

REKONSTRUKCE MOSTU DR. EDVARDA BENEŠE VE ŠTĚCHOVICÍCH

Ing. Aleš Meister

TUBES spol. s r.o.

Tel.: +420 226 066 454, E-mail: ales.meister@tubes.cz

Ing. Tomáš Landa

PRAGOPROJEKT, a.s.

Tel.: +420 226 066 446, E-mail: tomas.landa@pragoprojekt.cz

Ing. Filip Řehoř, Ph.D.

PRAGOPROJEKT, a.s.

Tel.: +420 226 066 453, E-mail: filip.rehor@pragoprojekt.cz

Příspěvek je věnován přípravě a realizaci celkové rekonstrukce památkově chráněného mostu postaveného v letech 1937-1939 podle projektu Miloslava Klementa. Tato technická památka byla první svého druhu postavená v tehdejší Československu. Železobetonové komorové oblouky se svými 114,0 m rozpětí klenou přes vodní nádrž Vrané, na nich je zavěšena roštová mostovka délky 102,0 m. Cílem rekonstrukce je prodloužení životnosti a zvýšení zatížitelnosti mostu, který byl dlouhá léta zanedbáván až do stavebního stavu V. Zachování nejen původního vzhledu, ale především převážné části památkově chráněné původní konstrukce, za použití moderních technologií přináší množství jak projekčních, tak stavebních výzev.

RECONSTRUCTION OF DR. EDVARD BENEŠ BRIDGE IN ŠTĚCHOVICE

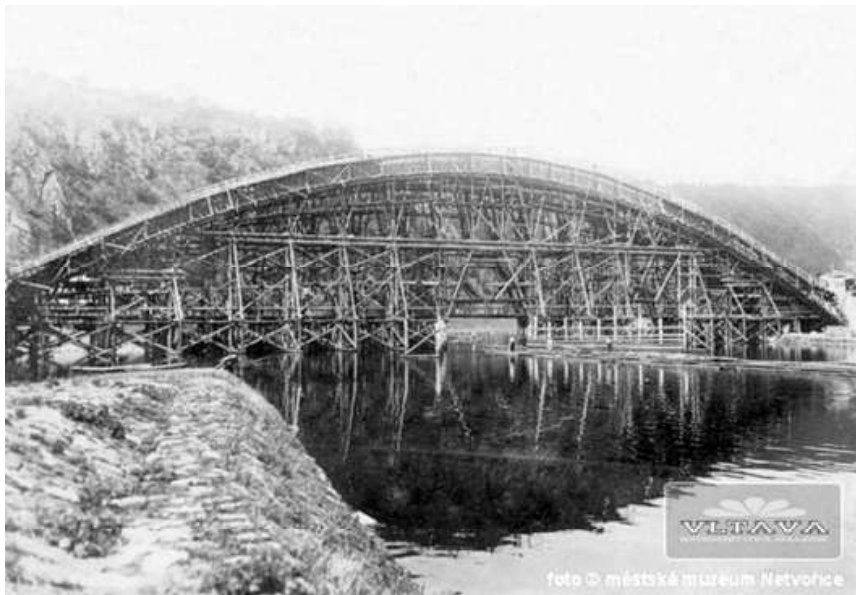
The article deals with the preparation and realization of the overall reconstruction of a heritage-listed bridge built in 1937-1939 according to the project of Miloslav Klement. This technical monument was the first of its kind built in Czechoslovakia. The reinforced concrete chambered arches extend with 114.0 m span across the Vltava river. The suspended grillage bridge deck is 102.0 m long. The aim of the reconstruction is to extend the bridge service life and increase the load-bearing capacity, despite the bridge maintenance had been neglected for many years, reached the condition rating V (bad), according to Czech regulations. The project brings numerous challenges both in projection and building in the field of preservation not only the original appearance, but also the majority of the heritage-protected original construction, together with using modern technologies.



1. HISTORIE A VÝSTAVBA MOSTU

Most byl postaven na místě historického přívazu mezi Štěchovicemi a Brunšovem, v letech 1937-1939 podle návrhu Ing. Miloslava Klementa.

