném rozsahu, jako tomu bylo kdysi.



Obr. 20: Transport nosníku (délka 24,5m) pro mostní konstrukci o 7 nosnících v každém směru v rámci projektu Modernizace D1, úsek 25, EXIT 178 Ostrovačice - EXIT 182 Kývalka. Zdroj: KŠ PREFA, a.s., [76]

Variabilita v současnosti používaných nosníků je značná. Tvarově se jedná zejména o nosníky tvaru T (zejména typu MK-T nebo PETRA), dále pak o TT nosníky, nosníky tvaru I, U, V atd., viz Obr. 21 níže. Dle jednoho z našich předních dodavatelů betonových prvků ŽPSV, s.r.o. (jehož nabízené typy konstrukcí lze však považovat za typické, resp. standardní i pro zbytek trhu), tyto standardně používané typy nosníků umožňují provádět spřažené nosné konstrukce (tj. ve spojení s monolitickou železobetonovou spřaženou deskou mostovky) systému beton/beton mimo jiné typicky pro:

- silniční a dálniční mosty o jednom poli, při délkách nosníků do 36 m vcelku, při větších délkách ze 2 až 3 dílů,
- silniční a dálniční mosty o více polích, prováděné jako spojitě konstrukce,
- železniční mosty o jednom nebo více polích,
- lávky pro pěší o jednom nebo více polích,
- zakrytí hloubených tunelů, stanic metra a jiných podzemních konstrukcí, vazníky pro zakrytí velkých ploch (garáže, sklady aj.), opěrné zdi, aj. [77]



Obr. 21: Příprava předeprutí prefabrikátu. Zdroj: KŠ PREFA, a.s., [76]

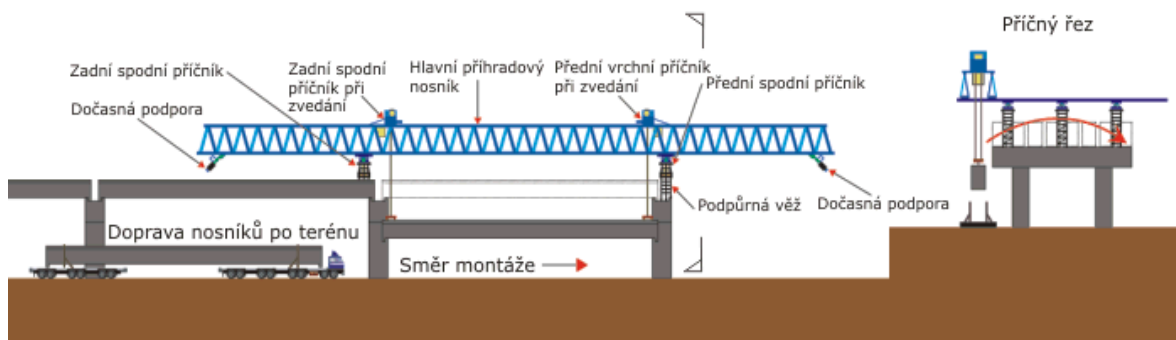
Zároveň pak mosty konstrukce nosníků se spojenou deskou splňují současné požadavky na kvalitu a životnost stavebních prací/díla uvedené v evropských technických normách a v technických kvalitativních podmínkách (zejména norma *ČSN EN 15050+A1 Betonové prefabrikáty - Mostní prvky*, obecně pak *Systém jakosti v oboru pozemních komunikací a souboru předpisů TKP*).

Prefabrikované mostní nosníky nemusí být vždy možné osazovat na pilíře standardním způsobem, tj. obvykle pomocí těžké jeřábové techniky, z mnoha důvodů (výška nad terénem, nevhodnost terénu (vodní plocha apod.)). V takových případech je nutné využít metody jiné. Z pohledu disertační práce je však podstatné, že i tato metoda

sebou stále nese faktor zrychlené výstavby oproti postupu standardním in-situ zdlouhavé betonáže.

Na Obr. 22 znázorněná metoda nabízí vysokou rychlost výstavby, relativně jednoduché zvedací konstrukce, doprava prefabrikovaných nosníků může být realizovaná podél již zhotovené konstrukce, a proto nenarušuje stávající dopravu, malé nároky na pracovní sílu na staveništi, minimální potřebu kontroly geometrie a relativně snadnou prefabrikaci nosníků. Obecně lze tvrdit, že využití prefabrikace vede ke snížení pracnosti (menší potřeba bednění pro betonáž, jež má za následek i úsporu nákladů za něj).

Obecně, způsob a místo dodávání jednotlivých prefabrikovaných nosníků k místu instalace určuje výběr použitého zvedacího systému. Typická aplikace je u nás od firmy VSL. Ta již použila pro zvedání celou řadu konstrukcí, jejichž výběr byl přizpůsobený tomu, zda byly nosníky přiváženy pod, za nebo paralelně ke zvedací konstrukci. Tato metoda nejčastěji využívá **prefabrikované mostní nosníky** ve tvaru I, U a T. Pro zvedání jsou využívány lanové zvedací jednotky nebo navíjecí systémy, nabízející maximální bezpečnost zvedacích prací, přesnost ukládky zvedaných prvků a vysokou rychlost ukládky. Místo zvedací konstrukce byla pro tuto metodu použita i dvojice jeřábů.



Obr. 22: Metoda montáže prefabrikovaných mostních nosníků (Zdroj: společnost VSL CZ)

8.5 Segmentová technologie

V 70. a 80. letech 20. století patřila segmentová metoda výstavby mostů k nejčastěji používaným technologiím pro stavbu mostů středního rozponu v České republice (resp. v bývalém Československu) a byla nabízena většinou mostních dodavatelů. Některé z tehdy vybudovaných segmentových mostů však musely být nákladně zrekonstruovány, zejména kvůli nedostatečně vyřešeným konstrukčním detailům, nižší kvalitě tehdejších materiálů, v řadě případů nekvalitnímu provedení a neodpovídající profesionální údržbě.

Zdokonalený a vylepšený segmentový typ mostů se úspěšně používá i v současné době, viz například v poslední době dokončené objekty skrze geologicky problematické úseky dálnice D8 na Obr. 23 níže. Design mostních segmentů prošel od počátku jeho využívání v Československu dlouhým vývojem a segmentová technologie byla významně modernizována a odlehčena. Obecně je segmentový způsob výstavby je hojně využíván

globálně, velký počet segmentových mostů lze nalézt například v jihozápadní a severní Evropě, severní Americe nebo jihovýchodní Asii.

Segmentová technologie je v rámci technologie prefabrikace pro stavbu středně velkých betonových mostů jedna z nevhodnějších. Z povahy průběhu výstavby pak obzvláště pro projekty, které jsou v hůře přístupném terénu (vodní plocha, hlubší údolí, městská zástavba) mají velkou výšku představující při standardním přístupu zvýšené náklady. Zároveň sebou tento způsob nese vyšší požadavky jednak na zkušenosti a know-how zhotovitele, zároveň také na jeho technologické vybavení/zařízení, které je finančně náročnější povahy. Pro vše výše uvedené je tedy tato technologie vhodnější pro projekty složitější povahy.



Obr. 23: Segmentové mosty budované na trase dálnice D8 v roce 2014. (Zdroj: ŘSD ČR)

8.6 Spřažené mosty

Spřažené ocelobetonové železniční mosty jsou výhodné z hlediska provozního, výrobního, montážního i ekonomického. Jsou s nimi dlouholeté dobré zkušenosti. Pro návrh a posouzení těchto mostů existují stabilizované normy. Je proto účelné tyto mosty navrhovat vždy, kdy je k dispozici dostatek stavební výšky [78]. Obecně lze konstatovat, že ku veliké škodě je tato technologie v tuzemsku využívána spíše jen pro stavby železniční, ač je její technický i ekonomický potenciál značný i pro opakované stavby silniční. Přitom v zahraničí jsou i pro stavby čistě silniční využívány zcela běžně.

Světová zkušenost je s nimi tedy taková, že pokud jsou dobře navrženy, jsou s betonovými mosty ve všech malých a středních rozpětích a s ocelovými mosty v rozpětích do 120 m zcela konkurenceschopné [79].

Technické podmínky *TP54 Železobetonové desky spřažené s prefa nosníky mostů pozemních komunikací* [80] vydané Ministerstvem dopravy definují spřažené mosty následovně: „Betonové prefabrikáty tvoří spolu s monolitickou železobetonovou deskou hlavní nosnou konstrukci mostu. Prefabrikáty přitom tvoří ve fázi výstavby podporu pro zhotovení spřažené monolitické železobetonové desky a po jejím zatvrdnutí jsou touto deskou příčně spojeny do jediného konstrukčního celku. Povrch spřažené desky přitom tvoří, stejně jako u jiných monolitických konstrukcí, ideální podklad pro zhotovení izolace mostu.“

I sama definice technologie v rámci technických podmínek tedy přímo vyzdvihuje jednu z jeho důležitých předností.

Z pohledu prefabrikace dospěl i výzkum [66] vedený generálním ředitelstvím evropské komise pro výzkum a vývoj (Directorate-General for Research and Innovation) k velmi zajímavým závěrům. Doslova uvádí nejen že se spřažené ocelobetonové mosty již staly oblíbeným řešením v mnoha zemích a dobře zavedenou alternativou k mostům betonovým. Zejména však dochází k závěru, že „pro zvýšení konkurenceschopnosti spřažených mostů je dalším správným krokem **prefabrikovat nejen ocelové nosníky jako doposud, ale prefabrikovat taktéž betonovou mostovku** a snížit tak množství operací na staveništi, významně tak snížit čas výstavby a dobu narušení dopravního proudu“.

Dalším k tématu této práce velmi zajímavým zjištěním, ke které ohledně prefabrikace spřažených mostů došel výzkum zadaný výše zmíněným direktoriátem evropské komise pro výzkum a vývoj [66] je fakt, „že i při dodržení nejpřísnějších ekologických a kvalitativních norem a kontrol byly celé konstrukce vyrobeny mimo staveniště, poté na něj odeslány a postaveny za několik dní namísto měsíců“.

8.7 Závěry

Technologie prefabrikace je v rámci mostních dálničních projektů úspěšně využívána, ať už v podobě segmentů (jejichž posledními úspěšnými realizacemi jsou mostní díla na dálnicích D3 a D8 (viz obr. 23) či standardnějších příčných nosníků. Použití vysoce kvalitního betonu (pro kritické části případně i UHPC) pak těmto mostům poskytuje dlouhou životnost s minimálními nároky na údržbu. Prefabrikované konstrukce z několika polí jsou v zásadě navrženy tak, aby byly spojitě. Nová generace mostních segmentů českých firem prokázala své výhody i při výstavbě nejnáročnějších projektů dálniční sítě. Segmentová technologie je dnes rozšířena po celém světě. Například ve Spojených státech bylo v posledním desetiletí vybudováno kolem 500 segmentových mostů [81]. Hlavní výhodou využití příčných prefabrikovaných nosníků i segmentové technologie je vysoká rychlost výstavby. Příčné nosníky bývají instalovány obvykle tempem jednoho mostního oblouku denně. Montáž segmentů pak rychlostí až čtyř dílců denně, tj. cca devět metrů délky, jako například na výše zmíněných společnostech Metrostav posledně budovaných úsecích dálnice D3 [74].

Dalším typem mostu, jehož popularita a četnost výstavby zejména v zahraničí neustále roste, je most spřažený (v zahraničí nazývaný obvykle kompozitní), tedy takový, který kombinuje konstrukci z oceli a betonu. Z oceli jsou obvykle vertikální nosné prvky konstrukce a horizontální část (mostovka) pak z betonového prefabrikátu. Tvrzení o stoupajícím příklonu k aplikaci spřažených mostů s prefabrikovanou deskou lze doložit velikou finanční podporou Evropské komise v oblasti výzkumu (zejména projekt Composite bridges with prefabricated decks [66]) a její propagací dlouhodobé výhodnosti tohoto způsobu výstavby.

Významné rozdíly lze také najít při zkoumání prefabrikovaných mostů z hlediska nákladů životního cyklu (LLC) a rozsahu, v jakém stavební proces ovlivňuje životní prostředí a místní ekonomiku v porovnání s tradiční výstavbou na staveništi. Prefabrikace jakéhokoli prvku konstrukce mimo pracoviště (v panelárně) nabízí významné úspory času a nákladů na uživatele. Technologie prefabrikovaných předpjatých vozovek a částí a prvků prefabrikovaných mostů nabízí dramatické zvýšení trvanlivosti. Dále pak také podstatně snižuje dobu výstavby a výsledné uživatelské náklady [14].

Přitom uživatelské náklady mají společenský a ekonomický význam bezesporu vysoký a náklady spojené s dočasným omezením provozu představují pro veřejnost a obchod náklady většinou v objemu vyšším, než jsou náklady samotné investice (jak je prokázáno v případových studiích kapitoly 10 a 11). Veřejný sektor, tj. objednatel projektu, který rozhodne o jeho projektovém řešení, však uživatelské náklady víceméně ignoruje.

Značné snížení uživatelských nákladů lze považovat za hlavní výhodu zde diskutovaných prefabrikovaných segmentových a částečně prefabrikovaných spřažených mostů. Bez zajímavosti nejsou ani zjištění generálního ředitelství evropské komise pro výzkum a vývoj o zásadním zvýšení rychlosti výstavby spřažených ocelobetonových mostů díky zapojení prefabrikace betonových částí a z toho plynoucí doporučení o navýšení jejího podílu na nejvyšší možnou. Tato zjištěná (a evropskými autoritami posvěcená) výhodnost pak může sloužit i jako určité doporučení pro veřejného investora pro aplikaci možných technologicky výhodných a úsporných řešení.

Další nespornou výhodou je možnost převodu hlavních stavebních činností po dokončení spodní konstrukce mimo přemostěnou oblast (např. údolí nebo rušné křižovatky). Ve výrobně prefabrikátů lze dosáhnout vysoce kvalitních betonových prvků díky propaření, vysoké tuhosti formy a značné rozměrové přesnosti výroby. Klasický způsob konstrukce mostů se středním rozpětím ze segmentů se po určitém poklesu úspěšně vrací mezi často používané technologie. Zejména pak rychlost výstavby dává této technologii dobrou perspektivu do budoucnosti.

9. UŽIVATELSKÉ NÁKLADY A PREFABRIKACE

9.1 Uživatelské náklady

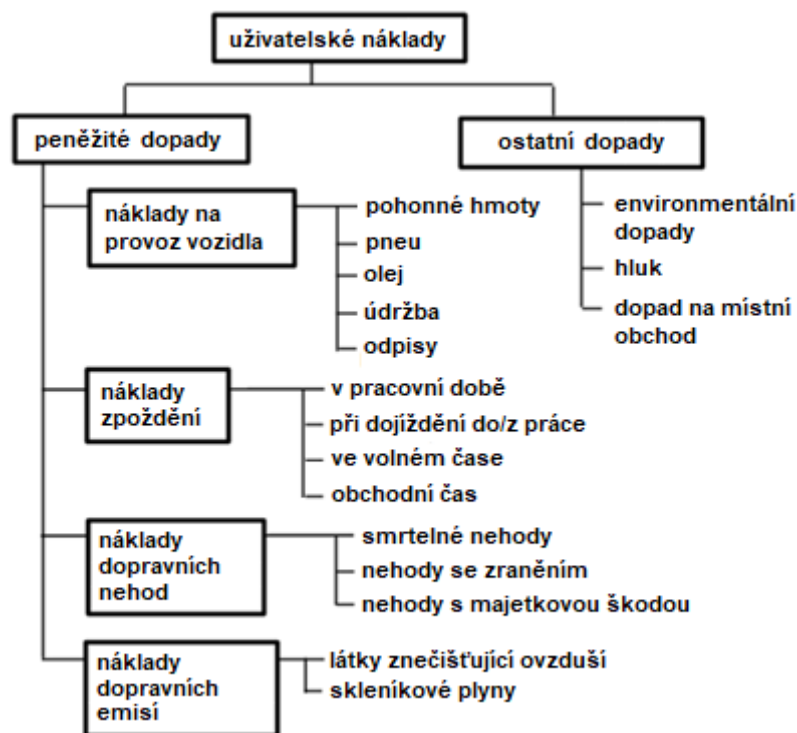
Uživatelské náklady či náklady uživatele komunikace (v zahraničí nazývané *road user cost* (RUC), *user cost*, či obecně *externalities*) jsou definovány jako dodatečné náklady, které nesou motoristé a obec jako celek v důsledku činnosti spojené s výstavbou či rekonstrukcí silnic. Uživatelskými náklady se tedy rozumí odhad veškerých finančních ztrát uživatele dopravní komunikace v důsledku zmíněné stavební aktivity, jako jsou náklady způsobené zpožděním uživatele komunikace, provozní vícenáklady vozidla, náklady v důsledku zvýšené nehodovosti a dopady zvýšených emisí.

Mimo uvedené položky se jedná ještě o další složky mimo okolí staveniště, jako je zvýšená hladina hluku, dopady na podnikání a místní komunitu v důsledku nepříznivého životního prostředí, které je obtížné finančně vyjádřit.

Zodpovědný výpočet uživatelských nákladů by vedle peněžních dopadů zkoumaného projektu/komunikace/oblasti měl brát v potaz i dopady nepeněžní.

Dle všeobecně akceptované definice [82] představují peněžní dopady náklady způsobené zpožděním uživatele komunikace, provozní vícenáklady vozidla, náklady v důsledku zvýšené nehodovosti a také náklady na emise vozidel, resp. dopady zvýšených emisí. Nepeněžní dopady stavební činnosti by pak měly zahrnovat nežádoucí vlivy na ekologii a životní prostředí, zvýšený hluk nebo vliv na místní podnikání či obchod.

Schéma na Obr. 24 níže znázorňuje výše zmíněné peněžní i nepeněžní dopady, včetně jejich konkrétních složek. Výpočty uživatelských nákladů však obecně primárně pracují s peněžními dopady; dopady nepeněžité jsou často opomíjeny kvůli obtížné kvantifikaci jejich účinků.



Obr. 24: Složky uživatelských nákladů a jejich obvyklé členění na peněžité a ostatní (nepeněžité) dopady na uživatele [82].

To platí zejména proto, že faktory, které ovlivňují jejich výpočet, jsou často specifické pro danou lokalitu a žádná zobecněná metoda nebo nástroj je ještě nedokáže určit zcela přesně [7]. Tato situace je v současnosti v tuzemsku i ve většině Evropy řešena využíváním softwarového nástroje HDM-4, který je tyto náklady schopen posoudit s alespoň uspokojivou přesností [119].

Qin a Cutler [82] vyvinuli podrobnou metodiku výpočtu uživatelských nákladů účastníků silničního provozu s cílem:

- stanovit pobídková a penalizační smluvní ustanovení pro dodavatele - podrobně viz kapitola 2.4,
- kvantifikovat škody/náklady způsobené konkrétním projektem,
- nastavit vhodně harmonogram projektu
- předpovědět dlouhodobé účinky, které bude mít nová výstavba na cestující veřejnosti

Shromažďování a udržování místních a aktuálních údajů pro stanovení nákladů uživatele silnic (RUC) je důležité pro veřejnou správu dálnic, protože podcenění nákladů na účastníky silničního provozu může vést ke zvýšení nákladů pro cestující veřejnost. Naopak nadhodnocení vede k přeplácení pobídek pro včasné dokončení stavebních projektů.

Získání verifikovatelných RUC také může pomáhat rozhodnutí ve věci nasazení nových technologií, které mohou urychlit proces výstavby vozovky a mostů [82]. Zmíněná technologie prefabrikovaných vozovek a zrychlené přístupy k výstavbě mostů tomu dokonale vyhovují.

Omezení doby výstavby silnice však nesnižuje pouze pravděpodobnost havárií v pracovních zónách, ale přináší také značné úspory nákladů uživatelům silniční sítě. Jakákoli doba uzavření silnice nebo dokonce jízdního pruhu přináší značné náklady široké veřejnosti a podnikatelskému sektoru v souvislosti se ztrátou pracovní doby, sníženým komfortem, plýtváním benzínem a výsledným snížením celkové produkční účinnosti společnosti [83].

9.2 Metody výpočtu uživatelských nákladů

Metody výpočtu uživatelských nákladů jsou již v současnosti víceméně standardizovány (a výše uvedený projekt Centra pro otázky životního prostředí z nich taktéž vycházel) a mezi jednotlivými zeměmi se významně neliší. Rozdíly jsou z velké části způsobeny hodnotou vstupních dat či způsobem jejich pořízení, méně pak způsobem výpočtu. Výsledky výpočtu uživatelských nákladů se pak liší zejména jinou úrovní ceny společenských nákladů kapitálu, cenou práce, investičního majetku, resp. všeobecně cenou zdrojů.

V rámci České republiky byly doposud uživatelské náklady metodicky analyzovány a kvantifikovány víceméně pouze Centrem pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy v Praze v rámci řešení projektu realizovaného v rámci veřejné soutěže ve výzkumu a vývoji v programu „Podpora realizace udržitelného rozvoje dopravy“ v letech 2007-2012 [84].

Je všeobecně známo, že nejzásadněji ke způsobu výpočtu uživatelských nákladů přispěla dlouhodobá snaha americké dálniční administrativy (Federal Highway Administration). Avšak Evropská unie taktéž (zejména právě pod vlivem americko-britské metodiky) spustila v roce 2004 vlastní program s názvem HEATCO (Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment; [85]) jehož se za ČR účastnila a tuzemská data dodal Sudop Praha, a.s., jež je v problematice dopravní infrastruktury tradiční a zavedenou společností. Z této v problematice analýzy externích nákladů zásadní studie pak v rámci EU vychází a navazuje na ni Handbook on estimation of external cost in the transport sector (2020; [86]). Data a zjištění tohoto programu jsou dodnes platná a jsou v rámci případových studií (po aktualizaci) v práci dále využívána.

V rámci této práce se tedy neklade důraz na teoretické odvození, kvantifikaci a výklad struktury a způsobu stanovení těchto uživatelských nákladů, avšak na jejich konkrétní aplikaci / zohlednění na všech úrovních rozhodovacího procesu o uvažované výstavbě, rekonstrukcích i údržbě dálniční sítě.

Zároveň bude však konkrétní výpočet hodnoty uživatelských nákladů proveden na dvou případových studiích z důvodů prokázání jejich významu. Z důvodů vyšší prokazatelnosti je toto konkrétní vyčíslení provedeno v následujících kapitolách na obou stěžejních typech dálničního objektu: zaprvé na vozovce samotné (úsek 05 dálnice D1;

kapitola 10), zadruhé pak na mostním objektu vedoucím hlavní dopravní tok (most D1-035; kapitola 11).

Metody výpočtu uživatelských nákladů jsou tedy víceméně dané, nutné je však ještě uvést způsoby jejich praktického měření v rámci zkoumaných lokalit. Nejpřesnějším způsobem je využití mýtného systému. Jednak jde o mýtné brány, jejichž data jsou místně zcela přesná a umožňují tedy také velmi přesný výpočet. Tento způsob měření intenzity dopravy byl využit pro výpočet uživatelských nákladů v rámci případové studie úseku 05 dálnice D1 v kapitole 11. K získání těchto dat bylo využito mýtných bran fungujících na bázi mikrovlnné technologie v roce měření (2014-15) pro stát nevýhodně provozované firmou Kapsch. Mýtných bran je však pro sledování dopravního toku (resp. využití dopravních komunikací jednotlivými uživateli za účelem jejich zpoplatnění) standardně využíváno pouze v rámci dálnic a městských okruhů. Chceme-li zkoumat dopravní intenzity v rámci měst či ostatních komunikací, je celkově vhodnější jednak satelitní mýtný systém (který je v současnosti v ČR provozován společností CzechToll s.r.o.) či výsledky měření komerčních subjektů, obvykle vycházejících z dat mobilních operátorů (např. INRIX Roadway Analytics).

9.2.1 Rostoucí potřeba kapacit a prostředků údržby silnic

Jak již bylo v úvodu práce naznačeno, evropská dálniční síť v současnosti stárne rychleji, než se očekávalo během jejího plánování a výstavby. Celkové opotřebení je důsledkem masivně rostoucího provozu, což vyžaduje velké množství oprav a rekonstrukcí. Nutná údržba a opravy musí probíhat nepřetržitě a současně musí sloužit trvale rostoucímu provozu s minimálními poruchami. Uživatelé silniční sítě požadují, aby se tato obnova a nová výstavba prováděla rychleji a s omezeným uzavíráním silnic, dopravním přetížením, zpožděním a komplikacemi objížďky. To platí obecně pro všechny evropské dálniční sítě, ale nejvíce pro oblasti kolem velkých měst s vysokým provozem kamionové přepravy.

9.2.2 Navrhované řešení problému

Současnou situaci stále rostoucí poptávky po kapacitách na rekonstrukce a výstavbu dálnic lze bezpochyby definovat jako mimořádnou jak v ČR, tak v celé Evropě. Z analýzy stávajících kapacit stavebního průmyslu v Evropě vyplývá, že se jejich objem po deseti letech (2017) vrátil zpět na 80 % úroveň doby před světovou finanční krizí (v letech 2007-8) [87] a zhruba na úroveň stejnou (tj. 100 %) až v současnosti (2022) [88]. Hlavním důvodem je pokles stavebních kapacit v důsledku nedostatku zejména pracovníků dělnických profesí. Existuje řešení těchto mimořádných kapacitních požadavků v analogii problému bytového bydlení u nás i v okolních státech v šedesátých až osmdesátých letech: aplikace prefabrikovaných stavebních systémů pomocí technologie prefabrikovaných předpjatých betonových dílců.

