

Program na podporu aplikovaného výzkumu a  
experimentálního vývoje národní a kulturní identity na léta 2016  
až 2022 (NAKI II)

**Metody pro zajištění udržitelnosti ocelových  
mostních konstrukcí industriálního kulturního  
dědictví**

Projekt MK ČR ev. č. DG18P02OVV033

**Památkový postup pro  
průzkumy, hodnocení,  
opravy a zesilování  
mostních konstrukcí  
průmyslového dědictví**

30.12.2022

# Obsah

<b>1. ÚVOD A CÍLE</b> .....	<b>4</b>
<b>2. ZÁSADY HODNOCENÍ PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÝCH OBJEKTŮ</b> .....	<b>6</b>
<b>3. DIAGNOSTIKA STAVU PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÉ KONSTRUKCE</b> .....	<b>11</b>
3.1. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM MOSTNÍHO OBJEKTU .....	12
3.2. ZJIŠTĚNÍ USPOŘÁDÁNÍ A ROZMĚRŮ KONSTRUKCE .....	14
3.3. VIZUÁLNÍ PRŮZKUM KONSTRUKCE – PROVÁDĚNÍ HLAVNÍ A MIMOŘÁDNÉ PROHLÍDKY .....	15
3.3.1. <i>Ověření spolehlivosti mostu</i> .....	16
3.3.2. <i>Prvky náchylné k podemletí</i> .....	16
3.3.3. <i>Prvky v kontaktu s vodou</i> .....	17
3.3.4. <i>Mostovka</i> .....	17
3.3.5. <i>Mostní závěry</i> .....	17
3.3.6. <i>Ložiska</i> .....	17
3.3.7. <i>Prvky náchylné na vznik lomu</i> .....	18
3.3.8. <i>Prvky náchylné ke ztrátě stability</i> .....	19
3.3.9. <i>Rizikové styčníky, uvolnění nýtů</i> .....	20
3.3.10. <i>Hodnocení deformací a chování při průjezdu dopravy</i> .....	21
3.4. DEGRADAČNÍ PRŮZKUM .....	22
3.5. MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM .....	24
3.5.1. <i>Obecná doporučení</i> .....	24
3.5.2. <i>Provádění destruktivních zkoušek</i> .....	28
3.5.3. <i>Doporučení pro provádění nedestruktivních zkoušek</i> .....	30
3.5.4. <i>Kombinace destruktivních a nedestruktivních zkoušek</i> .....	32
3.5.5. <i>Stanovení charakteristické hodnoty na základě zkoušek</i> .....	32
3.6. E-P METODA (EVALUATION BY PARTS) .....	32
3.7. PRŮZKUM KOROZNÍHO OSLABENÍ .....	43
3.7.1. <i>Požadavky na korozní průzkum PKO</i> .....	47
3.7.2. <i>Destruktivní zkoušky</i> .....	48
3.7.3. <i>Nedestruktivní zkoušky</i> .....	51
3.8. HODNOCENÍ MOSTŮ .....	53
3.8.1. <i>Zpřesnění zatížení</i> .....	53
3.8.2. <i>Zpřesnění odolnosti</i> .....	56
3.8.3. <i>Směrná úroveň spolehlivosti</i> .....	57
3.9. POŽADAVKY NA NUMERICKÝ MODEL MOSTU .....	58
3.10. VYUŽITÍ SZZ A DZZ PRO VALIDACI MODELU .....	63
3.10.1. <i>Podklady pro studijní zkoušku mostu</i> .....	64
3.10.1.1. <i>Osazení snímačů poměrného přetvoření při studijní zkoušce</i> .....	64
3.10.1.2. <i>Měření průhybů při studijní zkoušce</i> .....	65
3.10.1.3. <i>Zkušební zátěž</i> .....	68
3.10.2. <i>Statické studijní zatěžovací zkoušky</i> .....	68
3.10.3. <i>Dynamické studijní zatěžovací zkoušky</i> .....	68
3.10.4. <i>Vyhodnocení a interpretace výsledků</i> .....	70
<b>4. OBNOVA A ÚDRŽBA PKO</b> .....	<b>72</b>
4.1. KONTROLY MOSTŮ .....	72
4.2. ÚDRŽBA A OPRAVY .....	73
4.2.1. <i>Obsah návrhu vhodné údržby</i> .....	76
4.2.2. <i>Příklad vhodného plánu údržby (Strabag a.s.):</i> .....	77
4.3. NAVRHOVÁNÍ OPRAV PROTIKOROZNÍ OCHRANY OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ A VHODNÉ PŘEDÚPRAVY POVRCHU .....	80
4.3.1. <i>Návrh oprav PKO</i> .....	81
4.3.2. <i>Způsoby opravy PKO těžko dostupných míst ocelových konstrukcí (úzkých štěrbin)</i> .....	81
4.3.3. <i>Předúpravy povrchu úzkých štěrbin</i> .....	81
4.4. REKAPITULACE DOPORUČENÍ PRO BUDOUCÍ OPRAVY .....	83
<b>5. OPRAVY A ZESILOVÁNÍ</b> .....	<b>85</b>
5.1. PAMÁTKOVÁ HODNOTA .....	85

