



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**K L O K N E R Ů V Ú S T A V**  
**Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice**

**Expertní zpráva č.  
1900 J 059**

**Datum vydání zprávy**

23. 10. 2019

**Oddělení KÚ**

Oddělení mechaniky  
tel. +420 224 353 512

**Objednatel: SŽDC Stavební správa západ**  
**Sokolovská 278/1955**  
**190 00 Praha 9**

**Expertní zpráva:**

**ZHODNOCENÍ DOPOSUD PROVEDENÝCH PRACÍ A POSUDKŮ  
K PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÉMU ŽELEZNIČNÍHO MOSTU V EV. KM 3,706  
POD VYŠEHRADEM ZA ÚČASTI ZAHRANIČNÍHO EXPERTA**

**Vypracovali:**

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

Ing. Milan Holý

Ing. Petr Tej, Ph.D.

**Spolupráce:**

Prof. Dr. Eugen Brühwiler, EPFL

Doc. Pavel Ryjáček, Ph.D., a kol. FSv ČVUT

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., a kol. FS ČVUT

Radek Pokorný, firma Applus

Ing. Petr Pokorný, Ph.D.

**Odpovědný řešitel:**

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

**Vedoucí oddělení:**

Ing. Petr Tej, Ph.D.

**Ředitel KÚ:**

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

**Výtisk číslo:**

**0 1 2 3 4 5**

**6 7 8 9 10**

**Rozdělovník:**

Objednatel: 10x

Archiv KÚ: 1x

## **ANOTACE**

Zpráva uvádí odborné zhodnocení doposud provedených prací a posudků k památkově chráněnému železničnímu mostu v ev. km 3,706 Pod Vyšehradem zahraničním expertem prof. Brühwilerem (Příloha 1). Posudek je zaměřen na zhodnocení praktických a ekonomických možností provedení sanace dotčeného mostu. V této zprávě jsou dále prezentovány výsledky experimentálního ověření metod čištění členěných prvků ocelové nosné konstrukce mostu pod Vyšehradem (Příloha 2). Experimentální ověření metod čištění bylo vypracováno pod vedením doc. Ryjáčka z Fakulty stavební ČVUT ve spolupráci s Ústavem strojírenské technologie/ Skupina povrchové úpravy, Fakulta strojní ČVUT zastoupené Ing. Kudláčkem Ph.D., firmou Applus a Kloknerovým ústavem. V rámci této zprávy je provedeno také shrnutí informací ohledně provádění rekonstrukcí podobných mostů v ČR i zahraničí. Na závěr jsou shrnuty a okomentovány výsledky obou šetření.

Zprávu sestavili pracovníci ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, který je zapsán v seznamu ústavů, kvalifikovaných pro znaleckou činnost, podle ustanovení §21 odst. 3, zákona č. 36/1967 Sb. a vyhlášky č. 37/1967 Sb., ve znění pozdějších předpisů, uveřejněném v Ústředním věstníku ČR, ročník 2004, částka 2, ze dne 14.10.2004, přílohy ke sdělení Ministerstva spravedlnosti ze dne 13.7.2004, č.j. 228/2003–Zn.



**Obr. 1:** Pohled na železniční most pod Vyšehradem

## **OBSAH**

ANOTACE.....	1
OBSAH .....	2
1 ÚVOD .....	3
1.1 POPIS PRACÍ.....	3
1.2 PODKLADY .....	4
1.3 REKAPITULACE - STRUČNÝ POPIS MOSTNÍ KONTRUKCE .....	5
2 REŠERŠE OPRAV PODOBNÝCH MOSTŮ .....	7
2.1 PŘÍSTUP KE STÁVAJÍCÍM NÝTOVANÝM ŽELEZNIČNÍM MOSTŮM S VYSOKOU KULTURNÍ HODNOTOU DLE [8].....	7
2.2 PŘÍKLADY OPRAV MOSTŮ V ČR .....	8
2.2.1 Silniční most přes nádraží Praha – Vršovice na ulici Bohdalecká.....	8
2.2.2 Železniční viadukt Chrást (Plzeň-sever) [11].....	10
2.2.3 Železniční most v km 41,791 trati Tábor – Písek, Červená nad Vltavou [11]...	12
2.2.4 Železniční most v km 1,429 Trati Pňovany-Bezručice (Hracholusky).....	14
2.3 PŘÍKLADY ZAHRANIČNÍCH MOSTŮ.....	16
2.3.1 Hohenzollernbrücke (Německo, Köln) [13].....	16
2.3.2 Untere Limmatbrücke Wettingen, (Švýcarsko) [8-10] .....	19
2.3.3 Most přes Rýn v Eglisau, (Švýcarsko) [8-10, Příloha 3] .....	20
2.3.4 Ben Sawyer Bridge - Výměna mostu v USA [16] .....	22
3 REKAPITULACE NÁVRHU REKONSTRUKCE SUDOP .....	23
3.1 REKONSTRUKCE .....	23
3.2 POROVNÁNÍ S VARIANTOU NOVÉHO MOSTU.....	24
4 ZÁVĚRY ZE STUDIE PROF. BRÜHWILERA.....	25
4.1 STATICKÁ ANALÝZA .....	26
4.2 DISKUSE KE STATICKÝM ANALÝZÁM – SUDOP x EB.....	27
4.3 DOPORUČENÍ KONCEPCE OPRAVY .....	27
4.4 SHRUTÍ A DOPORUČENÍ EB .....	30
5 KONTROLNÍ ZKOUŠKA ČISTĚNÍ – OVĚŘENÍ KOROZNÍHO STAVU .....	31
5.1 POPIS PROVEDENÝCH PRACÍ.....	31
5.2 ZÁVĚRY ZE ZKUŠEBNÍHO ČISTĚNÍ .....	32
5.3 VYJÁDŘENÍ PROF. BRÜHWILERA K ZÁVĚRŮM ČISTĚNÍ .....	33
5.4 DOPLNĚNÍ - ZKUŠENOSTI Z OPRAVY MOSTU SO 201 v km 59,126; Volary – Černý Kříž (Dobrá na Šumavě).....	34
6 DISKUSE PŘÍSTUPU K OPRAVĚ .....	35
6.1 POROVNÁNÍ PŘEDPOKLADŮ A PŘÍSTUPU K REKONSTRUKCI.....	36
6.2 TŘÍKOLEJNÁ VARIANTA A REKONSTRUKCE.....	40
7 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	42
8 SEZNAM PŘÍLOH .....	43

# 1 ÚVOD

## 1.1 POPIS PRACÍ

Bylo provedeno odborné zhodnocení doposud provedených prací a posudků k památkově chráněnému železničního mostu v ev. km 3,706 Pod Vyšehradem za účasti zahraničního experta na základě objednávky 19/618000080, ze dne 11. 2. 2019.

Zpráva uvádí odborné zhodnocení doposud provedených prací a posudků k památkově chráněnému železničního mostu v ev. km 3,706 Pod Vyšehradem zahraničním expertem prof. Brühwilerem (Příloha 1). Posudek je zaměřen na zhodnocení praktických a ekonomických možností provedení sanace dotčeného mostu. V této zprávě jsou dále prezentovány výsledky experimentálního ověření metod čištění členěných prvků ocelové nosné konstrukce mostu pod Vyšehradem (Příloha 2). Experimentální ověření metod čištění bylo vypracováno pod vedením doc. Ryjáčka z Fakulty stavební ČVUT ve spolupráci s Ústavem strojírenské technologie/ Skupina povrchové úpravy, Fakulta strojní ČVUT zastoupené Ing. Kudláčkem Ph.D., firmou RTD Applus a Kloknerovým ústavem. V rámci této zprávy je provedeno také shrnutí informací ohledně provádění rekonstrukcí podobných mostů v ČR i zahraničí. Na závěr jsou shrnuty a okomentovány výsledky obou šetření.

### V rámci odborného zhodnocení bylo provedeno:

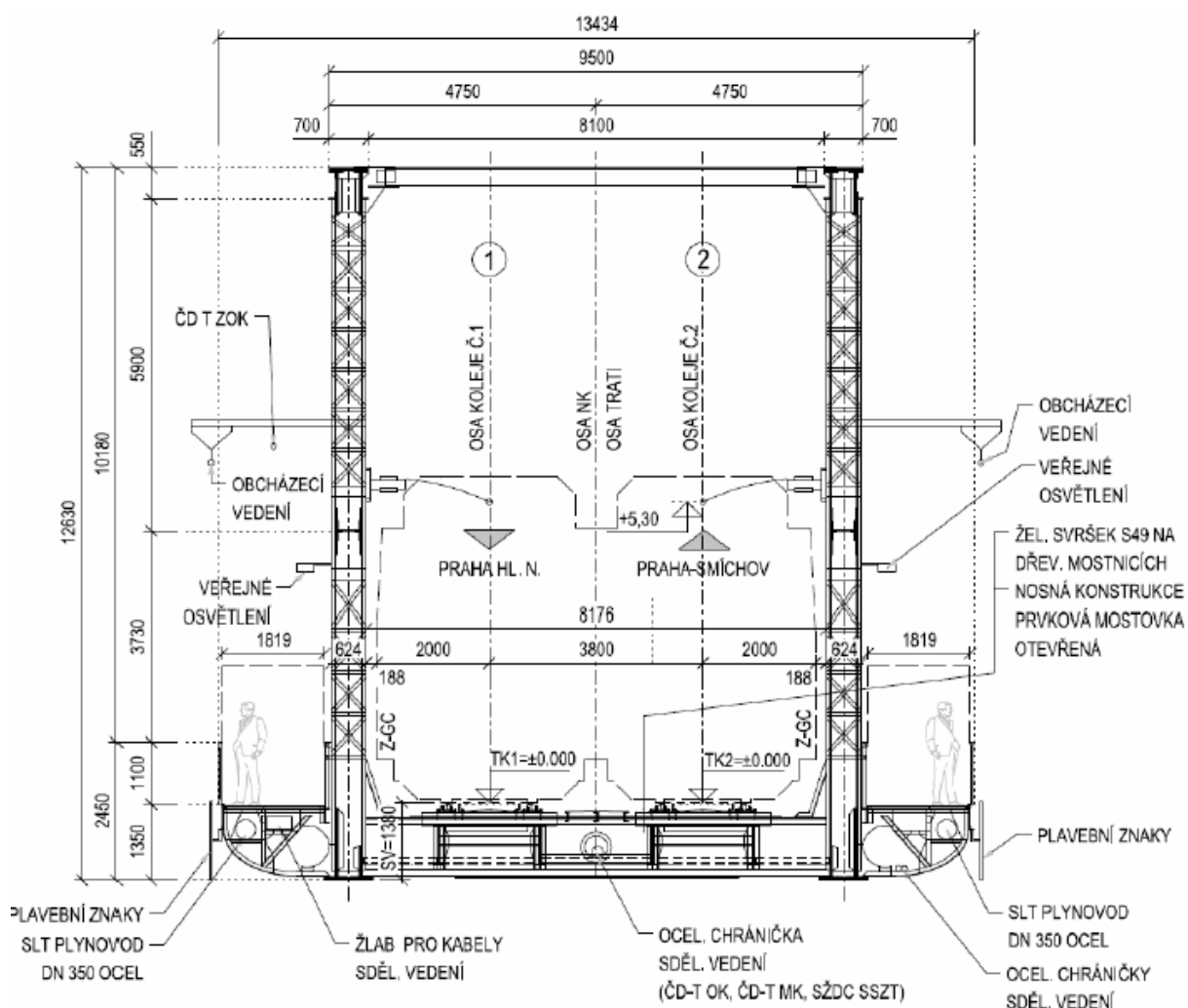
- Předání podkladů [1-3] pro odborné zhodnocení prof. Brühwilerovi
- Osobní prohlídka mostu prof. Brühwilerem 21.2.2019
- Prezentace konceptu prof. Brühwilerera na SŽDC 22.2.2019
- Doplnění podkladů k předpokladům výpočtu firmou SUDOP [4-7]
- Přepočítání mostu podle švýcarské normy SIA 269/3 «Existing steel structures» v rámci diplomové práce Nikolai Martin pod vedením prof. Brühwilerera
- Výtah z publikací prof. Brühwilerera [8-10] k provádění rekonstrukcí nýtovaných železničních mostů, Shrnutí příkladů provedených rekonstrukcí obdobných mostů v ČR (Ing. Holý)
- Shrnutí příkladů provedených rekonstrukcí obdobných mostů v ČR a zahraničí (doc. Ryjáček)
- Expertní zpráva prof. Brühwilerera z 1.7.2019 – viz Příloha 1
- Provedení zkoušky prověřující možnosti čištění a opravy členěných prvků ocelové nosné konstrukce mostu 11.-12.7.2019 (doc. Ryjáček, FS ČVUT, KÚ)
- Vyhodnocení experimentálního ověření metod čištění, zpráva z 10.8.2019 – viz Příloha 2.
- Shrnutí závěrů expertní zprávy prof. Brühwilerera a experimentálního čištění.