9.3 Prefabrikovaný předpjatý beton jako možné řešení

Všude ve vyspělých zemích existuje problém najít způsoby, jak vybudovat nové a odolnější dálnice a rychlostní komunikace. Současně jde o to, jak obnovit existující hlavní tahy, a to rychle a s minimálním dopadem na uživatele. Opravy při tom musí být provedeny s vysokou trvanlivostí. Prefabrikované betonové povrchy vozovky a prefabrikované mostní konstrukční systémy, které jsou vyrobeny v panelárně a instalovány v omezené krátké době mimo dopravní špičku mají potenciál výrazně zlepšit rekonstrukce a údržbu dálniční sítě. Nejenže snižují omezení provozu a zvyšují bezpečnost při stavbě, ale také přinášejí kvalitnější produkt, což znamená zvýšení jeho trvanlivosti při velmi krátké době realizace.

Technologie prefabrikovaného předpjatého betonu přináší srovnatelnou trvanlivost nebo i vyšší i pro nově vybudované kratší úseky dálnice včetně mostovek.

Technologie prefabrikace není nová, masově využívaná je od 60. let minulého století. Hlavní výhody prefabrikovaných betonových konstrukčních prvků oproti na staveništi prováděné betonáži do bednění jsou obecně následující:

- Prefabrikované dílce pro konstrukci vrchní vrstvy vozovky nebo prvky mostní konstrukce mohou být v panelárně vyráběny na základě ukládání betonové směsi do přesných ocelových forem, vibrovány, rovnoměrně vytvrzovány propařením v kontrolovaném prostředí a správně uloženy na skládce do předepsaných úložišť a stojanů. Tím dochází k dokonalému vyzrání zhruba během 7 dnů. Všechny tyto tovární operace zaručují potřebnou montážní pevnost a rovnoměrnou kvalitu se správným uložením a pokrytím výztuže.
- Prefabrikované objekty snižují nebo eliminují problémy se zkroucením konstrukčních prvků, pevností a strháváním vzduchu, které jsou běžné u konvenčních betonových vozovek [89]. Důležité je také to, že prefabrikované dílce jsou předpjaté během své výroby ve výrobním závodě a dodatečně napnuty během jejich montáže.

Předpínání v panelárně výrazně zvyšuje výkon konstrukčních prvků (hlavně pevnost v tahu) tím, že vyvolává tlakové napětí v panelech. To účinně zabraňuje praskání a umožňuje lepší odolnost při samotné montáži, posiluje je pro lepší manipulaci na stavbě s lepšími vlastnostmi ohledně kroucení a ohybu., která jim brání v ohýbání a kroucení. Tato odolnost nejen snižuje náklady na údržbu po celou dobu životnosti vozovky, ale významně snižuje uživatelské náklady díky zkrácení doby opravy.

Dodatečně napnuté panely poskytují stejnou konstrukční životnost jako běžné betonové vozovky. Podle provedených testů uživatele US Highway Administration by 200 milimetrový dodatečně napnutá deska vozovky měla mít stejnou životnost jako konvenční betonová deska z betonu ukládaného na místě o síle 350 mm.

Dodatečné napínání také zvyšuje trvanlivost minimalizací výskytu trhlin a spojuje jednotlivé panely dohromady, čímž podporuje přenos zatížení mezi panely [90]. To prodlužuje životnost vozovky a přispívá ke snížení nákladů na údržbu.

9.4 Hromadná aplikace prefabrikace

Jak již bylo zmíněno, s prefabrikací v Evropě existují značné a úspěšné zkušenosti. I když v poslední době klesá odbornost a disponibilní kvalifikovaná pracovní síla, určité kapacity jsou stále k dispozici.

To poskytuje pevný základ pro nový způsob hromadné aplikace. Zavedení podobné technologie je z hlediska průmyslové prefabrikace vždy spojeno s investičními náklady. Většinou se vždy bude jednat o existující panelárny, kde hlavní náklady zavedení výroby se omezí na pořízení vhodné výrobní linky, ocelových forem pro daný sortiment, případných skladovacích zařízení a upravených přepravních vozidel (návěsy).

Nejkomplikovanější a nákladné je vždy včasné pořízení potřebných výrobních kapacit. Takovéto investice do zařízení pro masovější výrobu je třeba koordinovat a zaručit odběr ze strany potenciálního zákazníka (ŘSD ČR).

Co se týče celosvětového vývoje trhu s prefabrikovaným betonem, očekává se, že jeho velikost vzroste ze 130,6 miliard USD v roce 2020 na 174,1 miliardu USD do roku 2025, při kombinovaném tempu ročního růstu (CAGR) 5,9 % mezi lety 2020 až 2025. Očekává se, že růst tohoto trhu bude poháněn zejména výrazným růstem poptávky v bytové a komerční výstavbě [91]. Přestože tyto poslední dostupné prognózy tržního vývoje nezahrnují nečekané ekonomické zpomalení způsobené celosvětovými problémy dodavatelských řetězců z důvodu pandemie či energetické krize roku 2022, lze se pro lokálnější charakter tohoto typu podnikání domnívat, že jeho růst může být zpomalen, ne však zastaven.

9.4.1 Prefabrikované betonové vozovky

Samotná realizace vozovky z prefabrikovaných betonových panelů vychází z toho, že vždy dva sousední panely jsou spojeny a předpjaty pomocí systému dodatečného napínání. Prefabrikované betonové vozovky mohou být použity pro výměnu jednoho jízdního pruhu, vícenásobného jízdního pruhu (může být zapotřebí další pruh pro umístění materiálů a zařízení) nebo pro výstavbu silnic v celé šířce [92]. Použití prefabrikovaných betonových dílů pro vozovku urychluje rekonstrukci vozovky dvakrát až třikrát oproti tradičnímu přístupu. Takovýto úsek vozovky může být dán do provozu hned další den po položení nového povrchu, protože není nutné žádné jeho další ošetřování. Podrobněji se tímto tématem zabývá kapitola 7 - Prefabrikované vozovky.

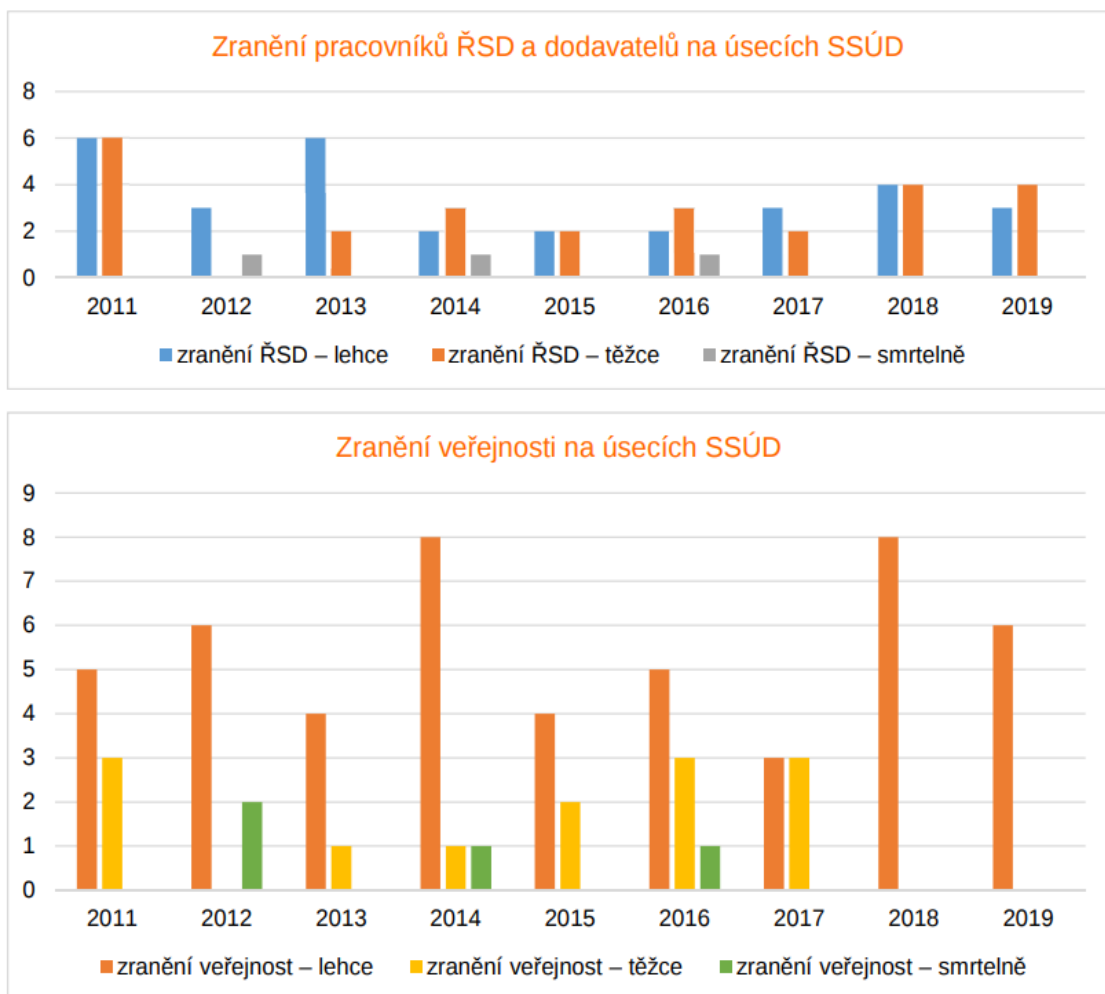
9.4.2 Případová studie 4 - renovace jízdních pruhů I-66

Jako příklad technologie prefabrikovaných vozovek a organizačního přístupu je možno uvést projekt realizovaný ve Virginii na podzim 2015, který velmi dobře ilustruje jeho potenciál. Cílem bylo rehabilitovat čtyřicetiletou výjezdovou rampu z dálnice I-66 do USA č. 50 pomocí prefabrikovaných betonových vozovek. Reálné řešení bylo nalezeno pomocí dotovaného projektu ve výši 5 milionů dolarů, který měl betonový povrch vozovky v oblasti s vysokým provozem blízko Washingtonu.

Konvenční oprava betonem pokládaným na místě by vyžadovala asi 100 dní s dopravní uzávěrou jízdnic pruhů. Využitím technologie prefabrikovaných dílců umožnil uzavření jednoho jízdnic pruhu najednou po dobu asi 35 nocí v intervalu 6-8 hodin práce. Všechny pruhy byly dostupné pro dopravní špičku a celodenní provoz. Každý noční cyklus zahrnoval odstraňování stávajícího betonu, přípravu a třídění podloží vozovky, přípravu a umístění nových vozovkových desek [92].

9.5 Bezpečnost pracovních zón

Zkrácení doby existence vyhrazených pracovních zón (příp. dle terminologie ŘSD ČR *pracovních míst/úseků*) při současném provozu automobilů také dramaticky zvyšuje bezpečnost všech zúčastněných. Jsou to především pracovníci stavby (ať už přímí pracovníci ŘSD ČR či jeho dodavatelé), kteří jsou plně vystaveni riziku kolize s následky, které pro ně jsou často až fatální – viz Graf 8 níže. Dle posledních dostupných statistik vydaných ŘSD ČR v souhrnné zprávě *Nehody při práci na dálnici za provozu – zpráva za roky 2011–2019* [93] se od roku 2016 počet nehod stále zvyšuje.



Graf 8: Vývoj zranění pracovníků a veřejnosti v rámci pracovních zón na tuzemských dálnicích v letech 2011-2019. Zdroj: ŘSD ČR, 2020 [93]

Ilustrací výskytu těchto havárií je například výsledek amerického průzkumu, při kterém v roce 2021 šest z deseti společností (z 292 dotázaných) pracujících na dálničním rekonstrukčním projektu zaznamenalo za dobu trvání oprav v pracovní zóně alespoň jeden střet s projíždějícím vozidlem [94]. Četnost nehod lze tedy bez ohledu na zemi výskytu tohoto jevu označit jako značnou. Přímé porovnání množství nehod na počet obyvatel nemá však pro rozdílnost hustoty a struktury dopravní sítě či různou míru využívání jednotlivých druhů dopravy požadovanou vypovídající hodnotu. Pro úplnost však přece uvedme, že v roce 2014 byli v ČR zraněni 3 pracovníci těžce a 1 smrtelně [93].

Závěrem lze tedy konstatovat, že jakékoliv urychlení doby výstavby, a tedy zkrácení doby trvání pracovní zóny – ať už s využitím prefabrikačních postupů či nikoliv – má jednoznačný efekt na zvýšení bezpečnosti uživatelů komunikace i pracovníků zhotovitele a je tedy žádoucí.

9.6. Závěry

Jak je uvedeno výše, výběr metod výstavby, který se použije pro daný dálniční projekt, by měl být významně ovlivněn hodnotou souvisejících uživatelských nákladů, tj. ekonomických, sociálních a environmentálních dopadů na veřejný i podnikatelský sektor.

Objemy provozu v evropské dálniční infrastruktuře nadále rostou a její uživatelé zvyšují své požadavky na pohodlí a kvalitu. Protože kapacity stavebního průmyslu jsou omezené, stává se používání rychlých stavebních metod často nezbytností. Zdá se, že prefabrikace může poskytnout nebo napomoci se vším, co je v současné situaci zapotřebí:

- vyšší tempo stavebních prací jako odpověď na potřebu zkrátit dobu omezení dopravního toku;
- vyšší a stabilní kvalita díky lepší kontrole výrobního procesu ve vyhrazeném zařízení a výhodám předpětí stavebních dílců jejich a následného napínání;
- dlouhá životnost díky použitému lépe zpracovanému materiálu;
- méně častá údržba kritických částí sítě - vozovky a dálniční mosty;
- vyšší ekonomická efektivita díky hromadné výrobě všech standardních (zejména panelů vozovek a mostních prvků) a dosažené úspory z rozsahu výroby.

Ve srovnání s pomalou a pracnou metodou realizace na staveništi – jak co se týče krytu vozovky, tak spodní stavby a mostovky mostních objektů (které jsou doposud metodou cast-in-place u nás nejčastěji budovány) - je využití prefabrikace jednoznačným přínosem. Přes své nesporné výhody, co se týče rychlosti, kvality i společensko-ekonomických výhod má však i své odpůrce. Z důvodu nižší možnosti vytvořit každý projekt jako jedinečný a dosáhnout vyšší možné marže jsou jimi zejména projektanti a zhotovitelé.

10. PŘÍPADOVÁ STUDIE 5 - EKONOMICKÉ ASPEKTY VÝSTAVBY DÁLNIČNÍHO MOSTU D1-035 IN-SITU METODOU VERSUS PREFABRIKACÍ S METODOU ABC

Tato případová studie vyhodnocuje provedení rekonstrukce a rozšíření dálničního mostu D1-035 ve 29,161 km dálnice D1 v roce 2016 v rámci projektu její modernizace v letech 2014-2021. Konkrétně je jejím záměrem porovnání ekonomické výhodnosti dvou metod. První metodou, která byla zhotovitelem analyzovaného projektu společností SMP CZ a.s. také aplikována je standardní postup, kdy je většina struktur zhotovena na místě (tj. in-situ metodou). Druhou pak je metoda taková, při které je naopak z většiny budovaný objekt zhotoven prefabrikačním přístupem a aplikací principů metody ABC (tj. metody zrychlené mostní výstavby (Accelerated Bridge Construction)).



Obr. 25: Vyjma založení původních pilířů (které byly ubourány pouze do úrovně nové základové spáry s ponechanou vyčnívající výztuží a využity jako „pilotové“ založení.), zcela nový most D1-035 v km 29,161 dálnice D1 realizovaný společností SMP CZ, a.s. v roce 2016. Zdroj: [11]

Most D1-035 převádí čtyřpruhovou dálnici D1 v km 29,161 přes údolí Dražanského potoka, silnici II/109 a také jedinou příjezdovou komunikaci do obce Hvězdovice. Ve skutečnosti se jedná o dvojici souběžných dálničních předpjatých třípolových mostů z prefabrikovaných nosníků T-průřezu s vylehčenou stěnou (PETRA) a se spřaženou železobetonovou deskou spojenou do jednoho dilatačního celku pomocí pérových desek.

Vzhledem k významu mostu musela být rekonstrukce provedena po polovinách se zachováním provozu v každém jízdním směru dálnice, a to v režimu dopravy 2 + 2 po jedné polovině. Dále bylo nutné zachovat plynulost dopravy na komunikaci pod mostem. To komplikovalo nejen průběh stavby, ale také bezpečnost pohybu na stavbě [11].

Původně byla oprava mostu plánována jako součást projektu Modernizace D1 - úsek 02, avšak po provedení rozsáhlého diagnostického průzkumu a po jeho vyhodnocení bylo rozhodnuto o nutnosti okamžité a urychlené celkové rekonstrukci mostního objektu [11]. Jeho konstrukce totiž trpěla typickými závadami mostních objektů pocházejících ze sedmdesátých let - zatékáním do nosné konstrukce [95]. Z důvodu nutnosti demolice původního objektu a potřeby zbudování nového byla tedy tato akce z projektu Modernizace D1 vyčleněna a provedeny zvlášť a vůči modernizaci celého úseku v předstihu [96].

10.1 Náklady provedené rekonstrukce a rozšíření mostu

Výstavba proběhla ve čtyřech na sebe navazujících etapách. V první a druhé etapě byly realizovány přejezdy středního dělicího pruhu dálnice, rozšíření krajnice a přípravné práce pro realizaci mostu [11]. Tyto etapy však předmětem případové studie nejsou, neboť jsou pro hodnocení výhodnosti obou variant samotné realizace nového mostního objektu víceméně irelevantní.

Dle zhotovitele stavby, společnosti SMP CZ, byl průběh realizace projektu následovný. Začátkem března 2016 byla zahájena třetí etapa výstavby, která spočívala v demolici a výstavbě levého dálničního mostu ve směru na Prahu. V březnu proběhla demolice mostu v souběhu se stavbou „Havarijní podepření mostu D1-035 na dálnici D1“. Etapa byla dokončena za 106 kalendářních dní a v polovině července byl levý most uveden do předčasného užívání. Ihned po převedení provozu byla zahájena čtvrtá etapa výstavby, jejíž průběh byl obdobný jako u etapy předchozí - nejdříve souběh demolice původního mostu s demontáží havarijního podepření a poté samotná výstavba pravého dálničního mostu ve směru na Brno. Čtvrtá etapa byla dokončena za 110 kalendářních dní a 1. 11. 2016 byl pravý most uveden do předčasného užívání. Poté byly ještě v průběhu listopadu provedeny terénní úpravy pod mostem, úprava okolí a demontáž zařízení stavby, čímž byla stavba dokončena. [11]

Zhotovitelem v jeho podnikových referencích hrdě uváděnou dobu trvání výstavby 106 dní u první poloviny a 110 dní u druhé poloviny mostu lze jistě v tuzemských poměrech považovat za velmi dobrou.

Podnik SMP CZ je zkušeným stavitelem mostů a je na tuto specifickou výstavbovou činnost zaměřen již od poloviny minulého století. Byl jako specializovaný mostařský závod založen v rámci státního podniku Stavby silnic a železnic již v roce 1953, od roku 1990 pak působil samostatně jako Stavby mostů Praha a od roku 2001 je pak členem nadnárodní skupiny Vinci a disponuje tedy nejen svými bohatými zkušenostmi, ale i know-how a technologickým zázemím světovým.

Výše zmíněná doba výstavby a z toho plynoucího omezení kapacity provozu tedy nejsou neopodstatněně dlouhé, mohly by však být také výrazně kratší. Požadavek na další zkrácení realizace však dle veškerých dostupných informací nebyl zadavatelem projektu (ŘSD ČR) nikdy vznesen. Vzhledem k faktu, že se demolice stávajícího a výstavba kompletně nového dálničního mostu konala v rámci dva roky trvajícího projektu modernizace D1, úseku 03, o takovém požadavku na urychlení prací zadavatel nejspíše ani nepomyslel.

Spodní stavba byla totiž provedena monoliticky, tzn. časově náročnější metodou; pouze předpjaté nosníky byly zhotoveny prefabrikovaně. Spřažená železobetonová deska mostovky je pak zhotovována obvykle monoliticky (ať už standardním či ultra-vysokohodnotným betonem) a její případná prefabrikace se tedy v práci neuvažuje a nebude variantně ekonomicky posuzována.

Celková konečná investiční cena realizace projektu byla dle vyjádření zhotovitele SMP CZ, a.s. 105 milionů korun bez DPH. Dalšími náklady objednatelem jako obvykle neuvažovanými, avšak společností a ekonomikou nesenými, jsou tzv. uživatelské náklady, resp. náklady uživatele komunikace - jejich vyčíslení viz níže v kapitole 10.3.

10.2 Stanovení uživatelských nákladů realizované varianty

Hodnoty potřebné pro výpočet uživatelských nákladů realizované varianty byly získány od společnosti SMP CZ a.s. (zhotovitele stavby), ŘSD ČR (objednatele projektu) a z veřejně dostupných zdrojů. Není-li uvedeno jinak, jde o data platná pro rok 2016, v němž byl projekt realizován. Jsou jimi:

- náklady projektu: 105 344 413 Kč bez DPH [97];
- doba výstavby: 216 dní (březen - říjen 2016) [11];
- délka úseku stavby: 2 x 500 m (vč. úseku přímo navazujících dopravně-inženýrských opatření (DOI) stavby Modernizace D1 - úsek 03, s nímž byla veškerá tato opatření nutně koordinována), tj. celkem 1 km;

10.2.1 Stanovení uživatelských nákladů zpoždění

Uživatelské náklady zpoždění (UN_z) jsou vypočítávány jako součin odhadované doby zpoždění na zkoumaném cestovním/přepravním úseku a jednotkových nákladů všech zpožděných subjektů a zboží a jejich množství [7]. Dobou zpoždění rozumíme veškerý dodatečný čas (ku době průjezdu bez pracovní oblasti) nutný k průjezdu pracovní oblastí nebo jejímu objetí.

Hodnoty potřebné pro stanovení objemu zpoždění pro jednotlivé druhy vozidel:

- roční průměr denních intenzit dopravy (všechny dny (tj. pracovní i pracovního klidu) v obou směrech provozu); sčítací úseky 1-8030 a 1-8040 dle sčítání dopravy provedené MD v roce 2016 (viz Tabulka 7 níže; [98]):
 - osobní automobily: 32 614,

- autobusy: 444,
- nákladní automobily: 11 458;

Sčítání dopravy 2016 (sč.úsek: 1-8030)														... význam zkratk			
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														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														C			
Cyklistická doprava	cyklo/den														0		

Sčítání dopravy 2016 (sč.úsek: 1-8040)														... význam zkratk			
Roční průměr denních intenzit dopravy		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV		
RPDI - všechny dny	voz/den	3 857	1 392	310	249	77	5 637	440	0	0	0	11 962	32 570	63	44 595		
		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV		
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	4 776	1 723	386	308	97	7 029	477	0	0	0	14 796	33 744	58	48 598		
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	1 559	562	119	100	30	2 159	345	0	0	0	4 874	29 639	73	34 586		
Hodinová intenzita dopravy												TV	SV				
Padesátirázová intenzita dopravy	voz/h											1 148	4 281				
Špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											1 029	3 835				
Těžká nákladní vozidla - TNV														TNV			
Hodnota TNV	voz/den														16 036		
Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty												OA	NA	NS	Celkem		
Roční průměr intenzit, den (06-18)	voz/den											24 481	4 262	3 781	32 524		
Roční průměr intenzit, večer (18-22)	voz/den											5 841	802	1 060	7 703		
Roční průměr intenzit, noc (22-06)	voz/den											2 311	875	1 182	4 368		
Emise												OA	LNA	TNA	NS	BUS	Celkem
Roční špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											5 680	671	285	1 048	76	7 760
Koeficienty nerovnoměrnosti dopravy												alfa	beta	gama	PS		
Koeficient nerovnoměrnosti dopravy	-											1.09	1.10	0.99	68.32		
Intenzita cyklistické dopravy														C			
Cyklistická doprava	cyklo/den														0		

Tabulka 7: Roční průměry denních intenzit provozu v úseku projektu rekonstrukce mostu D1-035, resp. ve dvou úsecích dálnice D1 v rámci celostátního sčítání dopravy ministerstvem dopravy.

Zdroj: Celostátní sčítání dopravy na dálniční a silniční síti ČR 2016, [98]

- kapacita jízdního pruhu, vyjadřující maximální počet vozidel, která jím projedou za hodinu, je pro výpočet použita s hodnotou 900 při rychlosti 80 km/h, shodně dle evropské metodiky HEATCO [85], její poslední verze v podobě Handbook on the external costs of transport [86] a anglosaské Handbook of Road Technology [99];
- jednotka osobního vozu, resp. ekvivalent osobního vozu (obvykle značena mezinárodní zkratkou PCU (personal car unit)) - jednotka, zavedená pro vzájemnou porovnatelnost dopadu všech druhů a velikostí vozidel na plynulost dopravního toku; dopad všech typů dopravních prostředků na dopravní tok vyjadřuje v poměru

ku dopadu jednoho dopravního vozu, pro účely výpočtu je dle metodiky HEATCO použita hodnota 3 jednotek osobních vozů pro autobusy a nákladní vozy [85];

Pro koeficient intenzity dopravy (K_i) vyjadřující rozdílné rozložení hustoty provozu během jednotlivých hodin dne jsou použity obecně platné hodnoty technických podmínek Ministerstva dopravy [100] (ve verzi platné od roku 2012 do 2018, tj. v době uskutečnění projektu), neboť lze usuzovat, že toto rozložení nebude ve zkoumaném dopravním úseku ničím výjimečné.

Výpočet zpoždění bude tedy sumou zpoždění v rámci celého dne (tedy každá hodina upravena výše popsáním koeficientem) pro všechny typy dopravních prostředků.