5.2.	KLASICKÉ METODY OPRAV A ZESILOVÁNÍ.....	86
5.2.1.	Obnova protikoroziční ochrany .....	86
5.2.2.	Spojování.....	86
5.2.2.1.	Svařování .....	86
5.2.2.2.	Šroubování.....	87
5.2.2.3.	Nýtování.....	87
5.2.3.	Zesílení zvětšením průřezu příložkami .....	88
5.2.4.	Nahrazení prvku .....	88
5.2.5.	Redistribuce vnitřních sil.....	89
5.2.6.	Dodatečné předpínání prvků .....	90
5.3.	MODERNÍ TECHNOLOGIE ZESILOVÁNÍ.....	90
5.3.1.	Zesilování pomocí spřažení s betonem .....	90
5.3.2.	Zesílení podporových oblastí .....	91
5.3.3.	Zesilování moderními materiály.....	92
5.3.3.1.	Uhlíkové kompozity .....	92
5.3.3.2.	Slitiny s tvarovou pamětí .....	94
<b>6.</b>	<b>VZOROVÉ POSTUPY .....</b>	<b>95</b>
6.1.	PŘÍKLAD HODNOCENÍ – KADAŇ.....	95
6.1.1.	Technický popis rozhodující konstrukce.....	95
6.1.2.	Diagnostický průzkum a popis poruch.....	96
6.1.3.	Numerická analýza a výsledky přepočtu .....	97
6.1.4.	Výsledky přepočtu a aplikace úlev.....	97
6.1.5.	Návrh zesílení .....	98
6.1.6.	Zbytková životnost .....	99
6.2.	PŘÍKLAD OPRAVY – ŽELEZNIČNÍ MOST HYBEŠOVA.....	100
6.3.	PŘÍKLAD KONVERZE – MOST NAD ULICÍ U SLAVIE V PRAZE .....	104
6.3.1.	Historie .....	104
6.3.2.	Technické zvláštnosti .....	105
6.3.3.	Popis poruch a korozního oslabení .....	106
6.3.4.	Konverze.....	107
6.4.	PŘÍKLAD ZESILOVÁNÍ – MOST PŘES LABE V KUKSU .....	108
6.4.1.	Původní most.....	108
6.4.2.	Stav původního mostu .....	109
6.4.3.	Popis poruch a korozního oslabení .....	110
6.4.4.	Zesílení mostu v roce 2017 .....	110
6.4.5.	Zhodnocení stavu mostu v roce 2021 .....	112
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY .....</b>	<b>113</b>
7.1.	DIAGNOSTIKA .....	113
7.2.	HODNOCENÍ.....	114
7.3.	OBNOVA A ÚDRŽBA PKO .....	115
7.4.	ZESILOVÁNÍ.....	115
7.5.	DALŠÍ ZPŮSOBY VYUŽITÍ .....	116
7.5.1.	Transformace .....	116
7.5.2.	Konverze.....	116
7.5.3.	Kopie.....	116
7.5.4.	Reprodukce.....	116
7.5.5.	Replika.....	117
7.5.6.	Anastyloza .....	117
7.5.7.	Nápodoba.....	117
7.6.	POUČENÍ Z REÁLNÝCH PŘÍKLADŮ .....	117
7.7.	ZÁVĚR.....	117
<b>8.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>119</b>
8.1.	NORMY.....	119
8.2.	LITERATURA .....	119
8.3.	PŘEDCHOZÍ PUBLIKACE AUTORŮ PAMÁTKOVÉHO POSTUPU .....	120

**Zpracovatelé památkového postupu:**

Zpracovatelé za katedru ocelových a dřevěných konstrukcí, FSv ČVUT:

- doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
- doc. Ing. Tomáš Rotter, CSc.
- Ing. Jakub Vůjtěch
- Ing. Filip Kramoliš

Zpracovatelé za KÚ ČVUT:

- doc. Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.

