

OPRAVA PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÉHO MOSTU V KŘINCI Z POHLEDU HODNOCENÍ KONSTRUKCE

Ing. Michal Drahorád, Ph. D.

Stavební fakulta ČVUT v Praze / Mott MacDonald Praha, s r.o., Thákurova 7, 166 29 Praha 6
Tel.: +420 224 354 677, E-mail: Michal.Drahorad@fsv.cvut.cz

Doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc.

IDEA RS s.r.o., U Vodárny 2a, 616 00 Brno
Tel.: +420 511 205 263, E-mail: navratil@idea-rs.com

REPAIR OF THE KŘINEC BRIDGE FROM THE STRUCTURAL ASSESSMENT POINT OF VIEW

The paper aims to the design of repair and assessment of the bridge over Mrlina River in Křinec as a part of the Czech cultural heritage. Reinforced concrete arch superstructure with suspension deck had been assessed in compliance with current standards and optimized design of repair works was proposed based on progressive investigation of the structure during construction.

1. ÚVOD

Problematika plánování a provádění oprav mostů, zejména mostů podléhajících památkové ochraně, je v poslední době negativně ovlivňována řadou okolností plynoucích ze širších souvislostí, platné legislativy a neochotou zodpovědně rozhodovat o zásadních požadavcích na stavbu ve fázi přípravy. Návrh opravy mostu je často vlivem nedokonalé znalosti skutečného stavu, podcenění průzkumů nebo zbytečně přísných požadavků nadměru konzervativní nebo neekonomický. V některých případech je možné návrh během realizace upravit, jindy to vlivem okolností možné není, což vede často ke zbytečnému plýtvání prostředky.

Památkově chráněný most přes řeku Mrlinu v Křinci byl vybudován v roce 1918 podle raného návrhu akademika Stanislava Bechyněho. Jedná se o monolitický železobetonový obloukový most se spodní roštovou mostovkou vetknutý do krabicových betonových opěr. V současné době je most chráněn jako národní kulturní památka ČR.

V rámci odstraňování škod po povodních roku 2013 byl most opraven, přičemž byl zvláště důraz kladen na zachování původních konstrukcí. Během provádění stavby byl návrh opravy konstrukce upravován s ohledem na skutečný stav mostu upřesňovaný v závislosti na postupu výstavby a průběžně prováděných výpočtech. Tento přístup sice kladl zvýšené nároky na přístup investora i zhotovitele mostu, ale umožnil optimální volbu způsobu provedení opravy mostu ve vazbě na skutečný stav mostu. Bez nadsázky tak lze konstatovat, že výsledné dílo respektuje v maximální míře požadavky zainteresovaných stran (investora, památkového úřadu, TDI, a dalších) při optimálním využití finančních prostředků.

2. ZÁKLADNÍ POPIS MOSTU A STAV PŘED ZAHÁJENÍM OPRAVY

Silniční most přes Mrlinu v Křinci je situován ve východní části městysu Křinec a převádí silnici II/275 přes řeku Mrlinu. Most byl postaven jako úplná novostavba v letech 1915 až 1918 podle raného projektu akademika Stanislava Bechyněho. Na koncích křídel mostu jsou osazeny barokní sochy Živlů z roku 1707, které byly umístěny na původním mostě (viz obrázek 1).

Nosnou konstrukcí mostu tvoří dva parabolické monolitické železobetonové oblouky proměnné tloušťky, na něž je pomocí čtveřice betonových závěsů na každé straně zavěšena roštová železobetonová trámová mostovka. Samotná mostovka je tvořena masivními příčnými proměnné výšky, podélníky a deskou mostovky. Oblouky mostu i roštová mostovka jsou vetknuté do skříňových opěr. Tahové obloukové síly jsou zachyceny dvěma krajními železobetonovými táhly se zabetono-

vanými ocelovými plechy. Původně měl most vpravo ve směru staničení nesymetrický chodník, který byl v roce 1968 nahrazen samostatnou ocelovou lávkou vpravo vedle mostu, a plocha původního chodníku byla přímo poježděna. Vozovka na mostě je dlážděná.