Intenzitu dopravy (I_d) jednoho směru dopravního toku pro konkrétní hodinu (zde mezi půlnocí a první hodinou ranní) tedy získáme následujícím způsobem [99]:

$$I_d = ((RPDI_{ov} + RPDI_a * PCU + RPDI_{nv} * PCU) * K_i * 0,01) / 2 \quad (1)$$

$$I_d = ((32\ 614 + 444 * 3 + 11\ 458 * 3) * 0,93 * 0,01) / 2 = 318 \text{ vozidel} / \text{hodinu}$$

Kde:

$RPDI_{ov/a/nv}$ - roční průměr denních intenzit dopravy os. vozidel/autobusů/nákl. vozidel,

PCU - jednotka osobního vozu,

K_i - koeficient intenzity dopravy,

Dle výše provedeného výpočtu lze tedy odhadnout, že mezi půlnocí a první hodinou ranní projelo úsekem stavby v jednom směru průměrně 318 osobních vozů (resp. jejich ekvivalentů) za hodinu (výsledky v rámci celého průběhu dne viz Tabulka 8 níže). Jednoduchým porovnáním zjištěné intenzity provozu a výše stanovené kapacity jednoho směru neomezující rychlost vozidel a plynulost jejich jízdy 1800 vozidel za hodinu (tj. dva pruhy po 900 voz./hod.) [101] pak lze vyvodit, zdali došlo ke zpomalení dopravního toku (tzn. následnému zpoždění uživatele komunikace) či nikoliv. Ke zjištění míry snížení rychlosti provozu pak vyjdeme z obecně platného předpokladu o nepřímé úměrnosti hustoty provozu a jeho rychlosti.

Samotné zpoždění všech typů vozidel ($Z_{ov}/Z_a/Z_{nv}$) pak zjistíme porovnáním doby potřebné na průjezd pracovní oblastí rychlostí standardní (130 km/h) oproti snížené dopravním opatřením (80 km/h), respektive snížené hustotou provozu. Zjištěné hodnoty viz následující Tabulka 8:

časový úsek	koeficient intenzity provozu K_i	intenzita dopravy (voz/hod)	naplnění kapacity směru	rychlost vozidel v pracovní zóně (km/h)	doba zpoždění v pracovní zóně (s)	rychlost vozidel za standard. provozu (km/h)	doba zpoždění za standard. provozu (s)
0-1	0,93	318	18 %	80,0	13,9	130,0	0,0
1-2	0,73	249	14 %	80,0	13,9	130,0	0,0

2-3	0,69	236	13 %	80,0	13,9	130,0	0,0
3-4	0,79	270	15 %	80,0	13,9	130,0	0,0
4-5	1,15	393	22 %	80,0	13,9	130,0	0,0
5-6	2,45	837	46 %	80,0	13,9	130,0	0,0
6-7	5,06	1 728	96 %	80,0	13,9	130,0	0,0
7-8	6,72	2 296	128 %	62,5	18,7	101,9	7,8
8-9	7,05	2 408	134 %	59,7	19,5	97,2	9,1
9-10	6,25	2 135	119 %	67,2	17,4	109,6	5,7
10-11	5,65	1 930	107 %	74,8	15,4	121,2	2,4
11-12	5,6	1 913	106 %	75,5	15,2	122,3	2,1
12-13	5,71	1 951	108 %	74,1	15,6	120,0	2,8
13-14	5,98	2 043	113 %	70,8	16,5	114,6	4,3
14-15	6,38	2 179	121 %	66,1	17,8	107,4	6,3
15-16	6,77	2 313	128 %	62,5	18,8	101,2	8,0
16-17	6,92	2 364	131 %	61,1	19,2	99,0	8,6
17-18	6,6	2 255	125 %	64,0	18,4	103,8	7,3
18-19	5,67	1 937	108 %	74,1	15,5	120,8	2,6
19-20	4,35	1 486	83 %	80,0	13,9	130,0	0,0
20-21	3,16	1 079	60 %	80,0	13,9	130,0	0,0
21-22	2,35	803	45 %	80,0	13,9	130,0	0,0
22-23	1,77	605	34 %	80,0	13,9	130,0	0,0
23-24	1,31	447	25 %	80,0	13,9	130,0	0,0

Tabulka 8: Rozložení intenzity provozu analyzované pracovní oblasti s jeho rozložením v rámci dne, včetně míry naplnění kapacity jednoho jízdniho směru, jím způsobeného snížení rychlosti a vzniklého zpoždění na 1 km trasy při standardních podmínkách mimo projekt (tj. bez DIO) a v rámci modernizačního projektu.

Dalším krokem, vedoucím ku zjištění uživatelských nákladů plynoucích ze zpoždění způsobeným průjezdem pracovní oblastí je pak výpočet časové ztráty všech tří typů vozidel. Viz Tabulka 9 níže, sumarizující celkové průměrné zpoždění při průjezdu pracovní oblastí v rámci jednoho dne pro osobní vozy na celkových téměř 63 hodin, pro autobusy na necelou 1 hodinu a pro nákladní vozy na 22 hodin.

Ve výpočtu zavedená „doba zpoždění v důsledku omezení provozu“ je výsledkem úvahy, že ku zpoždění dochází nejen v důsledku dopravních omezení, ale i za standardních podmínek, kdy je velkým provozem překročena kapacita komunikace (viz procentuálně vyjádřené naplnění kapacity směru v Tabulce 8 výše). Toto běžné zpoždění je tedy nutno vyjmout z celkového zpoždění způsobeného dopravními omezeními v rámci projektu, neboť by k němu docházelo i bez jeho uskutečnění a k navýšení uživatelských nákladů tedy nevede. Způsob stanovení zpoždění způsobeného projektem:

$$\text{doba zpoždění v důsledku omezení provozu (s)} = \text{doba zpoždění v pracovní zóně (s)} - \text{doba zpoždění za standardního provozu (s)}$$

časový úsek	doba zpoždění v důsledku omezení provozu (s)	počet osobních vozidel Z_{ov}	celkové zpoždění osobních vozidel (h)	počet autobusů Z_a	celkové zpoždění autobusů (h)	počet nákladních vozidel Z_{nv}	celkové zpoždění nákladních vozidel (h)
0-1	13,9	152	0,59	2	0,01	53	0,20
1-2	13,9	119	0,46	2	0,01	42	0,16
2-3	13,9	113	0,44	2	0,01	40	0,15
3-4	13,9	129	0,50	2	0,01	45	0,17
4-5	13,9	188	0,73	3	0,01	66	0,25
5-6	13,9	400	1,54	5	0,02	140	0,54
6-7	13,9	825	3,18	11	0,04	290	1,12
7-8	10,9	1096	3,32	15	0,05	385	1,16
8-9	10,4	1149	3,31	16	0,05	404	1,16
9-10	11,7	1019	3,31	14	0,05	358	1,16
10-11	13,0	921	3,31	13	0,05	324	1,17
11-12	13,1	913	3,31	12	0,04	321	1,17
12-13	12,8	931	3,31	13	0,05	326	1,16
13-14	12,2	975	3,31	13	0,04	342	1,16
14-15	11,5	1040	3,31	14	0,04	365	1,16
15-16	10,8	1103	3,31	15	0,05	387	1,16
16-17	10,6	1128	3,31	15	0,04	396	1,16
17-18	11,1	1076	3,31	14	0,04	378	1,16
18-19	12,9	924	3,31	13	0,05	325	1,17
19-20	13,9	709	2,74	9	0,03	249	0,96
20-21	13,9	515	1,99	7	0,03	181	0,70
21-22	13,9	382	1,47	5	0,02	135	0,52
22-23	13,9	287	1,11	4	0,02	102	0,39
23-24	13,9	213	0,82	3	0,01	75	0,29
celkem / 24 hod	307,6	16 307	55,32	222	0,75	5 729	19,44

Tabulka 9: Celkové průměrné zpoždění jednotlivých druhů vozidel při průjezdu pracovní oblastí v jednom směru v rámci jednoho dne a kilometru.

Pro ocenění výše zjištěného celkového objemu zpoždění všech účastníků provozu je využito hodnot projektu Centra otázek pro životní prostředí UK [84], který částečně vycházel z dat hodnot harmonizovaných evropských směrnic HEATCO [85]. Tyto korunové hodnoty poplatné roku 2011 pak byly na hodnoty analyzovaného roku 2016 upraveny o změny HDP na obyvatele ve standardu kupní síly, tj. do analyzovaného roku 2016 nárůst 26,73 % [102].

Hodnoty potřebné pro výpočet uživatelských nákladů zpoždění (dle údajů ročenky dopravy Ministerstva dopravy [CSM9] a statistického úřadu Evropské unie [103]):

- průměrná obsazenost osobního vozu: 1,9 osoby/vozidlo; odhad poměru nepracovních a pracovních cest osobních vozů: 80:20 dle obecných hodnot ročenky

MD ČR [104], resp. 62:38 dle konkrétního telefonického screeningu provedeném pracovní skupinou Univerzity Karlovy přímo pro dálnici D1 [84]. Obě hodnoty lze považovat za platné, zároveň však obě mají svůj drobný nedostatek - hodnoty ročenky ministerstva dopravy jsou republikově zprůměrovány; telefonický screening se týkal přímo zkoumané dopravní tepny, avšak z pochopitelných důvodů byl časově i místně omezen a taktéž se netýkal přímo zkoumaného úseku ani doby rekonstrukce. Vzhledem k nesporné platnosti obou odhadů byl tedy jako skutečnosti nejvíce se blížící pro výpočet použit jejich aritmetický průměr 71:29;

- průměrná obsazenost autobusu: 39 osob/vozidlo [104];
- průměrné naložení nákladního automobilu: 12 tun [104].

Uživatelské náklady zpoždění osobních vozidel (UN_{ov}) - pracovní a nepracovní cesty:

$$UN_{ov} = Z_{ov} * O_{ov} * (H_{nc} * P_{nc} + H_{pc} * P_{pc}) \quad (2)$$

$$UN_{ov} = 110,64 * 1,9 * (248 * 0,71 + 447 * 0,29)$$

$$UN_{ov} = 64\,265 \text{ Kč/den/km}$$

kde:

Z_{ov} - celkové zpoždění os. vozidel v obou směrech za 24 hod (h),

O_{ov} - průměrná obsazenost vozidla (os./voz.),

H_{nc} - hodnota cestovního času nepracovní cesty os. vozidlem (Kč/os./h),

H_{pc} - hodnota cestovního času pracovní cesty os. vozidlem (Kč/os./h),

P_{nc} - podíl nepracovních cest (%),

P_{pc} - podíl pracovních cest (%).

Celkové uživatelské náklady zpoždění veškerých osobních vozidel, které analyzovanou oblastí v obou směrech v průměru projedou během 24 hodin za účelem pracovním i nepracovním jsou tedy přes 64 tisíc korun.

Uživatelské náklady zpoždění cesty autobusem (UN_a):

$$UN_a = Z_a * O_a * (H_{nc} * P_{nc} + H_{pc} * P_{pc}) \quad (3)$$

$$UN_a = 1,5 * 39 * (86 * 0,71 + 159 * 0,29)$$

$$UN_a = 6\,269 \text{ Kč/den/km}$$

kde:

Z_a - celkové zpoždění autobusů v obou směrech za 24 hod (h),

O_a - průměrná obsazenost vozidla (os./voz.),

H_{nc} - hodnota cestovního času nepracovní cesty autobusem (Kč/os./h),

H_{pc} - hodnota cestovního času pracovní cesty autobusem (Kč/os./h)

P_{nc} - podíl nepracovních cest (%),

P_{pc} - podíl pracovních cest (%).

Celkové uživatelské náklady zpoždění veškerých cest autobusů, resp. jejich pasažérů, které analyzovanou oblastí v obou směrech v průměru projedou během 24 hodin za účelem pracovním i nepracovním jsou tedy přes 4 tisíce korun.

Uživatelské náklady zpoždění nákladních vozidel (UN_{nv}):

$$UN_{nv} = Z_{nv} * N_a * H_{nv} \quad (4)$$

$$UN_{nv} = 38,88 * 12 * 191$$

$$UN_{nv} = 89\,113 \text{ Kč/den/km}$$

kde:

Z_a - celkové zpoždění nákladních vozidel v obou směrech za 24 hod (h),

N_a - průměrné naložení nákladního vozidla,

H_{nv} - hodnota přepravovaného zboží (Kč/t/h).

Celkové uživatelské náklady zpoždění veškerých cest nákladních vozidel, které analyzovanou oblastí v obou směrech v průměru projedou během 24 hodin jsou tedy přes 89 tisíc korun.

Celkové uživatelské náklady zpoždění (UN_z):

$$UN_z = UN_{ov} + UN_a + UN_{nv} \quad (5)$$

$$UN_z = 64\,265 + 6\,269 + 89\,113$$

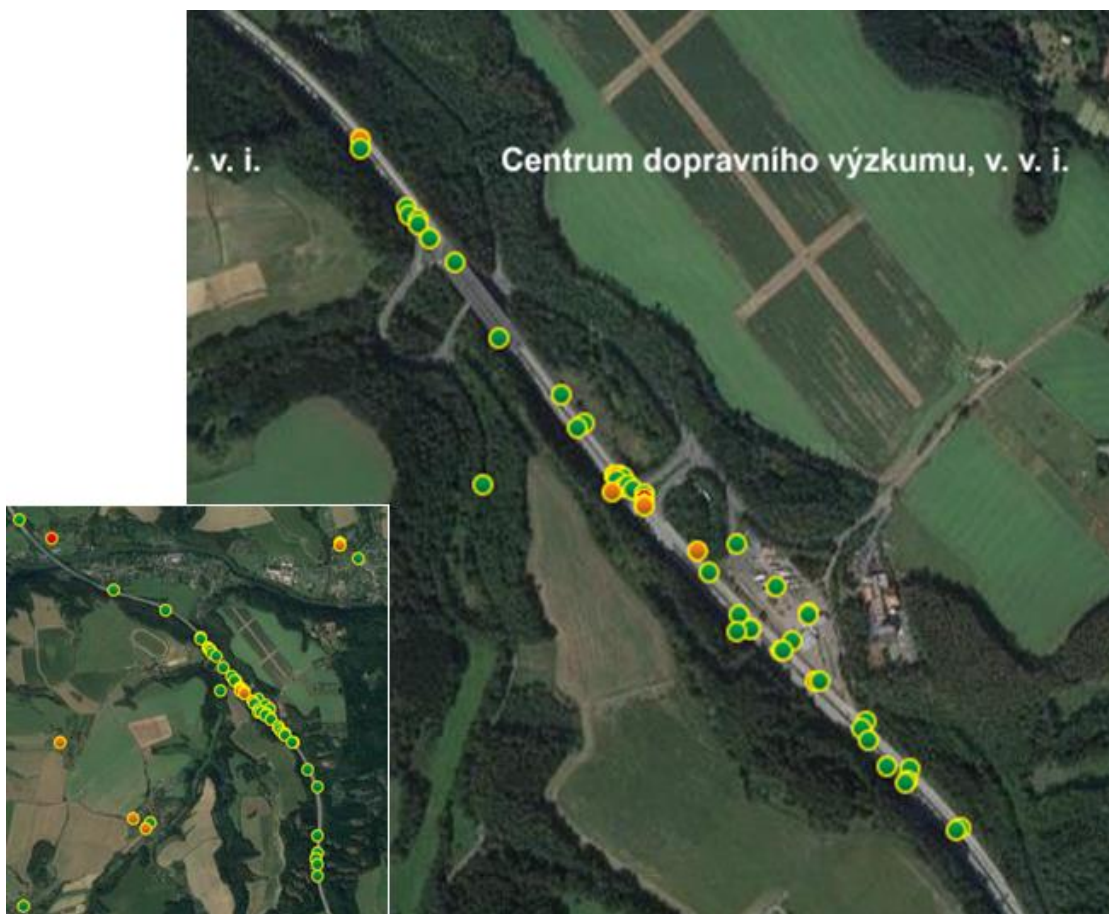
$$UN_z = 159\,648 \text{ Kč/den/km}$$

Celkové uživatelské náklady zpoždění veškerých cest osobních vozidel (pracovní i nepracovní cesty), pasažérů prostředků hromadné veřejné dopravy (opět za účelem soukromým i pracovním) i nákladních vozidel činí téměř 160 tisíc korun denně.

Za celou dobu trvání projektu, a tedy i omezení dopravy a z toho vznikajících nákladů uživatelů zkoumaného kilometrového úseku, tj. za 216 dní, jde pak o částku **34 483 868 Kč**, tedy bezmála třicet pět milionů korun.

10.2.2 Stanovení uživatelských nákladů dopravních nehod

Ku zjištění velikosti uživatelských nákladů plynoucích z existence dopravních omezení, tedy tzv. pracovní zóny, byla využita přesná statistická data shromažďovaná Centrem dopravního výzkumu, v. v. i., jež je jedinou výzkumnou organizací v působnosti Ministerstva dopravy [105].



Obr. 26: Nehodovost úseku rekonstrukce ve sledovaném období (nehody těžké červeně, lehké oranžově, bez zranění zeleně). Zdroj: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. [105]

kategorie nehody	počet evidovaných nehod	korekční koeficient nenahlášených nehod	výsledný počet evidovaných + nenahlášených nehod
nehoda jen s hmotnou škodou	38	6	228
nehoda s lehkým zraněním	8	3	24
nehoda s těžkým zraněním	1	1,5	1,5
nehoda s úmrtím	0	1,02	0

Tabulka 10: Počet nehod ve sledovaném úseku/období, upravený korekčními koeficienty pro jednotlivé kategorie nenahlášených nehod. Ve sledovaném úseku/období nedošlo k žádné smrtelné nehodě. Zdroj: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. [105] a HEATCO [85]

Míra nehodovosti je v pracovní zóně vždy vyšší než v podmínkách standardního provozu bez mimořádných dopravních opatření. Provedené studie na toto téma tvrdí, že přítomnost pracovní zóny zvyšuje četnost srážek o 20 až 70 procent [7]. Ullman a kol. [106] pak tvrdí, že při probíhající aktivitě v pracovní zóně roste pravděpodobnost nehody o 66 % ve dne a o 61 % v noci. Pro výpočet této zvýšené míry rizika plynoucího z existence pracovní zóny vůči standardním podmínkám provozu je standardně využíván tzv. modifikační faktor

nehodovosti (CMF – crash modification factor) [7]. Tento modifikátor zde díky plné dostupnosti dat analyzovaného úseku po celou dobu rekonstrukce není zapotřebí použít. Data je však nutno upravit o množství nehod nenahlášených, jichž je obecně při konzervativním přístupu třikrát více (některé studie totiž naznačují i míru vyšší), než nehod nahlášených a evidovaných Policií ČR [107]; konkrétní hodnoty koeficientu dle dat studie HEATCO [85] viz Tabulka 10 výše. Obecně je pak míru nehodovosti všeobecným územím udávat v počtu srážek na milion ujetých kilometrů.

Toto množství najetých kilometrů (NKM) v rámci sledovaného úseku a období trvání pracovní zóny je možno stanovit pomocí součinu jeho délky a trvání s průměrným objemem provozu všech vozidel.

Množství najetých kilometrů (NKM):

$$NKM = L * T * RPDI \quad (6)$$

$$NKM = 1 * 0,5918 * 44\,578 * 365$$

$$NKM = 9\,628\,848 \text{ km}$$

kde:

L - délka sledovaného úseku komunikace (km)

T - sledovaný časový úsek (let)

RPDI - roční průměr denních intenzit dopravy

Míra nehodovosti (MN) [7]:

$$MN = \frac{A * 10^6}{T * L * RPDI * 365} \quad (7)$$

kde:

RPDI - roční průměr denních intenzit dopravy

A - průměrný počet nehod sledovaného úseku

T - sledovaný časový úsek (let)

L - délka sledovaného úseku komunikace (km)

Míra nehodovosti s těžkým zraněním osob (MN_{tz}):

$$MN_{tz} = \frac{1,5 * 10^6}{0,5918 * 1 * 44\,578 * 365}$$

$$MN_{tz} = 0,155782 \text{ nehod / million ujetých km}$$

Míra nehodovosti s lehkým zraněním osob (MN_{lz}):

$$MN_{Iz} = \frac{24 * 10^6}{0,5918 * 1 * 44\,578 * 365}$$

$$MN_{Iz} = 2,49251 \text{ nehod / milion ujetých km}$$

Míra nehodovosti **pouze s hmotnou škodou** ($MN_{hš}$):

$$MN_{hš} = \frac{228 * 10^6}{0,5918 * 1 * 44\,578 * 365}$$

$$MN_{hš} = 23,67885 \text{ nehod / milion ujetých km}$$

Pro stanovení jednotkových nákladů následků dopravních nehod byla využita statistika Dopravní policie ČR, která přímo pro rok 2016 udává průměrnou škodu na majetku připadající na jednu nehodu 58 709 Kč [108] a dále pak údaje evropského projektu HEATCO [85], odvozujícího škody na zdraví v rámci jednotlivých členských států unie. Eurové hodnoty roku 2002 tohoto reportu upravené přes HDP ve standardu kupní síly [109] a směnný kurz ČNB pro analyzovaný rok 2016 [110] pak činily: 43 milionů korun pro úmrtí účastníka nehody, 5,8 milionu korun pro těžký úraz a 423 tis Kč pro úraz lehký, viz Tabulka 11 níže. Pouze pro srovnání vývoje hodnocení externích nákladů (zejména rozdíl v posouzení hodnoty lidského života) tabulka rovněž obsahuje hodnoty poslední verze evropské metodiky vydané v roce 2020 (s daty roku 2018, tzn. dva roky po analyzovaném projektu).

kategorie nehody	ocenění následků/dopadu nehody (Kč) - 2016 [108] [85]	ocenění následků/dopadu nehody (EUR) - 2018 [86]
nehoda jen s hmotnou škodou	58 709	n/a
nehoda s lehkým zraněním	423 367	31 253
nehoda s těžkým zraněním	5 824 779	406 295
nehoda s úmrtím	43 360 175	2 789 348

Tabulka 11: Jednotkové náklady následků dopravních nehod. Zdroj: Policie ČR [108], HEATCO [85], Handbook on external costs [86]

Na základě znalosti veškerých potřebných hodnot, tj. délky trasy (množství najetých kilometrů), četnosti události (míry nehodovosti) a finanční výši škod (jednotkové náklady následků) lze stanovit uživatelské náklady pro jednotlivé kategorie nehod dle jejich závažnosti).

Uživatelské náklady dopravních nehod [85]:

$$UN_{tz} = MN_{tz} * JN_{tz} * NKM \tag{8}$$

Kde:

MN – míra nehodovosti (nehod / milion ujetých km)
JN – jednotkové náklady následků dopravních nehod (Kč)
NKM – množství najetých kilometrů (milionů km)

Uživatelské náklady dopravních nehod s **těžkým zraněním** (UN_{tz}):

$$UN_{tz} = MN_{tz} * JN_{tz} * NKM$$
$$UN_{tz} = 0,155782 * 5\,824\,779 * 9,629$$
$$UN_{tz} = 8\,737\,175 \text{ Kč}$$

Kde:

MN_{tz} - míra nehodovosti s těžkým zraněním osob (nehod / milion ujetých km)
 JN_{tz} - jednotkové náklady následků dopravních nehod s těžkým zraněním (Kč)
NKM - množství najetých kilometrů (milionů km)

Uživatelské náklady dopravních nehod s **lehkým zraněním** (UN_{lz}):

$$UN_{lz} = MN_{lz} * JN_{lz} * NKM$$
$$UN_{lz} = 2,49251 * 423\,367 * 9,629$$
$$UN_{lz} = 10\,160\,808 \text{ Kč}$$

Kde:

MN_{lz} - míra nehodovosti s lehkým zraněním osob (nehod / milion ujetých km)
 JN_{lz} - jednotkové náklady následků dopravních nehod s lehkým zraněním (Kč)

Uživatelské náklady dopravních nehod bez zranění, pouze **se hmotnou škodou** na majetku zúčastněných ($UN_{hš}$):

$$UN_{hš} = MN_{hš} * JN_{hš} * NKM$$
$$UN_{hš} = 23,67885 * 58\,709 * 9,629$$
$$UN_{hš} = 13\,385\,655 \text{ Kč}$$

Kde:

MN_{lz} - míra nehodovosti pouze s hmotnou škodou (nehod / milion ujetých km)
 JN_{lz} - jednotkové náklady následků dopravních nehod s hmotnou škodou (Kč)

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod pak jsou prostou sumou všech jejích jednotlivých druhů dle závažnosti následků nehody, tj. s těžkým (UN_{tz}) a lehkým (UN_{lz}) zraněním jejích účastníků, nehod bez zranění, pouze se škodou na majetku ($UN_{hš}$), či

s úmrtím některého z účastníků nehody (tento nejzávažnější typ se však ve zkoumaném úseku a období nevyskytl a nebude proto řešen; početní postup je však zcela identický).

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod (UN_{dn}) [85]:

$$UN_{dn} = UN_{tz} + UN_{lz} + UN_{hš} \quad (9)$$

$$UN_{dn} = 8\,737\,175 + 10\,160\,808 + 13\,385\,655$$

$$UN_{dn} = 32\,283\,638 \text{ Kč}$$

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod všech účastníků provozu lze tedy v rámci celého úseku a celé doby trvání rekonstrukčního projektu odhadnout na **32,3 milionu korun**.

10.2.3 Stanovení uživatelských nákladů dopravních emisí

Emise látek znečišťujících ovzduší může vést k různým typům škod. Nejrelevantnější a pravděpodobně nejlépe analyzované jsou účinky na zdraví způsobené látkami znečišťujícími ovzduší. Důležité jsou však i další škody, jako jsou škody na budovách a infrastruktuře, nižší zemědělské výnosy či biologická rozmanitost [86]. Emise vozidel jsou obecně kategorizovány buď jako emise látek znečišťujících ovzduší (tj. ty, které jsou emitovány přímo do atmosféry, jako oxid uhelnatý (CO), těkavé organické sloučeniny (VOC), částice (PM₁₀), oxidy dusíku (NO_x), oxidy síry (SO_x) aj.), nebo jako skleníkové plyny (jako např. oxid uhličitý (CO₂)) [7], které však za látky přímo znečišťující ovzduší uznávány nejsou, ačkoliv zachycují teplo v atmosféře a přispívají tak k nežádoucím globálním klimatickým vlivům. Skleníkové plyny tedy do výpočtu místní změny uživatelských nákladů zahrnuty nejsou.

