



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**KLOKNERŮV ÚSTAV
Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice**

**Expertní zpráva č.
1800 J 329**

Datum vydání zprávy
14. listopadu 2018

Oddělení KÚ
Oddělení mechaniky
tel. +420 224 353 512

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

Expertní zpráva:

**ZHODNOCENÍ PROVEDENÉHO DIAGNOSTICKÉHO PRŮZKUMU
KONSTRUKCÍ MOSTU V EV. KM 3,706 – POD VYŠEHRADEM**
nemovitá kulturní památka, č. rejstříku ÚSKP 101315 (část)

Vypracoval:

Ing. Milan Holý
Ing. Dita Jiroutová, Ph.D.
Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.
Ing. Petr Pokorný, Ph.D.
Ing. Petr Tej, 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:

1 2 3 4 5

Rozdělovník:

Objednatel: 4x
Archiv KÚ: 1x

Zpráva může být reprodukována pouze jako celek. Části zprávy mohou být reprodukovány, publikovány nebo jinak použity pouze na základě písemného souhlasu ředitele Kloknerova ústavu.

ANOTACE

Zpráva uvádí výsledky posouzení provedeného diagnostického průzkumu železničního mostu pod Vyšehradem SO 20-20-05 ŽEL. M. V EV. KM 3,706, Výtoň, zpracovaného v rámci přípravných prací rekonstrukce mostu společností SUDOP PRAHA a. s.

Zprávu zpracovali 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
2 PODKLADY	4
3 POUŽITÉ METODY A POSTUPY	5
3.1 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA	5
3.2 ROZMĚRY PRVKŮ A TLOUŠŤKA PLECHŮ.....	5
3.3 ODBĚR VZORKŮ OCELI PRO MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY	5
3.4 MIKROSKOPICKÁ ANALÝZA OCELI.....	6
3.5 KOROZNÍ ANALÝZA	6
4 DIAGNOSTICKÉ PRÁCE	7
4.1 STRUČNÝ POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE	7
4.2 DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM PROVEDENÝ FIRMOU SUDOP.....	9
4.3 OZNAČENÍ PRVKŮ NOSNÉ KONSTRUKCE	15
4.4 SYSTÉM ZÁPISU PORUCH	16
4.5 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA	17
4.6 KOROZNÍ ANALÝZA	19
4.7 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI OCELI.....	20
5 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	23
6 SEZNAM PŘÍLOH	24

1 ÚVOD

Byl proveden dílčí diagnostický průzkum železničního mostu pod Vyšehradem SO 20-20-05 ŽEL. M. V EV. KM 3,706, Výtoň, na základě objednávky posouzení provedení a výsledků podrobného diagnostického průzkumu zpracovaného v rámci přípravných prací rekonstrukce mostu společností SUDOP PRAHA a. s.; číslo objednávky objednatele: 18/618000405, ze dne 5. 9. 2018.

V rámci diagnostických a souvisejících prací bylo dle zadání provedeno a zjištěno:

- Vytipování oblastí pro kontrolní prohlídky na základě diagnostiky SUDOP,
- Vizuální prohlídka mostu, měření korozních úbytků u vybraných prvků,
- Odběr vzorků oceli pro materiálové zkoušky,
- Odběry korozních zplodin pro chemické analýzy,
- Analýza korozních produktů a zhodnocení vývoje koroze v čase,
- Chemický rozbor oceli a vyhodnocení možnosti svařování oceli,
- Mikroskopická analýza oceli a posouzení typu oceli,
- Mechanické zkoušky pevnosti oceli v tahu,
- Zkoušky vrubové houževnatosti oceli za různých teplot,
- Zhodnocení relevantnosti a rozsahu provedených průzkumů společností SUDOP,
- Fotografická dokumentace a sepsání zprávy, vč. výsledků zkoušek.

2 PODKLADY

- [1] Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem, Stavební část E.1.4, SUDOP PRAHA a. s., Návrh PD k projednání 04/2020
- [2] ČSN EN 1993-2, Eurokód 3: Navrhování ocelových nosných konstrukcí – část 2: Ocelové mosty
- [3] TKP ŘSD kap. 19, Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací Kapitola 19: Ocelové mosty a konstrukce, Ministerstvo dopravy OPK, 2015
- [4] ČSN ISO 9223: 1992 Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér - Klasifikace
- [5] ČSN EN ISO 9223 Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér - Klasifikace, stanovení odhad
- [6] ČSN EN ISO 9224 Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér – Směrné hodnoty pro stupně korozní agresivity
- [7] ČSN EN ISO 12944 - 1 Nátěrové hmoty: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 1: Obecné zásady
- [8] ČSN EN ISO 12944 - 2 Nátěrové hmoty: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí
- [9] ČSN EN ISO 12944 - 3 Nátěrové hmoty: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 3: Navrhování
- [10] ČSN EN ISO 12944 - 4 Nátěrové hmoty: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava
- [11] ČSN EN ISO 12944 - 5 Nátěrové hmoty: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy
- [12] Skácel F., Tekáč V., Trendy vývoje kvality ovzduší severozápadních Čech 1990 – 2008, Paliva 3 (2001), 28-36
- [13] ČSN EN ISO 6892-1: Kovové materiály – Zkoušení tahem Část 1: Zkušební metody za pokojové teploty. 2009.
- [14] ČSN EN ISO 148-1: Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda
- [15] ČSN 05 1311: Zváranie. Zvariteľnosť ocelí na oblúkové zváranie. Skúšanie a hodnotenie. 1991

3 POUŽITÉ METODY A POSTUPY

3.1 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA

Vizuální prohlídka, i když jí nelze upřít subjektivnost, je jedním z nejdůležitějších diagnostických postupů, neboť jen tento postup umožňuje odhalit nedostatky prakticky v celé zkoumané ploše. Vizuální prohlídka byla zaměřena zejména na ověření typických vad konstrukce zdokumentovaných firmou SUDOP a ověření aktuálního stavu ve vybraných a nejvíce poškozených místech. Pro účely prohlídek bylo využito bočních lávek pro pěší, prostoru kolejiště a zejména stavebních lávek firmy STRABAG sloužících pro rekonstrukci lávky pro pěší na levé straně mostu, které umožnily podrobnou prohlídku spodního pásu příhrady na levé straně mostu včetně přípojů svislic a diagonál.

3.2 ROZMĚRY PRVKŮ A TLOUŠŤKA PLECHŮ

Rozměry průřezů vybraných prvků nosné konstrukce byly měřeny ocelovým metrem a posuvným měřítkem. Vzhledem k nepravidelným korozním úbytkům po šířce i délce jednotlivých prvků konstrukce (oslabení průřezu silně proměnné, spíše lokálního charakteru), „bobtnání“ průřezů v důsledku nárůstu a rozvoje korozních zplodin je stanovení nenarušené zbytkové plochy průřezu obtížně proveditelné. Bez odstranění korozních zplodin se jedná o odborný odhad, skutečný stav je patrný teprve až po otryskání korozních zplodin. V rámci rekonstrukce boční lávky na levé straně mostu byl částečně otryskán spodní pás příhradové konstrukce z vnější strany (otryskání spíše sekundární – provedeno lokálně v místech přípojů boční lávky pro pěší, a právě v těchto místech je korozní oslabení obecně největší). Kontrolní měření korozního oslabení a úbytků bylo proto provedeno právě na vnější straně spodní pásnice dolního pasu, a to po celé délce pole NK1 na levé straně mostu, kde se právě nacházela stavební lávka firmy STRABAG.