Do výstavby mostu převozníci pracovali neustále a v noci přespávali v budkách u břehu řeky [3]. Samotný projekt započal roku 1936, na popud starosty obce Františka Heřmana. Výstavba trvala 22 měsíců až do slavnostního otevření, které proběhlo 20.5.1939.



Obr. 1 Výstavba mostu v letech 1937-1939 [1]

Nosnou konstrukci tvoří dvojice komorových oblouků spojených šesti příčnými ztužidly. Oblouky jsou vetknuty do skalního podloží přes masivní betonové základy. Na obloucích je prostřednictvím 16 párů železobetonových závěsů ze 7ØR30 Roxor vyvěšena železobetonová roštová mostovka, tvořená šesticí podélníků, šestnácti hlavními příčnicí, sedmnácti mezilehlými příčnicí a dvěma koncovými příčnicí uloženými kluzně na úložných prazích mezi oblouky. V předpolích na oblouky navazují skrytá rámová předpolí a kamenem prokládaná betonová křídla s obkladem z kyklopského zdiva. V přechodových oblastech byly umístěny komory se stálými zařízeními pro odstřel mostu. Přístup do komor byl umožněn svislou šachtou z prostoru chodníku. Most je lemován konstruktivistickým zábradlím z betonových madel a ocelovou vodorovnou výplní.

Stavba dle dobových informací spotřebovala asi 6 000 m³ betonu, 200 000 kg oceli a stála asi 3 000 000 Kč.

Na konci druhé světové války hrozilo mostu nebezpečí, že bude zničen ustupujícími německými vojsky. Ačkoliv proběhly přípravy pro jeho destrukci, nikdy nedošlo k jejich uskutečnění.

V roce 1946 byl most slavnostně pojmenován jako „most Dr. Edvarda Beneše“. Od 3. 5. 1958 je most kulturní památkou pod kat. č. 1000139940; Registr. číslo ÚSKP 28618/2-2317.

Poslední velká oprava mostu proběhla roku 1995, při které byly vyměněny kluzné plechy na koncových příčnicích, osazeny elastomerové mostní závěry a proběhly povrchové sanace a nátěry.

Most přežil nejen německé vojáky, ale také řadu povodní v letech 1940, 1981 a 2002 [3]



Obr. 2 Ledové povodně ze srpna 1940 [1]



Obr. 3 Povodně ze srpna 2002 [2]

2. DIAGNOSTIKA A PŘEPOČET ZATÍŽITELNOSTI

Práce na projektu opravy mostu započaly v 08/2018 na pokyn Krajské správy a údržby silnic Středočeského kraje, p.o., kdy byla zahájena mimořádná prohlídka mostu (PRAGOPROJEKT, a.s. [4]) a diagnostický průzkum (Horský s.r.o. [5]) jako podklad pro výpočet zatížitelnosti. Neboť stávající normální zatížitelnost ve stavebním stupni V pro nosnou konstrukci byla stanovena odhadem hodnotou pouhých 11 t.

Prohlídka mostu byla prováděna z plošin na mostě a z koryta pod mostem. Diagnostikou byly ověřeny pevnosti betonů nosných konstrukcí a spodní stavby, dále hloubka karbonatace, tloušťky vozovek a rovněž byly provedeny destruktivní a nedestruktivní sondy pro ověření vyztužení.



Obr. 4 Prohlížení a diagnostika mostu prováděná z plošiny na pontonu.