## 1.2 PODKLADY

- [1] Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem, Stavební část E.1.4, SUDOP PRAHA a. s., Návrh PD k projednání 04/2020
- [2] Expertní zpráva č. 1800J329 „Zhodnocení provedeného diagnostického průzkumu konstrukcí mostu v ev. Km 3,706 – Pod Vyšehradem“, KÚ 11/2018
- [3] Expertízní posouzení statického přepočtu mostu „SO-20-20-05 Železniční most v evidenčním km 3,706 – Pod Vyšehradem“, Žilinská univerzita, 08/2018
- [4] Archivní dokumentace mostu Pod Vyšehradem z roku 1900 a z roku 1960
- [5] Doplnění předpokladů statického výpočtu SUDOP
- [6] COST CZ - The Prediction of the Joint Stiffness in Riveted Steel Bridges, diplomová práce Marcos Bryan Flores Pazmiño pod vedením doc. Ryjáčka, ČVUT 01/2018
- [7] COST CZ - Advanced methods for assessment of deteriorated steel structures, 12/2016
- [8] Brühwiler, E., Hirt, M. A.; Umgang mit genieteten Bahnbrücken von hohem kulturellem Wert, Stahlbau 79 (2010), Heft 3, s. 209-219
- [9] Meyer, Ch., Bosshard, M., Brühwiler, E.; Nachweis der Ermüdungssicherheit von Brücken - Teil1: Veranlassung, Ziel und Messkonzept des Monitoring-Projekts "Bahnbrücke Eglisau", Stahlbau 81 (2012), Heft 7, s. 504-509
- [10] Bosshard, M. et al; Nachweis der Ermüdungssicherheit von Brücken - Teil2: Nachweis basierend auf den Messwerten des Monitoring-Projekts "Bahnbrücke Eglisau", Stahlbau 81 (2012), Heft 11, s. 868-868
- [11] Vlasák M., Konečný O.; Oprava OK mostu v km 12,061 trati Chrást-Stupno, Brno MOSTY 2004, 9. Mezinárodní symposium, 2004
- [12] Vlasák M., Bartaloš J.; Přepočet železničního mostu v km 41,791 trati Tábor – Písek, Červená nad Vltavou, SILNICE ŽELEZNICE 2016, <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/prepocet-zeleznicniho-mostu-v-km-41-791-trati-tabor-pisek-cervena-nad-vltavou/>
- [13] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hohenzollernbrücke>
- [14] Marek, L., Lojík, O.; Most v km 1,429 Trati Pňovany-Bezdržice; Konference Mosty 2019, Brno, 2019
- [15] Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem, Technické průkazy, SUDOP
- [16] South Carolina Demonstration Project: Rapid Removal and Replacement of the SC 703 Ben Sawyer Bridge Over the Intracoastal Waterway in Charleston County, Federal Highway Administration, 2011

### 1.3 REKAPITULACE - STRUČNÝ POPIS MOSTNÍ KONTRUKCE

Železniční most v ev. km 3,706 (ozn. SO-20-20-05 v Přípravné dokumentaci SUDOP [1]) přemostňuje řeku Vltavu třemi mostními otvory. Nosné konstrukce byly vyrobeny v roce 1901. Nosné konstrukce jsou navrženy jako uzavřené příhradové násobné soustavy se zakřiveným horním pásem o shodném rozpětí 71,72 m. Jednotlivé profily jsou odstupňovány dle očekávaných namáhání. Most je dvoukolejný s prvkovou mostovkou, tvořenou příčnicí a nespojitými podélníky, které jsou vkládány mezi příčnice. Osová vzdálenost mezi hlavními nosníky je 8.80 m. Výška hlavního nosníku se mění od 7,136 m u portálu až po 12,347 m ve středu rozpětí. Tvar horního pásu je polygonálně lomený v místě styčniců. Hlavní nosník je členěn na 16 příhrad s délkami 3,46 m + 4,00 m + 4,40 m a 5 x 4,80 m na polovině rozpětí. Na oba hlavní nosníky jsou připojeny konzoly lávky pro pěší s volnou šířkou mezi zábradlím 1820 mm.



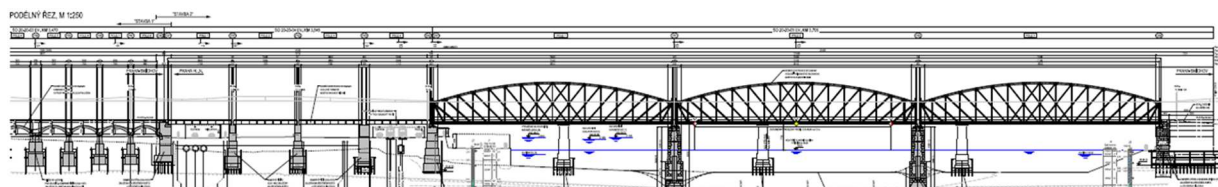
Obr. 2: Příčný řez ve středu rozpětí [1]

V rámci zesílení podélníků v roce 1987 byly podélníky doplněny o mostovkové ztužení a dále o brzdné ztužidlo. Ztužidlo bylo situováno do středu nosné konstrukce a ke krajům do 2. příhrady. Při rekonstrukci byly osazeny chodníkové plechy a podélníky chodníkových plechů. Horní nadmostovkové ztužení bylo komplexně rekonstruováno v roce 1970 společně

s elektrifikací železnice. Horní ztužení je tvořeno rombickou soustavou s příčlemi (svislicemi). Původní ztužení příčného řezu bylo kompletně odstraněno a nahrazeno příčlí v úrovni horního pásu ze svařovaného nesymetrického I profilu. Součástí rekonstrukce byly krajní portály.

Nosné konstrukce jsou uloženy na ocelolitinových ložiscích. Dilatační pohyb všech konstrukcí je od Smíchova směrem k Vyšehradu. Pohyblivá ložiska jsou válcová s pěti válci Ø 160 mm a vahadlem. Pevná ložiska jsou stojanová. Spodní stavba je masivní z rádkového kamenného zdiva, s výplní betonem. Způsob založení je v případě opěry O01a pilířů P01 a P02 plošné. Pilíře jsou založeny na ocelových nýtovaných kesonech. Smíchovská opěra O02 z roku 1871 je založena na dřevěném pilotovém roštu. V rámci osazení nových konstrukcí v roce 1901 byla provedena úprava horní části opěry v místě úložných kvádrů a říms na křídlech.

Soubor mostních konstrukcí je od prosince 2004 kulturní nemovitou památkou „Železniční most – soubor železničních mostů na trati Praha hl. n. – Praha Smíchov“.



**Obr. 3:** Podélný řez mostem s předpolím

Mimo řešeného mostu o třech polích přes Vltavu tvoří soubor mostů další 4 objekty, v přímé návaznosti je předpolí tvořené trémovým ocelovým mostem navazující dále na kamenné klenby.

## **2 REŠERŠE OPRAV PODOBNÝCH MOSTŮ**

V této kapitole je provedeno rešeršní shrnutí informací ohledně provádění rekonstrukcí ocelových nýtovaných mostních objektů podobných mostu pod Vyšehradem v ev. km 3,706 v ČR i zahraničí.

### **2.1 PŘÍSTUP KE STÁVAJÍCÍM NÝTOVANÝM ŽELEZNIČNÍM MOSTŮM S VYSOKOU KULTURNÍ HODNOTOU DLE [8]**

Níže jsou odstavce vycházející z překladu textu článku [8] prof. Brühwilera, který k dané problematice publikoval. Tyto odstavce shrnují východiska případného hodnocení existujících historických nýtovaných konstrukcí mostů.

*Nýtované konstrukce pro stavbu mostů zažívaly rozkvět v období let 1880 až 1910. Pro jejich výstavbu byla používána svářková (vrstevnatá struktura) či první plávková ocel (struktura podobná současné oceli). Příhradové nýtované konstrukce umožnily překlenout větší rozpětí při vysoké štíhlosti a byly hospodárnější z hlediska spotřeby materiálu oproti soudobým běžně používaným konstrukcím. Nevýhodou těchto konstrukcí je v současnosti vysoká pracnost výroby daná již dlouho překonanou technologií nýtování a nevhodné konstrukční detaily z hlediska zajištění ochrany proti korozi a údržby (členěné pruty).*

*V případě železničních nýtovaných mostů je nutno kromě technických a ekonomických požadavků zohlednit také památkové aspekty. Posouzení/přepočet historických nýtovaných konstrukcí se současnou úrovní poznání a současnými výpočetními možnostmi v kombinaci s monitoringem konstrukcí umožňuje v maximální míře prodloužit životnost stávající konstrukce.*

*Aktuálně platné normy pro navrhování nových konstrukcí v zásadě nejsou nebo jsou jen z části použitelné pro statickou analýzu nosné konstrukce - kladou vysoké požadavky z hlediska trvanlivosti a údržby, neobsahují pravidla pro historické materiály a dřívější způsoby výstavby.*

*U stávajících nýtovaných železničních mostů je nutno zpravidla:*

- *Ověřit únosnost na větší dopravní zatížení s vyšší intenzitou provozu oproti původnímu návrhu*
- *Pokud konstrukce vyhoví, bývá zpravidla rozhodující posouzení na únavu a splnění požadavků pro mezní stavy použitelnosti*
- *Mimořádné situace jako vykolejení, náraz do pilířů, povodeň, zemětřesení zpravidla nebyly nebo byly nedostatečně zohledněny v původním návrhu mostu - musí být proto ověřeny*
- *Trvanlivost mostu musí být obnovena a vylepšena PKO*
- *Provozní a stavební zásahy musejí být optimalizovány, aby měly minimální dopad na omezení provozu.*

*V případě rekonstrukcí stávajících nýtovaných železničních mostů je nutno zpravidla provést:*

- *Smysluplné statické a dynamické zatěžovací zkoušky pro kalibraci modelu*
- *Monitoring napětí v prvcích - důležitý z hlediska posouzení únavy*



- Údržba/oprava - výměna volných nýtů (lze použít VP a předepnuté šrouby)
- Údržba/oprava - výměna ocelových prvků u otevřené mostovky, úprava mostovky
- Údržba/oprava - ložiska
- Údržba/oprava – Obnova PKO

*V případě nutnosti výměny konstrukce se nabízející následující možnosti:*

- Replika - zpravidla drahá, zachování maximální architektonicko-historické hodnoty, mosty jsou svědky inženýrského umění, které zrcadlí duch tehdejší doby
- Částečná replika s využitím moderních konstrukčních technologií - také drahá, jedná se o "kompromis" architektonického a konstrukčního řešení, historická hodnota je diskutabilní, z architektonického hlediska je jedná o "hybrid" mezi minulostí a současností
- Nová konstrukce - dosud měla každá generace právo navrhovat konstrukce svobodně dle dostupných dobových technologií a materiálů, a tak bývaly původní konstrukce v minulosti nahrazovány např. právě příhradovými nýtovanými konstrukcemi, které tímto můžeme obdivovat nyní

## **2.2 PŘÍKLADY OPRAV MOSTŮ V ČR**

### **2.2.1 Silniční most přes nádraží Praha – Vršovice na ulici Bohdalecká**

Jedná se o silniční most s dolní mostovkou se dvěma příhradovými nosníky s horním parabolickým pásem.



**Obr. 4:** Částečný pohled na konstrukci mostu

Stávající ocelový most z roku 1914 měl značně zkorodované prvky mostovky, což snižovalo jeho zatížitelnost. Při opravě dokončené v roce 2005 byly vyměněny některé podélníky, horní pásnice příčníků a některé další ocelové prvky mostovky. Původní ocelová ložiska byla očištěna a nakonzervována. V rozsahu celého půdorysu mostu byla provedena nová betonová deska mostovky s použitím filigránových desek. Hlavní nosníky a horní ztužení zůstaly původní, neboť byly v celkem dobrém stavu. Hlavní nosníky jsou podobných složených průřezů jako u mostu pod Vyšehradem. Celá ocelová konstrukce byla otryskána pískem a provedena nová protikorozní ochrana čtyřvrstevným nátěrem. V současné době (necelých 14 let po dokončení opravy) jsou již patrné na hlavních nosnících závady na PKO a korozní výluhy – je zřejmé, že do vyplněných mezer mezi profily svislic a diagonál zatéká a dochází ke korozi ocelové nosné konstrukce mostu.

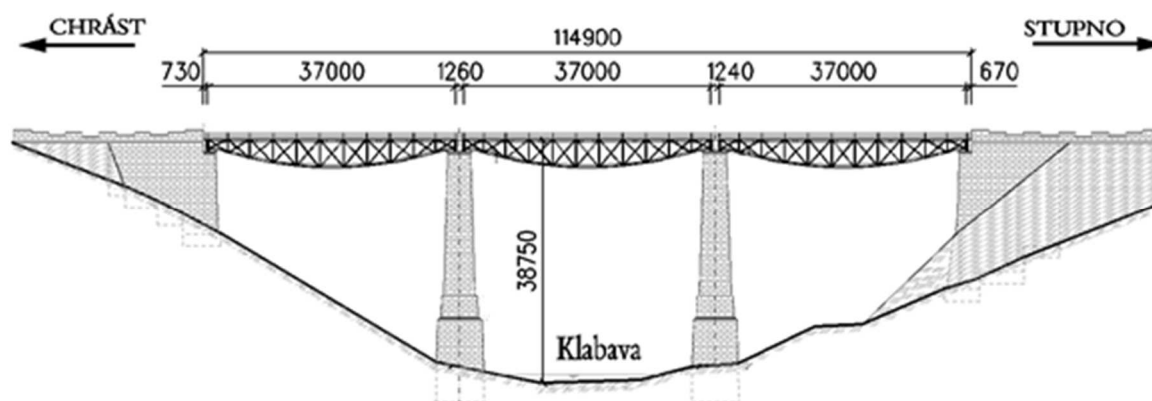


**Obr. 5:** Závady 13 let po rekonstrukci (foto z roku 2018) [foto SUDOP]

## 2.2.2 Železniční viadukt Chrást (Plzeň-sever) [11]



Obr. 6: Letecký pohled na most



Obr. 7: Geometrie nosné konstrukce mostu

### Popis mostu

Jednokolejný železniční most z roku 1892 o třech otvorech tvoří ocelová trémová příhradová nýtovaná nosná konstrukce ve všech mostních otvorech shodná, podepřená dvěma zděnými hranolovými pilíři z kamenných kvádrů. Rozpětí hlavních nosníků je 37 metrů a jejich vzdálenost je 2,8 metru. Příhradové nosníky jsou složeny soustavy s přímým horním pásem a parabolicky zakřiveným dolním pásem. Výška nosníku nad podepřením je 1,5 metru a ve středu rozpětí 4,5 metru. Prvková mostovka je tvořena příčníky a podélníky, na které jsou plošně uloženy dubové mostnice.

### Popis závad

Stavební stav mostu se postupem doby zhoršoval kvůli degradující protikorozní ochraně, která byla provedená naposledy v roce 1938, až hrozilo roku 2003 zastavení provozu. Přepočtem v roce 2000 byla stanovena přechodnost 80% traťové třídy A při rychlosti 10 km/h. Přepočtem nosné konstrukce bylo prokázáno, že pro odstranění nevyhovující zatížitelnosti  $Z_{UIC} = 0.38$  je nezbytná oprava nosné konstrukce.