Jednotkové náklady emisí jsou založeny na nepříznivých zdravotních účincích na obyvatele v dané zeměpisné oblasti. Protože tyto hodnoty jsou specifické pro každý region, nelze je aplikovat obecně. Metropolitní oblasti s vysokou hustotou obyvatelstva zaznamenají oproti venkovským oblastem s nižší hustotou obyvatelstva negativních dopadů na zdraví mnohem více, tzn. jednotkové náklady musí tyto rozdíly ve výpočtech reflektovat. Doporučuje se tedy, aby byly používány emisní náklady specifické pro danou lokalitu/region [7].

Takové je doporučení americké dálniční agentury v metodickém materiálu ku stanovení uživatelských nákladů. Zjednodušeně řečeno doporučuje využít veškerá možná místní data, pokud jsou dostupná, či alespoň aplikovat hodnoty, které byly pro každý typ emisí stanoveny obecně dle lokality (hustoty obyvatelstva), hustoty provozu, rychlosti vozidel či jejich typu. Obecné hodnoty emisí (viz Tabulka 12 níže) byly využity i v případě kalkulace uživatelských nákladů v rámci této podkapitoly, neb jiné (tj. místní měření v rámci analyzovaného rekonstrukčního projektu) k dispozici nejsou. Vzhledem k tomu, že jsou tyto

obecné hodnoty založeny na dostatečném počtu reálných měření, lze při současném využití dostupných dat o dopravních objemech a z nich dopočtené změny rychlosti průjezdu dosáhnout vysoké přesnosti odhadu skutečných hodnot vzniklých emisí i z nich plynoucích nákladů uživatele.

Pro stanovení efektu dopravních emisí na uživatele přímo v pracovní zóně pak obecně platí postup jednoduchého porovnání úrovně emisí a z nich plynoucích uživatelských nákladů v dané oblasti za standardního provozu a za provozu při dopravně-inženýrských opatřeních stavby (DIO) v rámci projektu.

Samotné **uživatelské náklady dopravních emisí** při projektu UN_{dio} a za standardního provozu UN_{sp} jsou stejným způsobem zjednodušeně odhadnuty jako funkce typu vozidla, snížené rychlosti v pracovní zóně a zvýšenému provozu [7], respektive jako součin hustoty a rychlosti provozu se z toho plynoucí míry emitovaných škodlivin a jim stanovenými náklady (stanovenými americkou databází emisních měření a nástrojů hodnocení EMFAC [111] a evropským projektem HEATCO [85], přepočtenými na korunové hodnoty v roce projektu).

$$UN_e = \sum(vkm * ME * UN_{ej}) \quad (10)$$

UN_e - uživatelské náklady dopravních emisí
vkm - vozokilometr - množství vozidel / 1 km
ME - míra emisí (tuna/km)
NE_j - jednotkové náklady emisí (Kč/tuna)

Výsledné uživatelské náklady dopravních emisí jsou tedy – jak již bylo výše naznačeno - rozdílem emisních nákladů vyplývajících ze stavební činnosti v pracovní zóně a emisními náklady stejného úseku dopravní komunikace před započtením projektu.

Jsou stanoveny rovnicí [7]:

$$UN_e = NE_{op} - NE_{sp} \quad (11)$$

Kde:

UN_e - uživatelské náklady dopravních emisí pracovní zóny (Kč)
NE_{op} - náklady emisí omezeném provozu (při dopravně-inženýrských opatř. stavby) (Kč)
NE_{sp} - náklady emisí za standardního provozu (Kč)

Tabulka 12 níže zobrazuje emisní hodnoty jednotlivých typů vozidel v závislosti na jejich rychlosti průjezdu pracovní zónou. Tato byla pro jednotlivé hodinové úseky dne stanovena v rámci výpočtu uživatelských nákladů zpoždění v podkapitole 10.3.1 na základě dat celostátního sčítání dopravy na dálniční a silniční síti ČR 2016 [98], který zahrnoval i data obou úseků rekonstrukce mostu D1-035. Pomocí těchto měření bylo možno stanovit počty vozidel jednotlivých typů v průběhu dne a z nich dle naplnění kapacity průjezdu pracovní zónou i průměrnou rychlost provozu.

rychlost km/h	emise osobních vozidel (g/km/voz)				emise nákl. vozidel a autobusů (g/km/voz)			
	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC*	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC*
50	0,53	0,02	0,00	0,50	6,39	0,19	0,07	1,08
55	0,52	0,02	0,00	0,47	6,26	0,17	0,07	1,01
60	0,51	0,02	0,00	0,46	6,3	0,16	0,07	0,98
65	0,50	0,02	0,00	0,45	6,33	0,16	0,07	0,95
70	0,50	0,02	0,00	0,44	6,58	0,14	0,07	0,91
75	0,51	0,02	0,00	0,43	7,02	0,14	0,07	0,89
80	0,51	0,02	0,00	0,43	7,05	0,14	0,07	0,88
114,3**	0,73	0,03	0,00	0,61	10,07	0,20	0,10	1,26
130	0,83	0,03	0,00	0,70	11,46	0,23	0,11	1,43

Tabulka 12: Množství emisí v závislosti na rychlosti a typu vozidel. [7]

*NMVOC (bezmetanové těkavé organické sloučeniny) byly pro výpočet zvoleny namísto často používaných VOC (těkavé organické sloučeniny). NMVOC jsou s VOC v podstatě identické, pouze nezahrnují metan. Ten je ze skupiny sloučenin znečišťujících ovzduší vyloučen, protože není toxický [112].

**114,3 km/h je hodnota průměrné rychlosti provozu v rámci analyzovaného úseku/období za standardních podmínek (tj. při maximální povolené rychlosti 130 km/h, bez dopravně-inženýrských opatření, zapříčiněná zejména objemem dopravy vyšším než kapacity pruhů mezi 7 a 19 hod) - viz Tabulka 15 níže.

Znalost intenzity provozu (počet osobních vozidel, nákladních vozidel a autobusů) a jeho rychlost pak umožňuje odhad množství vygenerovaných emisí. V Tabulkách 13 a 14 jsou tyto hodnoty sumarizovány pro obě kategorie vozidel v rámci jednoho dne a jednoho směru provozu během rekonstrukčního projektu; v Tabulce 15 níže pak během podmínek standardního provozu.

časový úsek	počet osobních vozidel	rychlost vozidel (km/h)	počet os. vozidel x emise os. vozidel (g/km)			
			NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC
0-1	152	80	77,52	3,04	0,00	65,36
1-2	119	80	60,69	2,38	0,00	51,17
2-3	113	80	57,63	2,26	0,00	48,59
3-4	129	80	65,79	2,58	0,00	55,47
4-5	188	80	95,88	3,76	0,00	80,84
5-6	400	80	204,00	8,00	0,00	172,00
6-7	825	80	420,75	16,50	0,00	354,75

7-8	1 096	65	548,00	21,92	0,00	493,20
8-9	1 149	62	585,99	22,98	0,00	528,54
9-10	1 019	70	509,50	20,38	0,00	448,36
10-11	921	77	469,71	18,42	0,00	396,03
11-12	913	78	465,63	18,26	0,00	392,59
12-13	931	76	474,81	18,62	0,00	400,33
13-14	975	73	497,25	19,50	0,00	419,25
14-15	1 040	68	520,00	20,80	0,00	457,60
15-16	1 103	64	551,50	22,06	0,00	496,35
16-17	1 128	63	564,00	22,56	0,00	507,60
17-18	1 076	66	538,00	21,52	0,00	484,20
18-19	924	77	471,24	18,48	0,00	397,32
19-20	709	80	361,59	14,18	0,00	304,87
20-21	515	80	262,65	10,30	0,00	221,45
21-22	382	80	194,82	7,64	0,00	164,26
22-23	287	80	146,37	5,74	0,00	123,41
23-24	213	80	108,63	4,26	0,00	91,59
celkem / 24 hod	16307	n/a	8 251,95	326,14	0,00	7 155,13

Tabulka 13: Celkové množství emisí (g) osobních vozidel v rámci jednoho dne / jednoho směru / jednoho kilometru pracovní zóny.

časový úsek	počet nákladních vozidel + autobusů	rychlost vozidel (km/h)	počet nákl.vozidel + autobusů x emise nákl.vozidel + autobusů (g/km)			
			NO _x	PM ₁₀	SO _x	NM VOC
0-1	55	80	387,75	7,70	3,85	48,40
1-2	44	80	310,20	6,16	3,08	38,72
2-3	42	80	296,10	5,88	2,94	36,96
3-4	47	80	331,35	6,58	3,29	41,36
4-5	69	80	486,45	9,66	4,83	60,72
5-6	145	80	1 022,25	20,30	10,15	127,60
6-7	301	80	2 122,05	42,14	21,07	264,88
7-8	400	65	2 532,00	64,00	28,00	380,00
8-9	420	62	2 646,00	67,20	29,40	411,60
9-10	372	70	2 447,76	52,08	26,04	338,52
10-11	337	77	2 365,74	47,18	23,59	299,93
11-12	333	78	2 347,65	46,62	23,31	293,04
12-13	339	76	2 379,78	47,46	23,73	301,71
13-14	355	73	2 492,10	49,70	24,85	315,95
14-15	379	68	2 493,82	53,06	26,53	344,89

15-16	402	64	2 544,66	64,32	28,14	381,90
16-17	411	63	2 601,63	65,76	28,77	390,45
17-18	392	66	2 481,36	62,72	27,44	372,40
18-19	338	77	2 372,76	47,32	23,66	300,82
19-20	258	80	1 818,90	36,12	18,06	227,04
20-21	188	80	1 325,40	26,32	13,16	165,44
21-22	140	80	987,00	19,60	9,80	123,20
22-23	106	80	747,30	14,84	7,42	93,28
23-24	78	80	549,90	10,92	5,46	68,64
celkem / 24 hod	5 951	n/a	40 089,91	873,64	416,57	5 427,45

Tabulka 14: Celkové množství emisí (g) nákladních vozidel a autobusů v rámci jednoho dne / jednoho směru / jednoho kilometru pracovní zóny.

V rámci výpočtu zpoždění jednotlivých typů vozidel v kapitole 10.3.1. byla taktéž stanovena jejich průměrná rychlost při standardních podmínkách provozu v každém hodinovém úseku dne. Standardními podmínkami rozumíme maximální povolenou rychlost 130 km/h a žádná dopravně-inženýrská opatření. Reálně jsou však tyto ideální podmínky v denní špičce (mezi sedmou hodinou ranní a sedmou hodinou večerní je rychlost dopravy hustotou provozu překračující kapacity komunikace omezena – viz Tabulka 8) velmi vzácné a předpokládat je tedy využitím zjednodušení výpočtu aplikací univerzální rychlosti 130 km/h v rámci celé doby trvání projektu by bylo chybné. Na základě hodnot Tabulky 8 lze váženým průměrem dle hustoty a rychlosti provozu v každou konkrétní denní hodinu stanovit průměrnou rychlost analyzovaného úseku dálnice D1 v rámci celého dne na 114,3 km/h. Tato hodnota je pak použita pro výpočet emisí mimo rekonstrukční projekt v Tabulce 15 níže.

	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC
emise osobních vozidel (g/den)	23 764,60	931,95	0,00	20 036,82
emise nákladních vozidel a autobusů (g/den)	119 885,13	2 380,70	1 190,35	14 964,38
celkem (g/den)	143 649,73	3 312,64	1 190,35	35 001,20

Tabulka 15: Celkové množství emisí všech typů vozidel při podmínkách standardního provozu v rámci jednoho dne / obou směrů provozu / jednoho kilometru pracovní zóny.

Při znalosti množství emisí generovaných veškerou dopravou při dopravních omezeních i během standardního provozu (tj. bez DIO) během jednoho dne a kilometru sledovaného úseku, je při znalosti nákladů těchto emisí [85] možné odhadnout i jejich celkovou peněžitou hodnotu – viz následující Tabulka 16.

	Nox	PM ₁₀	SO _x	NMVOC	celkem Kč
peněžitá hodnota dopravních emisí (Kč/tuna)	112 241	38 576	14 382	2 349 979	n/a
omezený provoz: množství emisí (g)	96 683,72	2 399,56	833,14	25 165,16	n/a
omezený provoz: množství emisí (tuna)	0,0967	0,0024	0,0008	0,0252	n/a
omezený provoz: náklady emisí (Kč/den)	10 852	93	12	59 138	70 094
standardní provoz: množství emisí (g)	143 649,73	3 312,64	1 190,35	35 001,20	n/a
standardní provoz: množství emisí (tuna)	0,1436	0,0033	0,0012	0,0350	n/a
standardní provoz: náklady emisí (Kč/den)	16 123	128	17	82 252	98 520

Tabulka 16: Náklady jednotlivých typů emisí v rámci jednoho dne, obou směrů provozu a jednoho kilometru analyzovaného dálničního úseku během rekonstrukčního projektu (za omezení provozu) a v rámci provozu standardního.

Z výsledků ohodnocení emisí jednoznačně vyplývá, že náklady emisí jsou během rekonstrukčního projektu výrazně nižší (o 29 %) oproti situaci standardního provozu bez dopravních omezení.

$$UN_e = NE_{op} - NE_{sp} \quad (11)$$

$$UN_e = 70\,094 - 98\,520$$

$$UN_e = -28\,426 \text{ Kč/den/kilometr}$$

Celkové uživatelské náklady dopravních emisí veškeré dopravy (osobní i nákladní) v rámci rekonstrukčního projektu tedy dosahují negativních hodnot. V rámci zkoumaného kilometrového úseku se za celých 216 dní trvání projektu jedná o - **6 140 095 Kč**.

Lze tedy konstatovat, že snížení maximální povolené rychlosti ze 130 na 80 km/h za současného zachování množství jízdnic pruhů, a tedy relativní průchodnosti úseku bude mít v rámci trvání projektu efekt na množství dopravních emisí pozitivní, neboť povede k jejich snížení. Tento závěr mimo jiné plně souzní s výsledky měření holandské studie se všeříkajícím názvem *Why slower is better* [113], jejímž závěrem je, že snížení rychlosti shodou okolností právě na 80 km/h představuje co se týče množství vznikajících emisí optimum.

10.2.4 Stanovení celkových uživatelských nákladů

Celkové uživatelské náklady projektu rekonstrukce mostu D1-035 získáme součtem všech jejich výše vyčíslených typů, tj. **uživatelských nákladů zpoždění** (veškerých cest osobních vozidel (pracovní i nepracovní cesty), pasažérů prostředků hromadné veřejné dopravy (opět za účelem soukromým i pracovním) i nákladních vozidel), **uživatelských**

nákladů dopravních nehod (dle závažnosti následků nehody, tj. pouze se škodou na majetku, s lehkým zraněním, s těžkým zraněním jejích účastníků, či s úmrtím některého z účastníků nehody) a **uživatelských nákladů emisí** pracovní zóny, jež jsou ve výsledku negativní (neboť pro uživatele představují pro snížení rychlosti a z toho plynoucí nižší objem škodlivin jev pozitivní).

$$UN = UN_z + UN_{dn} + UN_e \quad (12)$$

$$UN_z = 34\,483\,868 + 32\,283\,638 - 6\,140\,095$$

$$UN_z = 60\,627\,411 \text{ Kč}$$

Hodnotu uživatelských nákladů vzniklých z důsledku uskutečnění rekonstrukčního projektu nesených všemi uživateli dopravní sítě v rámci kilometrového úseku dopravně-inženýrských opatření lze souhrnně za celou dobu trvání projektu odhadnout na **60,6 milionů korun**.

10.3 Náklady alternativní varianty

Pro porovnání ekonomické výhodnosti varianty rekonstrukce mostu D1-035 - ač jde vlastně v rámci této rekonstrukce o výstavbu mostu zcela nového (vyjma částečného využití původního založení) - realizované společností SMP CZ a varianty hypotetické alternativní, při které by byl objekt zhotoven prefabrikačním přístupem a aplikací principů metody ABC (tj. metody zrychlené mostní výstavby je třeba pro obě varianty disponovat těmito daty: stavebními náklady, uživatelskými náklady a délkou trvání.



Obr. 27: Montáž bednění pilíře pravého mostu (vlevo) a dokončený pilíř levého mostu (vpravo) v rámci rekonstrukce mostu D1-035.

Náklady varianty realizované společnostmi SMP CZ, tedy standardním postupem, kdy je většina struktur zhotovena na místě (tj. in-situ metodou), byly celkově 126,7 milionů Kč vč. DPH za výstavbu, náklady uživatelské dosáhly pro soukromé i podnikatelské uživatele dopravní sítě za dobu 216 dní rekonstrukce celkově 60,6 milionů Kč. Celkové náklady projektu tedy byly 187,3 mil. Kč.

Pro stanovení nákladů varianty hypotetické bylo využito zejména diplomové práce pod vedením a kontrolou autora disertace [70], v jejímž rámci byla provedena přesná kalkulace nákladů prefabrikovaného mostního pilíře a porovnána s kalkulací designově identického pilíře zhotoveného metodou in-situ, tedy betonáže na místě určení. Toto porovnání je pro tento účel vhodné, neboť na projektu mostu D1-035 se co se týče betonáže in-situ jednalo taktéž zejména o mostní pilíře (viz Obr. 27 výše). Mostovka pak byla zhotovena z prefabrikovaných předepjatých nosníků a spřažené desky (tzn z prefabrikované oceli s následnou betonáží in-situ). Výsledkem výše zmíněné kalkulace byla dle očekávání vyšší nákladnost prefabrikovaného pilíře vůči pilíři zhotovenému na místě (+18,7 %), avšak násobně vyšší rychlost zhotovení (dva dny oproti jedenácti, tedy 5,5x). Vyjma způsobu zhotovení pilířů mostu se obě varianty jinak významně neliší. Za předpokladu, že pilíře představují ve standardním mostním projektu cca 22 % doby výstavby (dle harmonogramu stavby obdobného typu a velikosti [114]) a stejně tak i podíl na nákladech projektu (jedná se o odhad za předpokladu rovnoměrného rozložení nákladů v průběhu projektu) lze náklady alternativní varianty odhadnout následovně: stavební náklady 131,9 milionů Kč, uživatelské náklady: 49,7 milionu Kč, doba trvání: 177 dní.

	doba výstavby (dní)	stavební náklady (mil. Kč)	uživatelské náklady (mil. Kč)	celkem (mil. Kč)
realizovaná varianta	216	126,7	60,6	187,3
alternativní varianta	177	131,9	49,7	181,6

Tabulka 17: Porovnání nákladů realizované (in-situ pilíře) a hypotetické varianty (prefabrikované pilíře).

10.4 Vyhodnocení případové studie 5

Výsledky porovnání ekonomické výhodnosti obou variant tedy hovoří pro variantu **alternativní**, její celkové náklady (stavební a uživatelské) jsou o 3 % nižší. Rozdíl 5,7 milionu korun není příliš výrazný, neboť se obě porovnávané varianty liší pouze způsobem zhotovení mostních pilířů, tedy relativně malým podílem projektu (uvažovaných 22 %). Zároveň se nejednalo pouze o prefabrikaci částečnou, ale také jednorázovou. Tento projekt je tedy unikátní a prefabrikované dílce nákladnější. Dle vyjádření ředitele společnosti Prefa Technologies a.s. J.Bartla [115] je přitom životnost kvalitních ocelových prefabrikačních forem při dodržení řádné péče a údržby v továrních podmínkách v řádu tisíců opakování. Například náklady ve výši 600 tisíc Kč za jednu formu pak při vysokém počtu opakování představují malou položku (např. při stonásobném cyklu se jedná o 6 tisíc Kč / pilíř).

Lze tedy předpokládat, že při dostatečné míře standardizovaných projektů má prefabrikační postup při využití zásad metody zrychlené mostní výstavby (ABC) potenciál výstavbu dálničních mostů nejen zrychlit, což bylo v rámci této kapitoly prokázáno, avšak také zlevnit a zvýšit trvanlivost díla (viz kapitola 8 Prefabrikované mostní konstrukce o kvalitě propařovaného betonu připraveného v panelárně versus ošetřovaném in-situ).

11. PŘÍPADOVÁ STUDIE 6 - EKONOMICKÉ ASPEKTY **REKONSTRUKCE VOZOVKY ÚSEKU 05 DÁLNICE D1 –** **CEMENTOBETONOVÝ VERSUS PREFABRIKOVANÝ KRYT**

Tato případová studie analyzuje náklady rekonstrukce dálničního úseku 05 v rámci projektu modernizace dálnice D1 provedeného v období 05/2013 až 11/2014 (457 dní). Konkrétně porovnává:

- vynaložené náklady na samotnou rekonstrukci (tj. náklady výstavby), která byla jako celý projekt modernizace D1 provedena obnovou cementobetonového krytu (podrobně viz následující odstavec),
- rekonstrukcí vyvolané uživatelské náklady,
- hypotetické náklady rekonstrukce při použití prefabrikační metody,
- hypotetické uživatelské náklady při provedení rekonstrukce úseku prefabrikační metodou.

Úsek 05 dálnice D1, exit 41 Šternov - exit 49 Psáře byl modernizován v rámci první etapy celkové modernizace. Během modernizace byla upravena kategorie dálnice z D26,5/120 na D28/120 rozšířením zpevněné krajnice o 0,75 m na vnější straně. [116] Úsek zahrnuje 7,25 km vozovky včetně pěti mostů, mimoúrovňovou křižovatku Psáře a dva nadezdy nad dálnicí, které byly zcela přestavěny [117]. Modernizace cementobetonového krytu byla provedena včetně obnovy podkladních vrstev vozovky. Součástí modernizace byla také obnova dopravního značení, kanalizačního systému včetně výústních objektů a obnova elektroinstalace a telematických zařízení (SOS hlásky, automatické sčítání teploty, metostanice). Během stavebních prací byl poprvé použit systém vedení dopravy v režimu 2+2 v jednom jízdním pásu s použitím mobilních betonových svodidel [116]. Celkové náklady projektu (úseku 05) byly dle kontroly NKÚ 596,6 mil. Kč bez DPH (720 mil Kč vč. DPH), z toho náklady stavební 545,5 mil. Kč. bez DPH [22].

11.1 Stanovení uživatelských nákladů realizované varianty

Způsob stanovení uživatelských nákladů je totožný s předchozí případovou studií rekonstrukce dálničního mostu D1-035. Každý početní úkon či prvek tedy není znovu vysvětlen na stejné úrovni podrobnosti.

11.1.1 Stanovení uživatelských nákladů zpoždění

Hodnoty potřebné pro stanovení objemu zpoždění pro jednotlivé druhy vozidel:

- roční průměr denních intenzit dopravy (všechny dny roku, oba směry provozu, tzv. RPDI) ve sčítacím úseku 1-8060; hodnoty použité pro výpočet byly odhadnuty z časově nejbližších dostupných dat - ze sčítání dopravy provedených MD ČR v roce

2010 [118] a 2016 [98] - za předpokladu lineárního vývoje objemu dopravy mezi oběma měřeními; pro analyzované období trvání projektu (5/2013-11/2014) [22] byl použit vážený průměr dle délky trvání projektu v jednotlivých letech (8 měsíců roku 2013 ku 11 měsícům v roce 2014):

	2010	2013	2014	2016	5/2013-11/2014
osobní automobily	27 259	30 169	31 139	32 109	30 731
autobusy	382	405	413	421	410
nákladní automobily	9 306	10 729	11 203	11 677	11 003

Tabulka 18: Data intenzity dopravy v úseku projektu rekonstrukce úseku 05 dálnice D1 v Ministerstvem dopravy měřených letech 2010 [118] a 2016 [98] a z nich interpolované hodnoty pro období trvání projektu mezi 5/2013 a 10/2014

- kapacita jízdního pruhu: 900 při rychlosti 80 km/h [101];
- jednotka osobního vozu, resp. ekvivalent osobního vozu (PCU) - osobní vozy: 1 PCU, autobusy a nákladní vozy: 3 PCU [85];
- koeficient intenzity dopravy (K_i) vyjadřující rozdílné rozložení hustoty provozu během jednotlivých hodin dne dle technických podmínek Ministerstva dopravy [100]: viz Tabulka 19 níže;
- **intenzita dopravy** (I_d) jednoho směru dopravního toku pro konkrétní hodinu [99]:

$$I_d = ((RPDI_{ov} + RPDI_a * PCU + RPDI_{nv} * PCU) * K_i * 0,01) / 2 \quad (1)$$

kde:

$RPDI_{ov/a/nv}$ - roční průměr denních intenzit dopravy os.vozidel / autobusů / nákl.vozidel,

PCU - jednotka osobního vozu,

K_i - koeficient intenzity dopravy.