3.3 ODBĚR VZORKŮ OCELI PRO MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY

Vzorky oceli byly odebírány vyříznutím části válcovaných úhelníků ze svislic příhradové konstrukce rozbrušovačkou. S ohledem na nezávislou výrobu nosných konstrukcí ve třech mostárnách, byly vzorky odebrány ze všech tří nosných konstrukcí. Dle [1] byl na stavbu mostu dodán materiál minimálně ze šesti různých taveb (úhelníky NK1-NK3, plechy NK1-NK3). Pro kontrolní odběr vzorků pro materiálové zkoušky byly zvoleny úhelníky, protože dle [1] vykazovaly lehce horší materiálové vlastnosti než plechy a také proto, že většina prvků hlavní nosné konstrukce je tvořena úhelníky. Bylo odebráno celkem 5 ks vzorků o velikosti 400 mm x 40 mm z úhelníků z nejméně namáhaných svislic na levé straně mostu. Vzorky byly rozřezány na zkušební tělesa, z každého vzorku byla zhotovena tělesa pro zkoušku tahové pevnosti oceli 1x a vrubové houževnatosti 3x (V vrub za teplot -20, 0, +20 °C) a z každé NK byla provedena 1x chemická + 1x mikroskopická analýza. Vzhledem k tomu, že most se nachází pod památkovou ochranou, místa odběru byla odsouhlasena Národním památkovým ústavem.

Tabulka 1 Označení odebraných vzorků a připravená zkušební tělesa.

Č. vzorku	Ozn.	Místo odběru	Zkušební tělesa
1	NK1-1	NK1-L-S1	1x zkouška v tahu, 3x Charpyho zkouška (-20 °C, 0 °C, +20 °C), 1x chemická analýza, 1x mikroskopická analýza
2	NK1-2	NK1-L-S15	1x zkouška v tahu, 3x Charpyho zkouška (-20 °C, 0 °C, +20 °C)
3	NK2	NK2-L-S3	1x zkouška v tahu, 3x Charpyho zkouška (-20 °C, 0 °C, +20 °C), 1x chemická analýza, 1x mikroskopická analýza
4	NK3-1	NK3-L-S3	1x zkouška v tahu, 3x Charpyho zkouška (-20 °C, 0 °C, +20 °C)
5	NK3-2	NK3-L-S14	1x zkouška v tahu, 3x Charpyho zkouška (-20 °C, 0 °C, +20 °C), 1x chemická analýza, 1x mikroskopická analýza

3.4 MIKROSKOPICKÁ ANALÝZA OCELI

Vzorky pro mikroskopickou analýzu byly nejdříve broušeny (brusný papír P 240, P 360, P 600, P 800 a P 1200) a poté leštěny diamantovou pastou o zrnitosti 1 µm a následně doleštěny suspenzí Eposal o zrnitosti 0,06 µm. Pro získání struktury byly vzorky naleptány Nitalem 5%. Snímky struktury byly pořízeny na světelném mikroskopu Nikon Eclipse ME 600 při zvětšení 100x (neleptaná struktura) a 200x (leptaná struktura). Cílem analýzy bylo stanovit, zda se jedná o svářkovou nebo plávkovou ocel.

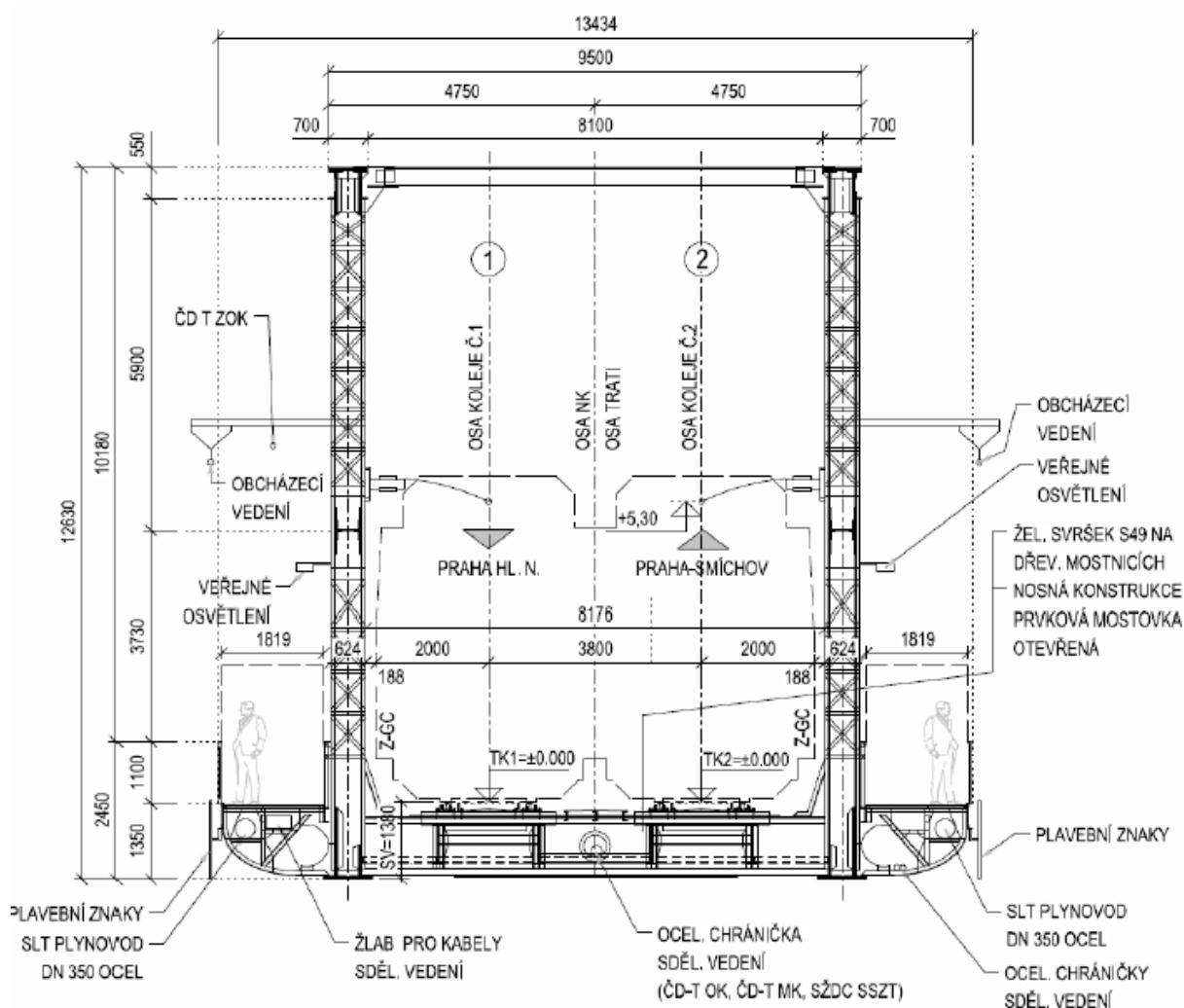
3.5 KOROZNÍ ANALÝZA

V rámci šetření stavu ocelové nosné konstrukce mostu pod Vyšehradem byl proveden detailní korozní průzkum, který zahrnoval vizuální charakterizaci a lokalizaci významného korozního poškození (fotodokumentace a měření zbytkové tloušťky) a dále odběr korozních produktů (celkem 5 míst) a jejich prvkovou (XRF – rentgenofluorescenční analýza) a fázovou (XRD – difrakční analýza) chemickou analýzu. Korozní produkty byly před vlastní analýzou pročištěny ethanolem a rozetřeny (třecí miska s tloučkem). Dále byla na základě klimatických dat normově predikována (numerická lineární analýza) následná rovnoměrná korozní rychlost.