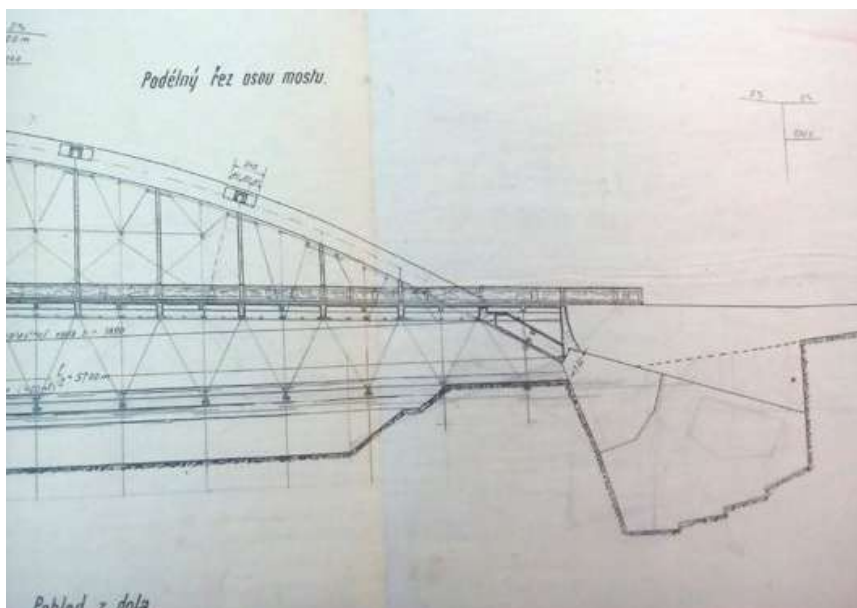
Použitá výztuž na mostě byla typu ROXOR profilů 18 a 30 s pevností meze kluzu 324 MPa a hladká výztuž profilů 8 a 12 mm s mezí kluzu 232 MPa. Pevnost betonů hlavních konstrukčních částí odpovídá betonu C30/37. Úbytek vlivem korozního oslabení byl stanoven až 15 %.



Obr. 5 Koroze výztuží závěsů

V rámci prověřování stavu mostu byly odhaleny jako největší nedostatky zejména korozní oslabení výztuží závěsů, jejich drčení v místě napojení zábradlí od teplotních změn, příčné trhliny v mostovce, narušená krycí vrstva, zatékání do vyjetých elastických mostních závěrů a degradace kluzných uložení.

K mostu nebylo k dispozici mnoho vstupních údajů, krom poměrně zjednodušeného mostního listu, archivních článků získaných z internetu a několika útržků původního projektu uloženého v Národním technickém muzeu [6]. Jak se později ukázalo při dalších průzkumech a zejména v rámci realizace, tak ne všechny údaje uvedené v archivním projektu odpovídaly skutečnému stavu. Zejména se jednalo o množství výztuží, rozměry prvků a rozsah předpolí mostu. Na předpolích byla později při dalších průzkumech odhalena skrytá pole a komory pro odstřel, které v archivním projektu nebyly vůbec zakresleny. Uvedená zjištění měla zásadní vliv na výsledný výpočetní model [12] pro stanovení zatížitelnosti.



Obr. 6 Část dobového projektu [6]

Závěrem přepočtu zatížitelnosti byla stanovena normální zatížitelnost $V_n=10$ t, výhradní $V_r=21$ t a výjimečná $V_e=47$ t. Přičemž rozhodujícím konstrukčním prvkem byly vlastní závěsy a dále podélníky, naproti tomu únosnost oblouků se ukázala oproti ostatním prvkům násobně vyšší.

Na základě těchto zjištění byla na začátku roku 2019 [5] vydána studie variantních řešení opravy pro projednání s NPÚ [7], kde byly zvažovány tři varianty. Ze strany projektantů a správce mostu byla preferována varianta zachování oblouků a zhotovení kompletní repliky mostovky a závěsů, aby bylo dosaženo plné zatížitelnosti mostu, avšak za cenu ztráty autenticity mostu. Nakonec byla tedy na základě rozhodnutí interní odborné komise NPÚ-ÚOP středních Čech vybrána varianta sanování celého mostu při zachování všech konstrukčních prvků a materiálů s jediným ústupkem, a to zesílení nosných závěsů skrytým způsobem.

3. ZAHÁJENÍ PROJEKČNÍCH PRACÍ

Ihned po učinění rozhodnutí o způsobu opravy byly zahájeny firmou TUBES [8] projekční práce, přičemž veškeré úpravy byly konzultovány se zástupci NPÚ [7].