Zpracovatelé za FA ČVUT:

- doc. Dr. Ing. Martin Pospíšil, Ph.D.

Zpracovatelé za FS ČVUT:

- Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

## 1. Úvod a cíle

Při průzkumech, hodnocení, opravách a zesilování historických kovových mostů nelze použít všechny techniky, které byly vyvinuty pro moderní konstrukce, protože materiálové i konstrukční vlastnosti historických mostů se často významně liší od konstrukcí moderních. Dále, z pohledu památkové ochrany je nezbytné respektovat památkovou hodnotu konstrukce. Nekritické aplikace nových technologií a nedostatek informací o vlastnostech historických materiálů a návrhových postupů kovových mostů mohou vést ke ztrátě souvisejících kulturních hodnot. Proto je nezbytné věnovat velkou pozornost diagnostice a hodnocení historických kovových mostů, které pak slouží jako klíčové podklady pro návrh šetrné obnovy.

Památkový postup respektuje památkové hodnoty historických kovových mostů a poskytuje postupy vedoucí k minimálním zásahům do konstrukce při způsobu odběru a počtu vzorků poskytujícím dostatečné informace pro věrohodné hodnocení spolehlivosti mostu. Postup poskytuje i podklady pro návrh obnovy historických kovových mostů.

Tab. 1 Doporučené využití památkového postupu pro různé uživatele

Kap.	Fáze průzkumu, hodnocení, údržby a opravy	Využití památkového postupu		
		Projekční a konzultační kanceláře, diagnostické firmy	Vlastníci a správci památkově hodnotných objektů	Odborné orgány památkové péče
3.1 až 3.5, 3.7	Vizuální a diagnostické průzkumy	Plánování, provádění vyhodnocení průzkumu	Správné zadání rozsahu průzkumu a kontrolu jeho úplnosti	Kontrola provedení a dostatečnosti rozsahu průzkumu
3.6	EP hodnocení	Stanovení památkové hodnoty	Zadání stanovení památkové hodnoty	Kontrola a zhodnocení památkové hodnoty
3.8 až 3.10	Hodnocení mostu vč. zatěž. zkoušek	Zohlednění všech vstupů při hodnocení objektu, využití skrytých rezerv	Definování požadavků na podrobnost hodnocení, požadavky na zatěž. zkoušky	Kontrola a dostatečnosti hodnocení a rozsahu využití pokročilých metod hodnocení
4	Obnova a údržba PKO	Zpracování plány správy a držby	Dodržování plánu správy a údržby	Kontrola provádění plánu správy a údržby
5	Opravy a zesilování mostů	Využití v projekční práci při zpracování dokumentace oprav a zesilování	Definování požadavků na projekt a cíle oprav a rekonstrukcí	Vydávání stanovisek k opravě, rekonstrukci, přestavbě či demolicí staveb

Vybrané zásady památkového postupu lze použít při průzkumech i opravách kovových uměleckých děl (zábradlí, sochy).

Památkový postup je určen:

- projektantům, kteří navrhují diagnostické metody nezbytné pro korektní statické posouzení historického mostu, metody pro opravu a rekonstrukci mostu,
- specialistům v oblasti památkové péče, kteří provádějí supervizi nad průzkumnými, projektovými a realizačními pracemi na památkově chráněných objektech.

Společným cílem obou profesí je nalezení takových postupů a metod průzkumu, které zajistí co nejvyšší kvalitu získaných informací o konstrukci a jejím materiálu při minimalizovaném negativním dopadu na její památkovou hodnotu. Památkový postup proto poskytuje projektantům základní principy rozhodování v památkové péči. Památkářům pak předkládá přehled o diagnostických metodách a postupech pro opravy a zesilování historických ocelových mostních konstrukcí včetně informací o jejich možnostech a omezeních. Památkového postupu tak poskytuje přehled současného stavu znalostí včetně technických detailů a představuje společnou platformu pro komunikaci mezi oběma profesemi.