4 DIAGNOSTICKÉ PRÁCE

4.1 STRUČNÝ POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE

Železniční most 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 příčnicí. Osová vzdálenost mezi hlavní 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 řádkového 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.

4.2 DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM PROVEDENÝ FIRMOU SUDOP

V rámci přípravné dokumentace pro rekonstrukci železničních mostů pod Vyšehradem [1] byl proveden podrobný diagnostický průzkum mostů SO 20-20-04 (4-polový trámový ocelový most) a SO 20-20-05 (3-polový příhradový most) firmou SUDOP.

Diagnostický průzkum pro mostní objekt SO 20-20-05, který je řešen v této zprávě obsahuje tyto části:

- Materiálové zkoušky oceli (70 stran)
- Podrobnou prohlídku ocelové NK (89 stran + přílohy 747 stran)
- Podrobnou prohlídku spodní stavby (24 stran + přílohy 76 stran + videozáznam podvodní prohlídky)
- Statickou a dynamickou zatěžovací zkoušku (104 stran)

Materiálové zkoušky oceli byly provedeny celkem na 18 vzorcích. S ohledem na nezávislou výrobu nosných konstrukcí ve třech mostárnách byly vzorky odebrány ze všech tří nosných konstrukcí (vždy po 3 ks vzorků plechů + po 3 ks vzorků úhelníků). Byla provedena chemická strukturní analýza oceli. Byly provedeny mechanické zkoušky pro stanovení pevnosti v tahu v podélném a příčném směru, vrubové zkoušky houževnatosti při pokojové teplotě.

Podrobná prohlídka ocelové NK zahrnovala zejména dokumentaci korozního oslabení, která je základním podkladem pro provedení statického přepočtu nosných konstrukcí mostu a pro stanovení návrhu rozsahu rekonstrukce nosných konstrukcí mostu tzn. možnosti částečné výměny prvku nebo úplné výměny korozně poškozeného prvku. Korozní oslabení prvků ocelové konstrukce bylo dokumentováno pomocí tzv. Karet prvku, kde je pro každý prvek nosné konstrukce podrobně zdokumentováno korozní oslabení průřezu.

Spodní stavba byla také podrobně prohlédnuta a jednotlivé vady zdokumentovány. Pro zápis vad spodní stavby byly vytvořeny rozviny povrchu jednotlivých podpěr. Povrch byl rozdělen pomocí obdélníkové sítě na části (relativní rastr), kde byl proveden popis vad. V rámci prohlídky byl proveden také podrobný podvodní průzkum pilířů P01 a P02 v řece Vltavě. Byl proveden geotechnický a stavebnětechnický průzkum spodní stavby s cílem ověření materiálových vlastností kamenného zdiva pilířů železničního mostu pro provedení statického přepočtu spodní stavby. K ověření charakteristik materiálu a skrytých rozměrů spodní stavby byly do konstrukce provedeny diagnostické vrty.

Statická a dynamická zatěžovací zkouška byla provedena za účelem ověření shody měřených veličin stanovených na výpočetním modelu mostu pro případnou jeho úpravu (kalibraci dle skutečně naměřených hodnot) a pro stanovení únavových účinků dopravy na mostě (stanovení spekter dopravního zatížení). Při statické zatěžovací zkoušce bylo měřeno: svislý průhyb (radarovou interferometrií), deformace koncového příčnicku, normálové napětí na vybraných prvcích mostní konstrukce (horní a dolní pásy, diagonály, příčníky, podélníky). Při dynamické zatěžovací zkoušce byla měřena odezva konstrukce na dynamické zatížení přejezdy zkušebního zatížení: zrychlení svislé deformace u_z a příčné deformace u_y ve středu rozpětí a cca v $1/4$ rozpětí, normálové napětí na vybraných prvcích mostní konstrukce shodně se statickou zkouškou.

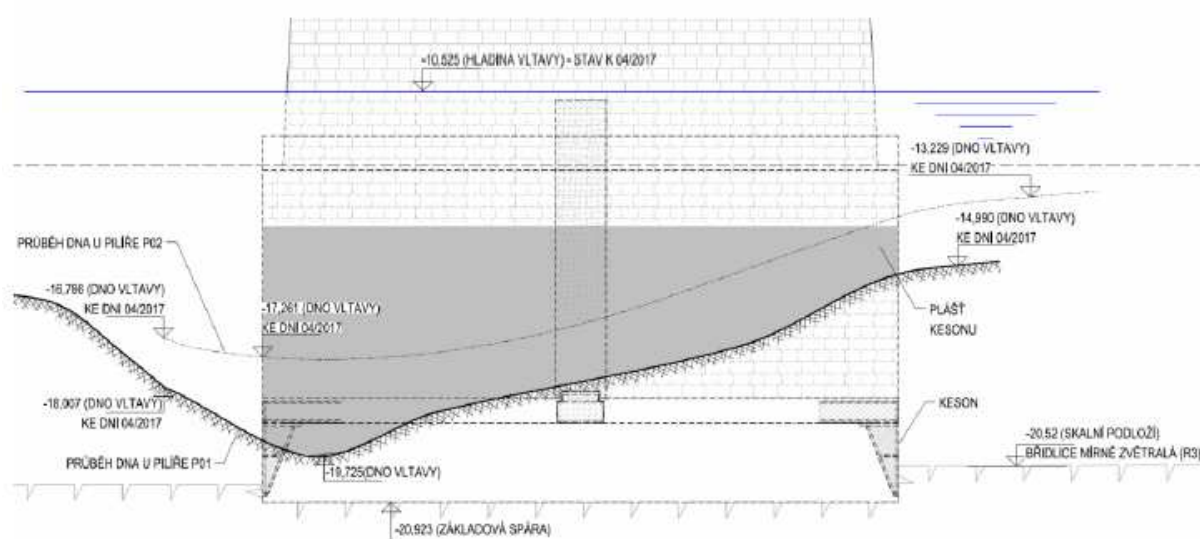
Lze konstatovat, že průzkum zpracovaný firmou SUDOP je na dobré úrovni z hlediska obsahu i podrobnosti. Počet odebraných vzorků je dostatečně reprezentativní. Ocelová nosná konstrukce i spodní stavba mostu byla podrobně zdokumentována. Je nutno pouze konstatovat, že na neotryskané ocelové nosné konstrukci se jedná spíše o odborný odhad skutečného stavu korozních úbytků. Na základě dílčího kontrolního průzkumu lze potvrdit závěry diagnostického průzkumu vypracované firmou SUDOP [1]. Výsledky průzkumu SUDOP [1] jsou porovnány s výsledky kontrolního průzkumu v jednotlivých kapitolách tohoto dokumentu.

Diagnostický průzkum [1] sloužil jako podklad pro podrobný statický přepočet nosné konstrukce, kterým byla stanovena zatížitelnost a zbytková životnost mostu. Na základě výsledků statického přepočtu byla vypracována přípravná dokumentace pro provedení rekonstrukce mostu pro udržení stávající přechodnosti po dobu dalších 30-ti let. Závěry ze všech částí jsou popsány v technické zprávě v [1].