Při rekognoskaci mostu byly objeveny revizní vstupy do skrytých komor a komor pro odstřel na obou předpolích mostu, které byly do této doby evidovány jako kabelové šachty. Po zpřístupnění těchto vstupů byly odhaleny prostory, které nebyly zakresleny v žádných dostupných plánech a do kterých pravděpodobně desítky let nikdo nevkročil. Následovala doplňková diagnostika rámových předpolí, geotechnický průzkum a kompletní zaměření mostu.



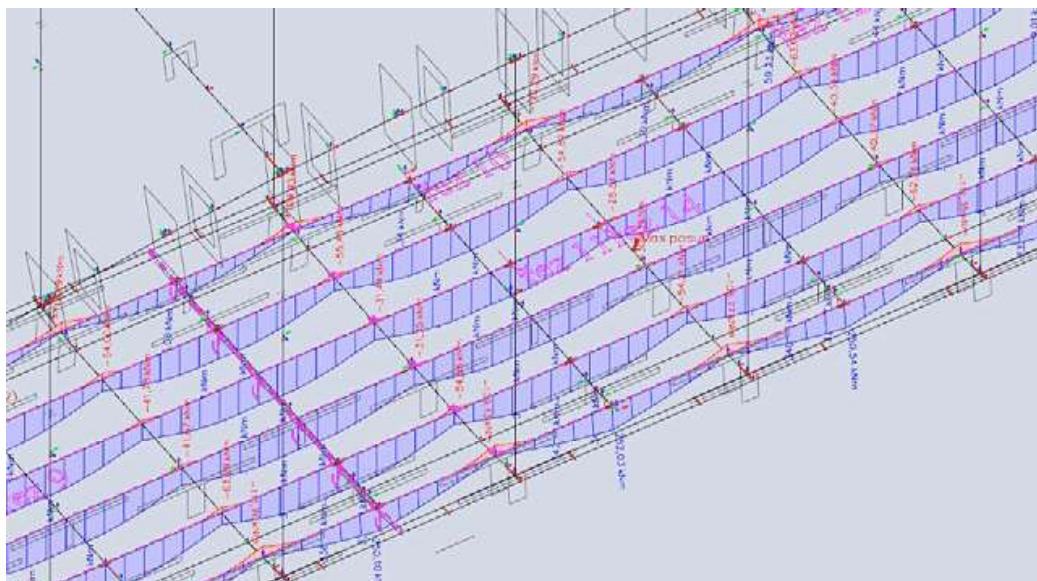
Obr. 7 Prostor skrytého pole



Obr. 8 Prostor komory pro odstřel

Byl revidován přepočet zatížitelnosti, ve kterém byly zohledněny nové skutečnosti vyplývající ze stavebně technického doplňkového průzkumu, geotechnických prací a celkového prostorového zaměření mostu. Přičemž hodnoty stávající zatížitelnosti byly nově stanoveny $V_n=11$ t, $V_r=32$ t, $V_e=51$ t, kdy rozhodovala shodně zatížitelnost závěsů a podélníků. Tedy i při zesílení závěsů, by nebylo dosaženo zvýšení zatížitelnosti mostu. Vzhledem k tomu, že zatížitelnost nosných příčníků vycházela 26 t a závěsy bylo možné zesílit, tak zbývalo vyřešit jediné kritické místo, a to podélníky. Po konzultaci se zástupci NPÚ bylo rozhodnuto o zesílení podélníků pomocí uhlíkových lamel způsobem co možná nejvíce skrytým. Z výpočtu se dále ukázalo, že s ohledem na stávající stupeň vyztužení podélníků, lze díky uhlíkovým vláknům dosáhnout maximálně zatížitelnosti $V_n=26$ t, což se s ohledem na ostatní prvky mostu jevílo jako dostatečné. V tomto duchu byl projekt dopracován. Do finální podoby PDPS ještě vstoupila výměna mostních závěrů, výměna kluzných uložení, kompletní výměna mostního svršku, izolování rubů křídel, a také přepočet rámových předpolí, u kterých vzhledem k tomu, že se jednalo o skryté konstrukce, byla umožněna jejich úplná náhrada.