Památkový postup úzce navazuje a doplňuje zásady uvedené v:

- Eurokódech pro navrhování konstrukcí, a to především ČSN EN 1990 Zásady navrhování a ČSN EN 1993-2 Navrhování ocelových mostů,
- ČSN ISO 2394 Zásady spolehlivosti konstrukcí,
- ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038 Hodnocení existujících konstrukcí,
- ČSN ISO 13823 a ČSN 73 0043 Doplnující pokyny pro ověřování životnosti konstrukcí s ohledem na vlivy prostředí,
- ČSN EN ISO 9223 a ČSN EN ISO 9224 pro korozi kovů a slitin a korozní agresivitu atmosfér,
- metodickém pokynu SŽ S5/1 pro diagnostiku, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů,
- ověřené technologii „Metodika pro diagnostiku ocelových mostních konstrukcí kulturního dědictví“, ČVUT v Praze
- Metodice hodnocení a ochrany průmyslového dědictví z pohledu památkové péče, NPÚ.

Památkový postup poskytuje doplňující pokyny pro hodnocení mostů, které jsou zapsány mi kulturními památkami nebo leží v památkových rezervacích a zónách. V přiměřeném rozsahu se jej doporučuje využít i pro hodnocení mostů, které nejsou památkově chráněny, jsou ale památkově hodnotné.

Použití památkového postupu v oblasti **památkové péče** se předpokládá v oblasti kontrolní a metodické, a to jako podklad pro:

- Vydávání stanovisek k opravě, rekonstrukci, přestavbě či demolici staveb. Orgány státní památkové péče by měly vyžadovat provedení diagnostického průzkumu, oprav a rekonstrukcí dle tohoto památkového postupu v případě významnějších zásahů do památkově chráněné konstrukce či v případě návrhu její demolice. Použití památkového postupu vede k efektivnějšímu posouzení existujících konstrukcí, což v důsledku vede ke snížení invazivity stavebního opravného či zesilujícího zásahu do hmotné podstaty historické konstrukce a v optimálním případě vede i k možnosti konstrukci ponechat v provozu a zamezit tak její nevratné demolici či nereverzibilní úpravě.
- Přípravy specializovaných metodik památkové péče jako podpůrný a doplňující dokument.