časový úsek	koeficient intenzity provozu K_i	intenzita dopravy (voz/hod)	naplnění kapacity směru	rychlost vozidel v pracovní zóně (km/h)	doba zpoždění v pracovní zóně (s)	rychlost vozidel za standard. provozu (km/h)	doba zpoždění za standard. provozu (s)
0-1	0,93	302	17 %	80,0	13,9	130	0,0
1-2	0,73	237	13 %	80,0	13,9	130	0,0
2-3	0,69	224	12 %	80,0	13,9	130	0,0
3-4	0,79	257	14 %	80,0	13,9	130	0,0
4-5	1,15	374	21 %	80,0	13,9	130	0,0
5-6	2,45	796	44 %	80,0	13,9	130	0,0
6-7	5,06	1 644	91 %	80,0	13,9	130,0	0,0
7-8	6,72	2 183	121 %	66,0	17,8	107,2	6,3

8-9	7,05	2 290	127 %	62,9	18,6	102,2	7,7
9-10	6,25	2 030	113 %	70,9	16,4	115,3	4,1
10-11	5,65	1 835	102 %	78,5	14,3	127,5	0,7
11-12	5,6	1 819	101 %	79,2	14,1	128,6	0,4
12-13	5,71	1 855	103 %	77,6	14,5	126,2	1,1
13-14	5,98	1 943	108 %	74,1	15,5	120,5	2,7
14-15	6,38	2 073	115 %	69,5	16,8	112,9	4,7
15-16	6,77	2 199	122 %	65,5	17,9	106,4	6,6
16-17	6,92	2 248	125 %	64,1	18,3	104,1	7,2
17-18	6,6	2 144	119 %	67,2	17,5	109,1	5,8
18-19	5,67	1 842	102 %	78,2	14,4	127,0	0,8
19-20	4,35	1 413	79 %	80,0	13,9	130	0,0
20-21	3,16	1 027	57 %	80,0	13,9	130	0,0
21-22	2,35	763	42 %	80,0	13,9	130	0,0
22-23	1,77	575	32 %	80,0	13,9	130	0,0
23-24	1,31	426	24 %	80,0	13,9	130	0,0

Tabulka 19: Rozložení intenzity dopravy analyzované pracovní oblasti s jeho rozložením v rámci dne, včetně míry naplnění kapacity jednoho jízdniho směru a tím ovlivněné rychlosti dopravy; v rámci existence dopravních omezení i mimo něj a v těchto dvou situacích nastalá zpoždění na 1 km trasy jednoho směru.

Následující početní krok pracuje s tzv. zpožděním v důsledku omezení provozu, jež je rozdílem mezi zpožděním dopravy během projektu a za standardních podmínek (tedy mimo harmonogram projektu) a stanovuje jej pro všechny typy sledovaných vozidel.

časový úsek	doba zpoždění v důsledku omezení provozu (s)	počet osobních vozidel Z_{ov}	celkové zpoždění osobních vozidel (h)	počet autobusů Z_a	celkové zpoždění autobusů (h)	počet nákladních vozidel Z_{nv}	celkové zpoždění nákladních vozidel (h)
0-1	13,9	143	0,55	2	0,007	51	0,20
1-2	13,9	112	0,43	1	0,006	40	0,15
2-3	13,9	106	0,41	1	0,005	38	0,15
3-4	13,9	121	0,47	2	0,006	43	0,17
4-5	13,9	176	0,68	3	0,009	63	0,24
5-6	13,9	376	1,45	5	0,019	135	0,52
6-7	13,9	777	3,00	10	0,040	279	1,07
7-8	11,5	1 033	3,29	14	0,044	369	1,18
8-9	10,9	1 083	3,29	14	0,044	388	1,18
9-10	12,3	960	3,29	13	0,044	344	1,18
10-11	13,6	868	3,29	12	0,044	311	1,17
11-12	13,8	860	3,29	11	0,044	309	1,18
12-13	13,5	877	3,29	12	0,044	314	1,18

13-14	12,9	919	3,29	12	0,044	329	1,17
14-15	12,1	980	3,29	13	0,044	351	1,17
15-16	11,4	1 040	3,29	14	0,044	372	1,18
16-17	11,1	1 063	3,29	14	0,044	380	1,18
17-18	11,7	1 014	3,29	13	0,044	363	1,18
18-19	13,6	871	3,29	12	0,044	312	1,17
19-20	13,9	668	2,58	9	0,034	239	0,91
20-21	13,9	485	1,87	6	0,025	174	0,66
21-22	13,9	361	1,39	5	0,019	129	0,50
22-23	13,9	272	1,05	4	0,014	97	0,38
23-24	13,9	201	0,78	3	0,010	72	0,28
celkem / 24 hod	315,0	15 366	54,10	205	0,72	5 502	19,35

Tabulka 20: Celkové průměrné zpoždění jednotlivých druhů vozidel při průjezdu pracovní oblastí v jednom směru v rámci jednoho dne.

Na základě zjištěných dob zpoždění sledovaných typů dopravních prostředků lze pomocí obecně stanovených hodnot pro průměrnou obsazenost osobního vozu (1,9 osoby/vozidlo), průměrné obsazenosti autobusu (39 osob/vozidlo), průměrného naložení nákladního automobilu (12 tun) [104], poměr pracovních a nepracovních cest 71:29 (dle MD ČR [104] a výzkumu UK [84]), lze stanovit následující druhy zpoždění, resp. z něho plynoucích uživatelských nákladů.

Uživatelské náklady zpoždění osobních vozidel (UN_{ov}) - pracovní a nepracovní cesty:

$$UN_{ov} = Z_{ov} * O_{ov} * (H_{nc} * P_{nc} + H_{pc} * P_{pc}) \quad (2)$$

$$UN_{ov} = 108,2 * 1,9 * (248 * 0,71 + 447 * 0,29)$$

$$UN_{ov} = 62\,848 \text{ Kč/den}$$

kde:

Z_{ov} - celkové zpoždění os. vozidel v obou směrech za 24 hod (h),

O_{ov} - průměrná obsazenost vozidla (os./voz.),

H_{nc} - hodnota cestovního času nepracovní cesty os. vozidlem (Kč/os./h),

H_{pc} - hodnota cestovního času pracovní cesty os. vozidlem (Kč/os./h),

P_{nc} - podíl nepracovních cest (%),

P_{pc} - podíl pracovních cest (%).

Uživatelské náklady zpoždění cesty autobusem (UN_a):

$$UN_a = Z_a * O_a * (H_{nc} * P_{nc} + H_{pc} * P_p) \quad (3)$$

$$UN_a = 1,44 * 39 * (86 * 0,71 + 159 * 0,29)$$

$$UN_a = 6\,019 \text{ Kč/den}$$

kde:

Z_a - celkové zpoždění autobusů v obou směrech za 24 hod (h),

O_a - průměrná obsazenost vozidla (os./voz.),

H_{nc} - hodnota cestovního času nepracovní cesty autobusem (Kč/os./h),

H_{pc} - hodnota cestovního času pracovní cesty autobusem (Kč/os./h)

P_{nc} - podíl nepracovních cest (%),

P_{pc} - podíl pracovních cest (%).

Uživatelské náklady zpoždění nákladních vozidel (UN_{nv}):

$$UN_{nv} = Z_{nv} * N_a * H_{nv} \quad (4)$$

$$UN_{nv} = 38,7 * 12 * 191$$

$$UN_{nv} = 88\,700 \text{ Kč/den}$$

kde:

Z_a - celkové zpoždění nákladních vozidel v obou směrech za 24 hod (h),

N_a - průměrné naložení nákladního vozidla,

H_{nv} - hodnota přepravovaného zboží (Kč/t/h).

Celkové uživatelské náklady zpoždění (UN_z):

$$UN_z = UN_{ov} + UN_a + UN_{nv} \quad (5)$$

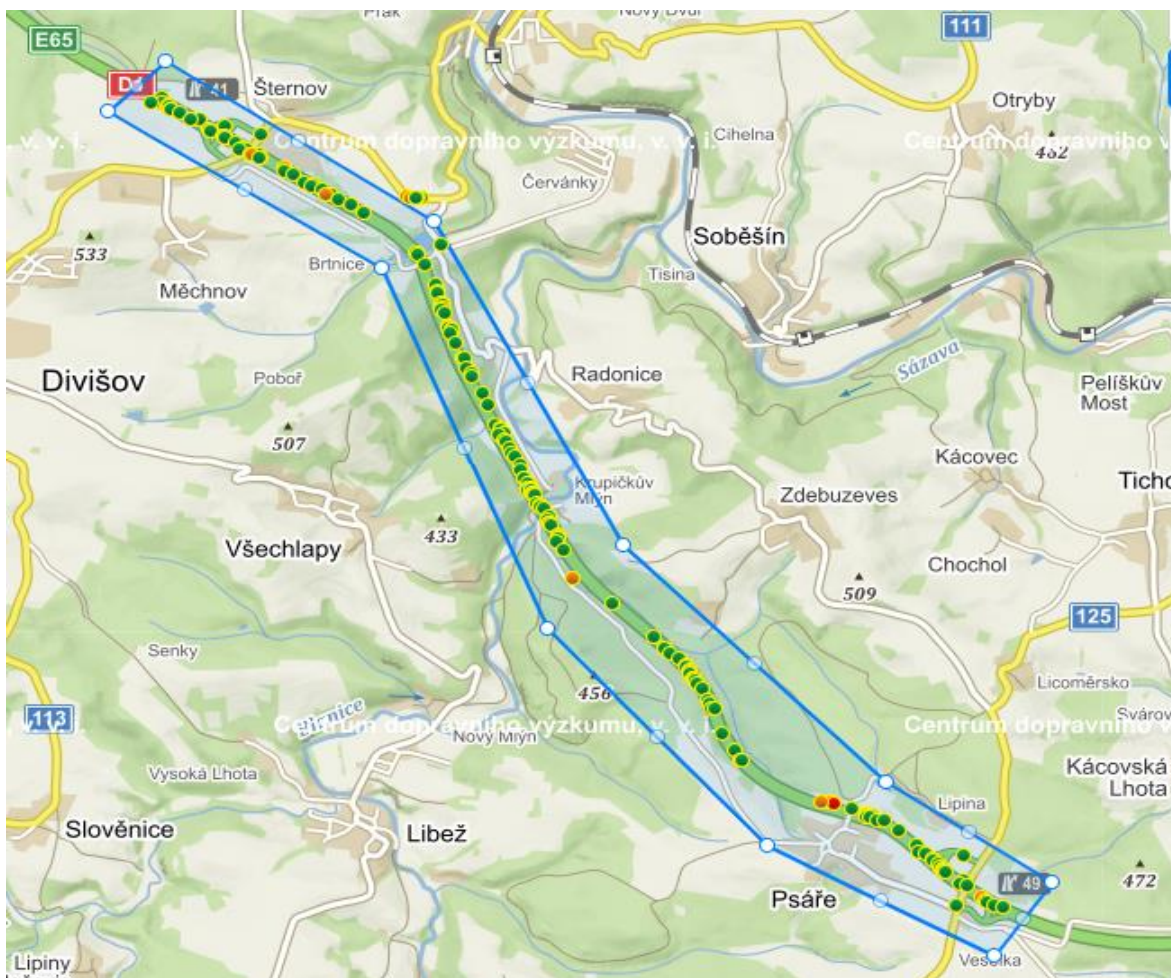
$$UN_z = 62\,848 + 6\,019 + 88\,700$$

$$UN_z = 157\,567 \text{ Kč/den/km}$$

Celkové uživatelské náklady zpoždění veškerých cest osobních vozidel (pracovní i nepracovní cesty), pasažérů prostředků hromadné veřejné dopravy (opět za účelem soukromým i pracovním) i nákladních vozidel činilo téměř 158 tisíc korun na den a kilometr. Za celou dobu trvání projektu a v celé jeho délce pak jde o částku **522 058 628 Kč**, tedy přes půl miliardy a dvacet dva milionů korun.

11.1.2 Stanovení uživatelských nákladů dopravních nehod

Díky výborné dostupnosti dat shromažďovaných Centrem dopravního výzkumu (organizací MD ČR) ve spolupráci s Policií ČR lze u odhadu uživatelských nákladů dopravních nehod dosáhnout relativně vysoké přesnosti – viz možnost přesné filtrace dat stanovením požadované oblasti (polygonu) a časového úseku v Obr. 28 níže.



Obr. 28: Nehodovost úseku 05 ve sledovaném období modernizace 5/2013–11/2014 (nehody těžké červeně, lehké oranžově, bez zranění zeleně). Zdroj: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. [105]

Každá událost je zaevidována a dle závažnosti kategorizována dopravní policií a jediný prvek nepřesnosti tedy do stanovení uživatelských nákladů vnáší element nehod nenahlášených, jež je řešen na jiných statistických hodnotách založeným korekčním koeficientem nenahlášených nehod (Tabulka 21).

kategorie nehody	počet evidovaných nehod	korekční koeficient nenahlášených nehod	výsledný počet evidovaných + nenahlášených nehod
nehoda jen s hmotnou škodou	187	6	1122
nehoda s lehkým zraněním	21	3	63
nehoda s těžkým zraněním	7	1,5	10,5
nehoda s úmrtím	0	1,02	0

Tabulka 21: Počet nehod ve sledovaném úseku/období, upravený korekčními koeficienty pro jednotlivé kategorie nenahlášených nehod. Ve sledovaném úseku/období nedošlo k žádné smrtelné nehodě. Zdroj: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. [105] a HEATCO [85]

Při znalosti množství nehod analyzované oblasti je dalším krokem zjištění míry provozu, v jehož rámci se tyto události staly, respektive množství najetých kilometrů a míry nehodovosti jednotlivých kategorií nehod.

Množství najetých kilometrů (NKM):

$$NKM = L * T * RPDI \quad (6)$$

$$NKM = 7,25 * 1,583 * 37\,054 * 365$$

$$NKM = 155\,252\,368 \text{ km}$$

$$NKM = 155,25 \text{ milionu km}$$

kde:

L - délka sledovaného úseku komunikace (km)

T - sledovaný časový úsek (let)

RPDI - roční průměr denních intenzit dopravy

Míra nehodovosti (MN) [7]:

$$MN = \frac{A * 10^6}{T * L * RPDI * 365} \quad (7)$$

kde:

RPDI - roční průměr denních intenzit dopravy

A - průměrný počet nehod sledovaného úseku

T - sledovaný časový úsek (let)

L - délka sledovaného úseku komunikace (km)

Míra nehodovosti s těžkým zraněním osob (MN_{tz}):

$$MN_{tz} = \frac{10,5 * 10^6}{1,583 * 7,25 * 37\,054 * 365}$$

$$MN_{tz} = 0,0677 \text{ nehod / million ujetých km}$$

Míra nehodovosti s lehkým zraněním osob (MN_{lz}):

$$MN_{lz} = \frac{63 * 10^6}{1,583 * 7,25 * 37\,054 * 365}$$

$$MN_{lz} = 0,406 \text{ nehod / milion ujetých km}$$

Míra nehodovosti **pouze s hmotnou škodou** ($MN_{hš}$):

$$MN_{hš} = \frac{1122 * 10^6}{1,583 * 7,25 * 37\,054 * 365}$$

$$MN_{hš} = 7,229 \text{ nehod / milion ujetých km}$$

Na základě znalosti veškerých potřebných hodnot, tj. délky trasy (množství najetých kilometrů), četnosti události (míry nehodovosti) a finanční výši škod (jednotkové náklady následků – viz Tabulka 11 v předchozí kapitole) lze stanovit uživatelské náklady pro jednotlivé kategorie nehod dle jejich závažnosti).

Uživatelské náklady dopravních nehod [85]:

$$UN_{tz} = MN_{tz} * JN_{tz} * NKM \quad (8)$$

Kde:

MN_{tz} – míra nehodovosti (nehod / milion ujetých km)

JN_{tz} – jednotkové náklady následků dopravních nehod (Kč)

NKM – množství najetých kilometrů (milionů km)

Uživatelské náklady dopravních nehod **s těžkým zraněním** (UN_{tz}) [85]:

$$UN_{tz} = MN_{tz} * JN_{tz} * NKM$$

$$UN_{tz} = 0,0677 * 5\,824\,779 * 155,25$$

$$UN_{tz} = 61\,220\,903 \text{ Kč}$$

Kde:

MN_{tz} - míra nehodovosti s těžkým zraněním osob (nehod / milion ujetých km)

JN_{tz} - jednotkové náklady následků dopravních nehod s těžkým zraněním (Kč)

NKM - množství najetých kilometrů (milionů km)

Uživatelské náklady dopravních nehod **s lehkým zraněním** (UN_{lz}):

$$UN_{lz} = MN_{lz} * JN_{lz} * NKM$$

$$UN_{lz} = 0,406 * 423\,367 * 155,25$$

$$UN_{lz} = 26\,685\,457 \text{ Kč}$$

Kde:

MN_{lz} - míra nehodovosti s lehkým zraněním osob (nehod / milion ujetých km)

JN_{lz} - jednotkové náklady následků dopravních nehod s lehkým zraněním (Kč)

Uživatelské náklady dopravních nehod bez zranění, pouze **se hmotnou škodou** na majetku zúčastněných (UN_{tz}):

$$UN_{hš} = MN_{hš} * JN_{hš} * NKM$$

$$UN_{hš} = 7,229 * 58\,709 * 155,25$$

$$UN_{hš} = 65\,889\,243 \text{ Kč}$$

Kde:

MN_{tz} - míra nehodovosti pouze s hmotnou škodou (nehod / milion ujetých km)

JN_{tz} - jednotkové náklady následků dopravních nehod s hmotnou škodou (Kč)

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod (UN_{dn}) [85]:

$$UN_{dn} = UN_{tz} + UN_{tz} + UN_{hš} \tag{9}$$

$$UN_{dn} = 61\,220\,903 + 26\,685\,457 + 65\,889\,243$$

$$UN_{dn} = 153\,795\,603 \text{ Kč}$$

Celkové uživatelské náklady dopravních nehod všech účastníků provozu lze tedy v rámci modernizace celého úseku D1-05 a celé doby trvání rekonstrukčního projektu odhadnout na téměř **154 milionů korun**.

11.1.3 Stanovení uživatelských nákladů dopravních emisí

Sčítání dopravy provedené MD ČR v letech 2010 a 2016 a z nich odvozená data (viz podkapitola 11.1.1) pro dobu konání modernizace úseku 05 v roce 2013 a 2014 umožňují relativně přesný odhad intenzity provozu následně taktéž odhad uživatelských nákladů dopravních emisí. Celkové uživatelské náklady dopravních emisí pro konkrétní projekt či sledovaný úsek dopravní komunikace jsou vždy rozdílem emisních nákladů při projektu (tzn. při dopravních omezeních) a emisními náklady před jeho započítáním (resp. při stavbou neomezeném provozu).

Tabulka 22 níže zobrazuje emisní hodnoty jednotlivých typů vozidel v závislosti na jejich rychlosti průjezdu pracovní zónou (rychlosti vozidel byly stanoveny v rámci výpočtu uživatelských nákladů zpoždění v podkapitole 10.3.1).

rychlost km/h	emise osobních vozidel (g/km/voz)				emise nákl. vozidel a autobusů (g/km/voz)			
	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC
50	0,53	0,02	0,00	0,50	6,39	0,19	0,07	1,08
55	0,52	0,02	0,00	0,47	6,26	0,17	0,07	1,01
60	0,51	0,02	0,00	0,46	6,3	0,16	0,07	0,98

65	0,50	0,02	0,00	0,45	6,33	0,16	0,07	0,95
70	0,50	0,02	0,00	0,44	6,58	0,14	0,07	0,91
75	0,51	0,02	0,00	0,43	7,02	0,14	0,07	0,89
80	0,51	0,02	0,00	0,43	7,05	0,14	0,07	0,88
118,6*	0,76	0,03	0	0,64	10,45	0,21	0,10	1,31
130	0,83	0,03	0,00	0,70	11,46	0,23	0,11	1,43

Tabulka 22: Množství emisí v závislosti na rychlosti a typu vozidel. [7]

*118,6 km/h je hodnota průměrné rychlosti provozu v rámci analyzovaného úseku/období za standardních podmínek (tj. při maximální povolené rychlosti 130 km/h, bez dopravně-inženýrských opatření; zapříčiněná objemem dopravy vyšším než kapacity pruhů mezi 7 a 19 hod; stanovena váženým průměrem dle hustoty a rychlosti provozu v každou konkrétní denní hodinu – viz Tabulka 19 výše.

Znalost intenzity provozu (počet osobních vozidel, nákladních vozidel a autobusů) a jeho rychlost umožňuje odhad množství vygenerovaných emisí. Tabulky 23 a 24 sumarizují hodnoty emisí pro obě kategorie vozidel v rámci jednoho v rámci pracovní zóny; Tabulka 25 níže pak během podmínek standardního provozu.

časový úsek	počet osobních vozidel	rychlost vozidel (km/h)	počet os. vozidel x emise os. vozidel (g/km)			
			NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC
0-1	143	80	72,93	2,86	0,00	61,49
1-2	112	80	57,12	2,24	0,00	48,16
2-3	106	80	54,06	2,12	0,00	45,58
3-4	121	80	61,71	2,42	0,00	52,03
4-5	176	80	89,76	3,52	0,00	75,68
5-6	376	80	191,76	7,52	0,00	161,68
6-7	777	80	396,27	15,54	0,00	334,11
7-8	1 033	66	516,50	20,66	0,00	464,85
8-9	1 083	62,9	541,50	21,66	0,00	487,35
9-10	960	70,9	480,00	19,20	0,00	422,40
10-11	868	78,5	442,68	17,36	0,00	373,24
11-12	860	79,2	438,60	17,20	0,00	369,80
12-13	877	77,6	447,27	17,54	0,00	377,11
13-14	919	74,1	468,69	18,38	0,00	395,17
14-15	980	69,5	490,00	19,60	0,00	431,20
15-16	1 040	65,5	520,00	20,80	0,00	468,00
16-17	1 063	64,1	531,50	21,26	0,00	478,35
17-18	1 014	67,2	507,00	20,28	0,00	456,30
18-19	871	78,2	444,21	17,42	0,00	374,53

19-20	668	80	340,68	13,36	0,00	287,24
20-21	485	80	247,35	9,70	0,00	208,55
21-22	361	80	184,11	7,22	0,00	155,23
22-23	272	80	138,72	5,44	0,00	116,96
23-24	201	80	102,51	4,02	0,00	86,43
celkem / 24 hod	15 366	n/a	7 764,93	307,32	0,00	6 731,44

Tabulka 23: Celkové množství emisí (g) osobních vozidel v rámci jednoho dne, směru a kilometru pracovní zóny.

časový úsek	počet nákladních vozidel + autobusů	rychlost vozidel (km/h)	počet nákl. vozidel + autobusů x emise nákl. vozidel + autobusů (g/km)			
			NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC
0-1	53	80	373,75	53,15	3,71	46,65
1-2	42	80	293,38	41,75	2,91	36,62
2-3	39	80	277,30	39,47	2,75	34,61
3-4	45	80	317,49	45,17	3,15	39,63
4-5	66	80	462,17	65,70	4,59	57,69
5-6	140	80	984,62	139,80	9,78	122,90
6-7	288	80	2 033,54	288,59	20,19	253,83
7-8	383	66	2 424,86	61,29	26,82	363,92
8-9	402	62,9	2 543,93	64,30	28,13	381,79
9-10	356	70,9	2 344,33	49,88	24,94	324,22
10-11	322	78,5	2 266,96	321,69	22,51	282,97
11-12	319	79,2	2 250,56	319,37	22,35	280,92
12-13	325	77,6	2 294,76	325,64	22,78	286,44
13-14	340	74,1	2 388,41	47,63	23,82	302,80
14-15	363	69,5	2 388,85	50,83	25,41	330,37
15-16	386	65,5	2 442,90	61,75	27,01	366,63
16-17	394	64,1	2 497,02	63,12	27,61	374,75
17-18	376	67,2	2 381,55	60,20	26,34	357,42
18-19	323	78,2	2 278,69	323,36	22,63	284,43
19-20	248	80	1 748,20	248,11	17,36	218,22
20-21	180	80	1 269,96	180,28	12,61	158,52
21-22	134	80	944,43	134,10	9,38	117,89
22-23	101	80	711,34	101,04	7,06	88,79
23-24	75	80	526,47	74,82	5,23	65,72
celkem / 24 hod	5 701	n/a	38 445,47	3 161,04	399,07	5 177,73

Tabulka 24: Celkové množství emisí (g) nákladních vozidel a autobusů v rámci jednoho dne, směru a kilometru pracovní zóny.

	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NMVOC
emise osobních vozidel (g/den)	23 235,70	911,20	0,00	19 590,88
emise nákladních vozidel a autobusů (g/den)	119 169,43	2 366,49	1 183,24	14 875,05
celkem (g/den)	142 405,13	3 277,69	1 183,24	34 465,93

Tabulka 25: Celkové množství emisí všech typů vozidel při podmínkách standardního provozu (při průměrné rychlosti provozu 118,6 km/h) v rámci jednoho dne, jednoho kilometru a obou směrů pracovní zóny.

Při znalosti množství emisí generovaných veškerou dopravou při dopravních omezeních i během standardního provozu (tj. bez DIO) během jednoho dne a kilometru sledovaného úseku, je při znalosti nákladů těchto emisí [85] možné odhadnout i jejich celkovou peněžitou hodnotu – viz následující Tabulka 26.

	Nox	PM ₁₀	SO _x	NMVOC	celkem Kč
peněžitá hodnota dopravních emisí (Kč/tuna)	112 241	38 576	14 382	2 349 979	n/a
množství emisí za omezeného provozu (g)	92 420,79	6 936,71	798,13	23 818,34	n/a
množství emisí za omezeného provozu (tuna)	0,0924	0,0069	0,0008	0,0238	n/a
náklady emisí za omezeného provozu (Kč/den)	10 373	268	11	55 973	66 625
množství emisí za standardního provozu (g)	142405,13	3 277,69	1 183,24	34 465,93	n/a
množství emisí za standardního provozu (tuna)	0,1424	0,0033	0,0012	0,0345	n/a
náklady emisí za standardního provozu (Kč/den)	15 984	126	17	80 994	97 121

Tabulka 26: Náklady jednotlivých typů emisí vzniklé v rámci jednoho dne, jednoho kilometru, v obou směrech provozu analyzovaného dálničního úseku během rekonstrukčního projektu (za omezení provozu) a v rámci provozu standardního.