**Obr. 8:** Detaily mostní konstrukce před opravou

### **Oprava mostu**

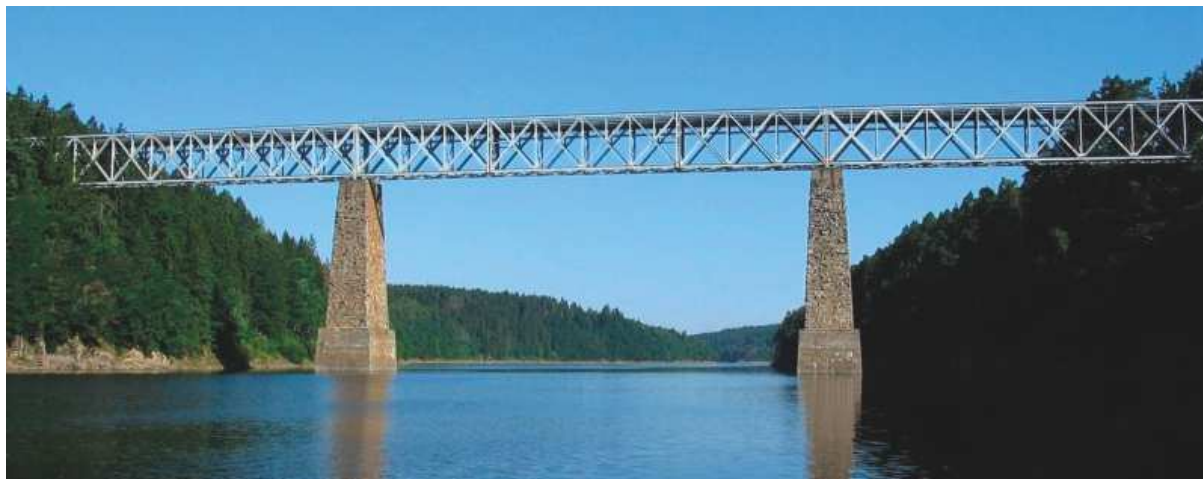
V letech 2002-2003 proto byla provedena celková oprava mostu, která zahrnuje opravu železničního svršku včetně výměny kolejnic, opravu konstrukce včetně zesílení a provedení protikorozní ochrany a opravu vodorovných ploch úložných prahů spodní stavby. Pro všechny tři ocelové konstrukce byly navrženy tyto úpravy: zesílení hlavních nosníků a podélníků, výměna horního a dolního ztužení vč. revizní lávky, výměna zábradlí vč. chodníkových fošen.

Postupnou výměnou prvků a celkovou obnovou PKO se podařilo při velmi přijatelných nákladech (cca 6,5 mil. Kč na jedno pole) opravit most. Záchranou této ojedinělé konstrukce se podařilo udržet provoz na trati Chrást–Stupno, která v roce 2003 oslavila 140 let od svého vzniku.



**Obr. 9:** Detaily mostní konstrukce po opravě

### 2.2.3 Železniční most v km 41,791 trati Tábor – Písek, Červená nad Vltavou [11]



Obr. 10: Pohled na most

#### Popis mostu

Železniční jednokolejná mostní konstrukce o pěti mostních otvorech má celkovou délku mostu 284,20 m. Mostní konstrukce je tvořena v 1. a 5. poli kamennou klenbovou konstrukcí, v poli 2, 3 a 4 je příhradová nýtovaná ocelová konstrukce rombické soustavy se svislicemi s mezilehlou mostovkou. Rozpětí polí příhrady je  $84,40 + 84,40 + 84,40 \text{ m} = 253,2 \text{ m}$ . Ve středním poli jsou vloženy dva klouby, tzn., že konstrukce působí jako staticky určitá tzv. „Gerberův nosník“. Krajní nosníky jsou s převislými konci s vyložení  $3 \times 8,44 = 25,32 \text{ m}$ . Vložené pole má rozpětí  $4 \times 8,44 \text{ m} = 33,76 \text{ m}$ . Délka příhrad je po délce konstrukce shodná 8,44 m. Mezilehlé svislice jsou v polovině příhrady zapojené do styčnicku křížení diagonál. Most je z plávkové oceli.

Horní pás je „Pí“ průřez složený s plechů a úhelníků základní výšky 0,529 m. Dolní pás je tvořen dvojicí obrácených T profilů. Svislice jsou z I profilů v dolní části příhradových a v horní části plnostěnných. Nadpodporové svislice a svislice v místě vloženého kloubu jsou příhradové vícečetné uzavřené obdélníkové průřezy. Průřezy diagonál jsou většinou z H příhradového nebo plnostěnného profilu. Diagonály ve střezech polí, kde dochází ke střídání tlaku a tahu, jsou z uzavřených obdélníkových příhradových průřezů. Mostovka je mezilehlá prvková tvořená podélníky a příčníky. Výška horního pásu nad TK je cca 1,2 m. Podélníky výšky 0,6 m jsou plnostěnné nýtované I profily v osové vzdálenosti 1,8 m. Podélníky působí jako spojitě průběžné. Příčníky jsou příhradové výšky 1,6 m. Příčníky podpírají podélníky ve vzdálenosti 4,22 m a jsou přes styčnickové plechy připojeny ke svislicím a mezilehlým svislicím.

#### Popis závad

Při podrobné prohlídce mostu (2014-15) byly zjištěny závažné poruchy, které byly limitující pro zbytkovou životnost mostní konstrukce. Zejména se jedná o detail v místě připojení příhradové spojky členěného prutu mezi dvojicí krčních úhelníků. V úzkém prostoru šterbiny mezi krčními úhelníky se usazuje nečistota a stálou vlhkostí dochází k prokorodování celých přírub krčních úhelníků nebo výraznému koroznímu úbytku. Z hlediska možnosti opravy se jedná o neopravitelnou poruchu, kterou lze vyřešit pouze výměnou celého prvku. V

čase se bude koroze těchto poruch zhoršovat. Z hlediska únosnosti jsou zjištěné poruchy významné a výrazně snižují únosnost prutů, která se bude rozvojem koroze dále snižovat. Při prohlídce byl zjištěn velký rozsah těchto poruch. Týká se prakticky všech pilířových svislic a převážně všech tažených diagonál. V mnohých případech bylo korozní poškození kryto silnou vrstvou nátěru, který byl však v místě poruchy na poklep dutý a pomocí kladívka bylo možné zkorodovanou přírubu krčního úhelníku zcela odstranit. Výměna všech těchto postižených prvků ve zjištěném rozsahu by v podstatě odpovídala výrobě repliky celé nosné ocelové konstrukce. Dalším prvkem, který je výrazněji oslaben korozí jsou podélníky, kde dochází ve styčné spáře v uložení na horní pásnici příčnicku ke korozním úbytkům krčních úhelníků. Poruchu lze opravit pouze výměnou podélníků. Při statickém přepočtu bylo zjištěno, že konstrukce není schopná přenášet současná normová zatížení, zejména zatížení větrem a brzdnými silami, která vyvolávají enormní přídatná napětí v posuzovaných prvcích, což je dáno zejména absencí ztužidel, které by přenášely zatížení do globálního systému.

#### Návrh výměny mostu

S ohledem na stavební stav ocelové konstrukce a po vyhodnocení možnosti konstrukčních úprav byly navrženy jen opravy lokálního charakteru bez obnovy nátěrového systému. Zachování provozuschopnosti na trati bylo podmíněno realizováním výměny ocelové konstrukce s komplexní sanací spodní stavby v horizontu 5 let.



**Obr. 11:** Průhled osou mostu v úrovni dolního pasu

#### 2.2.4 Železniční most v km 1,429 Trati Pňovany-Bezručice (Hracholusky)

Most byl jednokolejný s příhradovými hlavními nosníky proměnné výšky od 3,9 m na koncích po 6,7 m uprostřed rozpětí a mezilehlou mostovkou. Rozpětí polí příhradové ocelové nýtované konstrukce činilo 3x 57 m. Konstrukce mostu byla vyrobena v letech 1899-1900. Poslední velká údržba mostu byla provedena v letech 1969-1973. Jedná se o trať s nízkým provozem, přejezdem cca 7 vlaků denně. V roce 2015 byl prohlídkou zjištěn havarijný stav mostu. Podrobnou korozní prohlídkou byly zjištěny nerovnoměrné lokální korozní úbytky, rozsáhlá korozní oslabení hlavních nosných prvků. Na základě statického přepočtu bylo prokázáno, že most již není možné dále ponechat v provozu. Bylo rozhodnuto o jeho výměně za novou tvarově podobnou konstrukci, která proběhla v letošním roce.



**Obr. 12:** Pohled na most před rekonstrukcí



**Obr. 13:** Výměna prvního oblouku



**Obr. 14:** Vizualizace mostu s lávkou



## 2.3 PŘÍKLADY ZAHRANIČNÍCH MOSTŮ

### 2.3.1 Hohenzollernbrücke (Německo, Köln) [13]

Most Hohenzollernů (německy Hohenzollernbrücke) je železniční most přes řeku Rýn v Kolíně nad Rýnem. Tvoří ho 3 samostatné dvojkolejné mosty o třech polích, celkové délky 413 m a celkové šířky 40 m, viz obr. 11,12. Délky jednotlivých polí a maximální výšky nosné konstrukce v jednotlivých polích jsou uvedeny na obrázku 15.



Obr. 15: Informační desky u mostu

Každý z mostů má jiné konstrukční řešení, viz. obr. 16-19. Most byl vybudován podle návrhu architekta Franze Heinricha Schwechтена v letech 1907 až 1911; nejprve v podobě dvou mostů železničních a jednoho silničního. V roce byl vyhozen do povětří 1945 německou armádou, po skončení války byl přebudován, doplněn o lávky pro pěší a cyklostezku.

Most Hohenzollernů je staticky řešený jako příhradový oblouk s dolní mostovkou zavěšenou na svislých táhlech. Při rekonstrukci byly tažené prvky a mostovka kompletně vyměněny a prvky oblouku opraveny. Ačkoliv je most Hohenzollernů vizuálně podobný mostu pod Vyšehradem, z hlediska statického působení se jedná o zcela rozdílné konstrukce (most pod Vyšehradem působí jako příhradový nosník).

Most je jednou z nejvýznamnějších dopravních spojnic v německé dopravní síti. Přímo za ním se totiž ze staroměstské strany nachází hlavní kolínské nádraží, viz obr. 12, takže rychlost provozu na mostě je limitována. Denně přes most přejede cca 1120 vlaků a jedná se tak o nejčastěji pojížděný most v Německu. Na dvou levých mostech jsou koleje přímo upevněny přes mostnice k mostní konstrukci, nejvyšší dovolená rychlost zde činí 60 km/h, běžná

rychlost vlaků při vjezdu do nádraží je ale 20-30 km/h. Na nejnovějším pravém mostě pro S-Bahn je kolejové lože s nejvyšší rychlostí vlaků 80 km/h respektive 50 km/h od návěstidla na západním konci mostu směrem od nádraží.



**Obr. 16:** Letecký pohled na most



**Obr. 17:** Různá konstrukční řešení každého ze tří dvojkolejných mostů patrná z rozdílnosti krajních portálových rámu



**Obr. 18:** Různá konstrukční řešení mostovky každého ze tří dvojkolejných mostů



**Obr. 19:** Různá konstrukční řešení oblouků. Konstrukce oblouků jsou nýtované a svařované



**Obr. 20:** Detail oblasti oblouku s velkou koncentrací nýtových spojů a příložek

### 2.3.2 Untere Limmatbrücke Wettingen, (Švýcarsko) [8-10]

- jedná se o 3 paralelní železniční jednokolejné mosty z roku 1922
- nosnou konstrukci tvoří spojitý příhradový nosník přes 3 pole celkové délky 133 m
- horní mostovka
- most byl vyroben z plávkové oceli
- otevřená mostovka byla nejslabší místo mostu, proto byla nahrazena podobnou s vylepšenými konstrukčními detaily z hlediska únavy, hlavní nosníky zůstaly zachovány, dnes je most využíván pro traťovou třídu D3



**Obr. 21:** Pohled na most

### 2.3.3 Most přes Rýn v Eglisau, (Švýcarsko) [8-10, Příloha 3]

- jednokolejný most s horní mostovkou z roku 1897 z plávkové oceli
- pole přes řeku - prostý příhradový nosník o rozpětí 90 m výšky 9 m
- vysoká historická hodnota, součástí kamenné klenbové estakády o 20 polích s rozpětími kleneb mezi 12-15 m celkové délky 457 m
- pohnutá minulost, během provozu problémy s poklesem a horizontálními posuny přilehlých nábrežních pilířů směrem do ocelového pole, několikanásobné přenastavování posuvných ložisek, trhliny + poklesy ve vrcholu sousedních kleneb - > následně v roce 1921 podchycení klenby předpětím, předpětím byla vnesena do spodního pásu příhrady síla cca 1000 kN, měření na ocelové konstrukci
- statický přepočít 1980 -> v 1982/83 zesílení některých prvků konstrukce (zejména spojů) + změna otevřené mostovky na kolejové lože, kompletní obnovení PKO
- statický přepočít z let 2001-2003 nevyhověl na únavu -> výpočetní nejistoty, nepodložené odhady, příprava rozsáhlého monitoringu
- v roce 2010 dlouhodobě monitorován pomocí 137 měřičů
- výsledky - změnou typu mostovky došlo k výrazné redukci únavového namáhání
- proveden sofistikovaný podrobný výpočet únavové životnosti na základě měření
- únavová životnost díky zpřesnění vstupních informací predikována na cca dalších 50 let



**Obr. 22:** Pohled na most Most přes Rýn v Eglisau

Obnovení PKO v roce 2019 bylo prováděno ve čtyřech etapách. Otryskání konstrukce bylo prováděno ve vzduchově nepropustném zaplachtování (s mírným podtlakem v oblasti zaplachtování). Zbytky po tryskání pískem byly transportovány do stanu pod prvním kamenným obloukem, kde byly od sebe separovány otryskané korozní produkty (obsahující olovo) a písek, který byl znovu používán k tryskání, viz obr. 23.