Důvodem nízké zatížitelnosti podélníků je prostorové chování konstrukce, které, jak bylo zjištěno na prostorovém modelu [12], je výrazně odlišné od teoretického chování spojitých podélníků na pevných podporách. Zahnutí skutečné tuhosti oblouků, závěsů i příčníků vede ve výsledku k tomu, že nejvíc jsou namáhány vnitřní podélníky, jejichž momentová obálka je tvořena taženými vlákny při spodním povrchu po celé jejich délce. Tedy i v místech, kde na to podélníky nebyly dostatečně vyztužené.



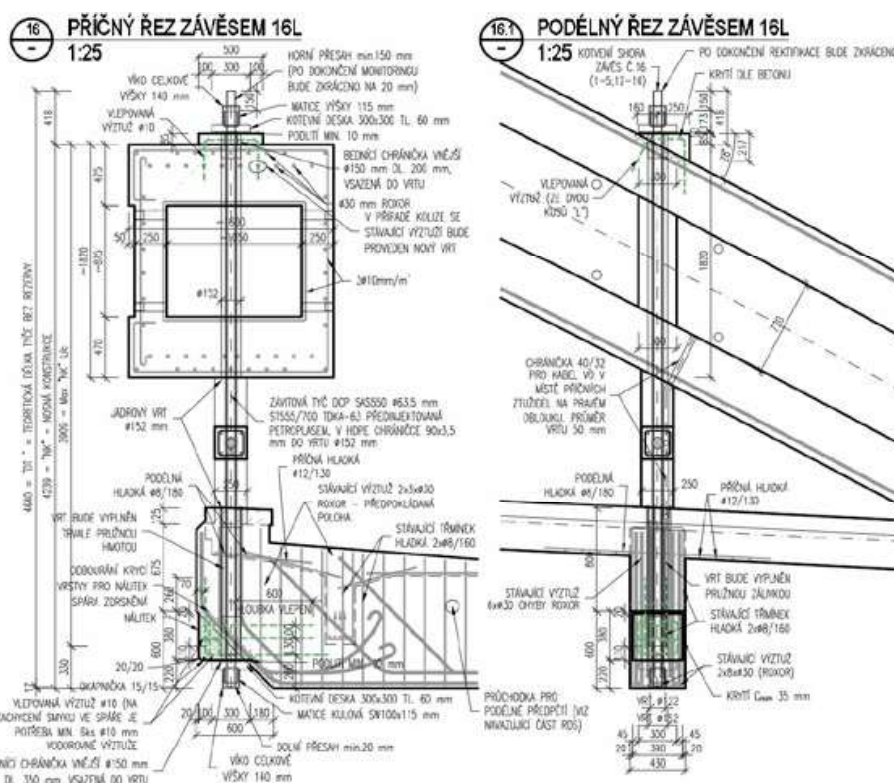
Obr. 9 Momentová obálka podélníků

4. REALIZACE

Zakázku na opravu Štěchovického mostu vyhrála společnost T.A.Q. [9], která si na projekční práci ve stupni RDS vybrala PRAGOPROJEKT [4]. Technologie závěsů a předpínání dodala společnost VSL [10].

Jak to u rekonstrukcí bývá, tak v realizaci bylo odhaleno množství zásadních odlišností, které vedly k nutnosti značných úprav technického řešení, které bylo nutné operativně řešit. Ať už to bylo odlišné vyztužení konstrukcí, než se předpokládalo z dostupných podkladů nebo výrazně horší stav konstrukcí po jejich odkrytí, odbourání nebo otryskání.