Níže je uvedeno shrnutí důležitých závěrů převzaté z dokumentace SUDOP [1]:

Z prohlídky spodní stavby lze shrnout celkový stav:

- spárování na horní ploše je popraskané, ojediněle vydrolené. Horní plocha slabě znečištěná, stav dobrý.
- spárování dřívků místy ojediněle vydrolené, stav dobrý.
- mezi kameny místy prosakuje pojivo a tvoří na zdivu slabou krustu, stav dobrý. V horní části graffiti.
- z průřezu spodní stavby vyplývá, že vlivem nefunkčnosti pohyblivých ložisek dochází k narušování kvádrového zdiva opěr. Kotvy realizované cca v roce 1987 způsobily posunutí vlivu o řadu níže. Spárování je tedy nutné průběžně opravovat.
- dále z podvodního průřezu vyplynulo, že dno okolo piliře P01 a P02 je výrazně vymleté na návodní straně. Kaverna dosahuje hloubky ~ 5,0 m tzn. až na skalní podloží. Odhalena je i spodní konstrukce kesonu. Opláštění kesonu vykazuje velká poškození a deformace vlivem účinků koroze.
- sanace těchto poruch je nutná v rámci opravných prací v co možná nejkratším termínu.



Průběh dna (kaverna na návodní straně) u piliře P01 resp. P02 zjištěný podvodním průřezem

Z podrobné prohlídky ocelových nosných konstrukcí vyplynulo, že:

- při podrobné prohlídce korozního oslabení byly zjištěny **poruchy, které jsou limitující pro zbytkovou živostnost mostní konstrukce**. Zejména se jedná o detail v místě připojení příhradové spojky členěného prutu mezi dvojicí krčních úhelníků a vlastních prutů ke styčnickovým plechům příp. přímo k dolnímu pásu. V úzkém prostoru štěrbiny 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**. Omezení koroze v místě poruchy nelze jakkoli snížit, protože oprava protikorozní ochrany není účelně proveditelná s ohledem na vrstevnatý nárůst koroze v místě štěrbiny, který způsobuje trvalé deformace vnějších přírub úhelníků. V čase se bude koroze těchto poruch dále zhoršovat. Z hlediska únosnosti jsou zjištěné poruchy významné a snižují únosnost prutů. Při prohlídce byla zjištěna velká četnost těchto poruch. Týká se prakticky všech svislic a diagonál.
- výměna všech těchto postižených prvků ve výše uvedeném rozsahu je možná pouze v odlehčeném stavu **na montážní skruži mimo stavební otvor**,

Zde je nutné uvést, že se jedná o charakteristické "vrozené" vady příhradových nýtovaných konstrukcí z počátku 20. století středních a větších rozpětí s členěnými pruty a dolním pásem profilu $\perp\perp$ (dvojice obrácených T průřezů). Výše uvedené poruchy jsou dány především **nevhodným konstrukčním řešením**, které odpovídá poznání, možnostem provedení a účelnosti mostních konstrukcí v době jejich vzniku. Možnosti ochrany proti korozi těchto detailů jsou i při pravidelné údržbě velmi omezené a **v dlouhodobém horizontu nelze spolehlivě dosáhnout**. V nepřístupných mezerách a štěrbinách nelze účinně opravit poškozenou protikorozní ochranu tzn., že degradace konstrukce vlivem koroze v čase stále probíhá a je jen otázkou času, kdy dosáhne limitních hodnot z hlediska únosnosti konstrukce.

- dalším prvkem, který je oslaben korozi, jsou krční úhelníky dolního pásu a styčnickové plechy dolního vodorovného ztužení vč. nadložiskových styčnickových desek. Zde dochází vlivem stále vlhkosti v místě styčníků ke korozním úbytkům krčních úhelníků, což je dáno malou mezerou mezi pásy dolního pásu, která neumožňuje samovolný spad nečistot. Poruchu lze opravit pouze výměnou těchto úhelníků a styčnickových plechů,
- v rámci prohlídky korozního oslabení byly diagnostikovány 2 nové trhliny délky 185 mm a 580 mm v horních pásnicích podélníků, které v konstrukci nebyly zjištěny při podrobné prohlídce v roce 2014,
- ve srovnání s pravidelnou prohlídkou z roku 2014 se jedná o vzrůstající zhoršení stavebního stavu mostní konstrukce, o čemž svědčí i nově diagnostikované trhliny v podélnících.

Celkově lze stávající stav prvků mostu charakterizovat, že jsou na hranici své životnosti a v mnohých případech i za touto hranicí.

Pro zajištění stávající přechodnosti TTZ C3/40 po dobu dalších 30-ti let je nutno vyměnit většinu nosné konstrukce viz následující tabulky.

POZNÁMKY

N	- NÁTĚR
V	- VÝMĚNA - ÚPLNÁ
VC	- VÝMĚNA ČÁSTI
O	- OPRAVA PRVKU

REKAPITULACE NEZBYTNOSTI VÝMĚNY Z DŮVODU KOROZÍHO OSLABENÍ PRVKŮ OK

PRVEK: **HLAVNÍ NOSNÍK**

STRANA: **L/P**

NK Č.: **1, 2, 3**

PŘÍHR.	LEVÝ HLAVNÍ NOSNÍK					PRÁVÝ HLAVNÍ NOSNÍK				
	HORNÍ PÁS	DOLNÍ PÁS	SVISLICE	DIAG.	DIAG.	HORNÍ PÁS	DOLNÍ PÁS	SVISLICE	DIAG.	DIAG.
	O.L	U.L	V.L	D.L	Z.L	O.P	U.P	V.P	D.P	Z.P
0			O					O		
1	N	VC	V	V		N	VC	V	V	
2	N	VC	V	V		N	VC	V	V	
3	N	VC	V	V		N	VC	V	V	
4	N	VC	V	V		N	VC	V	V	
5	N	VC	V	V		N	VC	V	V	
6	N	VC	V	V	V	N	VC	V	V	V
7	N	VC	V	V	V	N	VC	V	V	V
8	N	VC	V	V	V	N	VC	V	V	V
9	N	VC	V	V	V	N	VC	V	V	V
10	N	VC	V	V	V	N	VC	V	V	V
11	N	VC	V		V	N	VC	V		V
12	N	VC	V		V	N	VC	V		V
13	N	VC	V		V	N	VC	V		V
14	N	VC	V		V	N	VC	V		V
15	N	VC	V		V	N	VC	V		V
16	N	VC	O			N	VC	O		

REKAPITULACE VÝMĚNY PRVKŮ MOSTOVKY Z DŮVODU KOROZÍHO OSLABENÍ PRVKŮ OK A STATICKÉHO PŮSOBENÍ

PRVEK: **MOSTOVKA**

STRANA: **L/P**

NK Č.: **1, 2, 3**

PŘÍHR.	LEVÁ STRANA					PRÁVÁ STRANA				
	PŘÍČNÍK	PODÉLNÍK	PODÉLNÍK	ZTUŽENÍ PODÉLNÍK	DOLNÍ ZTUŽENÍ	PŘÍČNÍK	PODÉLNÍK	PODÉLNÍK	ZTUŽENÍ PODÉLNÍK	DOLNÍ ZTUŽENÍ
	P	L1	L2	WL	WU	P	L3	L4	WL	WU
0	VC					VC				
1	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
2	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
3	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
4	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
5	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
6	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
7	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
8	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
9	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
10	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
11	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
12	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
13	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
14	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
15	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC
16	VC	V	V	V	VC	VC	V	V	V	VC

Z posouzení jednotlivých prvků nosné konstrukce mostu je zřejmé, že prvky mostovky jsou z hlediska únavového namáhání na konci životnosti. Zatížitelnost konstrukce je cca 61 % zatěžovacího modelu LM71 pro návrh železničních mostů dle platných norem, musela být proto snížena přechodnost mostu na TTZ C3/40.