**Obr. 23:** Vzduchově nepropustné zaplachtování, vpravo pohled dovnitř zaplachtování



**Obr. 24:** Pohled na konstrukci před otryskáním – PKO na površích je stále funkční, dochází k lokální korozi, korozní úbytky jsou stále zanedbatelné



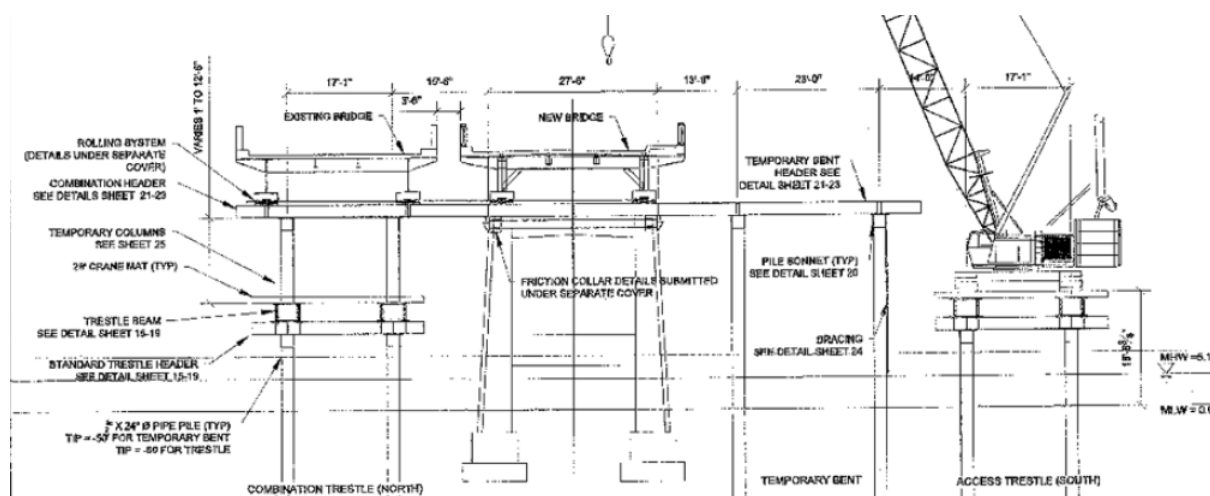
**Obr. 25:** Pohled na konstrukci po aplikaci nové PKO, vpravo je ukázáno, že lze vyčistit a aplikovat PKO i do úzkého prostoru mezi plechy bez nutnosti vyplnění spáry

### 2.3.4 Ben Sawyer Bridge - Výměna mostu v USA [16]

Silniční most Ben Sawyer Bridge tvoří jedinou přímou spojnicí z pobřežního města Mount Pleasant na ostrov Sullivan's Island. Původní ocelový most byl otevřen v roce 1945 a je považován za kulturní dědictví. Jedná se dlouhý komplex mostů s hlavním zdvižným příhradovým polem přes plavební kanál. Most byl ve špatném stavu a vyžadoval opravu. V roce 2005 bylo proto rozhodnuto, že původní konstrukce musí být zachována v maximálním rozsahu. Vzhledem k technickému stavu konstrukce byla ponechána původní spodní stavba. V případě ocelové konstrukce bylo rozhodnuto, že bude provedena její výměna za vzhledově obdobnou konstrukci. Výměna byla provedena s uzavírkou mostu na pouhých 10 dní následujícím způsobem: Byly sestaveny montážní bárky po obou stranách konstrukce. Nový most byl vyroben v mostárně, přivezen lodí a umístěn vedle stávající konstrukce na montážní bárky. Během dopravní uzavírky byla provedena výměna zdvižného zařízení (výsuvných podpor) a byl proveden horizontální přesun staré konstrukce na montážní bárky a přesun nového mostu do finální polohy.



Obr. 26: Výměna hlavního příhradového pole – horizontální přesun přes montážní bárky.



Obr. 27: Schéma výstavby

### 3 REKAPITULACE NÁVRHU REKONSTRUKCE SUDOP

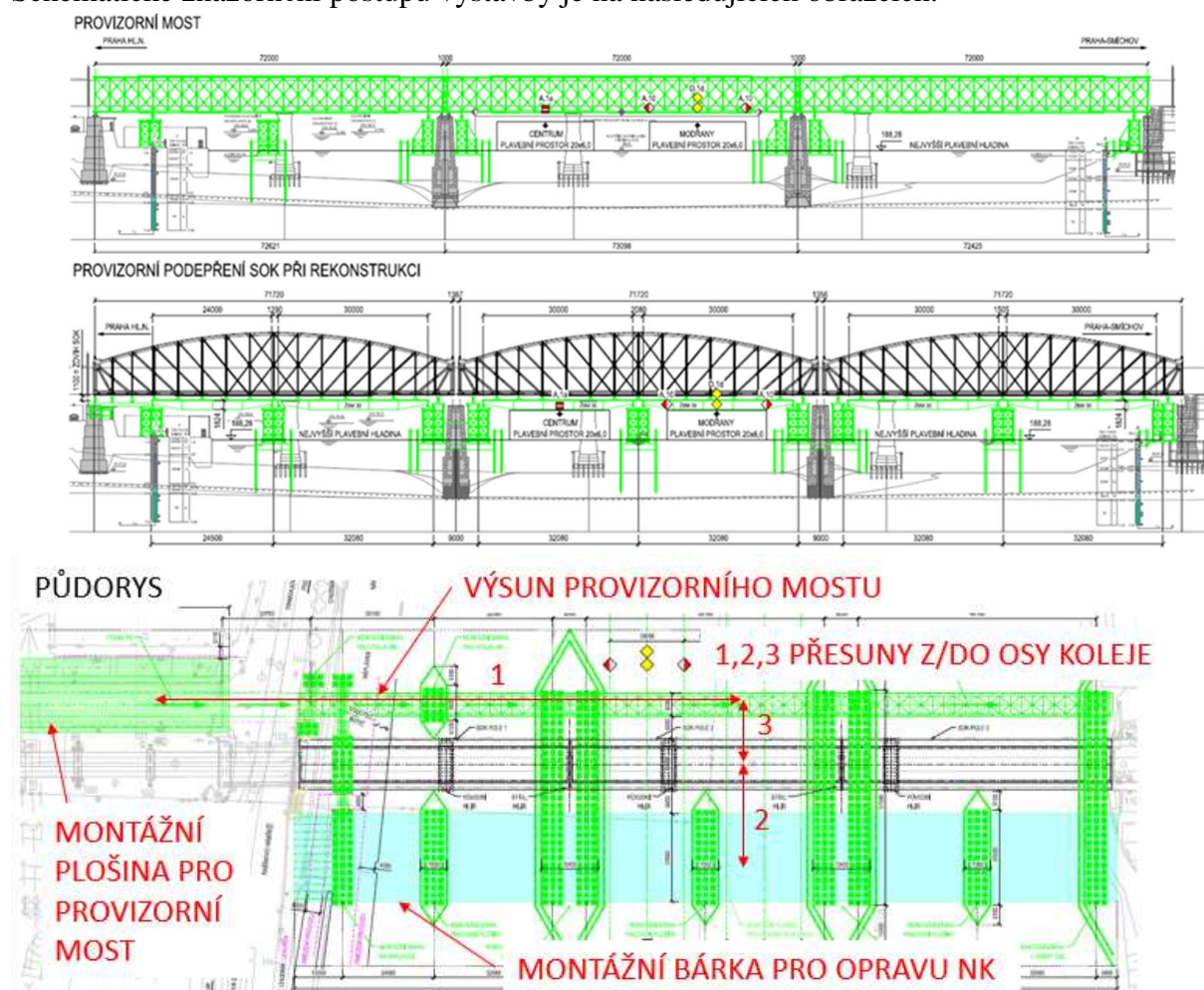
#### 3.1 REKONSTRUKCE

Na základě analýzy, firma SUDOP uvažovala s tím, že by se muselo vyměnit 60-70 procent prvků (mostovka, svislíce, diagonály a částečně dolní pasy), přičemž bude dosaženo prodloužení životnosti mostu pouze na dobu 30 let.

Rekonstrukce ocelové konstrukce v navrženém rozsahu **vyžaduje odlehčení konstrukce** jejím podepřením na bárkách. Znamenalo by to vyloučení provozu z konstrukce a vytvoření náhradního provizorního mostu. Pro rekonstrukci mostu bylo tedy předpokládáno:

- Rekonstrukce mostů by probíhala na montážní plošině v odsunuté poloze (po směru řeky).
- Zajištění jednokolejného provozu po dobu cca 4 stavebních sezón tzn. 42 měsíců, což představuje zásadní omezení dopravní kapacity tohoto úseku.“ Pro zajištění provozu po dobu výstavby bude vybudováno mostní provizorium o rozpětí 3 x 72 m typu ŽM16 v konfiguraci 2p2sz.
- Nosná konstrukce výtoňského předpolí by byla rekonstruována mimo polohu v mostárně zhotovitele.

Schematické znázornění postupu výstavby je na následujících obrázcích.



Obr. 28: Schéma postupu opravy výstavby dle návrhu SUDOP



Citace souhrnné hodnocení a doporučení dalšího postupu uvedeného v návrhu rekonstrukce dle dokumentace SUDOP [1] je následující:

Po vyhodnocení rozsahu navrhovaných úprav je k záměru investora na rekonstrukci při zachování stávající konstrukce pro dané SO nutné uvést, že navrhovaný rozsah rekonstrukce ocelových konstrukcí mostů v km ev. 3,545 a km ev. 3,706 je neúměrný celkové době provádění, dlouhodobému omezení provozu, finančním nákladům a výsledně dosaženým parametrům s omezenou životností 30 let a doporučujeme zadavateli přehodnocení záměru na rekonstrukci ocelových konstrukcí mostů a dále uvažovat s výměnou nosných konstrukcí, které pro daný mostní objekt zajistí životnost 100 let. K tomuto návrhu je však nutné dosažení sejmutí památkové ochrany na tyto dotčené části mostu.

### 3.2 POROVNÁNÍ S VARIANTOU NOVÉHO MOSTU

**V případě realizace nového mostu** by byla provedena výměna mostu za nový s tím, že spodní stavbu by bylo třeba sanovat za provozu při omezení vždy jedné z kolejí. Paralelně by se postavil nový most a pak provedla výměna příčným přesunem.

V rámci zpracování tzv. Technických průkazů [15] byly provedeny časové i finanční rozborů porovnávající variantu novostavby ocelové konstrukce a opravy dle předpokladů SUDOP [1] s výměnou prvků. V rámci Průkazů se porovnávala varianta nového mostu a rekonstrukce na celý úsek mostů. Část přes Vltavu je pouze objekt 20-20-05. Porovnání odhadovaných nákladů je v následující tabulce.

**Tab. 1:** Porovnání předpokladů

<b>"Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem"</b>		
SO	INVESTIČNÍ NÁKLADY	
	PD - rekonstrukce [Tis Kč]	N - nový [Tis Kč]
SO 20-20-01	31 630	31 630
SO 20-20-02	9 961	16 177
SO 20-20-03	47 912	47 912
SO 20-20-04	75 718	92 989
<b>SO 20-20-05</b>	<b>535 277</b>	<b>369 847</b>
SO 20-20-05.1	14 151	18 362
SO 20-20-05.2	1 020	1 020
SO 20-20-05.3	32 948	32 948
SO 20-23-01	1 353	1 353
<b>Pouze objekty 05</b>	<b>583 396</b>	<b>422 177</b>
<b>CELKEM</b>	<b>749 970</b>	<b>612 238</b>

<b>ZMĚNA N x PD</b>	<b>-137 733</b> <b>-18%</b>
---------------------	--------------------------------

- PD rekonstrukce památkově chráněných žel. mostů pod Vyšehradem - aktuálně připravovaná DÚR stavby "Rekonstrukce žel. mostů pod Vyšehradem"
- N studie pohledově podobných konstrukcí dvojkolejného mostu s novou ocelovou nosnou konstrukcí na sanované stávající spodní stavbě

**Z provedených rozborů v Průkazech lze konstatovat:**

- a) Rekonstrukce s výměnou prvků by trvala 4 stavební sezóny tj. cca 4 roky cca 48 měsíců
- b) Výstavba nové konstrukce by proběhla během stavebních 2 sezón, tzn. cca 20 měsíců tj. cca o polovinu kratší dobu než rekonstrukce. Znamenalo by to výrazně menší dopad do provozu na stávajícím mostě.
- c) Předpokládá se omezení při opravě spodní stavby na jednokolejný provoz a následně prakticky krátký časový úsek při přesunu konstrukcí do nové polohy.
- d) Dle předpokladů SUDOP bude životnost rekonstrukce vzhledem k ponechání jistých částí konstrukcí při navýšení provozu z 19 mil.hr.t/rok na 35 mil. hr.t /rok max. 30 let.
- e) Nový most bude mít návrhovou životnost min. 100 let.

**4 ZÁVĚRY ZE STUDIE PROF. BRÜHWILERA**

Tato kapitola vychází ze zprávy prof. Brühwiler „Railway Bridge „Pod Vyšehradem“ in Prague – Preservation of the existing bridge: Assessment and feasibility study for the restoration“, která je přiložena v **Příloze 1** této zprávy. Specifikace zadání pro prof. Brühwiler je uvedeno na str. 3 jeho expertizy (viz. **Příloha 1**) a zahrnovalo:

- 1) review of the reports established by the SUDOP company and the Klokner Institute regarding the current bridge condition, the calculated structural and fatigue safety of the riveted steel structure as well as the proposed remedial measures
- 2) comparison and benchmarking with similar cases of riveted steel railway bridges (in Switzerland)
- 3) proposal of an intervention concept with the objective to maintain the original bridge structure as far as possible, considering economic aspects and a long future service duration for future railway service.