Stejně jako v případě předchozí případové studie z výše provedených vyhodnocení vyplývá, že náklady emisí jsou během rekonstrukčního projektu výrazně nižší (o 31 %) ve srovnání s podmínkami standardního provozu bez dopravních omezení.

$$UN_e = NE_{op} - NE_{sp} \quad (11)$$

$$UN_e = 66 625 - 97 121$$

$$UN_e = - 30 496 \text{ Kč/den/kilometr}$$

Celkové uživatelské náklady dopravních emisí veškeré dopravy (osobní i nákladní) v rámci modernizačního projektu dálnice D1 úseku 05 tedy dosahují negativních hodnot.

V rámci celé jeho délky (7,25 km) a celé doby trvání projektu (resp. dopr. omezení) 457 dní jedná o částku **-101 041 849 Kč**.

11.1.4 Stanovení celkových uživatelských nákladů

Celkové uživatelské náklady, tj. **náklady zpoždění** (veškerých cest osobních vozidel (pracovní i nepracovní cesty), pasažérů prostředků hromadné veřejné dopravy (opět za účelem soukromým i pracovním) i nákladních vozidel), **náklady dopravních nehod** (dle závažnosti následků nehody, tj. pouze se škodou na majetku, s lehkým zraněním, s těžkým zraněním jejích účastníků, či s úmrtím některého z účastníků nehody) a **náklady emisí** pracovní zóny, jež jsou ve výsledku negativní (neboť pro uživatele představují pro snížení rychlosti a z toho plynoucí nižší objem škodlivin jev pozitivní) byly stanoveny následujícím:

$$UN = UN_z + UN_{dn} + UN_e \quad (12)$$

$$UN_z = 522\,058\,628 + 153\,795\,603 - 101\,041\,849$$

$$UN_z = 574\,812\,382 \text{ Kč}$$

Hodnotu uživatelských nákladů vzniklých z důsledku uskutečnění projektu modernizace úseku 05 dálnice D1 v období od května 2013 do konce listopadu 2014 (vyjma zimní přestávky, kdy nebyl provoz omezen) nesenou všemi uživateli této komunikace tedy lze souhrnně odhadnout na **bezmála 575 milionů korun**.

11.2 Náklady alternativní varianty a vyhodnocení případové studie 6

Při stanovení hypotetických nákladů varianty, při které by modernizace úseku 05 proběhla za využití prefabrikační metody je nejprve třeba odhadnout tempo, za kterého je tento způsob výstavby skutečně aplikován. Při hrubé znalosti nákladů výrobních a v předchozí podkapitole zjištěné hodnotě nákladů uživatelských lze po zjištění rozdílů v rychlostech dokončení modernizace úseku obě varianty provedení porovnat.

Americká federální dálniční agentura v rámci projektu zhodnocení zkušeností s prefabrikovanými panelovými systémy (PCP) v rámci celých Spojených států amerických. Použití PCP vede k úspoře času na instalaci (díky možnosti instalace za téměř každého počasí a teplot nebo v noci mimo provoz) ve srovnání se standardním na místě pokládaným cementobetonovým mixem [64]. Zároveň je také však nutné zmínit, že je technologie zatím využívána téměř výhradně pro projekty rekonstrukční, které vyžadují krátká pracovní okna a rychlou výstavbu, tzn. ne pro výstavbu komunikací nových. Kapacity zhotovitelů plně ovládajících technologii pokládání PCP tvoří z celkového množství stavebních kapacit výstavby silnic a dálnic jen malý podíl, neboť zvládnutí technologie instalace panelových systému není jednoduché a vyžaduje relativně dlouhou dobu k jejímu zvládnutí. Proto jsou pro projekty, kde doba výstavby problémem tak velkým není, stále voleny postupy standardní, tedy betonáže či pokládky asfaltu na místě (v USA v rámci dálnic zcela výjimečně).

Shrneme-li zjištění výše zmíněného výzkumu: všechny dotazované agentury (v rámci jednotlivých států USA) se shodly, že je úspora času využitím PCP veliká. Hlavním údajem vyhodnocení veškeré praxe, co se týče času instalace je zjištění, že při porovnání s prefabrikovanými panelovými systémy je:

- během jedné osmihodinové noční uzavírky je standardem instalace 150 metrů (500 stop), včetně odstranění povrchu původního
- instalace rychlonáběhového vysokopevnostního betonu bude trvat o 5 až 50 % déle;
- pokládka běžného portlandského cementobetonu in-situ vyžaduje uzavírky vozovky na 7 až 10 dní;
- nelze povrch vozovky pokládat za nízkých teplot a deště, ani v případě špatné předpovědi (zatímco PCP za téměř každého počasí ano).

Na základě výše uvedených zkušeností lze však dobu modernizace úseku prefabrikačním způsobem odhadnout pouze opravdu velmi hrubě, jelikož reálně provedená dvě stavební sezóny trvající modernizace taktéž zahrnovala zemní práce (rozšíření náspu) z důvodu rozšíření vozovky o 0,75 m v každém směru. Data ohledně podílu nákladů tohoto rozšíření profilu dálnice na nákladech celkových však nejsou dostupná a přesná porovnatelnost obou způsobů výstavby tak není možná. Přesto, jestliže konzervativním způsobem, tj. s velikou rezervou, odhadneme na základě konzultace se odborníky (soudní znalec Ing. A. Machalíček) dobu trvání zemních prací na čtvrtinu doby trvání projektu (tj. 114 dní), poté již budeme pro zbylý čas projektu (343 dní) moci porovnat rychlosti pokládky oběma diskutovanými způsoby, neboť se bude jednat o práce na stejném šířkovém profilu. Jestliže je jeden tým v rámci jedné směny položit 150 metrů panelového systému jednoho jízdního pruhu, dva takové týmy, každý pracující z jednoho směru úseku, jsou tyto dva týmy schopny zvládnout 6 pruhů (2+2 plus pruh odstavný v každém směru) v rámci 7250 m dlouhého úseku za 145 dní. Celý projekt lze tedy tímto způsobem stihnout během jedné stavební sezóny a celkové uživatelské náklady této varianty pak tedy lze stanovit jako poloviční: 287,4 mil. Kč. Úvahu o pouze dvou týmech pracujících na celém úseku je nutno považovat také za velmi konzervativní, neboť jejich počet není na rozdíl od betonáže in-situ omezen vzácným a nákladným technickým vybavením (finišer) a jediné případné omezení tedy plyne z množství zkušeného personálu zhotovitele.

Co se týče stavebních nákladů realizované varianty, dle vyhodnocení NKÚ dosáhly 720 mil Kč vč. DPH [22]. Uživatelské náklady vzniklé veřejnosti a podnikatelské sféře pak 574,8 mil Kč. Přistoupíme-li k odhadu opět velmi konzervativně a náklady instalace dálničních panelových systémů budeme odhadovat jako dvojnásobné [64] (lze přitom předpokládat, že by v rámci tak velkého projektu, a tedy počtu opakování prefabrikovaných dílců, byly výrazně nižší).

	doba výstavby (dny)	stavební náklady (mil. Kč)	uživatelské náklady (mil. Kč)	celkem (mil. Kč)	intenzita dopravy (PCU/den)
realizovaná varianta	457	658,1	547,8	1205,9	64 970
alternativní varianta	259	1316,2	310,5	1626,7	64 970
bod zlomu	457	658,1	968,6	1626,7	153 020

Tabulka 27: Porovnání nákladů realizované a hypotetické varianty. Bod zlomu reprezentuje situaci, od které při in-situ variantě uživatelské náklady dosáhnou takové hodnoty, že celkové náklady vyrovnávají a poté překonávají vyšší stavební finanční náročnost alternativní varianty (při neměnné době výstavby a stavebních nákladech obou variant). Tímto bodem byla identifikována intenzita dopravy o velikosti 153 tis. PCU / den.

Třetinový rozdíl v celkovém porovnání nákladů projektu ve prospěch tradičního řešení, a to sumarizovaně jak z pohledu veřejného investora, tak z pohledu uživatele, lze tedy chápat jako potvrzení prozatímní nevýhodnosti prefabrikovaného panelového systému v rámci tuzemských velkých projektů dálniční výstavby.

Z konstatování, že pro analyzovaný úsek D1-05 ekonomický benefit vyplývající z rychlosti prefabrikační metody nepřeváží její vyšší finanční náročnost, vyvstává otázka, pro jak vytížený úsek se tedy případně vyplatí? Tuto otázku lze zodpovědět jednoduchým porovnáním denní intenzity dopravy analyzovaného úseku (65 tis. PCU) a výše vzniklých uživatelských nákladů s celkovými náklady obou variant. Výsledkem je pak denní intenzita dopravy ve výši 153 tis. PCU, tzn. taková, která je v ČR dosahována jen na nejvytíženějších úsecích. O tom, že však tyto hodnoty zase tak vzácné nejsou, svědčí například sčítání dopravy pražské technické správy komunikací (TSK Praha) za rok 2021 (který lze dle tohoto správce považovat za normální stav dopravy (neovlivněný proticovidovými opatřeními) a tedy standardně použitelný pro jakékoli dopravně-inženýrské výpočty [133]). Vyšší intenzita dopravy než vypočtená kritická mez pro výhodnost alternativní varianty, byla v rámci Prahy identifikována hned na 21 dopravních uzlech, a to v rozsahu 153-235 tisíc PCU/den (se čtyřmi úseky nad 200 tisíc v uzlech 5. května/Jižní spojka, Strakonická/Barrand.most, Průmyslová/J.spojka či J.spojka/Chodovská) [133]. V těchto místech by tedy prefabrikační metoda svou výhodnost byla schopna prokázat již v současnosti.

Obecně lze tedy konstatovat, že přes výše uvedené, je klíčem k obecnějšímu zvýšení výhodnosti parametrů prefabrikační metody a jejímu širšímu využití pro výstavbu vozovkových krytů její zlevnění. To je zahraniční zkušeností prokázáno jako možné (viz kap. 6.2), avšak je k němu zapotřebí dostatečné zkušenosti zhotovitele, která v tuzemsku zatím chybí.

Vše výše uvedené lze tedy celkově považovat za potvrzení vývoje zahraničního, kde je systém taktéž efektivně používán téměř výhradně v dopravně nejvytíženějších částech sítě pro projekty rekonstrukční.

12. ZÁVĚRY, DOPORUČENÍ A DALŠÍ VÝZKUM

12.1 Cíle výzkumu

Předložená disertační práce má ve svém úvodu vytyčeny dvě hlavní roviny výzkumu – ekonomicko-organizační a stavebně technickou. Charakteristickým rysem práce je tedy její mezioborovost a snaha o kombinaci jednotlivých pohledů. Výstavba dálnic je totiž v každé zemi zejména věcí politickou, finanční a stavebně-realizační. Obecně lze však konstatovat, že v rámci vlastního zpracování tématu práce je primární její složka ekonomická a dodavatelská. Samotná výstavba dálnic je z technického hlediska na relativně vysokém stupni vývoje a ten spolu s přibývajícemi realizacemi z hlediska technologií a know-how neustále pokračuje vpřed. Hlavní význam výzkumu ekonomických aspektů prefabrikace je tedy v objasnění její uživatelské a ekonomické výhodnosti.

Cílem práce bylo příspěk k řešení problému nedostatečné dopravní kapacity silniční sítě, pomalého tempa a vysoké nákladovosti její výstavby a údržby, zejména pomocí vyššího zapojení technologie prefabrikace a upozornění na současný trend neekonomického využívání veřejných prostředků, zejména volbou nevhodného dodavatelského systému.

12.2 Prefabrikace v mostních projektech

Prefabrikace byla vyhodnocena jako jedna z možných cest ke zvýšení tempa výstavby, zlepšení kvality a životnosti konstrukcí dálničních mostních objektů. V rámci případové studie rekonstrukčního mostního projektu (kapitola 10) byla odhadnuta výše uživatelských nákladů za celou dobu výstavby na zhruba polovinu jeho nákladů investičních, což je výše, která by jistě neměla být ve fázi přípravy objednatelům opomíjena, jako je tomu v současnosti.

Po provedení analýzy tempa výstavby realizovaného dálničního mostu, jeho nákladů investičních a uživatelských, byla navržena a vyhodnocena varianta alternativní, využívající prefabrikaci na větším podílu konstrukce. Výsledky tohoto hypotetického porovnání ekonomické výhodnosti obou variant vyzněly ve prospěch varianty alternativní (tj. s vyšším podílem prefabrikace). Konečný rozdíl však nebyl výrazný. Porovnávané varianty se totiž lišily pouze způsobem zhotovení mostních pilířů, tedy poměrně malým podílem z projektu. Z hlediska dosažení cíle nejvyšší možné ekonomičnosti projektu je přitom žádoucí podíl prefabrikovaných konstrukčních prvků maximalizovat.

Vedle relativně nízkého podílu prefabrikace byl nepřilíš výrazný konečný rozdíl porovnávaných variant dán také její jednorázovostí. Tento projekt byl totiž samostatně vyhodnocován jako unikátní a prefabrikované dílce tak byly uvažovány nákladnějšími, než by tomu bylo při jejich výrobě ve velkém množství. Životnost kvalitních ocelových prefabrikačních forem je totiž při dodržení řádné péče a údržby v továrních podmínkách v řádu tisíců opakování. Se stoupajícím počtem jejich opakovaného využití jejich nákladnost strmě klesá (viz kap. 10) a pak se prefabrikované dílce/celky stávají oproti unikátním in-situ

zhotovovaným objektům levnějšími. Dalším charakteristickým rysem prefabrikátů je jejich v rámci celé práce (zejména kap. 6 a 9) diskutovaná prokazatelně vyšší kvalita a trvanlivost, které ve svém důsledku znamenají i nižší potřebu a náklady údržby realizovaných staveb. Na základě výše uvedeného tedy lze – ať už v rámci projektu či ideálně v rámci dlouhodobé politiky organizace – nejvyšší možnou míru standardizace a typizace doporučit a vyhodnotit ji v rámci využití prefabrikace jako ekonomicky nejvýhodnější cestu realizace analyzovaného projektu mostní výstavby/rekonstrukce. Lze tedy konstatovat, že v rámci výzkumu bylo prokázáno, že při dostatečném množství standardizovaných projektů využívajících typizované prefabrikované dílce a při využití zásad metody zrychlené mostní výstavby (ABC) má prefabrikační technologie potenciál mostní výstavbu zrychlit, zkvalitnit a v rámci celého životního cyklu i zlevnit.

12.3 Prefabrikace dálničního krytu

Další využití prefabrikace bylo zkoumáno v rámci konstrukce dálničního cementobetonového krytu vozovky. Ekonomičnost takového řešení byla vyhodnocena jejím hypotetickým nasazením do rámce již dokončeného modernizačního projektu jednoho z úseků dálnice D1 v rámci kapitoly 11. Na základě stanovení investičních i uživatelských nákladů této hypotetické varianty pak bylo zjištěno, že tradiční způsob pokládky povrchu na místě (in-situ) byl v případě modernizačního projektu výhodnější než navrhovaný prefabrikační panelový. Výsledek porovnání nákladů projektu ve prospěch tradičního řešení, a to sumarizovaně jak z pohledu veřejného investora, tak z pohledu uživatele, lze tedy chápat jako potvrzení prozatímní nevýhodnosti prefabrikovaného panelového systému v rámci tuzemských velkých projektů dálniční výstavby. Zároveň jde o potvrzení vývoje zahraničního, kde je taktéž systém prefabrikovaných vozovkových panelů efektivně používán zejména v dopravně nejvytíženějších částech sítě pro projekty rekonstrukční. Jeho aplikace sebou totiž nese násobně kratší přerušení/omezení stávajícího provozu (viz kap. 9, 10 a 11) a v jeho důsledku tak uživatelům (fyzickým i právnickým osobám) vznikají výrazně nižší náklady. Na základě v práci analyzované případové studie byla taktéž stanovena mez pro vytíženost dopravního úseku, od které se již náklady obou variant (in-situ vs. prefabrikace) vyrovnávají. V úsecích s denní intenzitou dopravy vyšších než 153 tis. PCU by tedy prefabrikační metoda svou vyšší výhodnost než standardní in-situ pokládka byla schopna prokázat již v současnosti.

Využití prefabrikovaných panelových systémů (PCP) lze tedy v rámci silničních projektů doporučit pouze pro projekty rekonstrukční, u kterých je rychlost jejich dokončení prioritou, z důvodu co nejkratšího omezování již existujícího dopravního proudu o vysoké intenzitě provozu. Právě v těchto dopravně nejvytíženějších úsecích totiž využití prefabrikačního způsobu obnovy krytu přináší nejvyšší užitek. Ten spočívá ve výrazně rychlejší realizaci a kratší době omezení dopravy (např. zprovoznění přes noc rekonstruovaného úseku hned následujícího rána) a výrazným snížením veřejností a podnikatelským sektorem nesených uživatelských nákladů převáží svou relativní vyšší nákladovost a náročnost výstavby. Systémy prefabrikovaných silničních panelů a mostních prvků jsou totiž relativně komplexní a v zahraničí jsou dlouhodobě úspěšně vyvíjeny a

aplikovány. Případné zakoupení licencí již vyvinutých systémů se vzhledem k době, potřebné k jejich samostatnému vývoji (v zahraničí cca 20 let) jeví ekonomicky efektivnějším.

12.4 Rozhodování o investicích

Již v samotném počátku celého procesu dálniční výstavby, tj. při rozhodování o investicích do silniční a dálniční sítě byly identifikovány významné prvky neefektivnosti (v rámci kapitoly 4). Hlavní nesrovnalost spočívá v nekonzistentnosti dat, která jsou do rozhodovacího procesu zahrnuta. Spolu se standardními technicko-finančními údaji jsou to i informace, které jsou kvalitativní a nehmotné povahy, navíc lišící se mezi jednotlivými investičními jednotkami / oblastmi. Navrhovaným řešením je tedy standardizovat kvantifikaci a finanční hodnocení těchto kritérií nehmotné povahy. Technické řešení prostřednictvím obecně přístupné databáze se jeví být pravděpodobně nejpraktičtější. Všeobecně jednotná hodnota těchto kritérií, vedoucí k povinnému a jednotnému zahrnutí uživatelských nákladů do hodnocení všech investic dálniční infrastruktury by byla jednoznačným přínosem. Pro trvalé sjednocení výpočtu uživatelských nákladů také už v rámci nabídek zhotovitelů ve veřejných soutěžích se pak doporučuje stanovení jejich hodnot (v rámci stejně tak centrálně stanovených metod výpočtu) každoroční jednotné stanovení veřejným objednatelům tak, aby odpovídaly současným reálným cenovým hladinám a byly vzájemně porovnatelné.

12.5 Ekonomické aspekty nové výstavby – dodavatelské systémy

V rámci zkoumání ekonomičnosti současné dálniční výstavby byly taktéž v rámci kapitol 2 a 3 analyzovány přednosti a nevýhody obou v současnosti využívaných dodavatelských systémů, tj. design-bid-build vs. partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP). Druhému ze jmenovaných, který je u nás v současnosti vedením resortu velmi podporován, byla právě pro jeho další plánované extenzivní využití věnována zvýšená pozornost.

Provedené ekonomické srovnání dvou realizovaných dálničních projektů využívajících koncept partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP) a tradičním dodavatelským systémem design-bid-build s mimorozpočtovým zdrojem financování jednoznačně prokázalo u PPP souhrnně vyšší celkovou cenu v rámci životního cyklu projektu (LCC).

V případě, že má veřejný sektor dostatečnou kredibilitu (úvěrový rating) pro úspěšnou emisi dluhopisů (ať už obecných nebo projektově dedikovaných), které byly tyto vyhodnoceny jako nejvýhodnější forma mimorozpočtového financování, je pro něj tento zdroj krytí kapitálových výdajů stavebního projektu výhodnější než zapojení soukromého kapitálu. Rozdíl v ceně kapitálu byl v podrobně analyzovaných případových studiích značný – v případě slovenského PPP je soukromý kapitál dražší více než 2,3x, v případě českého pilotního projektu pak 2,7x dražší. Závislost celkové ceny projektu na vstupní ceně kapitálu

byla identifikována jako vysoká a volbu veřejného sektoru zapojit pro výstavbový dálniční projekt soukromý kapitál tak lze celkově označit za velmi nevýhodnou.

Zapojení soukromého kapitálu totiž obecně pro výstavbový dálniční projekt s nízkými riziky, tj. takový projekt, který disponuje potřebnými povoleními či je v pozitivně probíhajícím schvalovacím řízení, ošetřenou situací ohledně výkupu pozemků či zpracovanou bezproblémovou projektovou dokumentací nepřináší v poměru k vyšší ceně žádnou zásadní přidanou hodnotu. Soukromý subjekt totiž výše zmíněná zásadní rizika, kterými odůvodňuje svou vyšší cenu, nedokáže řešit lépe než stát samotný (z povahy věci ani nemůže - např. nucený výkup pozemků či proces schvalování projektu) a převzetím rizik ostatních svou výrazně vyšší cenu vyvážit nelze.

Za předpokladu, že má veřejný sektor kvalitní úvěrový rating, dokáže úspěšná emise obecných či projektově dedikovaných dluhopisů obě zásadní výhody zapojení soukromého sektoru zcela kompenzovat.

První výhodou – a z hlediska veřejného sektoru na celém konceptu PPP i bezpochyby tou nejzásadnější – je zapojení soukromého kapitálu pro investičně nejnáročnější výstavbovou fázi projektu. Rychlý příjem z výnosu dluhopisů, které se z většiny vždy upíší hned v počátku jejich emise, je však výše zmíněnou finančně náročnou fází projektu schopen pokrýt.

Druhou důležitou výhodou je pak pro veřejný sektor časové rozložení potřeby vlastního kapitálu přes celé trvání projektu. Délka této potřeby kapitálu (povinnosti splácet) je rozložena přes mnoho volebních období, což je taktéž neoddiskutovatelným plusem pro ty, jež o využití konceptu PPP rozhodují. Stejně jako u průběžných plateb za dostupnost koncesionáři po celou dobu trvání koncese je však u dluhopisů vyplácen věřitelům úrok také po celou dobu trvání jeho emise.

Relativně nízká potřeba vlastního kapitálu v rámci jednotlivých let a dlouhá doba splácení je tedy pro oba diskutované způsoby financování obdobná a přestává tedy být přidanou hodnotou konceptu PPP.

Potřeba veřejného sektoru využívat externí, tj. soukromé poradenské služby (pro nedostatek vlastních odborných kapacit) pro komplikovaný koncesní dialog, koncesní smlouvu a finanční model, přináší významné a často zcela opomíjené riziko ohledně skutečné nestrannosti těchto poradců, kteří mají na projektu také svůj vlastní finanční zájem (průběžné poskytování poradenských služeb a poplatků za realizaci, resp. úspěch projektu, tzv. success fee). Evropská investiční banka zjistila, že „transakčním nákladům“ transakcí PPP se sice „nevěnuje velká pozornost“, přesto činí více než 10 % (!) celkové hodnoty kapitálu projektu [3].

V tomto případě, kdy problematice PPP a koncesního dialogu na straně státu dokonale nerozumí téměř nikdo (jak prokázal úplný outsourcing přípravy koncesního dialogu i smlouvy na pilotním projektu D4), je riziko privatizace veřejného projektu, a tedy i zásadní ohrožení efektivnosti využití veřejných prostředků v řádu desítek miliard značné.

Dalším negativem rozhodnutí vlády pokračovat v tomto směru spolupráce se soukromým sektorem je pak skutečnost, že jde o kapitál zahraniční a veškeré jeho zisky jsou tedy z oběhu národního hospodářství vyvedeny.

Zapojení soukromého sektoru se veřejnému objednateli vyplatí pouze tehdy, když hodnota projektového rizika neseného soukromým dodavatelem převáží vyšší nákladnost jeho angažování (v porovnání se standardním dodavatelským systémem). Pro komplikovanost koncesního kontraktu je však tento přenos rizik značně problematický, resp. z pohledu veřejnému sektoru spíše iluzorní. Celkově lze tedy na základě výše uvedeného využití koncesního způsobu výstavby dopravní infrastruktury veřejnému sektoru výrazně nedoporučit.

12.6 Výzkumné otázky

V souladu s výše uvedenými závěry výzkumu lze následující výzkumné otázky stručně zodpovědět následovně:

VO1: Existují možnosti a nástroje nápravy či řešení současného neuspokojivého stavu tempa výstavby a rekonstrukce naší dálniční sítě?

O: Ano, možností řešení současného relativně pomalého tempa přípravy a realizace výstavby a rekonstrukce naší dálniční sítě existuje několik. Maximální míra standardizace technického řešení projektů a důsledné trvání na objednatelem zvolené technologii. Tento přístup má nezpochybnitelný potenciál zásadně zjednodušit a zrychlit přípravu projektů, standardizovat jejich náklady (soutěžní cenu) a dobu výstavby a dosáhnout tak vyšší srovnatelnosti těchto parametrů. Zároveň by došlo ku zjednodušení údržby a snížení provozních nákladů obecně, obzvláště pak unifikovaných objektů. Takovou míru unifikace lze prokazatelně dosáhnout pouze za širšího využití technologie prefabrikace, zejména opět v rámci dálničních objektů, tj. mostů a tunelů.

VO2: Ovlivňuje tento neuspokojivý stav dálniční infrastruktury ekonomickou výkonnost národního hospodářství?

O: Ano, plynulá doprava je základním prvkem každého výrobního a obchodního systému. Jen náklady nesené uživateli (tj. celým národním hospodářstvím) v rámci projektu modernizace D1 lze na základě provedené analýzy v rámci případové studie 6 vyčíslit na 12 miliard korun.

VO3: Je možno nalézt způsob snížení vysokých uživatelských nákladů, plynoucích z omezené funkčnosti dálniční sítě?