Souhrnný přehled výsledků výpočtu pro NK1 až NK3 je uveden v následující tabulce:

Prvek	Mezní stav / využití v %		Zatížitelnost	Přechodnost	Poznámka
	únosnost	únavu	Z_{LM71}	TTZ / PRTTZ	
HLAVNÍ NOSNÍK					
Horní pás - O	78%	-	1.44		
Dolní pás - U	109%	3%	0.87	C3/60	
Diagonály - tlačené - D	85%	-	1.26		
Diagonály - tažené - D	101%	95%	0.98	C3/60	
Svislice - V	117%	35%	0.77	C3/60	
CELKEM - HLAVNÍ NOSNÍK	117%	95%	0.77	C3/60	únavová životnost do 2055
MOSTOVKA					
Podélník L1 až L8	133%	278%	0.72	C3/60	únavová životnost do 2024
Příčnky - podporové P0	124%	11%	0.69	C3/60	
Příčnky - běžné P1 až P8	146%	188%	0.61	C3/40	únavová životnost do 2029
CELKEM - MOSTOVKA	146%	278%	0.61	C3/40	únavová životnost do 2024
CELKEM - Most v km 3.706 Pod Vyšehradem	146%	278%	0.61	C3/40	únavová životnost do 2024

Pozn:

1) přechodnost posouzena pro $Z_{LM71} < 1,0$

2) životnost prvku do porušení je rok, kdy kumulace únavového poškození dosáhne 100% (stanoveno bez provedení rekonstrukce)

Závěry pro záměr realizace rekonstrukce mostu, která by měla zahrnovat výměnu poškozených prvků, jejich zesílení a sanaci spodní stavby a která by zajistila stávající přechodnost TTZ C3/40 po dobu dalších 30-ti let, jsou 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 parametrů 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.

Dále s ohledem na závěry statického přepočtu je nezbytné pro udržení přechodnostních parametrů TTZ C3/40 na tomto traťovém úseku provedení stavby v krátkodobém horizontu 5 let.

Do doby realizace rekonstrukce nesmí být zvýšena intenzita dopravního zatížení na mostním objektu!

Lze konstatovat, že průzkum zpracovaný SUDOP jako součást dokumentace [1] je na dobré úrovni z hlediska obsahu i podrobnosti a postup zásahu navržený v projektu SUDOP [1] tj. doporučení pro celkovou výměnu nosné konstrukce vychází z relevantních informací.

4.3 OZNAČENÍ PRVKŮ NOSNÉ KONSTRUKCE

Označení prvků nosné konstrukce bylo převzato z původního diagnostického průzkumu provedeného firmou SUDOP [1]. Korozní oslabení prvků ocelové konstrukce bylo dokumentováno pomocí tzv. Karet prvku. Jde o systém dokumentace korozního oslabení prvků, kdy je konstrukce rozdělena do skupin prvků. Jednotlivé prvky tak mají jednoznačné označení. Pro identifikaci polohy vady je dále použito lokální staničení prvku, které je relativní vůči délce prvku od 0 na začátku do 1 na konci prvku. V rámci prvku jsou vady označovány pořadovým číslem. Pro popis vady je použito jednoznačné kódové označení. Fotodokumentace má shodné kódové označení. Takto lze vady sledovat při dalších prohlídkách a zpětně lokalizovat.

KÓDOVÉ OZNAČENÍ VADY:

V.W.X.Y.Z

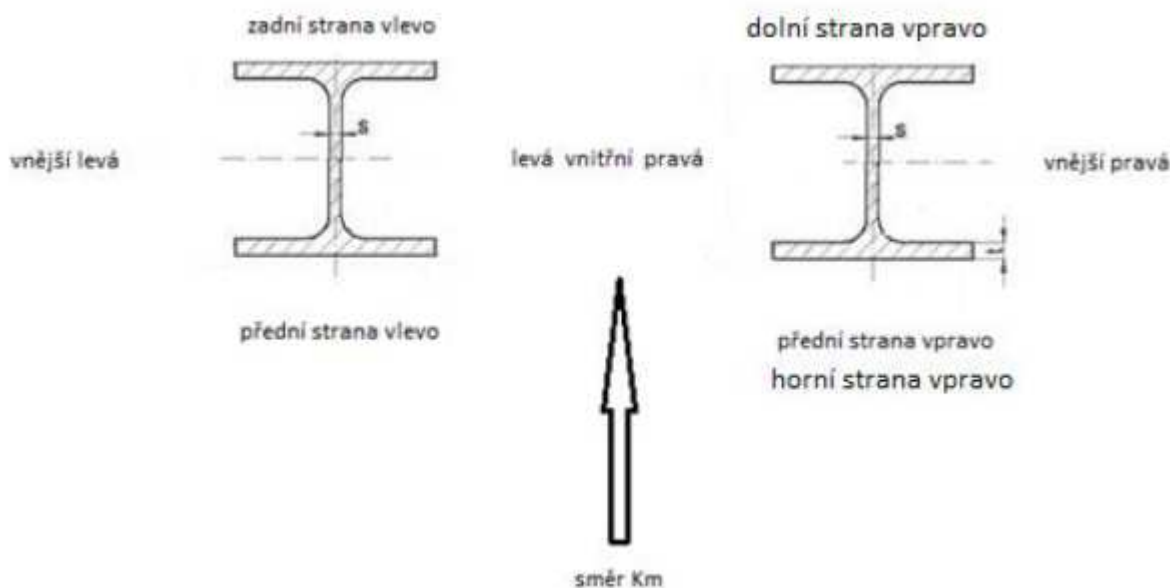
- V** – nosná konstrukce (1 - NK1, 2 - NK2, 3 - NK3)
- W** – Typ Prvku (1. Svislice, 2. Styčníky dolního pásu,8. Horní pás, 9. Dolní pás...)
- X** – Příhrada (1 až 30)
- Y** – Strana mostu (1 – vlevo, 2 - vpravo)
- Z** – Číslo vady v příčném řezu (1 Až 999)

Tabulka 2 Seznam skupin prvků ocelové konstrukce [1]

Č. složky (kód - W)	Název složky	Označení
1	Horní pás	O1 až O16
2	Dolní pás	U1 až U16
3	Koncové svislice	V0 a V16
4	Vnitřní svislice	V1 - V4 a V12 - V16
5	Středové svislice	V5 - V8 a V9 - V12
6	Diagonály - krajní	D1 - D4 a Z12 - Z15
7	Diagonály - vnitřní	D5 - D8 a Z8 - Z11
8	Diagonály - středové	D9 - D10 a Z6 - Z7
9	Příčnice	P0 - P16
10	Podélníky	L1 - L16
11	Horní ztužení	WO
12	Dolní ztužení	WU

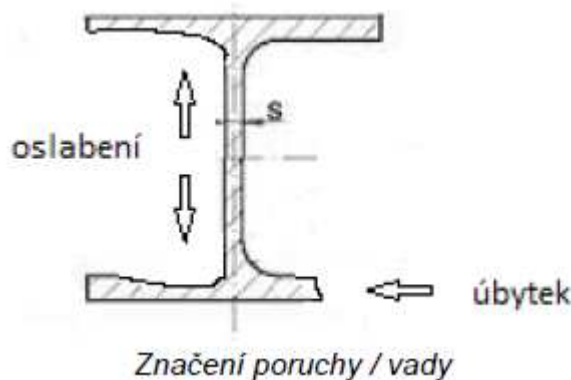
4.4 SYSTÉM ZÁPISU PORUCH

Vzhledem k velmi nepravidelnému oslabení prvků, bylo přistoupeno k zapsání největšího oslabení v dané délce prvku. Značení jednotlivých prutů je provedeno na vnější a vnitřní stranu a horní a dolní stranu prvku dle aktuální pozice k zemi. V případě svislic na přední a zadní stranu prvku (šipka směru km).