Úlohou pana prof. Brühwiler tedy bylo na základě jeho dlouholeté zkušenosti s rekonstrukcemi železničních nýtovaných konstrukcí vyvodit závěry a doporučení z průzkumů a výpočtů provedených SUDOP v rámci přípravné dokumentace pro rekonstrukci železničního mostu Pod Vyšehradem [1], expertní zprávy Kloknerova Ústavu [2] zabývající se zhodnocením a doplněním původního diagnostického průzkumu SUDOP a expertní zprávy Univerzity v Žilině [3] zabývající se posouzením statického přepočtu SUDOP. Prof. Brühwiler provedl také osobní prohlídku mostu, která proběhla při jeho návštěvě Prahy 21-22.2.2019. Při návštěvě prezentoval dílčí závěry pracovníkům KÚ, SUDOP i SŽDC. Do projektu zapojil také svého studenta Nikolaie Martina, který provedl porovnávací přepočet únosnosti mostu podle švýcarské normy SIA 269/3 «Existing steel structures».

Lze konstatovat, že posudek pana prof. Brühwiler je zpracován srozumitelně, přehledně a pečlivě. Oproti stávajícímu pohledu na opravu prezentovanou dokumentací SUDOP přichází pan profesor s inovativními avšak z pohledu ČR experimentálními a v podmínkách ČR neproověřenými a právně nepodloženými přístupy.

## 4.1 STATICKÁ ANALÝZA

Statická analýza byla Nikolaïem Martinem pod vedením profesora Brühwilera provedena podle švýcarské normy SIA 269/3 s přihlédnutím k Erokodům a dokumentu CEN/TC 2050 M515 WG2.T1 Assessment of Existing Structures – final draft 04/2018.

### Předpoklady analýzy:

- Zatížení odpovídající traťové třídě D4
- Poškozené průřezy hlavních nosníků budou obnoveny na původní rozměry.
- Mostovka bude upravena na pevnou jízdní dráhu pomocí aplikace systému Edilon s využitím prefabrikovaných panelů z UHPFRC, které budou přes zabudované kotevní desky s trny přivařeny ke stávajícím podélníkům, slepeny epoxidem a následně předepruty.
- Předpoklad vytvoření plastického kloubu ve styčnicích i u prvků, což vede k eliminaci sekundárních ohybových momentů

### Závěry statické analýzy:

- V případě obnovení průřezů na původní rozměry vyhoví hlavní nosníky pro posudek MSÚ s rezervou.
- Při obnovení průřezů na původní rozměry není posudek únavy kritický z důvodu relativně malých rozkmitů napětí, která jsou menší než mez únavy.
- V případě úpravy mostovky na pevnou jízdní dráhu, stávající prvky mostovky vyhoví s rezervou na MSÚ i únavové namáhání.

**Tab. 2:** Porovnání výsledků posouzení SUDOP a EB- odlišné předpoklady – viz dále

Table 5.1: Structural safety verification at ULS (Type 2: ultimate resistance): Results obtained by SUDOP using UIC71 Load Model and EPFL using Line Class D4 Load Model for railway loading.

<u>Structural member</u>	SUDOP (UIC71)		EPFL (D4)
	"utilized capacity"	degree of compliance $n$	degree of compliance $n$
<u>Lattice Girder</u>			
Upper flange	78%	1.29	1.35
Lower flange	109%	0.92	1.42
Diagonal D7 (mid-span)	85%	1.18	2.08
Diagonal D2 (near support)	101%	0.99	1.16
Posts	117%	0.85	2.17
<u>Track supporting structure</u>			
Cross girder	146%	0.68	1.61
Floor beam	133%	0.75	1.16

Pozn. k tabulce:

Utilized capacity – využití v MSÚ

Degree of compliance – stupeň bezpečnosti (únosnost / zatížení)

Rozdílné vstupní předpoklady analýz

- SUDOP použil UIC 71 – zatěžovací model pro návrh mostů x EB model pro traťovou třídu D4 (UIC 71 je cca o 11% těžší než D4),
- SUDOP uvažuje uložení kolejnic stávající přes mostnice x EB úpravu na pevnou jízdní dráhu,
- SUDOP posoudil konstrukci se zahrnutím korozního oslabení podle platných předpisů v ČR x EB posoudil konstrukci bez korozního oslabení pro obnovení profilů do původního stavu podle švýcarské normy SIA 269/3

## **4.2 DISKUSE KE STATICKÝM ANALÝZÁM – SUDOP x EB**

Je to nutno poznamenat, že předpoklady statické analýzy SUDOP a EB byly zcela rozdílné.

**SUDOP provedl** detailní analýzu podle platných předpisů v ČR včetně předpisů SŽDC. Byla provedena lineární analýza na 3D-modelu **se zohledněním korozních oslabení na základě podrobného korozního průzkumu**. Posudek únavy byl proveden s využitím moderních přístupů pro redukci únavové únosnosti při korozi [7]. Tuhost styčnic byla spočtena pomocí nejnovějších metod analýzy [6] a byla dále odladěna na základě zatěžovacích zkoušek. Lze konstatovat, že z hlediska statického posouzení byl posudek SUDOP nadstandardní úrovně a SUDOP šel na hranici v ČR běžného a obvyklého přístupu.

**Přepočítání podle EB** byl proveden na konstrukci **bez zahrnutí korozního oslabení, s uvažováním kloubů ve styčnicích a s upravenou mostovkou na pevnou jízdní dráhu**. Přístup EB vede celkově k maximalistickému využití NK. Je nutno konstatovat, že přístupy podle SIA ovšem nejsou zcela kompatibilní s normami EN a našimi zvyklostmi zakotvenými v Metodickém pokynu SŽDC pro stanovení zatížitelnosti. Např. EB připouští plasticitu ve styčnicích i u prvků, což vede k eliminaci momentů ve styčnicích a následně k „vyšší únosnosti“ tj. optimističtějšímu pohledu na konstrukci, což není v našich předpisech povoleno.

Výsledky ze statické analýzy provedené firmou SUDOP podle aktuálně platných norem v ČR a provedené pod dohledem prof. Brühwilerera podle SIA 269 a CEN/TC 2050 M515 WG2.T1 by se za stejných vstupních předpokladů tj. zejména uvažování zkorodované konstrukce a obdobných zatížení zřejmě v zásadě příliš nelišily v konstatování, že most je ve velmi špatném stavu. Z tohoto také vychází i doporučení prezentovaná ve studii prof. Brühwilerera.

## **4.3 DOPORUČENÍ KONCEPCE OPRAVY**

Prof. Brühwiler potvrzuje, že celková současná kondice mostu je špatná, most je silně poškozený korozí. **Je zde zjevná potřeba most urgentně opravit**. Most je stále v provozu,

ačkoliv nýtovaná ocelová konstrukce mostu pravděpodobně již mnoho let vykazuje silná lokalizovaná korozní poškození.

Tabulka shrnující nejpodstatnější část popisu koncepce je uvedena níže.

**Tab. 3:** Souhrnná koncepce opravy specifikovaná v expertize prof. Brühwilera

There are four main types of intervention summarized in the following table and discussed hereafter.

<i>Element:</i>	<i>Intervention:</i>	<i>Remarks:</i>
1. Rail-track	Renewal by adding a fixed track in R-UHPFRC or in steel	optional, but highly recommended
2. Riveted steel structure	Repair of severely corroded zones	mandatory, urgent
	Application of new corrosion protection coating	
3. Bearings	Rehabilitation and repair	mandatory
4. Piers and abutments	Rehabilitation of natural stone masonry	mandatory
	Rehabilitation of pier foundations (in the river)	

Překlad obsahu tabulky 3 je následující

Zásahy, které je nutno provést v případě rekonstrukce mostu

<b>Prvek</b>	<b>Zásah</b>	<b>Poznámka</b>
Mostovka	Doporučeno upravit pomocí aplikace pevné jízdní dráhy z UHPFRC nebo z oceli	Volitelné, vysoce doporučené
Hlavní nosníky	Opravit vážně zkorodovaná místa, aplikovat novou PKO	Povinné, urgentní
Ložiska	Opravit, zrestaurovat	Povinné
Opěry a pilíře	Úprava podemletého dna (založení) a sanace zdiva	Povinné

Podle E. Brühwilerra: Stávající mostovka je nevhodná z hlediska přenosu brzdných sil a je slabým místem z hlediska únavy (namáhání některých nýtů na tah), je náročná na údržbu a je hlučná. Aplikace kolejového lože na stávající příčnický není možná, protože by jednak musela být navýšena niveleta trati (kromě rozsáhlých úprav před a za mostem by byla nutná i úprava portálů) a navíc by došlo k výraznému přetížení stávajícího mostu. Pan profesor navrhuje výměnu mostnic za pevnou jízdní dráhu se systémem Edilon. Tato úprava by představovala efektivní řešení, protože:

- a) zůstane zachována niveleta trati,
- b) dojde k pouze malému přetížení stávající konstrukce,

- c) dojde k výraznému zlepšení z hlediska statiky (ztužení prvkové mostovky pro přenos brzdných a rozjezdových sil, výrazná redukce namáhání příčníků a podélníků),
- d) deska s ozubem zajistí ochranu NK mostu při případném vykolejení vlaku (sníží se účinky zatížení pro mimořádnou návrhovou kombinaci),
- e) sníží se požadavky na údržbu mostovky, sníží se hlučnost.
- f) Vzhledem k tomu, že není potřeba rozebírat stávající prvky mostovky, by tato úprava mostovky byla z hlediska času i náročnosti provedení výrazně výhodnější.

Citace textu zprávy Prof. Brühwiler – možnosti opravy a PKO

## 6.2. Repair and corrosion protection of the riveted steel structure

Repair of corrosion damaged riveted steel elements is known since the beginning of riveted steel structures in the 19<sup>th</sup> Century. Methods, techniques and materials have evolved over the decades. In the present case, in order to repair the corrosion damaged zones, the following methods may be applied:

- In case rivets need to be removed or are missing, they are replaced by bolts. Riveted joints may be strengthened by replacing rivets by post-tensioned bolts.
- Voids between plates and due to corrosion are filled with epoxy resin for sealing, in particular to (1) preclude the ingress of air and moisture which would lead to further corrosion and (2) provide a smooth, level surface on to which a new steel elements can be fitted.
- Interfaces and gaps between plates are sealed with a (single component) polyurethane sealant or mastic.
- Flanges and webs showing localized corrosion damage with significant section reduction or full loss of a part of the section are repaired using cover plates in steel bolted to the element to restore the original section. Sometimes filler or packer plates are needed for adjustments. Alternatively, glued carbon fiber lamellas may provide the same effect as steel plates.

The bridge bearings are in satisfactory condition. New corrosion protection coating of the massive steel parts and maintenance works of the mobile parts is required.

Corrosion protection coating is reinstalled on the overall surface of the steel structure using conventional techniques including:

- 1) sandblasting of the whole steel structure inside a tight tent allowing for complete collection of all residual products,
- 2) disposal of the residual products that most likely contain lead based paint (mineral red), and
- 3) application of several layers of protection coating.

Co se týče konkrétního provedení opravy poškozených částí hlavních nosníků, pan profesor nastínil následující možná řešení:

- V případě chybějících či odstraňovaných nýtů, nýty nahradit šrouby. Spoje mohou být zesíleny pomocí aplikace předepnutých šroubů.
- Úzké mezery mezi plechy vyplnit epoxidem, aby se zabránilo přístupu vzduchu a vody.
- Mezery, plochy mezi částmi sdružených průřezů vyplnit polyuretanem nebo tmelem
- Pásnice vykazující velké korozní úbytky přelátovat pomocí příložek nebo alternativně zesílit pomocí karbonových lamel

Odstranění korozních produktů a aplikace PKO:

- Opískování konstrukce v „těsném stanu“ zajišťujícím, aby byly zachyceny všechny zbytkové produkty tryskání
- Odstranění suříkového základu obsahující olovo

Aplikace několikavrstvé protikorozi ochrany

#### **4.4 SHRnutí A DOPORUČENÍ EB**

Citace textu zprávy Prof. Brühwilera – závěry a doporučení

##### **7. Conclusions and Recommendations**

The condition and technical performance of the «Railway Bridge» in Prague, a riveted steel structure from 1901, resting on piers and abutments in natural stone masonry, has been investigated. The expertise relies on information, data and investigations provided by the Klokner Institute, SUDOP engineers as well as own investigations and benchmarking with similar cases of bridges, in particular in Switzerland.

The main conclusion is that preservation of the existing «Railway Bridge» is technically feasible while respecting current code provisions and allowing for a long future service duration:

- The structural safety at ULS Type 2 (ultimate resistance) and the fatigue safety at ULS Type 4 are verified for Line Class Model D4 (and tentatively also for UIC71 Load Model) provided that the riveted steel structure, in particular the members with severe corrosion damage, are restored and maintained in the future.
- Doubts regarding insufficient remaining fatigue duration are not justified. The fatigue relevant elements of the riveted main lattice girder are subjected to low fatigue stresses below the fatigue endurance limit such that it may be concluded that the riveted structure can be considered undamaged in terms of fatigue.
- The existing riveted structure has sufficient structural capacity in order to carry future train traffic including higher trainloads and higher train frequencies, without calling for systematic strengthening of most structural members. However, critical zones with severe corrosion damage must be repaired, and new corrosion protection painting is indispensable.

Preservation of the existing bridge implies some modifications, in particular related to the rail-track supporting system. These interventions will be of minor visual impact on the bridge aesthetics, and thus the restored bridge most likely will be still compatible with cultural values.

Based on these conclusions, it is recommended to estimate and update the cost for the following mandatory works:

- repair of damaged structural members: it is crucial to limit the cost for the repair of damaged structural members; effective and durable repair methods need to be implemented without calling for replacement of entire structural members. Such methods have been applied in similar cases.
- application of a new corrosion coating on the steel structure and maintenance of bearings
- rehabilitation of the natural stone masonry of the piers and abutments and consolidation of the foundations.