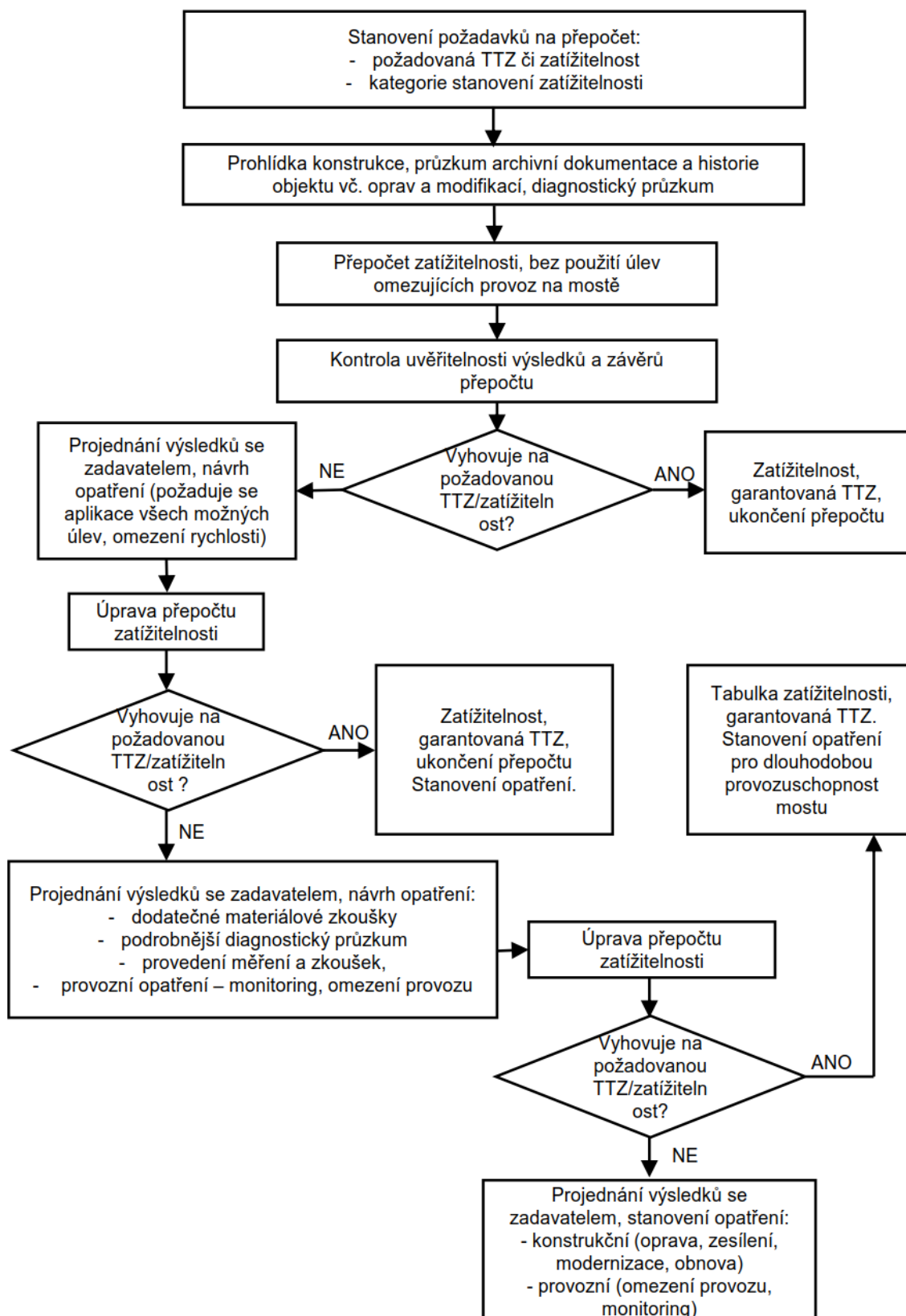
Památkový postup by měl být využit v **projekční přípravě** a pro přípravu podkladů pro hodnocení spolehlivosti (statické posouzení) ocelových konstrukcí a mostů, jejich opravu, obnovu a zesílení a jeho využití by mělo být vyžadováno orgány státní památkové péče po projektantech a staticích. Rozsah využití by měl odpovídat památkovému významu konstrukce.

Termíny, značky a definice, které jsou uvedeny v tomto památkovém postupu, vycházejí především z ČSN 73 6200, ČSN EN 1990, ČSN EN 1993, ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038.

## **2. Zásady hodnocení památkově chráněných objektů**

Pro diagnostiku a hodnocení konstrukcí památkově chráněných objektů, pro provádění stavebně technických průzkumů, pro jejich ověřování a pro navrhování obnov, platí zásady uvedené v ČSN ISO 13822 a v ČSN 73 0038, kde jsou v částech věnovaných památkově chráněným objektům připojeny i specifické pokyny pro přípravu a provádění těchto činností. Pro památkově hodnotné objekty, tj. pro objekty, které vykazují památkovou hodnotu, přitom však nejsou administrativně památkově chráněny, se příslušná ustanovení uvedených norem mají použít v přiměřeném rozsahu.

Diagnostika, hodnocení a návrh obnovy jsou v případě památkově chráněných staveb činnosti směřující specificky k udržení, případně k prodloužení životnosti stavebního díla. Zvláštní charakter hodnocení je dán uplatněním nejenom řady technických, ale i společenskovedních hodnotících kritérií, a to jak v průběhu průzkumných a diagnostických prací, tak při následných projekčních a realizačních činnostech. Obnova památkově chráněných objektů má vycházet ze soudobých poznatků v technických, přírodovědných a společenskovedních oborech, a má být založena na odborných dovednostech a na inženýrské a architektonické erudici.