Obr. 4: Systém zápisu poruch dle [1]

Do karty prvku je porucha zaznačena pomocí dvojjčíslí oslabení profilu / úbytek materiálu. Oslabení profilu - představuje oslabení ramene hloubkovou korozi v části, nebo v celé šíři o danou hodnotu. Např.: zapsáno ve formátu - o 5 mm na 50 mm znamená oslabení profilu v šíři 50 mm o 5 mm v dolní / horní části z celkové tloušťky profilu. Úbytek materiálu - představuje chybějící část ramene profilu udané šířky. Např.: zápis úbytek o 20 mm – znamená z profilu 80 x 80 zbylo 80 x 60 mm.



Obr. 5: Systém zápisu poruch dle [1]

4.5 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA

Kontrolní prohlídky byly provedeny pracovníky KÚ ve dvou termínech:

- a) dne 3.9.2018 - prohlídka a odběr vzorků,
- b) dne 20.9.20182 - prohlídka a měření korozního oslabení a úbytků na otryskaných částech dolního pasu NK1.

Součástí prohlídky bylo odebrání vzorků oceli pro laboratorní zkoušky a měření korozního oslabení. Kontrolní prohlídkou mostu byly zastiženy všechny typické vady konstrukce, které byly podrobně popsány již v původním dokumentu od firmy SUDOP [1].

U horní stavby se jedná o štěrbinovou korozi diagonál a svislic, lokální korozi v oblasti přípojů svislic a diagonál k dolnímu pasu (značná korozní oslabení průřezů), plátkovou korozi zejména v oblasti přípojů u dolního pasu příhrady, uvolněné a chybějící nýty, nýty s ukorodovanou hlavou, porušenou PKO konstrukce, trhliny v horní pásnici podélníku.

U dolního pásu jsou poruchy v oblasti styčnicků, kde se hromadí nečistoty a působením vlhkosti a stékající vody z prvků nad styčnickem dochází ke stálé korozi. Nedostatečná mezera mezi jednotlivými pásy dolního pásu neumožňuje samovolný spad nečistot. Nejvíce poškozenými částmi jsou příruby krčních úhelníků. Dále dochází k velkým poškozením vodorovných styčnickových plechů.

Z vnější strany diagonál dochází k takovému nárůstu štěrbinové koroze, že jsou příruby trvale deformovány. Materiál oceli zde dosáhl meze kluzu a dále byl trvale zdeformován (materiál oceli lokálně zplastizoval).

Z hlediska poruch ocelové konstrukce je nejzávažnější poruchou štěrbinová koroze pásnic diagonál a svislic v připojení ke styčnickovým plechům a dále v místech připojení spojek členěných prutů. V těchto problematických detailech dochází k úplnému prokorodování tzn. přerušení pásnic připojovaných prutů, což ovlivňuje únosnost prvku.

K masivním korozním úbytkům dochází v oblasti koncových portálových svislic, kde jsou nadložiskové styčnickové plechy (z důvodu trvalé vlhkosti, velkého spadu nečistot a minimální možnosti odvětrání).

Skutečné korozní oslabení lze zjistit až po otryskání korozních zplodin. Bez otryskání konstrukce se jedná pouze o odborný odhad skutečného stavu, který je do značné míry subjektivní. Na základě několika kontrolních měření na neotryskaných místech nebyly nalezeny zásadní rozpory s původní diagnostickou prohlídkou.

V rámci rekonstrukce boční lávky na levé straně mostu byl částečně otryskán spodní pás příhradové konstrukce z vnější strany (otryskání spíše sekundární – provedeno lokálně v místech přípojů boční lávky pro pěší, a právě v těchto místech je korozní oslabení obecně největší). Kontrolní měření korozního oslabení a úbytků bylo proto primárně provedeno právě na vnější straně spodní pásnice dolního pasu, a to po celé délce pole NK1 (vždy v každém poli příhrady) na levé straně mostu, kde se právě nacházela stavební lávka firmy STRABAG. Na základě kontrolních měření provedených na vnější straně spodního pasu pole NK1 bylo zjištěno, že skutečné korozní oslabení je ve více případech po (částečném) otryskání mírně horší, než bylo předpokládáno na základě podrobné prohlídky neочиštěné nosné konstrukce mostu. Místa měření jsou zdokumentována v příloze P1 – Fotodokumentace a v příloze P2 – Karty prvků, výsledky měření jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3 Porovnání korozních úbytků před otryskáním (SUDOP) a po otryskání (KÚ)

Zhoršení stavu - Porovnání					
Prvek ozn.	Celková plocha 1/4 průřezu			Zhoršení po otryskání o:	Finální celkový úbytek plochy:
	Původní	SUDOP	KÚ		
	A	A	A		
	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]		
U1 - 0	9604	7972	7696	3%	20%
U2 - 1	9604	7624	7624	0%	21%
U3 - 1	9604	7876	7876	0%	18%
U4 - 0,5	14524	12416	12416	0%	15%
U5 - 1	16984	15452	15260	1%	10%
U6 - 0	19444	17816	17528	2%	10%
U7 - 0	21494	19964	19007	5%	12%
U8 - 0	21494	20538	19962	3%	7%
U9 - 0	21494	20538	19771	4%	8%
U10 - 0	21494	20347	19963	2%	7%
U11 - 1	19444	18871	17913	5%	8%
U12 - 0	16984	15931	15931	0%	6%
U13 - 1	14524	13951	12994	7%	11%
U14 - 0,5	9604	9316	8644	7%	10%
U14 - 1	9604	9028	8660	4%	10%
U15 - 0	9604	9124	8548	6%	11%
U15 - 0,5	9604	9604	8452	12%	12%
U15 - 1	9604	9156	8884	3%	7%
U16 - 0	9604	9604	8980	6%	6%

V provedeném měření po otryskání bylo zaznamenáno ve více případech korozní oslabení měřené ¼ plochy průřezu dolního pásu o cca 5% vyšší, než bylo zjištěno v původním měření SUDOP [1] bez otryskání. V jednom případě bylo zaznamenáno zhoršení stavu až o 12% (U15-0,5). Z hlediska posouzení únosnosti se v tomto případě ale nejedná o nejvíce oslabený průřez tohoto typu, neb z hlediska velikosti vnitřních sil a plochy průřezu U15 = U2 a u U2 je celkové oslabení vyšší (21%) než u U15 (12%).

Charakter korozního oslabení dolního pásu příhradového nosníku je v zásadě v celém mostním poli podobný - oslabení krčních úhelníků a horní strany spodní pásnice, které je lokalizováno zejména v místech styčnicků. Protože tloušťka spodní pásnice je odstupňovaná směrem od podpory do středu pole a v krajních polích příhrady je spodní pásnice tvořena pouze úhelníky, je zde podíl korozního oslabení vzhledem k celkové ploše průřezu největší.

U spodní stavby jsou patrné průsaky vody s výluhem pojiva zdívkou, místy popraskané a jednotlivě vypadané spárování zdiva u opěr i pilířů.

Typické vady jsou zdokumentovány v příloze P1 – Fotodokumentace.