In addition, it is highly recommended to improve the rail-track supporting system by installing a new fixed track (in R-UHPFRC or steel construction) using the Edilon Track System.

**Dle profesora Brühwilera je možno rekonstruovat most následujícím způsobem:**

- Bude nutno opravit všechny vážně poškozené části.

- Je nutno eliminovat výměnu prvků, počet opravovaných míst. Nebude nejspíš nutná výměna prvků v oblasti hlavních nosníků, nebude ovšem snadné najít efektivní řešení pro opravu všech poškozených detailů.
- Není potřeba zesilovat konstrukci, původně navržené průřezy mají dostatečnou únosnost, je ovšem potřeba opravit poškozené části s vážným úbytkem průřezové plochy.
- Je doporučeno provést úpravu mostovky na pevnou jízdní dráhu s využitím desky z ultra-vysokohodnotného betonu nebo oceli (namísto jinak nutné kompletní výměny mostovky, která navíc není z hlediska únavy vhodná).
- Na základě zkušeností s podobnými mosty prof. Brühwiler předpokládá, že náklady na rekonstrukci by při provedení rekonstrukce způsobem, že by se nerozebíraly stávající nosné prvky, tzn. nemusela by se konstrukce přesouvat, k celkové výluce by došlo pouze na kratší období v řádu týdnů, by byly menší než nahrazení mostu novou konstrukcí.
- **Oprava musí být provedena efektivně, aby zajistila životnost konstrukce na min. dalších 80 let.**

## **5 KONTROLNÍ ZKOUŠKA ČISTĚNÍ – OVĚŘENÍ KOROZNÍHO STAVU**

### **5.1 POPIS PROVEDENÝCH PRACÍ**

Na základě dohody s objednatelem bylo řešení prací rozšířeno o kontrolní ověření možnosti čištění zkorodovaných částí a odstranění korozních zplodin ve špatně dostupných šterbinách mezi prvky členěných prvků. Podrobná zpráva z tohoto experimentálního programu je uvedena v Příloze 2.

Hlavním cílem experimentální práce bylo ověření možnosti očistit povrch jednotlivých profilů v míře potřebné pro aplikaci ochranných nátěrových systémů. Dále pak odhadnutí celkové časové a případně finanční náročnosti na předúpravu povrchu před aplikací protikorozi ochrany.

Současně bylo cílem ověřit závěry kontrolního měření u částečně otryskané vnější strany dolního pásu příhradové konstrukce (provedené v rámci rekonstrukce boční lávky firmou STRABAG v 08-09/2018), kdy bylo ve více případech zjištěno o cca 5% větší korozní oslabení průřezů, než jaké bylo stanoveno v původní prohlídce SUDOP [1], která byla provedena na neotryskané konstrukci.

V experimentálním programu očištění (otryskání povrchu) byly vybrány koncepce obvyklé pro předúpravu ocelových povrchů pro aplikaci ochranných nátěrů – tj. otryskání s užitím písku („pískování“), nebo s užitím ocelové drti jako abraziva. Experimentální program zahrnoval aplikací vysokotlakého vodního paprsku s užitím radiální (rotační) a přímé (demoliční) trysky vedení vodního proudu. Experimentální práce proběhly v týmu Fakulty stavební, Fakulty strojní a Kloknerova ústavu ČVUT v Praze.

Tryskání se zaměřilo na tyto detaily:

- průchozí šterbina v diagonále



- neprůchozí štěrbina v diagonále
- neprůchozí štěrbina uvnitř diagonály s těžkým přístupem,
- štěrbina nad dolním pasem

Z provedených experimentálních postupů předúprav povrchu a štěrbin ocelové konstrukce bylo zjištěno několik závěrů:

## **5.2 ZÁVĚRY ZE ZKUŠEBNÍHO ČIŠTĚNÍ**

1) Předúprava vodním paprskem je vhodná pro odstranění delaminovaných nátěrových systémů a nesoudržných korozních produktů. V případě tryskání pomocí vodního paprsku je nutné střídat jednotlivé polohy a úhly tryskání pro dokonalé odstranění výše zmíněných nečistot ve štěrbinách, což platí i pro další metody. Velkou výhodou této metody je časová nenáročnost celého procesu předúpravy oproti jiným, běžně používaným předúpravám. Samotná předúprava pomocí vysokotlakého vodního paprsku v oblasti štěrbin však nezaručuje kompletní odstranění předchozí protikorozní ochrany ve formě nátěrových systémů s dobrou adhezí v těchto štěrbinách. Dále tato předúprava není vhodná pro silnou degradaci povrchu materiálů z toho důvodu, že nebude dodržena odpovídající čistota povrchu před aplikací nátěrových systémů dle ČSN ISO 8501-1, tedy alespoň Sa 2,5. Dále bylo zjištěno, že tato metoda předúpravy neposkytuje dostatečnou drsnost povrchu pro následnou aplikaci nátěrových systémů (viz. Tabulka 4). Jako účinnější se jevílo použití demoliční trysky při maximální tlaku (2500 bar), díky které bylo v některých částech štěrbin provedeno otryskání až na základní materiál ocelové konstrukce. Tryska s radiálním transportem vodního paprsku je podstatně méně účinná. V případě úpravy trysky by mohlo být docíleno zvýšení účinnosti samotné předúpravy pro tyto aplikace. Dalším omezením je nutnost **100% záchytu odpadní vody** z důvodu zachycení nebezpečných látek obsažených v původních nátěrech.

2) Tryskání vodním paprskem a pískem je časově značně náročné. Je třeba přestavovat tryskáckou hlavici, tryskat ze 2 a více poloh pro dosažení požadované kvality. Pokud uvažíme, že na otryskání místa o délce 0,5 m bylo třeba cca 22 minut (konkrétně místo 20 dle Přílohy 2), tak na 1 m délky celého prutu je třeba cca 1,5 h tryskání (celkem voda i písek). Celková délka prutů hlavních nosníků je 3600 m, potom na jejich otryskání je třeba 450 pracovních dní. Při použití 3 tryskačů, 7 měsíců v roce s přijatelnými klimatickými podmínkami pro aplikaci PKO (ta musí být aplikována neprodleně po otryskání, do zaschnutí nelze dále tryskat, za požadované vlhkosti, bez deště) bude **jen tryskání hlavních nosníků samotné trvat 1 rok**. K tomu nátěr bude trvat taktéž 1-2 roky, přičemž obě činnosti nelze provádět současně (budou časově navazovat v krátkých intervalech – otryskání části a následná ochrana základním nátěrem PKO v jednom dni). Tryskání i PKO je třeba provádět za vyloučeného provozu, jednak kvůli trakci, jednak i kvůli vzniklému rozptylu, je nereálné uvažovat se zaplachtováním v polovině mostu.

3) Při použití mechanických předúprav, tedy lehkého tryskání křemičitým pískem a tryskání pomocí kovového abraziva bylo dosaženo v mnoha případech příznivého stavu povrchu. V některých zkušebních místech bylo dosaženo odpovídající čistoty a drsnosti povrchu pro

aplikaci nátěrového systému. Odpovídající kvality předúpravy štěrbin bylo dosaženo zejména u těch s menší hloubkou, neboť v případě hlubokých štěrbin docházelo k výraznému rozptýlu abraziva o stěny ocelových prvků konstrukce.

4) Mechanická předúprava pomocí ručních elektrických nástrojů by byla vhodná jen v případě menší velikosti a složitosti konstrukce, zejména k odstranění delaminovaných nátěrových systémů a korozních produktů. Pro následnou aplikaci nátěrových systémů by bylo zapotřebí použít další strojní předúpravy povrchu, zejména k odstranění zbylých korozních produktů, ulpělých nátěrových hmot atd.

5) Jako nejvýhodnější současná předúprava štěrbin a povrchu této ocelové konstrukce pro odpovídající kvalitu, jakost povrchu a následnou aplikaci nátěrových systémů se jeví jako nejvhodnější **kombinace tryskání** pomocí vysokotlakého **vodního paprsku** a následné předúpravy tryskáním **křemičitým pískem** či **ocelovou drtí**. S ohledem na složitost konstrukce je nutné provést danou předúpravu s dostatečnou pečlivostí před samotnou aplikací nátěrových systémů. V tomto případě by bylo nutné zajistit kvalifikovaný inspekční dozor, který by dohlížel na odpovídající kvalitu provádění samotné PKO dle TePř.

6) V případě použití těchto metod předúprav by bylo nutné zajistit **kompletní zakrytí spodní části konstrukce únosného i pro jímání tryskací vody se zpětnou filtrací** v důsledku padajícího **abraziva, korozních produktů a zbytků nátěrových hmot** (včetně základního suříkové nátěrové hmoty s obsahem Pb) do řeky Vltavy.

7) Dalším úkolem bude zajištění požadované protikorozní ochrany očištěných ploch, neboť je velice obtížné aplikovat rovnoměrnou vrstvu nátěrové hmoty do úzkých štěrbin a tím docílit požadované bariérové ochrany.

8) Z pohledu korozního oslabení je zřejmé, že po odstranění korozních produktů a úsad z neprůběžných štěrbin v diagonálách je **zřejmá silná forma lokalizovaného korozního poškození**. Úbytek materiálu na plochých profilech ve štěrbině v oblasti styčnickového plechu na sledovaných místech dosahuje až 70% původní tloušťky, tedy zbytková tloušťka 30 % z původní tloušťky (zjištěné minimum 2,8 mm). Zjištěná oslabení z hlediska jejich průměrné hodnoty přibližně odpovídají koroznímu průzkumu SUDOPu.

Poznámka: Dle prohlídky KÚ [2]: Na základě kontrolního oměření u částečně otryskané vnější strany dolního pásu příhradové konstrukce bylo ve více případech zjištěno o cca 5% větší korozní oslabení průřezů, než jaké bylo stanoveno v původní prohlídce SUDOP [1], která byla provedena na neotryskané konstrukci.

### **5.3 VYJÁDRĚNÍ PROF. BRÜHWILERA K ZÁVĚRŮM ČISTĚNÍ**

Pan profesor Brühwiler se vyjádřil pomocí Memoranda uvedeného v Příloze 3. Závěry z jeho vyjádření jsou následující:

Lokálně změřené korozní úbytky jsou i větší než 50%, lokální úbytky ovšem musí být vztaženy k celkové průřezové ploše. Zkoušky čištění tedy v zásadě odpovídají koroznímu průzkumu SUDOP. Většina míst vykazujících opticky značná poškození dosahuje korozní úbytky mezi 5% a 10% z celkové průřezové plochy jednotlivých prvků s maximálními ztrátami 12% průřezové plochy.

Poznámka: Z hlediska únosnosti konstrukce a posudku únavy jsou podle EB akceptovatelné korozní úbytky u prvků hlavního nosníku mezi 10-12% průřezové plochy, aniž by došlo ke snížení požadované traťové třídy (velikosti dopravního zatížení). Tato lokálně poškozená místa by měla být i opravována pouze lokálně. Současné místní škody nevyžadují výměnu celých prvků. (Kompletní výměna prvků by byla příliš invazivní a nákladná.)

Návrhy způsobu provedení opravy lokálních korozních poškození nebyly obsahem/součástí dosud provedených prací a průzkumů. Pan profesor Brühwiler doporučuje rozpracovat návrh opravy konkrétních typových detailů s vážným korozním poškozením.

#### **5.4 DOPLNĚNÍ - ZKUŠENOSTI Z OPRAVY MOSTU SO 201 v km 59,126; Volary – Černý Kříž (Dobrá na Šumavě)**

V příloze 4 je uvedena kompletní zpráva „Hodnocení stavu štěrbin ocelové konstrukce mostu SO 201 v km 59,126; Volary – Černý Kříž (Dobrá na Šumavě) po jednom roce od realizace PKO“. Stavební objekt SO 201 představuje ocelovou nýtovanou příhradovou konstrukci mostu přes řeku Teplá Vltava v Národním parku Šumava. Délka přemostění činí cca 51,7 m. Konstrukční provedení ocelové konstrukce je řešeno pomocí dvou hlavních příhradových nosníků s dolní prvkovou mostovkou. U ocelové konstrukce vlivem vad PKO v kombinaci s korozní agresivitou prostředí došlo ke koroznímu napadení základního materiálu a místy i k nezanedbatelným úbytkům tloušťky některých prvků. Pro prodloužení životnosti OK mostu a zabezpečení bezpečného provozu na trati byla provedena rekonstrukce včetně zhotovení kompletní nové protikorozní ochrany v roce 2018. Zpráva detailněji popisuje původní stav konstrukce a metody opravy.

Z hodnocení stavu štěrbin po 1 roce expozice plynou následující závěry:

Z výsledků místního šetření a fotodokumentace je patrné, že v případě neprůchozích štěrbin byl zvolen vhodný typ tmelu, který splňuje požadavky na elasticitu, adhezi a kompatibilitu s použitým nátěrovým systémem. Na konstrukci nebyla pozorována žádná místa, kde by docházelo k nežádoucí degradaci tmelu či defektům PKO způsobeným chováním či povahou tmelu.

U průchozích štěrbin, které nebyly tmeleny, je patrné že místa, která nebylo možné použítou předúpravou povrchu zbavit korozních produktů a starých nátěrů a následně opatřit nátěry jsou nechráněna a dále vystavena působení atmosféry (viz fotografie níže).

Plochy dobře přístupné, tj. takové, kde bylo možné použítou technologií tryskáním realizovat kvalitní předúpravu povrchu a aplikovat kompletní NS nejeví jakékoliv známky degradace PKO či ocelové konstrukce.

**Lze tedy konstatovat, že je způsob a kvalita vyčištění obtížně přístupných úzkých štěrbin v případě kompletní rekonstrukce zásadní pro spolehlivou, trvanlivou a funkční protikorozní ochranu ocelové konstrukce.**

## **6 DISKUSE PŘÍSTUPU K OPRAVĚ**

Přístup k opravě z pohledu EB je oproti přístupu SUDOPu zcela odlišný:

- a) EB navrhuje méně invazivní zásahy s tím, že by se snížil rozsah opravy a opírá se přitom o švýcarské standardy pro existující konstrukce, které umožňují počítat s vyšším využitím konstrukce.
- b) SUDOP se drží platných předpisů v ČR a klade důraz na minimalizaci rizik z hlediska vlastního provádění opravy i z hlediska budoucí trvanlivosti a statické spolehlivosti konstrukce.