Stav mostu byl v důsledku dlouhodobého pronikání vody a chloridových iontů do konstrukce neutěšený. V kombinaci s malou krycí vrstvou výztuže bylo důsledkem pronikání vody do konstrukce snížení přirozené alkality betonu a tím i pasivační ochrany výztuže. Beton byl zkarbonátován do hloubky cca 20 mm, obsah chloridových iontů lokálně přesahoval limitní hodnotu až 5x. Provedený průzkum ukazoval na kvalitu betonu odpovídající třídě C12/15. Lokálně provedené průzkumy množství a polohy výztuže ukazovaly na oslabení betonářské výztuže až o 20%.

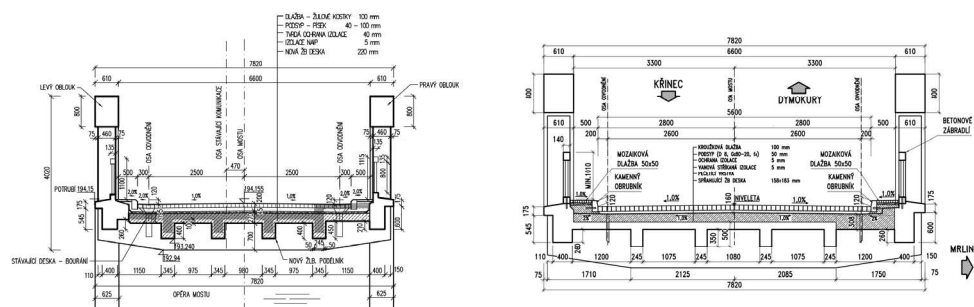


Obr. 1 Původní stav mostu

3. NÁVRH A PROVEDENÍ OPRAVY MOSTU

3.1 Původní koncepce opravy mostu

Původní návrh opravy zpracovaný v úrovni dokumentace pro výběr zhotovitele počítal s odstraněním celé desky mostovky, včetně vnitřních podélníků a jejich nahrazením novou konstrukcí tak, aby byla zajištěna požadovaná zatížitelnost mostu ($V_n = \min. 32 \text{ t}$) současně s vyhovujícím výškovým vedením komunikace na mostě (viz obrázek 2). V rámci opravy byla navržena kompletní sanace všech zachovávaných původních konstrukcí (oblouk, opěry, parapetní zídky na křídlech) a sanace zábradlí.



Obr. 2 Původní (vlevo) a upravený (vpravo) návrh opravy mostu

3.2 Úprava koncepce opravy mostu

Po výběru zhotovitele byly zahájeny práce na realizační dokumentaci. Pracím na realizační dokumentaci předcházelo podrobné ohledání konstrukce a doplňkové průzkumy, které ukázaly relativně malé poškození betonu roštové mostovky, včetně minimálního výskytu trhlin. V prvním kroku návrhu opravy byla proto ověřena zatížitelnost stávajícího mostu bez zesílení (při zahrnutí

skutečného stavu mostu) a vliv případného provedení nové spřažené betonové desky na stávající konstrukci. Současně byly upřesňovány požadavky zainteresovaných orgánů státní správy na výslednou zatížitelnost a provedení mostu.

Jednáním se správcem mostu bylo zjištěno, že požadovaná minimální zatížitelnost mostu odpovídá původní zatěžovací třídě B, tj. normální zatížitelnosti minimálně 22 t a výhradní minimálně 32 t. Předběžné výpočty ukázaly, že v případě minimálních zásahů do nosné konstrukce mostu, bude možno požadované zatížitelnosti mostu s vysokou pravděpodobností dosáhnout pouze zesílením desky mostovky (viz obrázek 2 vpravo). Záložním řešením bylo použití předpětí konstrukce podél původních táhel (vnějších podélníků) mostu. Rovněž památkovým ústavem bylo pozitivně vnímáno zachování původních konstrukcí v maximálním rozsahu, takže bylo možno přistoupit i k původně odmítané výměně betonových panelů zábradlí, resp. jejich nahrazení replikami.