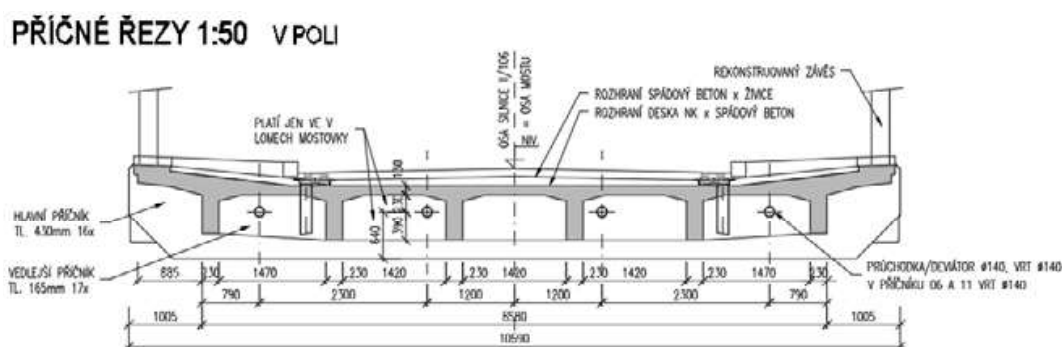
Návrh z PDPS na zesílení závěsů pomocí přídavné výztuže se nakonec při podrobném zkoumání ukázal jako velice problematický na jeho realizaci, a proto bylo následně přistoupeno k úplné výměně mostních závěsů. Původně zamýšlené skryté kotvení zesilujících tyčí závěsů se při odbourávání příčniců v místě zamýšlených kotevních oblastí ukázalo jako nerealizovatelné, jelikož se v příčnicích našla další výztuž, která nebyla předchozími diagnostikami nalezena. To přispělo k dalšímu zpřesnění výpočtů a následně k rozhodnutí provést přiznané kotvení závěsů zespodu. Na posouzení problematických oblastí byl mimo jiné využit software IDEA StatiCa – Detail [11]. Nové závěsy byly osazeny skrze vytvrzané otvory do stávající konstrukce oblouku, resp. nosného příčnicku, do kterých se osadily závitové tyče DCP SAS550 ø63,5 mm ST555/700 v HDPE chrániče 90x3,5 mm vyplněné petroplastem [10]. Průřezová plocha závěsů je zvolena podle průřezové plochy původních výztuží ROXOR, aby byla zajištěna shodná tuhost, pro zajištění shodných svislých deformací. Pro zajištění plné zatížitelnosti musí závěs přenést v MSÚ sílu 1137 kN, přičemž únosnost závěsu je $F_{yk}=1760$ kN a $F_{tk}=2215$ kN. Ze spodu příčnicku byly navrtány doplňkové vlepené výztuže a vlastní výztuž nálitky. Nálitky byly zhotoveny ze speciální vysokopevnostní hmoty MAPEGROUT ANCORA&Ripara [14]. Roznos síly je zajištěn ocelovou čtverhrannou deskou uloženou do polymerbetonu. Výsledkem tohoto snažení bylo navýšení zatížitelnosti kotevní oblasti příčnicků a závěsů na $V_n=32$ t (z původně zamýšlených 26 t). Podobným způsobem bylo provedeno také kotvení shora, které rovněž nemohlo být provedeno skrytě, neboť uvnitř oblouků byla nalezena další diafragmata, která znemožňovala manipulaci uvnitř komor. Vlastní vrtání vyžadovalo provádění vrtu s vysokou přesností a vzájemnou vstřícností vrtu v mostovce a oblouku. V průběhu výměny závěsů byla mostovka vyvěšena přes oblouky na provizorní konstrukci.



Obr. 10 Schéma kotvení závěsů

Po dobu výměny závesů až do dokončení mostu byl prováděn monitoring napětí v závěsech a monitoring teploty na několika čidlech v obloucích a v mostovce. Monitoring byl prováděn FSv ČVUT Praha pod vedením prof. Ing. Pavla Ryjáčka, Ph.D [15]. Díky monitoringu bylo možné sledovat vývoj napětí při výměně závesů v jednotlivých etapách a nárůst napětí od přidávané vlastní tíhy, přičemž mezi výpočtním modelem a změřeným hodnotám panovala veliká shoda v mezích předpokládaných tolerancí.