4.6 KOROZNÍ ANALÝZA

Na základě korozního průzkumu (Příloha 4) lze konstatovat nejzásadnější závěry:

- a) ocelová nosná konstrukce mostu je z hlediska rozvoje koroze v havarijním stavu,
- b) na mnoha místech je významně rozvinuté lokalizované korozní poškození redukcí průřez prvku, u kterého nelze zbytkovou životnost konstrukce s dostatečnou vypovídající schopností predikovat,
- c) časté je rovněž lokální odkorodování spojovacího materiálu (nůty) vlivem štěrbinového korozního poškození,
- d) za četné lokální korozní poškození odpovídá štěrbinový korozní mechanismus a především mechanismus činnosti článku s diferenční aerací při korozi pod úsadami (úsady zároveň zadržují vlhkost a prodlužují dobu ovlhčení τ),
- e) ocelová nosná konstrukce byla původně chráněna nátěrovým systémem několikrát různě obnovovaným na původních povlacích, v současnosti je vrstvený systém organických povlaků silně podkorodovaný případně kompletně odprýskaný a jeho bariérový mechanismus ochrany v podstatě nulový a tedy zanedbatelný.
- f) u nýtované nosné konstrukce se členěnými průřezy tohoto typu není ani při pravidelném provádění obnovy protikorozní ochrany možné zajistit dostatečnou protikorozní ochranu v těžko udržovatelných a nepřístupných místech (zejména spáry členěných průřezů a styčnický), tedy místech, která v současnosti vykazují výskyt výrazně rozvinutého lokalizovaného korozního poškození.

4.7 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI OCELI

Kontrolním materiálovým průzkumem byly potvrzeny výsledky původní diagnostiky od firmy SUDOP [1]. Strukturní analýzou bylo potvrzeno, že nosná konstrukce mostu byla vyrobena z plávkové oceli, odebrané vzorky mají feriticko-perlitickou strukturu. Na základě chemické analýzy bylo prokázáno, že se jedná o nízkouhlíkovou nelegovanou svařitelnou ocel. Z hlediska mechanických vlastností lze ocel zařadit jako S235 JR (minimální hodnota tažnosti 26%, mez kluzu 235 MPa, vrubová houževnatost 27 J při teplotě +20 °C). Odebraná ocel ze všech tří mostních polí vykazuje obdobné materiálové charakteristiky. Ze zkoušky v tahu za pokojové teploty ocelových zkušebních těles bylo zjištěno, že zkušební tělesa 3 a 5 vykazují výraznou mez kluzu, zk. tělesa 1, 2 a 4 výraznou mez kluzu nevykazují.

Tabulka 4 Zkouška v tahu za pokojové teploty.

Číslo vzorku	F_{eH} [kN]	$F_{0.2}$ [kN]	F_m [kN]	R_{eH} [MPa]	$R_{e0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{gt} [%]	A_5 [%]	Z [%]
1		39.3	55.1		248	348	17.6	33.3	54.7
2		37.8	53.5		237	336	21.7	37.6	58.7
3	47.0		58.1	295		365	18.4	31.4	58.5
4		40.7	57.7		251	356	20.1	33.6	51.8
5	40.4		61.7	251		384	19.6	35.1	51.8

Poznámka: A_5 tažnost, A_{gt} celkové prodloužení v procentech měřené průtahoměrem při maximálním zatížení, $F_{e0.2}$ síla na smluvní mez kluzu, F_{eH} síla na horní mez kluzu, F_m maximální dosažená síla při zatěžování, $R_{e0.2}$ smluvní mez kluzu, R_{eH} horní mez kluzu, R_m mez pevnosti, Z kontrakce.

Tabulka 5 Rázová zkouška v ohybu metodou Charpy.

Zk. těleso	Teplota	L	B	W	E_c	KV_2	Podíl smykového lomu
	[°C]	mm	mm	mm	kg·m	J	[%]
1-1	+20	55.00	10.05	9.99	6.8	67	neúplný lom
2-1		55.00	10.03	10.00	6.0	59	neúplný lom
3-1		55.00	10.12	9.89	2.2	22	35
4-1		55.00	10.07	9.56	4.0	39	neúplný lom
5-1		55.00	9.99	9.90	2.6	26	43
1-2	0	55.00	10.05	9.83	1.4	14	neúplný lom
2-2		55.00	9.94	9.96	0.9	9	neúplný lom
3-2		55.00	9.87	9.76	1.0	10	10
4-2		55.00	10.18	9.65	2.0	20	5
5-2		55.00	10.04	9.82	2.2	22	neúplný lom
1-3	-20	55.00	9.98	10.02	0.6	6	0
2-3		55.00	10.03	10.07	0.8	8	0
3-3		55.00	9.96	9.79	0.6	6	0
4-3		55.00	10.13	9.51	0.7	7	0
5-3		55.00	10.00	9.92	0.8	8	0

Poznámka: **B** tloušťka zkušební tělesa, E_c energie potřebná pro porušení, KV_2 absorbovaná energie v případě zkušební tyče s V-vrubem při použití bříty o poloměru 2 mm, **L** délka zkušební tyče, **W** šířka zkušební tyče.

Oproti původní diagnostice SUDOPu byly navíc provedeny také zkoušky vrubové houževnatosti při teplotě -20 °C, protože s poklesem teploty u ocelí obvykle klesá energie nutná pro porušení zkušebních těles. Dle výsledků zkoušek těchto odebraných těles byla průměrná hodnota vrubové houževnatosti při teplotě -20 °C pouze 7 J a potvrdilo se toto nepříznivé očekávání. Podle aktuálně platné normy pro návrh ocelových mostů ČSN EN 1993-2 (tab. 3.1) [2] je požadována pro mostní konstrukce oceli jakosti J2 s hodnotou vrubové houževnatosti min. 27 J při teplotě -20 °C. Vyhodnocená průměrná hodnota vrubové houževnatosti 7 J je tedy cca pouze čtvrtinová oproti normou požadované hodnotě 27 J a odpovídá oceli JR. Zkušební tělesa již nevykazovala při teplotě -20 °C smykový lom (houževnatý) a po celém svém průřezu se porušila křehkým lomem. **Křehký lom je nebezpečný typ porušení, ke kterému dochází náhle bez předchozích viditelných příznaků.** Např. podle TKP ŘSD kap. 19 (19:A.2.2.1.1 (4)) [3] je použití oceli jakosti JR nepřípustné pro svařované mostní konstrukce a použití je možné pouze pro nýtované prvky do tl. 10 mm. Nýtované prvky nosné konstrukce mostu ale mají tl. plechů vyšší (min. 12 mm).

Porovnání s výsledky uvedenými ve zprávě SUDOPu [1]:

- Odebraná ocel ze všech tří mostních polí vykazuje obdobné materiálové charakteristiky.
- Z tahové zkoušky bylo zjištěno, že tělesa 1 a 2 odebraná z konstrukce NK1 vykazují výrazně nižší hodnoty meze pevnosti R_m a konstrukce Z než zkušební tělesa 1U, 2U a 3U uvedená v podkladech [1].
- Z tahové zkoušky bylo zjištěno, že těleso 3 odebrané z konstrukce NK2 vykazuje nižší hodnoty tažnosti A_5 a konstrukce Z než zkušební tělesa 4U, 5U a 6U uvedená v podkladech [1].
- Z tahové zkoušky bylo zjištěno, že tělesa 4 a 5 odebraná z konstrukce NK3 vykazují nižší hodnoty tažnosti A_5 a konstrukce Z než zkušební tělesa 4U, 5U a 6U uvedená v podkladech [1].
- Z Charpyho zkoušky rázem v ohybu při teplotě +20 °C bylo zjištěno, že tělesa 1 a 2 odebraná z konstrukce NK1 vykazují výrazně vyšší hodnoty absorbované energie KV_2 než zkušební těleso 2U [1].
- Z Charpyho zkoušky rázem v ohybu při teplotě +20 °C bylo zjištěno, že těleso 3 odebrané z konstrukce NK2 vykazuje výrazně nižší hodnotu absorbované energie KV_2 než zkušební těleso 5U [1].
- Z Charpyho zkoušky rázem v ohybu při teplotě +20 °C bylo zjištěno, že tělesa 4 a 5 odebraná z konstrukce NK3 vykazují srovnatelné hodnoty absorbované energie KV_2 se zkušebním tělesem 8U [1].
- Porovnáním chemického složení vzorků uvedených v kap. 3 s údaji uvedenými v podkladech [1] bylo zjištěno, že složení oceli je podobné a v obou případech se jedná o nízkouhlíkovou nelegovanou svařitelnou ocel.
- Porovnáním mikroskopické analýzy je zřejmé, že se struktura ocelových vzorků uvedených v kap. 4 je stejná jako vzorků 2U, 5U a 8U uvedených v [1].