3.3 Projektová příprava

V rámci projektové přípravy realizace byla vypracována strategie postupu opravy, když byla v první řadě výtýpována kritická místa a průřezy konstrukce na základě průzkumu provedeného v rámci přípravy stavby. Ve výtýpovaných místech se prováděl podrobný průzkum skutečného provedení a stavu konstrukce. Navržené doplňkové průzkumy spočívaly zejména ve stanovení skutečných vlastností betonu a stanovení počtu, rozmístění a korozního oslabení betonářské výztuže. Pozornost se rovněž věnovala skutečnému stavu a provedení táhel oblouků vyztužených ocelovými prvky. Na základě zjištěných skutečností se realizovala doplňková měření rovněž v dalších místech v návaznosti na jejich stav.

Na základě prováděných průzkumů pak byly v průběhu stavby upřesňovány modely konstrukce, upravován projekt opravy mostu a stanovena jeho skutečná zatížitelnost. Nutno podotknout, že velkou roli v přípravě hrála znalost konstrukčních zásad platných v době zpracování projektu, zejména odhad provedení a tvaru betonářské výztuže v konstrukci.



Obr. 3 Vybrané detaily konstrukce po obnažení (zleva doprava - koncová oblast příčnicku, stykávání ocelových plechů táhla oblouku, výztuž oblouku, výztužení původního chodníku a příčnicku)

3.4 Realizace opravy mostu

Na začátku provedení prací byly stanoveny základní teze opravy mostu, které byly v návaznosti na prováděný průzkum konstrukce upřesňovány. Typicky byly prováděny úpravy navrženého množství výztuže v návaznosti na skutečně zastižené množství a stav původní výztuže. V průběhu stavby se rovněž ukázalo, že diagnostický průzkum provedený v rámci předchozího stupně dokumentace nebyl dostatečně výstižný nebo byl proveden na nevhodných místech (např. nebyly odhaleny smykové třmeny ve vnitřních podélnících, zdvojené třmeny v příčných a jedna řada plechů táhla - 100/20 mm). Na základě těchto upřesnění průzkumu pak byla provedena oprava mostu efektivnější.

4. HODNOCENÍ MOSTU A JEHO ČÁSTÍ

4.1 Všeobecně

Hodnocení stávajícího mostu a návrh opravy sestává z několika činností, které na sebe navazují a vzájemně se ovlivňují. Hodnocení mostu se provádí podle ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038, ČSN 73 6222 a technických norem pro navrhování konstrukcí. Konečným výsledkem hodnocení mostů je stanovení zatížitelnosti jakožto základního parametru mostu z hlediska dopravního zatížení.

4.2 Problematika stanovení zatížitelnosti

Stanovení zatížitelnosti mostů vychází z principů definovaných platnými technickými předpisy pro hodnocení existujících konstrukcí ([1] a [2]) a platnými ČSN EN pro příslušné stavební materiály (např. [5]) doplněných příslušnými národními předpisy v závislosti na druhu převáděné komunikace (např. [3]).

Při stanovení zatížitelnosti se vychází z odolnosti konstrukce ERd (rozhodujícího průřezu) v příslušném posuzovaném mezním stavu a pro příslušný případ namáhání, která se poníží o návrhové hodnoty účinků stálých a proměnných nedopravních zatížení. Z této části odolnosti průřezu připadající na proměnné zatížení dopravou se pak stanoví zatížitelnost, a to podle vztahu:

$$V_i = M_1 \cdot (E_{Rd} - E_{G,Ed} - E_{Q-ND,Ed}) / E_{Q-D,Ed,1}$$

kde V_i je příslušný druh zatížitelnosti mostu (normální, výhradní, výjimečná),

E_{Rd} je odolnost konstrukce v posuzovaném mezním stavu,

$E_{G,Ed}$ je návrhový účinek stálých zatížení,

$E_{Q-ND,Ed}$ je návrhový účinek proměnných nedopravních zatížení,

$E_{Q-D,Ed,1}$ je návrhový účinek proměnného dopravního zatížení pro stanovení příslušné zatížitelnosti (jednotková hodnota),

M_1 je hmotnost jednotkového vozidla pro stanovení příslušné zatížitelnosti.