Vzhledem k nově objeveným příčným trhlinám v mostovce (po otryskání) a problematickému provádění uhlíkových lamel na zesílení podélníků bylo rozhodnuto o náhradě větší části uhlíkových lamel zesílením mostovky pomocí volného podélného předpětí. Uvedenou změnou dochází ke zvýšení smykové i ohybové únosnosti podélníků a mostovky a rovněž uzavření trhlin v mostovce. Byly zvoleny 4ks kabelů po 9 lanech 15,7 mm Y1860 S7 [10] umístěné přibližně centricky v prostoru mezi podélníky. Byly použity kotvy GC6-15/GC6-12X, do kterých bylo vneseno kotevní napětí 1300 MPa. Kvůli osazení kotev byly vybourány a nahrazeny koncové příčníky, což bylo výhodné i kvůli jejich značné degradaci vlivem zatékání z mostních závěrů. Trasa kabelů byla zvolena s ohledem na polohy stávajících smykových výztuží v nosných příčnicích, kdy byl nedestruktivním měřením skenován každý příčník a na jeho povrch z obou stran byly vyznačeny polohy šikmé výztuže ve stěně. Polohy byly vyhodnoceny a půdorysné vedení zvoleno tak, že nebyla přerušena žádná podstatná výztuž ROXOR, pouze některé třmínky, které však jsou tvořeny pouze hladkou výztuží profilu 8 mm. Tato přerušená výztuž byla nahrazena výztuží z uhlíkových vláken [14] [16], které obepínají celý příčník po stranách každého prostupu pro kabel. Na lomových příčnicích (kde mostovka mění svůj podélný sklon) byla tato výztuž ještě zesílena. Třmínek tvoří ve spodní části a zboku tkanina, která je skrze horní desku mostovky protažena pomocí uhlíkových provazců a vzájemně propletena a slepena epoxidovou pryskyřicí.



Obr. 11 Podélné předpětí

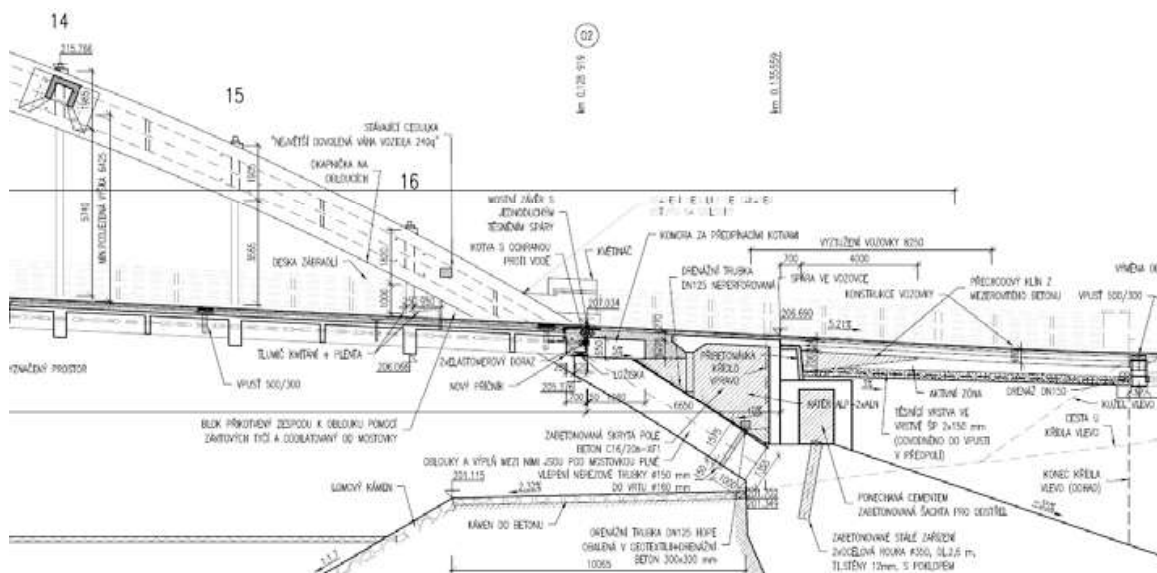
Po odbourání koncových příčníků se ukázalo, že stávající úložný práh je taktéž do hloubky degradován, takže musel být odbourán až na vyčnívající výztuž a kompletně sanován. Prahy byly odvodněny drenáží do rubu a následně pod most. Do dilatační spáry byly nově osazeny povrchové mostní závěry s jednoduchým těsněním spáry a elastomerové bloky sloužící jako dorazy při pohybech mostovky. Vlastní příčníky byly nově položeny na dvojici elastomerových ložisek [13], která s ohledem na velikost pohybů a stísněné podmínky musela být vybavena kluznou plochou z teflonu.