Souhrnně lze tedy konstatovat, že i přes jisté odlišnosti vysvětlitelné přirozenou variabilitou materiálu a rozdílnými místy odběru, jsme dospěli ke stejnému závěru jako SUDOP [1]. **Z hlediska mechanických vlastností lze ocel zatřídit jako S235 JR tj. minimální hodnota tažnosti 26%, mez kluzu 235 MPa, vrubová houževnatost 27 J při teplotě +20 °C.**

5 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Kontrolním materiálovým průzkumem byly potvrzeny výsledky původní diagnostiky provedené firmou SUDOP [1]. Strukturní analýzou bylo potvrzeno, že nosná konstrukce mostu byla vyrobena z plávkové oceli. Na základě chemické analýzy bylo prokázáno, že se jedná o nízkouhlíkovou nelegovanou svařitelnou ocel. **Z hlediska mechanických vlastností lze ocel zařadit jako S235 JR tj. minimální hodnota tažnosti 26%, mez kluzu 235 MPa, vrubová houževnatost 27 J při teplotě +20 °C. V tomto naše práce potvrzuje závěry diagnostiky SUDOPu.**

Podle aktuálně platné normy pro návrh ocelových mostů [2] je požadována pro mostní konstrukce oceli jakosti J2 s hodnotou vrubové houževnatosti min 27 J při teplotě -20 °C. Oproti původní diagnostice [1] byly proto navíc provedeny také zkoušky vrubové houževnatosti při teplotě -20 °C. Vyhodnocená průměrná hodnota vrubové houževnatosti při teplotě -20 °C byla u odebraných tělese pouze 7 J, tedy cca pouze čtvrtinová oproti normou požadované hodnotě 27 J. Zkušební tělesa při teplotě -20 °C již vůbec nevykazovala smykový lom (houževnatý) a po celém svém průřezu se porušila nebezpečným křehkým lomem.

Kontrolní prohlídkou mostu byly zastiženy všechny typické vady konstrukce, které byly podrobně popsány již v původním dokumentu od firmy SUDOP [1].

Vzhledem k nepravidelným korozním úbytkům po šířce i délce jednotlivých prvků konstrukce (oslabení průřezu silně proměnné, spíše lokálního charakteru), „bobtnání“ průřezů v důsledku nárůstu a rozvoje korozních zplodin je stanovení nenarušené zbytkové plochy průřezu obtížně proveditelné. Bez odstranění korozních zplodin se jedná o odborný odhad, skutečný stav je patrný teprve až po otryskání korozních zplodin.

Na základě kontrolního oměření u částečně otryskané vnější strany dolního pásu příhradové konstrukce (provedené v rámci rekonstrukce boční lávky firmou STRABAG v 08-09/2018) 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. Je tedy velmi pravděpodobné, že skutečné plošné korozní oslabení bude i u některých dalších prvků konstrukce vyšší, než bylo stanoveno na základě podrobné mostní prohlídky. Současně na prvcích dochází k lokalizovanému koroznímu poškození. Nejvýznamnější korozní poškození s perforačními důsledky je způsobeno vlivem lokalizovaných forem koroze (štěrbinová koroze, články s diferenční aerací pod úsadami). Tento druh korozního poškození má zcela nepredikovatelný průběh a zároveň může mít úzký vztah na iniciaci a růst trhlin, případně únavových trhlin v oceli.

Únosnost a zbytková životnost některých prvků nosné konstrukce může být tedy ve skutečnosti ještě nižší, než jak bylo stanoveno ve statickém přepočtu firmou SUDOP [1].

Korozní oslabení konstrukce se primárně vyskytuje u tažených prvků (diagonály, dolní pás a části svislic). Výrazné lokální korozní oslabení některých prvků způsobuje na konstrukci vruby, které jsou velmi nepříznivé z hlediska únavového namáhání. V důsledku korozního oslabení dochází k přerozdělení namáhání v průřezu, ve zbylé části prvku se zvýší napjatost. U prvků namáhavých tahem dochází obecně k vyšším kumulacím únavového poškození a k většímu riziku porušení náhlým křehkým lomem.

Na základě výše zmíněných skutečností lze tedy konstatovat, že průzkum zpracovaný SUDOP jako součást dokumentace [1] je na dobré úrovni z hlediska obsahu i podrobnosti. Variantní postup zásahu navržený v projektu SUDOP [1] tj. celková výměna ocelové nosné konstrukce vychází z relevantních informací. Náhrada ocelových prvků všech 3 obloukových příhradových konstrukcí mostů by zasáhla téměř dvě třetiny všech jejich částí. Rozebrání a opětovné složení konstrukce v tomto rozsahu a množství s cílem nějaké elementy zachovat by bylo reálně technicky neproveditelné. Za této situace lze tento návrh v tomto konkrétním případě podpořit a doporučit jeho další urychlené rozpracovávání a to zejména z důvodu zvýšeného rizika náhlého porušení křehkým lomem. V případě nové konstrukce a požadavku na stejný či obdobný vzhled lze doporučit provedení „volnější formy repliky“ neboť u stávajícího konstrukčního uspořádání detailů nosné konstrukce a prvků nelze ani po její rekonstrukci (formou přesné repliky) zajistit dostatečnou korozní ochranu z důvodu těžko udržovatelných detailů (spáry členěných průřezů) a volně nepřístupných částí (spodní pásnice dolního pasu, části mostu v oblasti trakčního vedení).

Vzhledem ke zjištěnému stavu nosné konstrukce mostu je nutné rekonstrukci mostu provést v co nejkratším časovém horizontu. Mezní čas provedení rekonstrukce do 5 let udávaný firmou SUDOP je z našeho pohledu „hraniční“, a to zejména z důvodu zvýšeného rizika náhlého porušení křehkým lomem, pokročilého rozvoje lokalizované koroze a blížícího se konce únavové životnosti prvků mostovky.

Do doby, než dojde k rekonstrukci mostu, by měl probíhat četnější monitoring nosné konstrukce z hlediska možného rozvoje poškození. Doporučujeme provádět vizuální kontrolu nosné konstrukce v intervalu alespoň 2x ročně.

Při kontrole je nutné se podrobněji zaměřit na oblasti s pokročilým rozvojem lokálního korozního poškození, kde by mohlo nejpravděpodobněji dojít k případnému vzniku trhlin. Dále by měla být podrobněji monitorována mostovka z hlediska možného vzniku trhlin z důvodu blížícího se konce únavové životnosti (únavová životnost stanovená na základě přepočtu SUDOP [1]). Veškeré nově zjištěné poruchy je nutno neprodleně konzultovat s odborníky.

6 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 – Fotografická dokumentace

PŘÍLOHA 2 – Karty prvků

PŘÍLOHA 3 – Materiálové zkoušky

PŘÍLOHA 4 – Korozní analýza

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 zadáných prací nebo mu v době zpracování zprávy nebyly známy nebo mu byly nepravdivě sděleny či mu byly zamlčeny.