Základním problémem při hodnocení mostu bylo stanovení zatížitelnosti prvků namáhaných kombinací osové síly, ohybu a smyku, které bylo prováděno iterativně při zohlednění celkového působení průřezu (podrobně viz např. [6]). Rozhodujícími prvky se přitom ukázaly být vnitřní podélníky mostu namáhané kombinací tahu, ohybu a smyku.

4.3 Postup hodnocení mostu

V rámci zpracování realizační dokumentace bylo hodnocení mostu prováděno několikrát v různé podrobnosti plynoucí z aktuálních znalostí o konstrukci. Postup hodnocení konstrukce byl vždy stejný, lišily se pouze dílčí informace upřesněné v jednotlivých fázích.

V první (přípravné) fázi byla zatížitelnost stanovena na základě zjednodušených kombinačních vztahů (6.10) podle [4]. Z hlediska materiálů a geometrie konstrukce a výztuže byly použity závěry provedených průzkumů a projektová dokumentace pro zadání stavby. Výsledky hodnocení byly porovnány s výpočtem zatížitelnosti mostu, který byl k dispozici. Na základě provedeného výpočtu byly vyhodnoceny rozhodující průřezy jednotlivých částí mostu, které byly v dalších výpočtech přednostně sledovány a vyhodnocovány (podélníky a závěsy mostovky). Současně byla v rozhodujících průřezích prováděna podrobná diagnostika konstrukce.

Po zahájení stavby bylo v první řadě provedeno snesení mostního svršku, demoliční práce a očištění konstrukce. Na očištěné konstrukci pak byly v kritických místech provedeny sondy pro stanovení skutečného vyztužení a korozního oslabení. Současně byla celá konstrukce po-

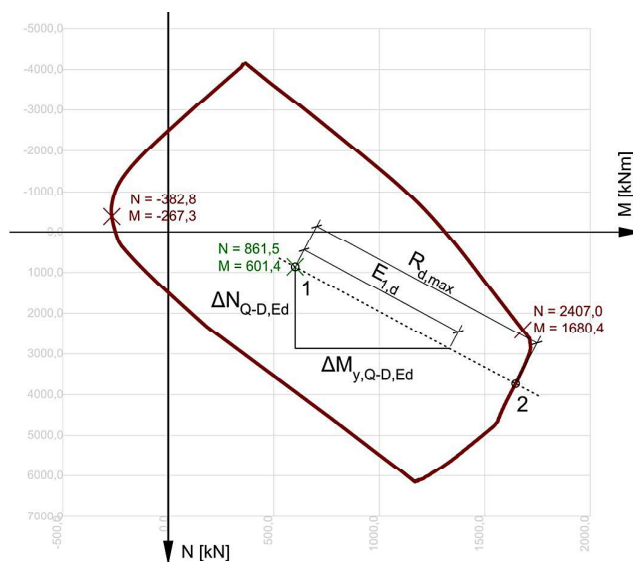
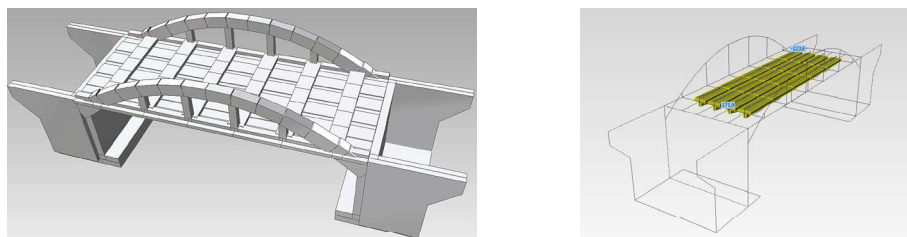
drobně prohlédnuta a byla vytipována další sledovaná místa (např. spoje ocelových plechů táhel). Na základě zjištěných skutečností byly upraveny provedené výpočty z první fáze návrhu. Do výpočtu odolnosti konstrukce byly zahrnuty skutečné plochy a uspořádání betonářské výztuže a stav betonu v kritických průřezech.