**Statická analýza a posouzení SUDOP není v zásadním rozporu s posouzením EB. Oba doporučují rozsáhlou a co nerychlejší opravu. Rozdílný je pohled na opravu korozně poškozených částí, který se pokusíme podrobněji okomentovat níže.**

**Vzhledem k možnostem a zejména rozsahu zadání zpracovatelů je zřejmé, že nutné jsou rozdílné v podrobnosti a objemu. Dokumentace SUDOP je ve stupni přípravné dokumentace a zahrnuje velké penzum podrobných analýz a průzkumů. Prof. Brühwiler zpracoval studii vycházející zejména ze statické části této dokumentace.**

V případě nutnosti výměny prvků ocelové nosné konstrukce lze tyto prvky vyměnit pouze při rozmontování přidružených částí konstrukce, a to v zásadě pouze v odtíženém stavu, což vyžaduje nutnost podepření NK. SUDOP proto navrhuje přesun konstrukce na montážní bárky, kde by byla konstrukce postupně rozebrána a následně složena. Jedná se o nákladné řešení z hlediska času i financí.

V případě, že by prvky byly v konstrukci ponechány a byly pouze opraveny (např. pomocí přílozek), jsou možnosti opravy konstrukčně velmi omezené, a to jednak z hlediska provádění, tak z hlediska samotné konstrukce opravy.

V první řadě je potřeba řádně očistit NK od korozních produktů a připravit povrch pro aplikaci nové PKO tak, aby odpovídal předpisům. Z tohoto důvodu byla provedena kontrolní zkouška čištění, jejíž výsledky jsou prezentovány v předchozí kapitole (a podrobně v Příloze 2). Pro provedení opravy jsou důležité zejména následující závěry:

Konstrukci je možné očistit kvalitně, ale:

*Jen tryskání hlavních nosníků samotné bude trvat 1 rok. K tomu nátěr bude trvat taktéž 1-2 roky, přičemž obě činnosti nelze provádět současně (budou časově navazovat v krátkých intervalech – otryskání části a následná ochrana základním nátěrem PKO v jednom dni). Tryskání i PKO je třeba provádět za vyloučeného provozu, jednak kvůli trakci, jednak i kvůli vzniklému rozptylu, je nereálné uvažovat se zaplachtováním v polovině mostu.*

*Bylo by nutné zajistit kompletní zakrytí spodní části konstrukce únosného i pro jímání tryskací vody se zpětnou filtrací v důsledku padajícího abraziva, korozních produktů a zbytků nátěrových hmot (včetně základního suříkové nátěrové hmoty s obsahem Pb) do řeky Vltavy.*

*Z pohledu korozního oslabení je zřejmé, že po odstranění korozních produktů a úsad z neprůběžných štěrbin v diagonálách je zřejmá silná forma lokalizovaného korozního*

poškození. Úbytek materiálu na plochých profilech ve štěrbině v oblasti styčnickového plechu na sledovaných místech dosahuje až 70% původní tloušťky, tedy zbytková tloušťka 30 % z původní tloušťky (zjištěné minimum 2,8 mm).

Oprava poškozených částí je s ohledem na hodně stísněné prostory v okolí spojů dost špatně realizovatelná. Podle předpokladů SUDOP z DÚR:

- Aplikace dodatečných přílozek respektive jejich zapojení do konstrukce je pro daný rozsah poškození pro většinu případů prakticky mimo reálné možnosti zhotovitelů v ČR.
- Vysoká četnost poruch na konstrukci vylučuje efektivní provedení opravy, protože jedna oprava navazuje plynule na druhou.

Dále lze konstatovat:

- Na základě zkušeností s opravami nýtovaných konstrukcí v ČR je známo a odzkoušeno, že v současnosti in-situ prováděné nýty nevydrží déle jak 30 let intenzivního provozu.
- Předpjaté šrouby nejsou pro přenos smykové síly kompatibilním spojem k nýtům, protože mají různé deformační limity pro aktivaci spoje (pro mosty je požadována kategorie C pro předpjaté spoje tzn. bez prokluzu v mezním stavu únosnosti).

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že takovéto provedení opravy by bylo značně nejisté. Při ponechání původních prvků v konstrukci je také velmi pravděpodobné, že toto řešení nezaručí požadovanou dlouhodobou trvanlivost.

Z hlediska realizace pevné jízdní dráhy na železničních mostech v ČR je nutno zmínit, že systém kontinuálního podepření kolejnice Edilon nebyl dosud na železničních mostech v České republice použit. Jednalo by se tudíž o první aplikaci a znamenalo by mimo jiné vyřešit schvalovací postupy a případné modifikace předpisové základny SŽDC.

## 6.1 POROVNÁNÍ PŘEDPOKLADŮ A PŘÍSTUPU K REKONSTRUKCI

Níže je učiněn pokus sestavit souhrnnou tabulku porovnávací přístup SUDOP a EB k rekonstrukci mostu pod Vyšehradem:

**Tab. 4:** Porovnání předpokladů a přístupu k rekonstrukci mostu

Položka	Rekonstrukce SUDOP	Rekonstrukce Brühwiler	Komentář
<b>Statická analýza</b>			
1	Předpoklady výpočtu - Model mostovka	Posuzována úprava mostovky na pevnou jízdní dráhu = snížení namáhání stávajících prvků	Rozdíl ovlivňující výsledek posouzení podstatně ve prospěch EB
2	Předpoklady výpočtu - Model koroze	Průřezy hlavních nosníků obnoveny na původní rozměry	Rozdíl ovlivňující výsledek posouzení podstatně ve prospěch EB
3	Předpoklady modelu - Model zatížení	Tratová třída D4 (22t+8 tun/m <sup>2</sup> ), redukce souč. stálého zatížení	Rozdíl ovlivňující výsledek posouzení ve prospěch EB
		Zatížení UIC-71 o cca 11 % těžší než D4. Z posouzení vyšlo nutnost snížení na trat'ovou třídu C3 (20 tun na nápravu + 7,2 tun/m <sup>2</sup> ) pro zbytkovou životnost 5 let	

4	Posouzení dle předpisů a norem	dle platných norem a předpisů SŽDC v ČR	dle SIA 169/3 a CEN/TC 2050 M515 WG2.T1 s přihlédnutím EN	Rozdíl ovlivňující výsledek posouzení ve prospěch EB. Zadavatel by musel akceptovat použití předpisů a postupů, které nejsou v ČR standardní.
5	Mezní stav únosnosti - Typ 2	Tuhost styčniců uvažována na základě podrobných výpočtů konkrétních detailů v kombinaci s verifikací zatěžovací zkouškou. Vnitřní síly zahrnují sekundární ohybové momenty.	Předpoklad vytvoření plastického kloubu ve styčnicích i u prvků, což vede k eliminaci sekundárních ohybových momentů, což není v souladu s našimi předpisy.	Rozdíl ovlivňující výsledek posouzení podstatně ve prospěch EB
6	Mezní stav únavy - Typ 4	Palmgreen-Miner kumulace únavy, zohlednění vlivu koroze na únavovou únosnost	Dosažené rozkmity napětí nižší než mez únavy detailů	Rozdíl ovlivňující výsledek posouzení podstatně ve prospěch EB. EB zanedbává problematiku lokální koroze a vychází z dosavadního uspokojivého chování, kdy nebyly nalezeny únavové trhliny na hlavních nosnicích
<b>Koncepce opravy (rozsah prací)</b>				
7	Mostovka	Celková výměna včetně zesílení některých prvků mostovky	Ponechání stávajících příčniců a podélníků, výměna mostnic za pevnou jízdní dráhu	Pevná jízdní dráha zlepšuje parametry mostovky. V ČR ovšem není tento způsob úpravy kolejí a jízdní dráhy zakotven v předpisech
8	Hlavní příhradové obloukové nosníky	Rozebrání konstrukce v odtíženém stavu na montážních bárkách, výměna / oprava poškozených prvků v mostárně, sestavení konstrukce a přesun konstrukce zpět na pilíře	Ponechání stávajících prvků, lokální oprava prvků bez jejich demontáže	EB automaticky předpokládá opravitelnost koroze napadených elementů a proveditelnost se příliš nezabývá. SUDOP na základě detailní znalosti korozního stavu doporučuje výměnu poškozených prvků, neboť si při daném rozsahu poškození nedokáže jejich opravu představit
9	Ložiska	Opravit, zrestaurovat	Opravit, zrestaurovat	Stejný přístup
10	Pilíře a opěry	Úprava podemletého dna (založení) a sanace zdiva	Úprava podemletého dna (založení) a sanace zdiva	Stejný přístup
<b>Detaily provedení opravy</b>				
11	Omezení provozu	U opravy výměnou prvků je navržen rámcový postup výstavby. Zahrnuje provizorní most pro 1 kolej po dobu 4 let. Omezení dopravy tedy počtem kolejí.	V posudku není podrobně řešeno. Není popsáno, zda předpokládané akce lze provádět postupně za provozu na polovině mostu nebo je nutná plná uzavírka jak na čištění tak opravy a po jak dlouhou dobu.	Dle SUDOP je pro výměnu prvků nutno starý most přesunout do odlehčené polohy. EB postup výstavby ve své studii neuvádí. V případě nového mostu lze tento vyrobit mimo konečné umístění a až následně provést přesun konstrukcí s krátkou výlukou v řádu týdnů.

12	Speciální opatření	Montážní bárka, výsun provizorního mostu, přesun mostu, rozebrání konstrukce, oprava/výroba v mostárnách	V případě důkladného čištění koroze ve štěrbinách bude z hlediska ekologie nezbytné opatření (vana) pro záchyt reziduálních produktů tryskání.	Montážní bárka pro přesun stávající a nové či provizorní konstrukce tvoří značný náklad.
<b>Rizika postupu opravy</b>				
13	Riziko změny technologie a rozsahu z důvodu možného vyššího korozního napadení	Navrženo vyměnit cca 2/3 prvků (dolní pásnice, diagonály, svislice), které jsou silně korozně napadeny, v odlehčeném stavu mimo stávající pozici. Tímto se toto riziko zásadním způsobem snižuje.	Studie EB je v tomto bodě neurčitá. Z kontextu lze odvodit, že nejprve by mělo proběhnout důkladné očištění a až následně rozhodnout, co a jakým způsobem bude opraveno a doplněno.	Návrh výměny cca 2/3 prvků ze strany SUDOP je spíše lehce konzervativní. Postup dle EB má z hlediska provádění a přístupu racionální jádro, nicméně v tlaku výluk a délky opravy znamená velké riziko z hlediska nepředvídatelného postupu a dopadu na harmonogram prací.
14	Riziko chybného provedení opravy poškozených prvků a snížení statické spolehlivosti	Navrženo vyměnit cca 2/3 prvků (dolní pásnice, diagonály, svislice), které jsou silně korozně napadeny, v odlehčeném stavu mimo stávající pozici. Tímto se toto riziko zásadním způsobem snižuje.	Studie EB toto podrobně neřeší. Je obecně konstatováno, že techniky opravy průřezů jsou běžně známé. Je naznačeno pouze obecné ideové řešení.	Návrh výměny cca 2/3 prvků ze strany SUDOP je spíše lehce konzervativní. Postup dle EB představuje riziko v tom, že předpokládaný rozsah lokálních zásahů je neobvykle velký. Hrozí riziko, že opravené prvky nebudou plně funkční z hlediska statiky. Případné poruchy se projeví až po uvedení do provozu a sledování konstrukce.
15	Riziko nedodržení termínu dokončení opravy	Navrženo vyměnit cca 2/3 prvků (dolní pásnice, diagonály, svislice), které jsou silně korozně napadeny, v odlehčeném stavu mimo stávající pozici. Tímto se toto riziko zásadním způsobem eliminuje a snižuje	Studie EB toto podrobně neřeší. Dopředu před očištěním v zásadě nelze rozhodnout, co a jak bude opraveno. Předpoklady bude nutno verifikovat během opravy.	Postup dle EB představuje významné riziko ovlivnění délky opravy z důvodu neurčitého rozsahu prací.
16	Riziko nedodržení ceny opravy	Předpoklady SUDOP jsou z hlediska zadání postupu opravy relativně obsáhlé a konkrétní.	Studie EB toto podrobně neřeší. EB předpokládá, že oprava bez rozebírání konstrukce by byla významně levnější. Bylo by nutné projekt opravy podrobněji rozpracovat.	Ze strany SUDOP je v daném okamžiku zpracováno jednoznačnější zadání, které je možno promítnout do postupu výstavby a ceny. Studie EB toto podrobně neřeší.

17	Riziko snížené trvanlivosti opravy	Navrženo vyměnit cca 2/3 prvků (dolní pásnice, diagonály, svislice), které jsou silně korozně napadeny, v odlehčeném stavu mimo stávající pozici. Tímto se toto riziko zásadním způsobem snižuje.	Lokální oprava poškozených prvků představuje významné riziko snížení trvanlivosti / budoucí životnosti konstrukce.	Při opravě poškozených prvků bez jejich kompletní výměny bude reálná trvanlivost opravy určitě nižší. SUDOP předpokládá při výměně poškozených prvků trvanlivost opravy 30 let.
18	Riziko při zadání veřejné zakázky	Řešení umožňuje zpracovat relativně podrobný rozpočet a časový harmonogram a zadání pro dodavatele.	Studie toto neřeší a nebylo ani zadáno.	V podmínkách ČR nelze zadat veřejnou zakázku bez jasných finančních a časových požadavků

**Tab. 5:** Porovnání některých faktorů návrhu rekonstrukce podle SUDOP, podle EB a návrhu nového mostu

Položka	Rekonstrukce SUDOP	Rekonstrukce Brühwiler	Nový most
Historická hodnota	+	++	-
Požadavky na údržbu	-	-	+
Míra bezpečnosti (stupeň využití prvků)	-	--	+
Omezení provozu z důvodu POV	-	- **	+ *
Okamžité investiční náklady	--	+	-
Dlouhodobé náklady	-	--	+
Dodržování technických norem v ČR	+	-	++
Rizika spojená s realizací a provozem	-	--	+

\*Nový most lze vyrobit vedle a přesunout na stávající pilíře

\*\* Ze závěrů zprávy dle Přílohy 2 plyne, že tryskání by mělo probíhat za úplného vyloučení provozu na mostě, prof. Brühwiler vychází z předpokladu provozu na 1 koleji.