Pro zachycení vodorovných sil od dopravního zatížení byly doplněny hydraulické tlumiče podélného kmitání [10], a to do prostoru mezi mostovku a oblouky. Tlumiče budou schovány na konci zábradlí za plenty. K tlumení vodorovných sil muselo být přistoupeno z důvodu uložení příčníků na ložiska, osazení mostních závěrů s jednoduchým těsněním spáry a úpravou mostních závěsů umožňujících dilatování mostovky, tak aby nedocházelo k drcení betonu závěsů a zábradlí. Vlivem těchto úprav byl odstraněn odpor konstrukce proti vodorovným silám, který sice ve stávajícím stavu zajistil jejich přenos, avšak za cenu výše popsaných konstrukčních problémů. Řešení pomocí tlumičů nese sice jistý náklad, ale jejich použití přispěje k zajištění dlouhodobé životnosti konstrukce.

Zvláštní péče byla dále věnována vlastnímu zábradlí. To je pojato jako replika, včetně pískování částí povrchů apod., avšak oproti stávajícímu stavu jsou řešeny nově detaily napojení tak, aby nedocházelo k poškození závěsů a dalších prvků vlivem dilatačních pohybů mostovky.

Vlastní rámová předpolí byla nakonec zabetonována, a to z důvodu urychlení výstavby a zajištění přístupnosti mostu v průběhu výstavby.

Výsledná zatížitelnost mostu v tuto chvíli ještě nebyla stanovena, nicméně normální zatížitelnost by se měla pohybovat mezi hodnotami 26 až 32 t.



Obr. 12 Podélný řez mostu – přechod nosné konstrukce do předpolí

5. ZÁVĚR

Jak z hlediska projekčního, tak po stránce realizační, most od samého začátku kladl mnoho náročných výzev, které se odrážely jak ve vynaloženém úsilí, tak v náročnosti příprav ve fázi projekční i realizační. Jedná se o tak komplexní a složitou stavbu, kde každý detail souvisí se sérií dalších, že popsat veškeré souvislosti a činnosti spojené s opravou tohoto mostu, by vydalo na samostatnou publikaci.

LITERATURA:

- [1] Online. Vojtěch Pavelčík, <https://www.stara-vltava.cz/gal/stechovice.html>; reprodukce fotografií Archiv městského muzea Netvořice
- [2] Online. foto: Povodí Vltavy, s.p., Holečková 3178/8, Praha 5, 150 00; https://www.edpp.cz/stc_prirozena-povoden/
- [3] Online. Publikace Štěchovice v čase z roku 2015 od K. Cabalové; <https://www.stechovice.info/file.php?nid=10017&oid=4511897>
- [4] PRAGOPROJEKT, a.s.; K Ryšance 1668/16, 147 54 Praha 4
- [5] Horský s.r.o.; Klánovická 286/12, 194 00 Praha 9
- [6] Národní technické muzeum; Kostelní 1320/42, 170 00 Praha 7-Letná
- [7] Národní památkový ústav; Valdštejnské náměstí 162/3, 118 01 Praha 1
- [8] TUBES spol. s r.o.; Nad Zátiším 345/12, 142 00, Praha 4
- [9] Společnost T.A.Q. s.r.o.; Fetrovská 1002/59, 160 00 Praha 6 – Dejvice
- [10] VSL SYSTEMS /CZ/ Ltd., Českomoravská 2420/15, 190 00 Prague 5
- [11] IDEA StatiCa s.r.o., Šumavská 519/35, Veveří, 602 00 Brno
- [12] SCIA CZ s.r.o., Evropská 2591, 160 00 Praha 6-Dejvice
- [13] SVP mosty, s.r.o., U Rakovky 436/31, 148 00 Praha 4
- [14] MAPEI, spol. s r.o. Smetanova 192/33 - Olomouc - Hodolany, 779 00
- [15] Fakulta stavební České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 2077/7, 166 29 Praha 6 Dejvice
- [16] MKS Praha s.r.o., Upravená 247/17, Štěrboholy, 102 00 Praha 10