Ve finální fázi projektu (po dokončení stavebních prací) bylo provedeno zaměření mostu a stanovena zatížitelnost mostu. Při stanovení zatížitelnosti mostu byly uvažovány snížené dílčí součinitele pro zatížení stálé (γ_G), protože byla známa přesná geometrie konstrukce. Součinitele materiálu (γ_M) byly s ohledem na provedené zkoušky na původních materiálech a použití nových materiálů uvažovány podle [4].

Nové konstrukce mostu (deska mostovky) byly navrženy tak, aby odpovídaly stanovené zatížitelnosti původních konstrukcí. Deska mostovky byla navržena podle [5] s mírnou rezervou tak, aby zatížení odpovídalo vozidlům normální zatížitelnosti podle [3] o hmotnosti cca 1,15 násobku stanovené normální zatížitelnosti.

4.4 Ověření výsledků

Výpočty spojené s návrhem opravy mostu a stanovením zatížitelnosti probíhaly v běžných programech a v tabulkovém procesoru. S ohledem na složitost výpočtů, zejména kombinaci působení osových sil, ohybových momentů a smykových sil na některých prvcích mostu, byly provedeny ověřovací výpočty v programu IDEA StatiCa. Tyto výpočty umožnily optimalizaci využití a ověření výsledků získaných základní analýzou konstrukce.



Obr. 4 Výpočetní modely konstrukce a příklad stanovení zatížitelnosti průřezu namáhaného kombinací osově síly a ohybového momentu

5. ZÁVĚR

Na uvedeném příkladu opravy mostu přes řeku Mrlinu v Křinci je patrné, že vhodná volba koncepce opravy ve spojení s postupně prováděným průzkumem může zefektivnit a urychlit opravu nejen mostních konstrukcí. V přípravné fázi není často možné efektivně získat dostatek informací o konstrukci tak, aby bylo možno opravu mostu detailně navrhout, nemluvě o neznalosti skutečného zhotovitele, jeho technologií a pracovních postupů. Řešením problému může být úzká spolupráce zhotovitele a projektanta ve fázi realizace podpořená vhodně prováděnými průzkumy a navazujícími výpočty. Nutnou podmínkou je však existence vhodného prostředí, vzájemná důvěra všech účastníků výstavby a jejich odborná erudice.

Doufejme tedy, že v návaznosti na podobné projekty a realizace oprav, zodpovědnost zhotovitelů i investorů a zvyšující se kvalitu prací budeme v budoucnu provádět opravy mostních konstrukcí efektivně a šetrně ke stávajícím konstrukcím.



Obr. 5 Dokončený most

6. LITERATURA

1. ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí, ÚNMZ Praha, 2014
2. ČSN 73 0038: Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení, ÚNMZ Praha, 2014
3. ČSN 73 6222: Zatížitelnost mostů pozemních komunikací, ÚNMZ Praha, 2013, 2015
4. ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ÚNMZ Praha, 2004, 2015
5. ČSN EN 1992: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - soubor norem, ÚNMZ Praha
6. Drahorád, M., Ševčík, P., Navrátil, J.: Výpočet zatížitelnosti mostních konstrukcí, Sborník konference Mosty 2016, Sekurkon, Brno, 2016