Obr. 1 Postup při přepočtu zatížitelnosti a navazujícím plánování oprav a rekonstrukcí (příklad pro železniční mosty; TTZ - traťová třída zatížení)



Návrh diagnostiky památkově chráněných objektů má vycházet, kromě technických parametrů podrobně popsanych v tomto památkovém postupu, i z památkové hodnoty obnovovaných konstrukcí. Památková hodnota stavby, konstrukce nebo její části, se stanovuje na základě odborné památkové analýzy. Památková hodnota se může proměňovat v čase, stanovuje se proto jak během procesu prohlášení objektu za nemovitou kulturní památku, tak kdykoliv později, například v rámci správního řízení, v němž se posuzuje vliv navrhovaného rekonstrukčního zásahu na památku. Stanovení památkové hodnoty je jedním z nejsložitějších rozhodovacích úkonů v památkové péči. Jedná se o výsledek komplexního víceoborového posouzení kvality zejména z pohledu historického, kulturního, společenského, uměleckého, řemeslného, technického a řady dalších.

Zásady, jimiž se má diagnostika, hodnocení a návrh obnovy památkově chráněných konstrukcí řídit, jsou v ČSN 73 0038 shrnuty do šesti základních oblastí:

- a) Zásada šetrnosti v přístupu k památkově chráněným objektům. (Základním cílem technických opatření má být prodloužení životnosti památkově chráněného objektu při maximálním možném zachování jeho integrity a autenticity<sup>1</sup>; znamená to, že existující materiály a konstrukce, které jsou součástí objektu, nesmějí být bezdůvodně odstraňovány a nahrazovány. Příklad aplikace této zásady: 1) Železniční kovové mosty z konce 19. století obsahují redundantní prvky, které únosnost těchto mostů nezvyšují, naopak nosnou konstrukci mostů balastně přitěžují. Tyto prvky ale nesmějí být bezdůvodně odstraněny, protože by tím konstrukce pozbyla své historické integrity. 2) Prvky, které stále plní bezpečně svou funkci, ale jsou již opotřebovány běžným užíváním, například madla zábradlí, prahy, nášlapné plochy lávek apod., nebudou měněny za nové, protože by tím došlo ke ztrátě nebo ke snížení hmotné autenticity konstrukce.)
- b) Zásada respektování vývojové vrstevnatosti díla. (Pro většinu památkově chráněných objektů je charakteristické prolínání jednotlivých vývojových fází s jejich slohovými, stylovými, materiálově technickými a stavebně technologickými charakteristikami; znamená to, že ke slohovému nebo stylovému sjednocení památkově chráněného objektu má docházet jenom ve specifických, odborně nezpochybnitelných případech. Příklad aplikace této zásady: 1) V době výstavby kamenného (dnes Karlova) mostu v Praze byly k transportu kamenů používány nůžkové krepny, pro jejichž aplikaci byly v bocích kamenů vyhloubeny důlky. Tyto důlky jsou na líci mostního zdiva v některých kamenech patrné až do současnosti. V dalších staletích při opravách mostu po povodních ale byly některé kameny nahrazovány za kameny nové, které již nebyly transportovány nůžkovými krepnami, ale například krepnami klínovými nebo třecími. Ty vyhloubení důlků na bocích nevyžadovaly, tyto kameny se proto na líci zdiva projevují jako hladké. Odlišnost stop po transportu kamenů musí ale zůstat zachována, protože se jedná o technologický doklad historických oprav mostu. Do novějších kamenů proto nebudou zahlubovány důlky jenom proto, aby byla lícová úprava kamenů vizuálně sjednocena. 2) Karlův most byl dodatečně, po třech stech až pěti stech letech své existence, opatřen sochařskou výzdobou. Přestože původně gotický most v době svého vzniku tuto pozdější barokní až historizující sochařskou výzdobu neobsahoval, tato výzdoba nebude nyní odstraňována, protože se stala, mimo jiné, dokladem vývojové vrstevnatosti stavby.) 3) V případě, že by nyní byla historická kovová mostní konstrukce zesilována moderními prvky na principech novodobých

---

<sup>1</sup> Integrita představuje zachování celistvosti objektu; autenticita zachování původnosti objektu, a to v jeho hmotě (autenticita hmotná) nebo v jeho tradici (autenticita nehmotná).

technologií (např. uhlíková vlákna, předpínací prvky apod.), neměly by být tyto prvky maskovány jako historické. Zároveň by však měla být dodržena zásada celistvé interpretace památkově chráněného objektu, což znamená, že by tyto prvky na sebe ani neměly poutat nepřiměřenou pozornost.)