Legenda:

Znaménko + znamená, že v rámci hodnoceného bodu lze u varianty očekávat lepší výsledek

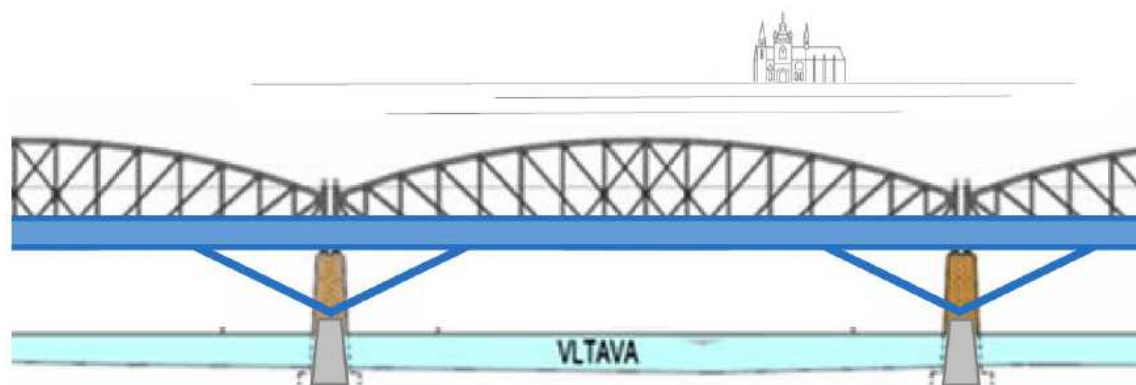
Znaménko - znamená, že v rámci hodnoceného bodu lze u varianty očekávat horší výsledek

Přestože z prostého posouzení plusů a mínusů pro jednotlivé varianty se jeví z více důvodů jako výhodnější varianta. Nový most, je na úvaze a rozhodnutí zadavatele a investora stavby jaké váhy a důležitost jednotlivým kritériím přisoudí, případně zda nezvolí ještě jiná nová. Je to jedna z mála možných cest jak dospět k racionálnímu a obhajitelnému rozhodnutí z hlediska technického i kulturně společenského.

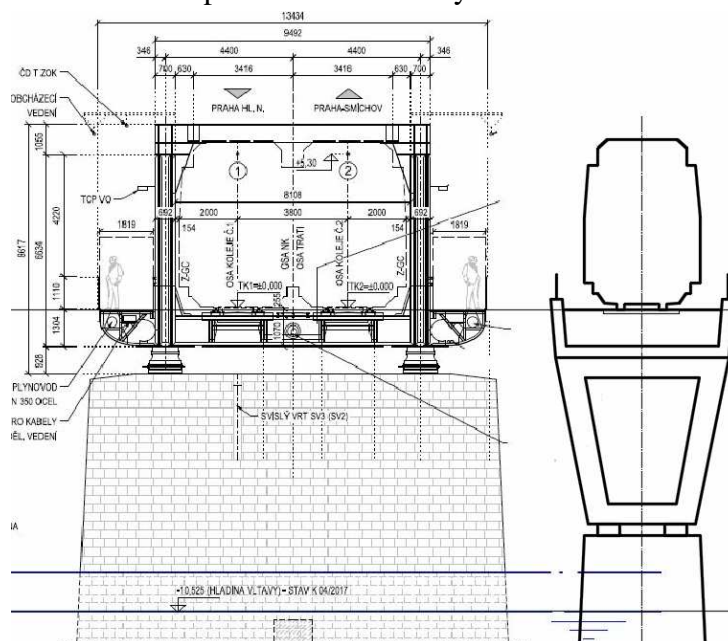


## 6.2 TŘÍKOLEJNÁ VARIANTA A REKONSTRUKCE

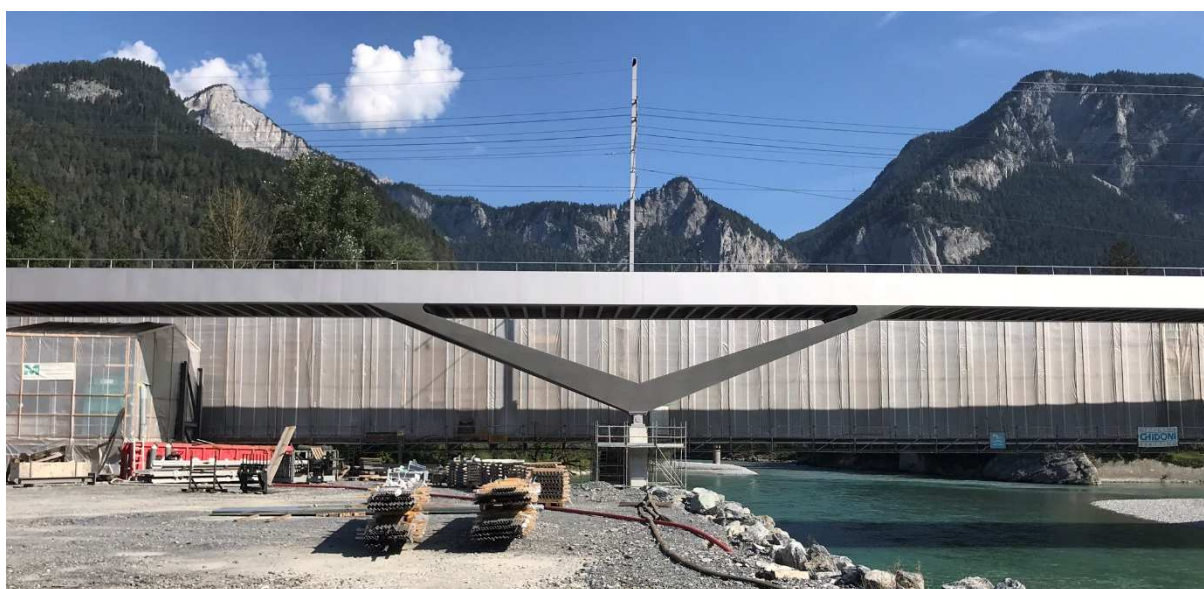
Z informací od zadavatele této zprávy vyplynulo, že je vážně uvažováno o tzv. tříkolejně variantě. V případě požadavku na převedení tří kolejí přes řeku Vltavu prof. Brühwiler ve své zprávě přichází s řešením instalovat třetí kolej na paralelní jednokolejný most. Jak dokládají fotografie na další straně, vychází zjevně z praxe používané ve Švýcarsku. Tento jednokolejný most by mohl být realizován jako trvalý, varianta pouze provizorní konstrukce je nákladná. Jednokolejný most by se vybuďoval jako první a sloužil by po dobu rekonstrukce původního dvojkolejného mostu. Původní dvojkolejný most by tak mohl být rekonstruován i dle návrhu společnosti SUDOP bez jeho přesouvání mimo stávající polohu. Tím by oproti původnímu předpokladu přesunutí mostu na vedlejší konstrukci došlo k výrazné redukci nákladů. Toto řešení by ale také znamenalo, že obě původní koleje i obě lávky pro pěší jsou ponechány v jejich stávající poloze. V případě volby rekonstrukce mostu je nutno provést výměnu mostovky (stávající řešení je nevyhovující) tak, aby byl zajištěn spolehlivý provoz na mostě. Hlavní nosníky musí být spolehlivě opraveny.



**Obr. 29:** Koncepce třetí koleje na paralelním jednokolejném mostě dle zprávy EB. Jedná se o minimalistickou konstrukci, která nejde do výšky a nebrání v pohledu na původní památkově chráněný most.



**Obr. 30:** Příčný řez soustředěným, dvě koleje na původním zrekonstruovaném mostě, třetí kolej na paralelním samostatném jednokolejném mostě.



**Obr. 31:** Obrázky představující příklad realizovaného jednokolejného ocelového mostu Zweite Hinterrheinbrücke ve Švýcarsku poblíž Churu (Nosná konstrukce ze 2 ocelových nosníků výšky 1,7 m vytažených 0,5 m nad niveletu koleje, žlab pro kolejové lože, šikmé vzpěry, rozpětí polí cca 46,5 - 40,1 – 63,0 - 45,9 m)

## 7 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Posudek pana prof. Brühwilerera v zásadě potvrdil správnost předchozích závěrů [1-3] tj., že **vzhledem k aktuálnímu stavu mostu je nutno situaci řešit velmi urgentně**. Oproti stávajícímu pohledu na opravu prezentovanou dokumentací SUDOP přichází pan profesor s inovativními avšak z pohledu ČR experimentálními a v podmínkách ČR neprověřenými a právním prostředím nekodifikovanými přístupy.

Podle pana profesora má oprava smysl pouze v případě, pokud by se nemusela provádět výměna poškozených prvků hlavních nosníků za nové, tzn. pokud by byla realizovatelná bez rozebírání konstrukce, s minimálními výlukami a za náklady (okamžité + související + dlouhodobé) nižší než novostavba, tak aby byla zaručena dle jeho názoru dlouhodobá životnost min. 80 let, která se blíží se hodnotě uvažované pro nový most, tedy 100 let.

Pan profesor navrhl konstrukční úpravu mostovky na pevnou jízdní dráhu a nastínil možné způsoby opravy hlavních nosníků. Aplikace pevné jízdní dráhy není v ČR na mostních konstrukcích prozatím nikde odzkoušena. Jednalo by se tudíž o první aplikaci a znamenalo by to mimo jiné vyřešit schvalovací postupy a případné modifikace předpisové základny SŽDC.

Vzhledem k navrhovanému přístupu opravy byly následně provedeny zkoušky čištění korozních produktů pro ověření možností opravy hlavních nosníků a upřesnění náročnosti takové opravy. Na základě zkoušek čištění lze konstatovat, že čištění korozních produktů včetně nanesení PKO a oprava poškozených prvků by byla časově náročná operace, která by vyžadovala nejspíše vyloučení provozu na celém mostě min. na dva roky při nutnosti vytvoření záchytného systému na zpětný odběr vody s odpadními produkty tryskání obsahujícími olovo.

Zkušenost odborných firem v ČR, projektanta SUDOP a i zástupců SŽDC konstatuje, že by rekonstrukce bez výměny poškozených prvků představovala vysoké riziko chybného provedení detailů, které by v důsledku mohlo vést ke snížené trvanlivosti, snížení statické spolehlivosti a nutnosti dalších zásahů v blízké budoucnosti.

Z informací od zadavatele této zprávy vyplynulo, že je vážně uvažováno reálně o tzv. tříkolejných variantě. Prof. Brühwiler ve svém dokumentu naznačil pro případ realizace požadavku na převedení tří kolejí přes řeku Vltavu, že by mohlo být řešením stavba nového finálního paralelního jednokolejného mostu. Toto řešení by napomohlo k případné realizaci rekonstrukce původního mostu. Tímto řešením by došlo k snížení souvisejících nákladů (odpadá provizorní most, přesun mimo osu koleje) a k zachování alespoň jednokolejného provizorního provozu bez úplné výluky. Znamená to ovšem, že by nový most musel být realizován velmi rychle (životnost stávající mostovky dle výpočtů SUDOP je do roku 2024). Tříkolejných variant je jistě několik. Pro vyhodnocení a rozhodování, kterou zvolit lze doporučit zpracování tzv. Technických průkazů k jednotlivým možnostem.

V současné době bylo provedeno velké množství posudků a expertíz se snahou o zachování stávajícího mostu. **Vzhledem k aktuálnímu stavebnímu stavu mostu, který je potřeba řešit velmi urgentně, vysoké intenzitě provozu současné a ještě vyšší plánované, možnostem provedení opravy a rizikům při realizaci opravy a při budoucím provozu a dalším hlediskům se jeví jako nejschůdnější varianta realizace nového mostu.**

Je na úvaze a rozhodnutí zadavatele a investora stavby, jakou váhu a důležitost jednotlivým kritériím přisoudí, případně zda nezvolí ještě jiná nová. Je to jedna z mála možných cest, jak dospět k racionálnímu a obhajitelnému rozhodnutí z hlediska technického i kulturně společenského.

## **8 SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA 1 – Railway Bridge „Pod Vyšehradem“ in Prague – Preservation of the existing bridge: Assessment and feasibility study for the restoration, prof. Brühwiler

PŘÍLOHA 2 – Experimentální ověření metod tryskání a odstranění koroze na mostě pod Vyšehradem, tým pod vedením doc. Ryjáčka

PŘÍLOHA 3 – MEMORANDUM – Evaluation of the Report: Experimental verification of blasting and corrosion removal methods on the Vyšehrad Bridge, prof. Brühwiler

PŘÍLOHA 4 – Hodnocení stavu štěrbin ocelové konstrukce mostu SO 201 v km 59,126; Volary – Černý Kříž (Dobrá na Šumavě) po jednom roce od realizace PKO, Ing. Kudláček, Ph.D. a tým.

*Závěry uvedené v této zprávě byly formulovány na základě poskytnutých podkladů a výsledků vlastních diagnostických prací prováděných v určitých oblastech, tj. zjištění z vizuálních prohlídek a laboratorních analýz. Zpracovatel si vyhrazuje právo na korekce a doplnění závěrů, pokud budou zjištěny další podstatné skutečnosti, které byly nad rámec provedené diagnostiky nebo byly dodatečně zjištěny mimo rozsah provedených a zadaných prací nebo mu v době zpracování zprávy nebyly známy nebo mu byly nepravdivě sděleny či mu byly zamlčeny.*