O: Ano, zejména koncepčností nové výstavby, tj. realizace souvislých úseků, které jen v rámci celku plní svou funkci dálniční dopravy. Dále je to pak zejména zrychlení rekonstrukce sítě, v nejvytíženějších částech prefabrikační metodou, jak je diskutováno výše.

VO4: Přinesla by konstrukční standardizace budovaných mostních objektů a jejich povinná aplikace zvýšení rychlosti výstavby/rekonstrukce dálniční sítě spolu s úsporami kapitálových investic a provozních nákladů na opravy a údržbu?

O: Ano, povinná a státním objednatelem důkladně vyžadovaná standardizace projekce a výstavby mostních objektů umožňující využití výhod prefabrikačních postupů a jejich opakovaného nasazení má potenciál řádového snížení investičních a provozních nákladů.

VO5: Je metoda prefabrikace vhodnější pro výstavbu dálnice nové, či rekonstrukci stávající (případně pro oboje)?

O: Porovnání nákladů a doby realizace vychází výhodněji ve prospěch tradičního řešení výstavby nových dálničních úseků, a to sumarizovaně jak z pohledu veřejného investora, tak z pohledu uživatele. Využití prefabrikovaných panelových systémů v rámci silničních projektů, lze naopak doporučit pro projekty rekonstrukční, u kterých je rychlost jejich dokončení prioritou, z důvodu co nejkratšího omezení již existujícího dopravního proudu o vysoké intenzitě provozu.

12.7 Hypotézy

Obdobným způsobem, jako výše zodpovězené výzkumné otázky lze potvrdit, případně zamítnout platnost v úvodu práce formulovaných hypotéz:

H1a: Vyšší nákladovost prefabrikační metody výstavby cementobetonového krytu vozovky (oproti standardní metodě in-situ) je v rámci nových dálničních výstavbových projektů ekonomicky převýšena poklesem celkových uživatelských nákladů.

O: Hypotéza je zamítnuta.

H1b: Vyšší nákladovost prefabrikační metody výstavby cementobetonového krytu vozovky (oproti standardní metodě in-situ) je v rámci dálničních rekonstrukčních projektů ekonomicky převýšena poklesem celkových uživatelských nákladů.

O: Hypotéza je potvrzena.

H2: Vyšší kvalita a z toho plynoucí delší trvanlivost prefabrikovaného cementobetonového krytu vozovky (oproti na místě pokládané standardní metodě) znamená úspory v rámci nákladů životního cyklu.

O: Hypotéza je zamítnuta.

H3: Aplikace standardizovaných prefabrikovaných mostních objektů vede k ekonomickým úsporám v pořizovacích nákladech i nákladech životního cyklu.

O: Hypotéza je potvrzena.

H4: Realizovat velké veřejné infrastrukturní projekty, zejména dálnice, je ekonomicky výhodnější tradičním způsobem (prostřednictvím standardního způsobu realizace projektu typu design-bid-build) než prostřednictvím modelu PPP.

O: Hypotéza je potvrzena.

H6: Veřejnému sektoru se vyplatí v situaci nedostatku vlastních rozpočtových zdrojů zvolit jiné způsoby financování projektu než partnerství se sektorem soukromým (PPP).

O: Hypotéza je potvrzena.

12.8 Shrnutí výsledků práce – význam pro praxi a výzkum

V práci bylo poukázáno na současnou nejednotnost způsobu hodnocení velikosti všech kritérií nehmotné povahy a byla navržena jejich standardizovaná kvantifikace, prakticky ideálně řešená prostřednictvím obecně přístupné databáze pravidelně (ročně) aktualizované veřejným investorem. Takto metodicky i co se týče cenové úrovně předepsané ohodnocení uživatelských nákladů by pak mělo být povinnou součástí nabídek zhotovitelů v rámci veřejných soutěží, neboť je vzhledem k jejich velikosti (viz níže) a dopadu na hospodářství nelze dále opomíjet.

V rámci této práce nebyl kladen důraz na teoretické odvození, kvantifikaci a výklad struktury a způsobu stanovení těchto uživatelských nákladů (ačkoliv bylo provedeno), avšak na jejich konkrétní aplikaci a zohlednění na všech úrovních rozhodovacího procesu o uvažované výstavbě, rekonstrukcích i údržbě dálniční sítě. Za zcela konkrétní přínos disertační práce lze považovat stanovení výše uživatelských nákladů v tuzemských podmínkách a v rámci dvou nejtypičtějších dálničních výstavbových projektů – dálničního úseku s novým cementobetonovým krytem a dálničního mostu, taktéž postaveného zcela nově (ač se oba projekty nazývaly rekonstrukčními, šlo o plné nahrazení původního novým). Tyto uživatelské náklady, v současnosti do hodnocení investičních variant zahrnované pouze z části a nesprávným způsobem a v rámci procesu soutěžení zhotovitele pak opomíjené zcela, byly pro výše definované typické tuzemské dálniční projekty stanoveny v následujícím poměru: 83 % oproti investičním nákladům projektu u CB krytu a 48 % vůči investičním nákladům výstavby nového mostu. Z důvodu záměrně zvolené standardnosti či typičnosti obou projektů lze totiž předpokládat, že vzájemný poměr mezi velikostí investičních a uživatelských nákladů je možno obecně vztáhnout i na jiné budoucí projekty a hodnoty 80 a 50 % jsou relativně obecně platné. Zpřesnění tohoto poměru, respektive obecné výše uživatelských nákladů pro různé typy a podmínky výstavbových či rekonstrukčních projektů je vhodným směrem pro další výzkum. Praktický význam znalosti jejich výše je pro efektivitu investičního rozhodování a následných veřejných soutěží o zhotovitele těchto investic významný.

Zjištění o výhodnosti nejvyššího možného podílu prefabrikovaných konstrukčních prvků v rámci výstavby mostních objektů a míry jejich standardizace / typizace pak lze taktéž označit za doporučení významné pro praxi. Souhrnně řečeno byly prokázány dva důvody tohoto zjištění. Prvně je jím přínos zrychlení realizace projektu ekonomicky převyšující jeho počáteční vyšší investiční náročnost (která je však také relativní, neboť byl uvažován projekt využívající jednorázovou prefabrikaci (tj. s jedním počtem opakování) a s jejím relativně malým podílem na celé konstrukci. Lze přitom předpokládat, že při vědomé

plánované aplikaci konceptu veřejným investorem (MD ČR, resp. ŘSD ČR) by tomu bylo právě naopak a ekonomická výhodnost by byla vyšší. Druhým důvodem je pak prokázaný fakt, že se stoupajícím počtem opakování využití prefabrikovaných prvků korelačně s počtem aplikací roste i jejich ekonomičnost. Ta je zároveň v rámci LCC dále zvyšována důsledkem vyšší kvality a trvanlivosti prefabrikovaných prvků, jak bylo v práci prokázáno. Další rozvinutí poznání v oblasti ekonomické výhodnosti standardizace a typizace v rámci investiční činnosti veřejného investora by bylo v rámci dalšího výzkumu z hlediska veřejných financí potenciálně přínosné.

Analýza nákladů projektu, vč. nákladů uživatelských, provedená pro projekt výstavby dálničního úseku, prokázala, že technologii prefabrikovaných dálničních panelových systémů lze veřejnému investorovi doporučit pouze pro projekty rekonstrukční, u kterých je rychlost jejich dokončení prioritou, z důvodu co nejkratšího omezování již existujícího dopravního proudu o vysoké intenzitě provozu. Ekonomický benefit co nejkratšího omezení stávajícího intenzivního provozu byl početně prokázán jako větší než negativum vyšší investiční nákladnosti analyzovaného konceptu.

Za další původní poznatek v rámci disertační práce lze považovat identifikaci nejvýhodnějšího mimorozpočtového zdroje financování dálničního projektu a v přímém porovnání prokázání jeho vyšší výhodnosti vůči PPP. V případě, že má veřejný sektor dostatečnou kredibilitu (úvěrový rating), čemuž tak v případě analyzované České i Slovenské republiky je, je tímto zdrojem emise dluhopisů (ať už obecných nebo projektově dedikovaných). Zvolený způsob mimorozpočtového financování navíc obě zásadní výhody zapojení soukromého sektoru dokáže zcela kompenzovat (vysokou potřebu kapitálu v investičně nejnáročnější fázi a rozložení potřeby vlastního kapitálu přes celé trvání projektu).

Dalším významným poznatkem je pak jeho porovnání se v současnosti propagovaným způsobem financování infrastrukturních projektů (spolu s dálniční D35 včetně dvou tunelů je v plánu i čtvrtý železniční koridor a další vysokorychlostní tratě) a vyhodnocení míry jeho nevýhodnosti pro stát. Rozdíl v ceně kapitálu byl v podrobně analyzovaných případových studiích značný – v případě slovenského PPP byl soukromý kapitál dražší více než 2,3x, v případě českého pak 2,7x. Závislost nákladnosti celého projektu na ceně vstupního kapitálu lze označit jako vysokou. V případě slovenského projektu byla při ceně kapitálu vyšší 2,3x celková nákladnost projektu vyčíslena jako 2,1x vyšší. V případě českého toto vyčíslení pro současnou fázi projektu a nedostatek informací poskytnutých veřejnosti bohužel zatím není možné. Přesto je však výsledným doporučením soukromý sektor na výstavbě dálniční sítě neangažovat.

Druhým pro stát nejvýhodnějším zdrojem mimorozpočtového financování dálničního projektu byl identifikován úvěr u specializované mezinárodní instituce. Půjčka Evropské investiční banky městu Praze na výstavbu nové linky pražského metra v létě 2022 je tedy dalším konkrétním argumentem vůči zapojení soukromého kapitálu do infrastrukturní výstavby. S cenou kapitálu při úroku pod 2 % p.a. (při jistíně jedné miliardy EUR a splatnosti 40 let, tj. pro dálniční projekt dostatečném fin. objemu i době splatnosti) i tento zdroj financování zapojení soukromého sektoru v rámci PPP co se týče ceny kapitálu

dvojnásobně překonává a prokazuje i přes rekordní nárůst zadlužení ČR a současné všeobecné nepříznivé ekonomické podmínky aktuálně stále trvající dobrý tuzemský rating a tedy i platnost výše uvedených tvrzení o výhodnosti zvolených zdrojů mimorozpočtového financování.

Poslední zásadní doporučení ohledně PPP je vyvozeno nejen z veškerého předchozího fungování státu v otázce implementace tohoto partnerství, avšak i z čerstvé realizace pilotního projektu. Týká se neschopnosti státu projekt samostatně a bez cizí pomoci samostatně zorganizovat (vést koncesní dialog) ani následně řídit. Veškeré právní a většinu manažerských služeb je stát nucen outsourcovat právě u soukromého sektoru a riziko privatizace veřejného projektu, a tedy i zásadní ohrožení efektivnosti využití veřejných prostředků v řádu desítek miliard je značné. Na základě výše uvedeného a skutečnosti, že je doposud vždy soukromý sektor reprezentován kapitálem zahraničním, a tedy efekt vynaložených veřejných prostředků z většiny vyvedených z národního hospodářství je významně umenšen, nelze než výstavbu dálniční infrastruktury pomocí PPP opět nedoporučit.

Podrobné vyhodnocení celkového ekonomického efektu pilotního dálničního PPP projektu v rámci národního hospodářství je pak další oblastí, která by měla v rámci následného výzkumu velký význam. Pochopení efektu investice v řádu desítek miliard má potenciál zlepšit stávající kritéria na výběr koncesionáře a případně i vyjasnit ekonomickou oprávněnost požadavku jeho domácího původu.

Prokázání nesprávnosti jednání minulé i současné vlády a provedená doporučení lze považovat za zcela konkrétní výsledek disertační práce s velkým potenciálem dalšího výzkumu a případně i zefektivnění vynakládání veřejných prostředků za předpokladu úspěšného zviditelnění problematiky v rámci odborné i populární (tj. vč. veřejných sdělovacích prostředků) veřejné diskuze.

Literatura

1. Statistical Office of the European Union – Eurostat: Road freight transport statistics, 2016, [Online], Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Road_freight_transport_statistics
2. Statistical Office of the European Union – Eurostat: Passenger cars in the EU, 2015, [Online], Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_cars_in_the_EU
3. CzechToll s.r.o.: Tisková zpráva provozovatele mýtného systému, 3/2022, [Online], Dostupné z: <https://www.czechtoll.cz/v-unoru-projeli-dopravci-na-mytne-118-ml-d-k-pocet-mytnych-transakci-vzrostl-mezirocne-o-4-procenta/>
4. Ministerstvo dopravy ČR: Ročenka dopravy České republiky 2020, ISSN 1801-3090. [Online], Dostupné z: https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2020.pdf
5. Inrix 2020 Global Traffic Scorecard, [Online], Dostupné z: <https://inrix.com/scorecard/>
6. Národní kontrolní úřad: Kontrolní závěr z kontrolní akce 19/10 Opravy a údržba silničních mostů, [Online], Dostupné z: <https://www.nku.cz/assets/kon-zavery/k19010.pdf>
7. Mallela J., Sadasivam S.: Work Zone Road User Costs - Concepts and Applications. U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. 2011. ISBN: FHWA-HOP-12-005.
8. Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 2000, Washington, DC, 2000. ISBN: 0309066816
9. Ricardo-AEA: Update of the Handbook on External Costs of Transport. Report for the European Commission. 2014. [Online], Dostupné z: <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-09/2014-handbook-external-costs-transport.pdf>
10. Cookson, G.: Europe's Traffic Hotspots. Measuring the impact of congestion in Europe. INRIX Research. 2016. [Online], Dostupné z: https://inrix.com/wp-content/uploads/2017/01/INRIX_Europes-Traffic_Hotspots_Research_FINAL_lo_res.pdf
11. SMP CZ, a. s.: Rekonstrukce a rozšíření mostu D1-035 v km 29,161, dálnice D1. Informace o zakázce (reference zhotovitele). [Online], Dostupné z: <https://www.smp.cz/rekonstrukce-a-rozsireni-mostu-d1-035-v-km-29161-dalnice-d1-1578>
12. Hampl, R.: Dálniční most D1-035, Časopis Silnice Železnice, 2016, ISSN 1803-8441, KONSTRUKCE Media, s.r.o., [Online], Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/dalnicni-most-d1-035/>
13. Němec, P. a kol.: Příklad prefabrikace pro ekonomická a efektivní řešení mostních konstrukcí, konference MOSTY 2011, [Online]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/prinos-prefabrikace-pro-ekonomicka-a-efektivni-reseni-mostnich->

konstrukci/

14. U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration: Prefabricated Bridge Elements and Systems -ABC - Accelerated - Technologies and Inovations - Construction. Washington DC: FHWA, 2017, [Online]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/prefab/>
15. Novák, J., Kohoutková, A., Křístek, V., Vodička, J.: Precast concrete pavement - systems and performance review. 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 236 012030, [Online], Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/236/1/012030/pdf>
16. Horňáková, L.: Mezinárodní bytová soutěž firmy Baťa v roce 1935, [Online], Dostupné z: <http://www.bytovasoutez.cz/osoutezi.html>
17. spolek aArchitektura: Zlínský architektonický manuál, mezioborová online databáze, [Online], Dostupné z: <https://zam.zlin.eu/objekt/69-prvni-panelak-g40>
18. Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), USA https://www.pci.org/PCI/Design_Resources/Transportation_Engineering_Resources/Precast_Concrete_Pavement.aspx
19. Molnár, Z., a další. Pokročilé metody vědecké práce. Praha: Profess Consulting s.r.o., 2012. 978-80-7259-064-3.
20. Ministerstvo dopravy ČR: Média a tiskové zprávy - Doprava v roce 2021. 2021. [Online]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Doprava-v-roce-2021>
21. Zelenka, M. a kol., Oživení o. s.: Případová studie veřejné zakázky na modernizaci dálnice D1 v úseku 21, Lhotka - Velká Bíteš, [Online]. Dostupné z: https://www.oziveni.cz/wp-content/uploads/2014/08/a-studie-modernizace_d1_usek_21_web-final.pdf
22. Nejvyšší kontrolní úřad: Kontrolní závěr z kontrolní akce 16/06 Peněžní prostředky určené na modernizaci dálnice D1, [Online], Dostupné z: <https://www.nku.cz/assets/kon-zavery/K16006.pdf>
23. ŘSD ČR: Výměna cementobetonových desek omezí provoz na D5. [Online], Dostupné z: <https://kraje.rsd.cz/plzensky/vymena-cementobetonovych-desek-omezi-provoz-na-d5/>
24. Osei-Kyei, R., Chan, A.P.C.: Review of studies on the Critical Success Factors for Public-Private Partnership (PPP) projects from 1990 to 2013. International Journal of Project Management, 2015, Volume 33, Issue 6, 1344 p., ISSN 0263-7863
25. Boussabaine, A.: Cost Planning of PFI and PPP Building Projects, Routledge, 2016, ISBN 9781138966840
26. Benjamin, J., Jones, T.: The UK's PPPs disaster - Lessons on private finance for the rest of the world. Jubilee Debt Campaign. 2017, 3 p., 2 p., [Online] [15.03.2021]. Dostupné z: <https://jubileedebt.org.uk/report/uks-ppps-disaster-lessons-private-finance-rest-world>
27. HM Treasury: National Audit Office (UK): The choice of finance for capital investment, 2015, Figure 7 and 17. [Online] [15.03.2021]. Dostupné z:

- <https://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2015/03/The-choice-of-finance-for-capital-investment.pdf>
28. Ministerstvo dopravy ČR: DÁLNIČE D4 PROJEKT PPP, webové stránky projektu, [Online], Dostupné z: <https://pppd4.cz/cs>
 29. The World Bank: Public-Private Partnerships Laws / Concession Laws. [Online] [15.03.2021]. Dostupné z: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/legislation-regulation/laws/ppp-and-concession-laws#examples>
 30. Xiaosu, Ye et al.: Empirical Analysis of Firms' Willingness to Participate in Infrastructure PPP Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018, 8 p., 144. 04017092. 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001404.
 31. Asociace PPP: PPP versus Veřejná zakázka. Studie pracovní skupiny pro metodiku Asociace PPP. Připomínkováno a oponováno zástupci Ministerstva pro místní rozvoj a PPP Centra. 2008. Veřejně nedostupné. Archiv autora disertace (člena Asociace PPP).
 32. GRANVIA, a.s.: Projekt PR1BINA, oficiální webové stránky konsorcia Granvia, koncesionáře PPP rychlostní komunikace R1 PR1BINA, [Online], Dostupné z: <https://pr1bina.sk/sk/>
 33. Úřad vlády Slovenské republiky: Zhodnotenie stavu jestvujúcich PPP projektov s cieľom zefektívnenia ďalšej výstavby dopravnej infraštruktúry formou PPP. [Online], Dostupné z: <https://rokovania.gov.sk/RVL/Material/8312/1>
 34. Tomek, R.: "Improving Effectiveness of Public Spending on Transport Infrastructure". *Periodica Polytechnica Architecture*, 2017, pp. 65-71. [Online] [15.3.2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3311/PPar.11037>
 35. Anastasopoulos, P.Ch., Haddock, J.E., Peeta, S.: Cost Overrun in Public-Private Partnerships: Toward Sustainable Highway Maintenance and Rehabilitation. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, Volume 140 Issue 6 - June 2014, Dostupné z: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000854](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000854)
 36. Cepparulo, A., Eusepi, G., Giuriato, L.: Public-Private Partnership and fiscal illusion: A systematic review. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*; 2019, 3(2): 288-309. doi: 10.24294/jipd.v3i2.1157
 37. Ministerstvo dopravy ČR: tisková zpráva 6.2.2021. [Online], Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Poslanci-souhlasi-s-dostavbou-a-udrzbou-dalnice-D4?returl=/Media/Media-a-tiskove-zpravy>
 38. Ministerstvo financí ČR: Moody's Česku potvrdila vynikající rating i stabilní výhled, tisková zpráva, [Online], Dostupné z: <https://www.mfcr.cz/cs/aktualne/tiskove-zpravy/2021/moodys-cesku-potvrdila-vynikajici-rating-40834#:~:text=Ratingov%C3%A1%20agentura%20Moody%27s%20Investors%20Service,navzdory%20ot%C5%99es%C5%AFm%20zp%C5%AFsoben%C3%BDch%20pandemi%C3%AD%2C%20siln%C3%A1>
 39. Usnesení vlády České republiky ze dne 24. srpna 2022 č. 708 o vyhodnocení dosavadního průběhu projektu PPP D4 a posouzení možností realizace části D35 formou PPP projektu.

40. Státní fond dopravní infrastruktury: Rozpočet SFDI, 2022, [Online], Dostupné z: <https://www.sfdi.cz/rozpocet/rozpocet-sfdi/>
41. Tomek, R., Vitásek, S. Improvement of economic effectiveness of road highway projects, 5th Creative Construction Conference (CCC 2016), Procedia Engineering, 2016, ISSN: 1877-7058
42. Ministerstvo dopravy ČR / SFDI: Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivity projektů dopravních staveb, 2018, ISBN 978-80-907177-6-3
43. MottMacDonald CZ / ŘSD ČR (2014). Průvodní zpráva I/37 Sklené nad Oslavou obchvat - hodnocení ekonomické efektivity. Veřejně nedostupné (resp. na vyžádání u objednatele). Archiv autora.
44. Mehany, M. S. H. M., Grigg, N.: Causes of Road and Bridge Construction Claims: Analysis of Colorado Department of Transportation Projects, American Society of Civil Engineers, 2014, DOI: 10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000162
45. ŘSD ČR: Délky a další data komunikací, webové stránky organizace, 2022, [Online], Dostupné z: <https://www.rsd.cz/web/guest/silnice-a-dalnice/delky-a-dalsi-data-komunikaci>
46. Šmilauer, V.: Rozhovor pro Hospodářské noviny, 2018, [Online], Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66064720-nove-ceske-betonove-dalnice-se-uz-po-20-letech-rozpadaji-jejich-predchudkyne-vydrzely-dvakrat-dele-odbornici-zkoumaj-proc>
47. Šmilauer, V., Reiterman, P., Schořík, P.: Odolnost cementů vůči tvorbě trhlinek během vysychání, Časopis Beton 2022/1, [Online], Dostupné z: https://www.ebeton.cz/clanky/2022_1_64_odolnost-cementu-vuci-tvorbe-trhlinek-behem-vysychani/
48. S.T. Muench et al.: A Brief History of LongLife WSDOT Concrete Pavements, WSDOT Research Report, 2010
49. Hlavatý, J., Šmilauer, V., Slánský, B., Dvořák, R. Opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek - část I. *Silniční obzor*. 2019, 80(6)
50. Hlavatý, J., Šmilauer, V., Slánský, B., Dvořák, R. Opatření k prodloužení životnosti cementobetonových krytů vozovek - část II. *Silniční obzor*. 2019, 80(7 - 8)
51. Madison Beltline Precast Concrete Pavement Demonstration Project, FHWA report no. FHWA-HIF-17-003, [Online] [7.11.2021]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif17003.pdf>
52. Kolísko, J. et al.: Unikátní lávky a mosty z UHPC, ISSN 1803-8441, Časopis SILNICE ŽELEZNICE, 2019, [Online], Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/unikatni-lavky-a-mosty-z-uhpc/>
53. Vítek, L., Čítek, D., Coufal, R., Kolísko, J., Marek J.: UHPC a jeho aplikace v České Republice, Časopis Beton, 2019/7, [Online]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/clanky/2019_7_098_uhpc-a-jeho-aplikace-v-ceske-republice/
54. Ministerstvo dopravy ČR: Technické podmínky TP54 pro železobetonové desky sprážené s prefa nosníky mostů pozemních komunikací, 2014
55. Scheinherr, A., náměstek primátora hl.m.Prahy pro dopravu, rozhovor pro Deník

- Blesk, 22.8.2022, [Online]. Dostupné z: <https://www.blesk.cz/clanek/regiony-praha-praha-zpravy/720808/komplikace-na-opravovanem-barrandaku-superbeton-se-nespojil-s-podkladem.html>
56. Broukalová, I.: Aplikace cementových a betonových kompozitů v konstrukčních prvcích. Habilitační práce. FSv ČVUT v Praze. 2017.
 57. Valle, G.: Can roads be made from recycled plastic? Facts explained. BuilderSpace. 2022, [Online], Dostupné z: https://www.builderspace.com/can-roads-be-made-from-recycled-plastic-facts-explained?_cf_chl_tk=_mrcmSynwPorsav1ASCEACyeFu30OcuFme2M.oBRO8o-1663529823-0-gaNycGzNCz0
 58. Technisoil Industrial: webové stránky společnosti, 2022, [Online], Dostupné z: <https://technisoilind.com/technisoil-roads.html>
 59. Parson, A.: How Paving With Plastic Could Make a Dent in the Global Waste Problem. YaleEnvironment360, Yale School of Environment, 2021, [Online], Dostupné z: <https://e360.yale.edu/features/how-paving-with-plastic-could-make-a-dent-in-the-global-waste-problem>
 60. Jones, L.: Growing a sustainable footprint with TonerPlas, Roads & Infrastructure Australia, 2020, [Online], Dostupné z: <https://roadsOnline.com.au/growing-a-sustainable-footprint-with-tonerplas/>
 61. PlasticRoad BV, webové stránky společnosti, 2022, [Online], Dostupné z: <https://plasticroad.com/en/products/#voordelen>
 62. SmartCitiesWorld: Mexico City pilots climate-adaptive cycle path built from plastic waste, 2021, [Online], Dostupné z: <https://www.smartcitiesworld.net/news/news/mexico-city-pilots-climate-adaptive-cycle-path-built-from-plastic-waste-6256>
 63. Culmo, M. (2009). Prefabricated Composite Bridges in the United States including Total Bridge Prefabrication. Workshop on Composite Bridges with Prefabricated Deck Elements. Stockholm, Sweden.
 64. FHWA Research and Technology Evaluation: Precast Concrete Pavement, Final Report, October 2018, Publication No. FHWA-HRT-18-063, [Online], Dostupné z: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/37254>
 65. Ralls, M. L.: Benefits and Costs of Prefabricated Bridges”, White Paper, Accelerated Bridge Construction Study, submitted to UTAH DOT. 2008.
 66. Directorate-General for Research and Innovation (European Commission): Composite bridges with prefabricated decks (ELEM), Final report, 2013, ISBN 978-92-79-29156-2, doi: 10.2777/79809
 67. Brown, A.: Benefits and challenges of modular construction, International Construction magazine, 7-8/21, [Online], Dostupné z: <https://www.international-construction.com/news/benefits-and-challenges-of-modular-construction/8014439.article>
 68. Fort Miller Co.: Super Slab Pavement System, webové stránky společnosti, 2022, [Online], Dostupné z: <https://www.super-slab.com>