- c) Zásada pečlivého a diferencovaného rozlišování hodnot. (Základním předpokladem kvalifikovaného návrhu technického opatření zasahujícího do památkově chráněného objektu je jasné porozumění jeho konstrukcím včetně detailů, jeho historickému vývoji, jeho památkové hodnotě a také schopnost přesně identifikovat úlohu, význam a hodnotu jeho jednotlivých částí či prvků; znamená to, že technická opatření, včetně případné změny nebo odstranění některých prvků nebo časových vrstev, mohou být prováděna pouze na základě plného poznání a jasného porozumění historickému vývoji a konstrukčnímu a funkčnímu uspořádání objektu v detailech i celku. Příklad aplikace této zásady: Konstrukce nejmenovaného kovového mostu z 19. století byla na přelomu 19. a 20. století využita i pro vedení trasy drátovodů mechanických návěstidel za mostem. Od druhé poloviny 20. let byla mechanická návěstidla nahrazována elektrickými světelnými semaforem, drátovody proto ztratily svůj význam. Pozůstatky konstrukce drátovodu by ale měly být při prohlídce mostu rozpoznány, zdokumentovány včetně popisu své funkce a na mostní konstrukci ponechány, protože jsou dokladem jedné z etap technologického vývoje železnice. K jejich následnému odstranění může dojít pouze v případě, že by například ohrožovaly bezpečnost provozu.)
- d) Zásada celistvé interpretace památkově chráněného objektu. (Jednotlivé prvky a části památkově chráněného objektu se interpretují vždy s ohledem na své postavení v celku, nelze je vytrhávat z kontextu celkové struktury například nevhodným zdůrazněním, odlišným pojetím prezentace materiálu apod.; znamená to, že jednotlivým částem nebo prvkům ve stavbě nebo v konstrukci nemá být přisuzován vyšší význam, než jaký měly v době vzniku stavby nebo konstrukce. Příklad aplikace této zásady: Ocelové mostní konstrukce z třicátých let 20. století byly často jako celek opatřovány nátěry s obsahem anorganických pigmentů vyrobených z amorfního oxidu chromitého, který má typickou světlezelenou barvu. Po opravě by měly být mosty natírány ve stejném barevném odstínu; novodobé barevné zvýrazňování některých konstrukčních prvků těchto mostů, například nýtových spojů, kloubů, ložisek apod., je z památkového hlediska nesprávné.)
- e) Zásada věrohodnosti ztvárnění. (Historické objekty vznikaly v určitých slohových nebo stylových etapách, případně se v dalších etapách proměňovaly, nesou tedy dobové rysy estetických, výtvarných i technologických postupů, které spoluvytvářejí jejich hodnotu a které bývají v různé míře dochovány; znamená to, že obnova památkově chráněného objektu musí historické rysy respektovat, nepromyšlené či svévolné interpretace konstrukcí, prvků nebo technologií jsou nepřijatelné. Příklad aplikace této zásady: 1) Podolský řetězový most z poloviny 19. století, umístěný od roku 1975 ve Stádlci, byl původně opatřen články řetězů, které byly kovány na kruhoběžných padacích bucharech. V případě výměny těchto článků by měla být dodržena i historická technologie jejich výroby. Pokud by to nebylo možné z důvodu například bezpečnosti mostu, pak se zvažuje, zda má být nový materiál dotvořen obdobnou povrchovou úpravou jako původní prvky /zásada kontextuálního přístupu/ nebo zda má být prezentován jako novodobý /zásada věrohodnosti ztvárnění/. 2) Nábřežní kotevní bloky stejného mostu byly nově zhotoveny až s jeho přenosem v roce 1975, neměly by proto být /a ani nejsou/

stylizovány do konstrukcí tvářících se, jako by pocházely rovněž z poloviny 19. století.)