69. Vaitkus, A., Grazulyte, J., Kleiziene, R., Vorobjovas, V., Šernas, O.: Concrete Modular Pavements - Types, Issues And Challenges. 2009. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 14. 80-103. 10.7250/bjrbe.2019-14.434.
70. Veltruská, K.: Prefabrikace v mostním stavitelství. FSv ČVUT, diplomová práce pod vedením autora disertace. 2018.
71. Novák, J., Kohoutková, A., Křístek, V., Vodička, J., Marek J., Kroc, M., Kříž, J.: Konstrukce vozovky s krytem z prefabrikovaných dílců, projekt TAČR: Vývoj prefabrikovaných dílců určených pro výstavbu montovaných letištních drah, i.č. TH02010375-V2, 2020.
72. Tomek, R.: User costs as one of main advantages of precast concrete application in highway construction. BESTInfra Conference, Prague 2017. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 236 012111
73. Hällmark R., White H., Collin P.: Prefabricated Bridge Construction across Europe and America, Practice Periodical on Structural Design and Construction, Vol. 17, Issue 3, 2012. [Online], Dostupné z: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000116](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000116)
74. Kalný, M.: Prefabrikace nosných konstrukcí mostů umožňuje zrychlení výstavby. Inžinierske stavby/Inženýrské stavby [Online]. JAGA GROUP, 2009 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/mosty/prefabrikace-nosnych-konstrukci-mostu-umoznuje-zrychleni-vystavby>
75. Prefabricated Bridge Elements and Systems in Japan and Europe: Scan Team Implementation Plan. U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration [Online]. Washington DC: FHWA, 2004 [cit. 2017-10-10]. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/prefab/stip.cfm>
76. KŠ Prefa s.r.o.: Katalog výrobků a služeb společnosti. [Online]. Dostupné z: <https://ksprefa.cz/produkty/dopravni-stavby/mostni-nosniky/>
77. Katalog výrobků společnosti ŽPSV s.r.o. [Online]. Dostupné z: <https://www.zpsv.cz/mostni-konstrukce-a-propustky/prefabrikaty-pro-mostni-stavby/zakazkova-vyroba-mostnich-nosniku-mk-t-petra/>
78. Rotter, T.: Spřažené ocelobetonové železniční mosty, webový portál Mosty.cz, 2008, ISSN 1213-6395, Dostupné z: <http://www.mosty.cz/index.asp?module=ActiveWeb&page=WebPage&s=mosty-7-clanek16>
79. A. Pipinato, M. De Miranda: Innovative Bridge Design Handbook, Butterworth-Heinemann, 2016, str. 247-271, ISBN 9780128000588
80. Ministerstvo dopravy ČR: Technické podmínky TP54 Železobetonové desky spřažené s prefa nosníky mostů pozemních komunikací, 2014, [Online], Dostupné z: <https://adoc.pub/elezobetonove-desky-spaene-s-prefa-nosniky-most-pozemnich-ko.html>
81. Pielstick, B. and Offredi, L.: Durability Survey of Segmental Concrete Bridges, Fourth Edition, ASBI, 2012. Publikace dostupná v ASBI na www.asbi-assoc.org.
82. Qin, X., Cutler, Ch.E.: 2013 Review of Road User Costs and Methods (South Dakota State University Department of Civil & Environmental Engineering, Brookings),

- [Online], Dostupné z: <http://www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC13-254.pdf>
83. Federal Highway Administration: U.S. Department of Transportation 2017 Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation, [Online], Dostupné z: https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/chapter2.htm
 84. Univerzita Karlova v Praze - Centrum pro otázky životního prostředí: Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky - Závěrečná zpráva k řešení projektu realizovaného v rámci veřejné soutěže ve výzkumu a vývoji v programu „Podpora realizace udržitelného rozvoje dopravy“, Praha, 2012. [Online], Dostupné z: https://www.czp.cuni.cz/czp/images/stories/Vystupy/TranExt/ZZ_TrانExt_final.pdf
 85. Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A.: HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Proposal for Harmonised Guidelines - Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines, 02/2006.
 86. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport / CE Delft: Handbook on the external costs of transport, Publications Office of the European Union, 2020, ISBN 978-92-76-18184-2
 87. Statistical Office of the European Union - Eurostat 2017 Construction production (volume) index overview 03/2017. [Online], Dostupné z: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Construction_production_\(volume\)_index_overview](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Construction_production_(volume)_index_overview)
 88. Statistical Office of the European Union - Eurostat: Euroindicators - Production in construction sector, 49/2022 - 25 April 2022, [Online], Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/14497751/4-25042022-AP-EN.pdf/d78472d3-c138-d3f6-089f-25d661d0e436>
 89. Merritt, D. K., McCullough, B. F. and Burns, N. H.: 2002 Texas Tests Precast for Speed and Usability. Public Roads Magazine 66(1). [Online], Dostupné z: <https://highways.dot.gov/public-roads/julyaugust-2002/texas-tests-precast-speed-and-usability>
 90. Tayabji, S., Ye, D., Buch, N.: Precast Concrete Pavement Technology - The Second Strategic Highway Research Program Report S2-RO5-RR-1 (Transportation Research Board Washington D.C.), 2013. [Online], Dostupné z: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp2/SHRP2prepubR05.pdf>
 91. MarketsandMarkets Research Private Ltd.: Precast Concrete Market by Element (Columns & Beams, Floors & Roofs, Girders, Walls & Barriers, Utility Vaults, Pipes, Paving Slabs), Construction Type, End-use Sector (Residential, Non-residential) - Global Forecast to 2025, [Online], Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/prefabricated-construction-market-125074015.html>
 92. Portland Cement Association: Precast Concrete Pavement Systems Save Time, Cut Congestion on Highway Repair Roads & Bridges magazine 5 (Scranton Gillette Communications). 2010. [Online], Dostupné z: <https://www.roadbridges.com/precast-concrete-pavement-systems-save-time-cut-congestion-highway-repair>

93. ŘSD: Nehody při práci na dálnici za provozu - Zpráva za roky 2011 - 2019, vydal Odbor specialistů a technologů, Provozní úsek GŘ, 2020. [Online], Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Pocet-dopravnich-nehod-pri-praci-na-dalnici-za-pro/Nehody-pri-praci-na-dalnici-za-provozu-2011-2019.pdf.aspx>
94. Roads&Bridges Magazine: Roadway Worker Safety Training Remains Crucial as Fatal Crashes Continue to Rise. 11/2021. [Online], Dostupné z: <https://www.roadsbridges.com/road-traffic-safety/work-zone-safety/article/10654416/roadway-worker-safety-training-remains-crucial-as-fatal-crashes-continue-to-rise>
95. Stavební a investorské noviny: Havarijní podepření mostu D1-035 na dálnici D1 10/2015, [Online], Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/3758-havarijni-podepreni-mostu-d1-035-na-dalnici-d1>
96. ŘSD ČR: Modernizace D1 - úsek 02, EXIT 21 Mirošovice-EXIT 29 Hvězdovice. 08/2021, [Online], Dostupné z: https://mapapp.rsd.cz/Upload/Stavby/9/infoletak_d1-02-mirosovice-hvezdonice.pdf
97. Ježová, K.: Metoda akcelerované výstavby mostů. FSV ČVUT, diplomová práce pod vedením autora disertace. 2020.
98. ŘSD ČR: Celostátní sčítání dopravy na dálniční a silniční síti ČR 2016. [Online], Dostupné z: <http://scitani2016.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>
99. Lay, M.G.: Handbook of road technology. Spon Press, 2009, 4th ed. ISBN 0-203-89253-4
100. Bartoš, L.: Stanovení intenzity dopravy na pozemních komunikacích: Technické podmínky. II. vydání. 2012. EDIP s.r.o., schváleno Ministerstvem dopravy ČR - OPK čj. 279/2012-120-STSP/2, ISBN 978-80-87394-06-9.
101. Ministerstvo dopravy ČR: Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací, Technické podmínky TP 188, 2018, [Online], Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_188_2018.pdf
102. Český statistický úřad: Počet obyvatel v obcích (přepočtený na definitivní výsledky SLDB 2011) - k 1.1.2011, [Online], Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcichprepocteny-na-definitivni-vysledky-sldb-2011-k-112011-vr7xowgr7o>
103. Statistický úřad Evropské unie (Eurostat): Road freight transport by journey characteristics [Online], Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics#Average_vehicle_loads
104. Ministerstvo dopravy ČR: Ročenka dopravy České republiky 2016. ISSN 1801-3090, [Online], Dostupné z: https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2016.pdf
105. Dopravní nehody v ČR, webový portál Centra dopravního výzkumu, v.v.i., [Online], Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>
106. Ullman, G. L., Finley, M. D., Bryden, J.E., Srinivasan, R., Council, F.M.: Traffic Safety

- Evaluation of Nighttime and Daytime Work Zones, NCHRP Report 627, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC, 2008. [Online], Dostupné z: <https://www.trb.org/Publications/Blurbs/160500.aspx>
107. Polena, J., Špinková, A., Metody hodnocení mimoekonomických účinků rozvoje sítě, Ústřední dopravní institut v Praze, Praha 1979
108. Ředitelství služby dopravní policie policejního prezidia České republiky: Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice za rok 2016. Praha, 2017, [Online], Dostupné z: <https://www.policie.cz/soubor/prehled-o-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-v-roce-2016-rar.aspx>
109. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR: Makroekonomické údaje ČR k 30.6.2020, [Online], Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/zahranicni-obchod/statistiky-zahranicniho-obchodu/2020/7/Makroekonomicke-udaje-CR-k-30-6-2020_2.xlsx
110. Česká národní banka: Kurzy devizového trhu 2016, [Online], Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/rok_form.html
111. Air Quality Planning and Science Division at California Air Resources Board: Emission FACTor (EMFAC), [Online], Dostupné z: <https://arb.ca.gov/emfac/emissions-inventory>
112. United States Environmental Protection Agency: Glossary of Climate Change Terms, [Online], Dostupné z: https://sor.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&vocabName=Glossary%20Climate%20Change%20Terms&filterTerm=nmvoc&checkedAcronym=false&checkedTerm=false&hasDefinitions=false&filterTerm=nmvoc&filterMatchCriteria=Contains
113. Matthijs Otten, Huib van Essen: Why slower is better. Pilot study on the climate gains of motorway speed reduction Delft, CE Delft, 2010, [Online], Dostupné z: https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/4955_defreport_engMO_1272013905.pdf
114. Eurovia CS: harmonogram výstavby Doubského mostu, tisková zpráva, [Online], Dostupné z: <https://mmkv.cz/cs/aktuality/investor-zhotovitel-predstavili-harmonogram-vystavby-doubskeho-mostu>
115. Rozhovor s ředitelem společnosti Prefa Technologies a.s. Ing. J. Bartlem, 2017, Praha.
116. Reference: Modernizace dálnice D1 - úsek 05, webové stránky společnosti. [Online], Dostupné z: <https://www.pudis.cz/reference/modernizace-dalnice-d1-usek-05>
117. ŘSD ČR: Webová stránka projektu Modernizace D1, [Online], Dostupné z: <https://www.novad1.cz>
118. ŘSD ČR: Celostátní sčítání dopravy na dálniční a silniční síti ČR 2010, [Online], Dostupné z: <https://www.rsd.cz/silnice-a-dalnice/scitani-dopravy#zalozka-celostatni-scitani-dopravy-2010>
119. Tomek, R.: Improving Effectiveness of Public Spending on Transport Infrastructure, 2017, Periodica Polytechnica Architecture 1, [Online], Dostupné z: <https://pp.bme.hu/ar/article/view/11037>

120. The Federal Highway Administration (2014). Advancing a Sustainable Highway System: Highlights of FHWA Sustainability Activities. 2014. [Online], Dostupné z: https://www.sustainablehighways.dot.gov/FHWA_Sustainability_Activities_June2014.aspx
121. Čihák, M., Hak, F., Hladká, J., Horníček, K., Kubešová, S., Mátl, R., Michková, V., Šrajerová, J., Vorel, V.: Pátevní síť silnic a dálnic v ČR. 2013. Agentura Lucie. ISBN 978-80-87138-52-6
122. Schneiderová Heralová, R.: Udržitelné pořizování staveb: ekonomické aspekty. 2011. 1st ed. Wolters Kluwer ČR, Praha, ISBN 978-80-7357-642-4.
123. Surahyo, M., El-Diraby, T. E.: Schema for Interoperable Representation of Environmental and Social Costs in Highway Construction. Journal of Construction Engineering and Management, vol.04, ASCE. 2009. DOI:10.1061/(asce)0733-9364(2009)135:4(254)
124. Schneiderová Heralová, R.: Highway Projects: Prices in Public Bids. Procedia Engineering, vol. 2015, no. 123, p. 496-503. ISSN 1877-7058. DOI:10.1016/j.proeng.2015.10.101
125. Hromada, E., Schneiderová Heralová, R., Johnston, H.J.: Cost Structure of the Highway Projects in the Czech Republic. Procedia Engineering, vol. 2014, no. 85, p. 222-230. ISSN 1877-7058. DOI:10.1016/j.proeng.2014.10.547
126. EDS Trade, s.r.o.: Oprava CB desek, Dálnice D5 - Rozvadov, 06/2022. Facebookový profil společnosti, [Online], Dostupné z: <https://ne-np.facebook.com/edstrade/posts/903417076772259/>
127. Prague morning: EIB Lends Czech Republic 1 Billion Euro for Construction of Metro Line D. 7/2022. [Online], Dostupné z: <https://www.praguemorning.cz/eib-lends-czech-republic-1-billion-euro-for-construction-of-metro-line-d/>
128. Evropská investiční banka (EIB): PRAGUE METRO LINE D1 PHASE I - GREEN LOAN. 2022. [Online], Dostupné z: <https://www.eib.org/en/projects/pipelines/all/20210597>
129. National Highways: Post Opening Project Evaluation (POPE) of major schemes. Velká Británie, 2022. [Online], Dostupné z: <https://nationalhighways.co.uk/our-roads/post-opening-project-evaluation-pope-of-major-schemes/>
130. Ashurst: Restructuring of the German Motorway Administration 2021 - challenges or opportunities for German motorway PPP projects? 2020. [Online], Dostupné z: <https://www.ashurst.com/en/news-and-insights/insights/restructuring-of-the-german-motorway-administration-2021/>
131. Evropská investiční banka (EIB): Public-private partnerships financed by the European Investment Bank from 1990 to 2020. 03/2021. [Online], Dostupné z: https://www.eib.org/attachments/epec_ppp_financed_by_eib_1990_2020_en.pdf
132. CMS Legal Services - European Economic Interest Grouping: PPP in Europe. 2012. [Online], Dostupné z: https://cms.law/en/media/local/cms-vep/files/publications/publications/neu-2012-ppp_in_europe_guide_v-1
133. TSK Praha: Intenzity automobilové dopravy v Praze v roce 2021. 2022. [Online], Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/wcm/connect/www.tsk->

praha.cz20642/1878a154-ae70-43c0-ae28-98fdf7c9860f/intenzity-dopravy-praha-2021.xlsx?MOD=AJPERES&attachment=true&id=1651152240524

Pozn.: Funkčnost všech online odkazů zkontrolována k 09/2022.

Seznam obrázků

Obr. 1: Dálniční síť ČR, stav ku 1.1. 2022, včetně výhledu plánované výstavby.	19
Obr. 2: První velký dům montovaný z celostěnových prefabrikovaných panelů v bývalém Československu.	22
Obr. 3: Most D1-035 v km 29,161 dálnice D1.	23
Obr. 4: Betonáž spřažené desky mostovky (levý most) v rámci rekonstrukce a rozšíření mostu D1-035 v km 29,161 dálnice D1.	24
Obr. 5: Porovnání v současnosti obvyklého postupu výstavby, tj. metodou cast-in-place, se způsobem výstavby plně využívajícím prefabrikované díly konstrukce.	24
Obr. 6: Schématické zobrazení typického systému předpjatých prefabrikovaných silničních panelů (Prestressed Precast Concrete Panels (PPCP))	25
Obr. 7: Stav původního cementobetonového krytu vozovky dálnice D5, resp. jeho asfaltových výsprav, po 25 letech provozu.	31
Obr. 8: Odstraňování původního cementobetonového krytu vozovky v rámci rekonstrukce úseku dálnice D5 u Rozvadova v červnu a červenci 2022 a příprava položení CB krytu nového.	32
Obr. 9: Analyzovaný úsek rychlostní silnice R1, Slovenská republika.	40
Obr. 10: Dálnice D4 – úseky převzaté do provozování a údržby a úsek budovaný dle koncesní smlouvy uzavřené v únoru 2021.	46
Obr. 11: Lávka z UHPC v Čelákovících a využití formy pro betonáž segmentů v blízkosti realizace.	64
Obr. 12: Asfalt s přísadou TonerPlas, Fremantle, Austrálie. Pravá polovina obrázku pak detail materiálu Neo od společnosti TechniSoil Industrial používaný v Los Angeles, USA	66
Obr. 13: Návrh kompletního řešení vozovky z plastových prefabrikátů.	67
Obr. 14: Modulární design plastové silnice instalované v Mexico City.	68
Obr. 15: První celoplastová silnice na světě v obci Zwolle v Nizozemsku.	68
Obr. 16: Instalace světově nejrozšířenějšího vozovkového panelového systému Super-Slab společnosti Fort Miller.	73
Obr. 17: Standardní průběh noční výstavbové směny při rekonstrukčních pracích projektu americké FHWA.	75
Obr. 18: Instalace hotových celků / prefabrikátů pomocí těžké techniky umožňující kratší omezení dopravního toku.	81
Obr. 19: Rozměry prefabrikovaných dílů jejich transport značně komplikují a představují tak riziko pro harmonogram projektu.	82
Obr. 20: Transport nosníku (délka 24,5m) pro mostní konstrukci o 7 nosnících v každém směru v rámci projektu Modernizace D1, úsek 25, EXIT 178 Ostrovačice – EXIT 182 Kývalka.	83
Obr. 21: Příprava předepnutí prefabrikátu.	84
Obr. 22: Metoda montáže prefabrikovaných mostních nosníků.	85
Obr. 23: Segmentové mosty budované na trase dálnice D8 v roce 2014.	86
Obr. 24: Složky uživatelských nákladů a jejich obvyklé členění na peněžitě a ostatní (nepeněžitě) dopady na uživatele.	90

Obr. 25: Vyjma založení původních pilířů, zcela nový most D1-035 v km 29,161 dálnice D1.	98
Obr. 26: Nehodovost úseku rekonstrukce ve sledovaném období.	107
Obr. 27: Montáž bednění pilíře pravého mostu (vlevo) a dokončený pilíř levého mostu (vpravo) v rámci rekonstrukce mostu D1-035.	118
Obr. 28: Nehodovost úseku 05 ve sledovaném období modernizace 5/2013 - 11/2014.	125

Seznam tabulek

Tabulka 1: Množství času průměrně stráveného v dopravní zácpě.	20
Tabulka 2: Nákladové porovnání realizované PPP a hypotetické DBB varianty.	42
Tabulka 3: Porovnání výše nákladů obou analyzovaných variant v čase z pohledu veřejného objednavatele.	43
Tabulka 4: Struktura ročních nákladů veřejného objednatele při hypotetické variantě DBB s dluhopisovým financováním.	44
Tabulka 5: Výstup HDM-4 posouzení projektu obchvatu obce Sklená nad Vltavou.	55
Tabulka 6: Standardní harmonogram noční výstavbové směny.	74
Tabulka 7: Roční průměry denních intenzit provozu v úseku projektu rekonstrukce mostu D1-035.	101
Tabulka 8: Rozložení intenzity provozu analyzované pracovní oblasti.	103
Tabulka 9: Celkové průměrné zpoždění jednotlivých druhů vozidel při průjezdu pracovní oblastí.	104
Tabulka 10: Počet nehod ve sledovaném úseku/období.	107
Tabulka 11: Jednotkové náklady následků dopravních nehod.	113
Tabulka 12: Množství emisí v závislosti na rychlosti a typu vozidel.	114
Tabulka 13: Celkové množství emisí osobních vozidel.	114
Tabulka 14: Celkové množství emisí nákladních vozidel a autobusů.	116
Tabulka 15: Celkové množství emisí všech typů vozidel při podmínkách standardního provozu.	116
Tabulka 16: Náklady jednotlivých typů emisí.	116
Tabulka 17: Porovnání nákladů realizované a hypotetické varianty.	119
Tabulka 18: Data intenzity dopravy v úseku projektu rekonstrukce úseku 05 dálnice D1.	121
Tabulka 19: Rozložení intenzity dopravy analyzované pracovní oblasti.	121
Tabulka 20: Celkové průměrné zpoždění jednotlivých druhů vozidel při průjezdu pracovní oblastí.	122
Tabulka 21: Počet nehod ve sledovaném úseku/období.	125
Tabulka 22: Množství emisí v závislosti na rychlosti a typu vozidel.	128
Tabulka 23: Celkové množství emisí osobních vozidel.	129
Tabulka 24: Celkové množství emisí nákladních vozidel a autobusů	130
Tabulka 25: Celkové množství emisí všech typů vozidel při podmínkách standardního provozu.	131
Tabulka 26: Náklady jednotlivých typů emisí.	131
Tabulka 27: Porovnání nákladů realizované a hypotetické varianty.	134

Seznam grafů

Graf 1: Vývoj dopravního parku v letech 1996-2020 - množství osobních a nákladních vozidel registrovaných v ČR.	15
Graf 2: Vývoj přepravního výkonu silniční nákladní dopravy v ČR v letech 2008-20.	16
Graf 3: Vývoj celkové dopravní zátěže v roce 2020 ve světě.	16
Graf 4: Vývoj dopravní aktivity jednotlivých druhů dopravy v USA, VB a SRN před pandemií Covid-19 a po ní.	17
Graf 5: Počet mostů ve velmi špatném a havarijním stavu.	17
Graf 6: Stav mostů na dálnicích a silnicích I. třídy k 1. 1. 2014 a k 1. 7. 2019.	18
Graf 7: Náklady životního cyklu výstavby dálniční infrastruktury.	57
Graf 8: Vývoj zranění pracovníků a veřejnosti v rámci pracovních zón na tuzemských dálnicích v letech 2011-2019.	96

Vybraná publikační činnost doktoranda k tématu disertační práce

Tomek, R.

[Riskiness of public-private partnership concept](#)

In: 20th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT Proceedings, Volume 20. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2021. p. 813-818. ISSN 1691-5976.

Tomek, A.; Vondruška, M.; Tomek, R.

[Metodika pro přípravu staveb silniční infrastruktury dodavatelským systémem Design-Build](#)

[Certified Methodology (for RIV)] 2019.

Tomek, R.

[Advantages of Precast Concrete in Constructing Highways & Bridges](#)

New Building Materials & Construction World. 2018, 24(3), 136-138. ISSN 0973-0591.

Tomek, R.

[Lower road user costs with precast concrete pavements](#)

In: Engineering for Rural Development, Proceedings of 18th International Scientific Conference. Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2019. p. 1870-1875. ISSN 1691-5976.

Tomek, R.

[Advantageous bridge construction with prefabrication](#)

In: Creative Construction Conference 2018 - Proceedings. Budapest: Diamond Congress Ltd., 2018. p. 271-275. ISBN 978-615-5270-45-1.

Tomek, R.

[Advantages of precast concrete in highway infrastructure construction](#)

In: Procedia Engineering. Amsterdam: Elsevier B.V., 2017. p. 176-180. vol. 196. ISSN 1877-7058.

Tomek, R.

[User costs as one of main advantages of precast concrete application in highway construction](#)

In: Building up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure 2017 (BESTInfra2017). Bristol: IOP Publishing Ltd, 2017. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. vol. 236. ISSN 1757-8981.

Tomek, R.

[Improving the Effectiveness of Public Spending on Transport Infrastructure](#)

Periodica Polytechnica Architecture. 2017, 48(1), 65-71. ISSN 1789-3437.

Tomek, R.; Vitásek, S.

[Vyhodnocování ekonomické efektivity výstavby silničních staveb v ČR](#)

In: Sborník konference JUNIORSTAV 2016. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2016. ISBN 978-80-214-5311-1.

Tomek, R.; Vitásek, S.

[Improvement of economic effectiveness of road highway projects](#)

In: Procedia Engineering. Amsterdam: Elsevier B.V., 2016. pp. 395-401. vol. 164. ISSN 1877-7058.

Schneiderová Heralová, R.; Eklová, K.; Holcman, J.; Kupec, J.; Tomek, R.; Krupík, P.; Kozel, J.; Bešťáková, S. et al.

[Investice ve stavebnictví](#)

Praha: Czech Technical University in Prague, 2020. ISBN 978-80-01-06779-6.

Schneiderová Heralová, R.; Buňat, M.; Krupík, P.; Tomek, R.; Stuchlík, J.; Stránský, M.; Kupec, J.; Tatýrek, V. et al.

[Veřejné a soukromé stavební investice](#)

Praha: Fineco, 2019. ISBN 978-80-87927-99-1.