- f) Zásada kontextuálního přístupu. (Převážná část historických objektů se nachází v kontextu okolní zástavby, často v památkově chráněných souborech celoevropského kulturního významu, památkově chráněné stavby proto nemají být obnovovány jako pouhé solitérní objekty, aniž by se uvážily souvislosti vazeb na širší kontext okolní zástavby; znamená to, že navrhovaná podoba historických objektů po obnově má být vždy posuzována s ohledem na širší okolí, což platí nejen o obnovovaných památkově chráněných objektech, ale také o jejich dílčích změnách. Příklad aplikace této zásady: Komise pro výběr návrhu Dvoreckého mostu v Praze zvažovala v konečném rozhodování mezi dvěma vynikajícími návrhy: zavěšenou štíhlou mostní konstrukcí na vysokém pylonu a trémovým mostem s kubizující formou. O konečném výběru trémového mostu rozhodla zásada kontextuálního přístupu, protože vítězný návrh evokoval jak výjimečnost českého kubismu, tak konstrukčně odpovídal tradici staveb pražských mostů. Vysoký pylon jinak skvěle navrženého zavěšeného mostu se naproti tomu dostával v určujících pohledech do konfliktu se Svatovítskou katedrálou, působil proto nepřiměřeně kontrastně až rušivě v architektonickém, urbanistickém i historickém kontextu.)

### 3. Diagnostika stavu památkově chráněné konstrukce

Základní podmínkou pro hodnocení, návrh obnovy a provedení přiměřených konstrukčních opatření, je odpovídající znalost stavebně-historického a stavebně-technického stavu objektu, která umožňuje korektně rozhodnout o opravách nebo opatřeních k prodloužení životnosti stavby při současném zajištění její funkční způsobilosti a spolehlivosti.

Ke zjištění stavebního vývoje konstrukcí památkově chráněného objektu se provádí stavebně-historický průzkum (podrobně viz Metodika stavebně-historického průzkumu<sup>2</sup>, zjednodušeně viz ČSN 73 0038, příloha B, B.2.1).

Ke zjištění stavebně-technického stavu konstrukcí se provádí stavebně-technický průzkum (předběžný, v případě potřeby pak podrobný) a podle potřeby další specializované průzkumy (např. korozní průzkum s ohledem na účinky bludných proudů). K posouzení vlivu okolního prostředí na životnost objektu může být potřebné provést geologický a hydrogeologický průzkum, průzkum vlhkostních poměrů či klimatologický průzkum. Vhodné metody stavebně-technického průzkumu se volí na základě předběžného hodnocení a s ohledem na památkovou hodnotu konstrukce nebo její části (podrobněji viz ČSN ISO 13822). K průzkumu a diagnostice historických kovových mostních konstrukcí je vypracován tento památkový postup.

K poznání stavební historie památkově chráněného objektu a jeho aktuálního stavebně-technického stavu se mají používat především nedestruktivní metody průzkumu. Pokud je potřebné doplnit tyto metody destruktivními zkouškami, mají se přednostně provádět v nevýznamných oblastech a bez vlivu na nosnou konstrukci a její charakteristické prvky. Zkoušky s menší invazivitou ale obvykle souvisejí s větší nejistotou výstupu. Proto je potřebné kriticky vyhodnotit, zda použití méně invazivní metody nemůže vést k chybnému rozhodnutí o spolehlivosti konstrukce, a tedy k nadbytečným požadavkům na zesilování konstrukce.

V případě zjištění vad a poruch má průzkum památkově chráněného objektu poskytnout informace umožňující identifikaci jejich příčin.

Materiálový průzkum historických materiálů má v závislosti na památkové hodnotě konstrukce zahrnovat všechny dostupné postupy, kterými se zkoumá chemické nebo fázové složení materiálu, jeho fyzikální vlastnosti, struktura, barevnost a stupeň poškození.

Kromě vlastních analytických metod zkoumání historických materiálů je nutné stanovit i složení a vlastnosti použitých materiálů a konstrukčních řešení, historické výrobní i řemeslné technologie či umělecké a umělecko-řemeslné postupy, které jsou většinou charakteristické pro určité časové období.

Údaje o složení a vlastnostech materiálů jsou při obnově památkově chráněných staveb důležité zejména pro:

- zjištění aktuálního stavu objektu, například rozsahu a stavu zachovalých autentických materiálů, konstrukcí, stavu umělecké výzdoby atd.;
- zjištění původního (staršího) stavu historického objektu nebo konstrukce a z toho plynoucího odvození použitých technologických postupů, použitých materiálů, charakteru a barevnosti povrchových úprav atd.;
- zjištění příčin poškození stavby, konstrukcí nebo jejich částí;

---

<sup>2</sup> Beránek, J., Macek, P. a kol. *Metodika stavebněhistorického průzkumu*. Praha: NPÚ, 2015. ISBN: 978-80-7480-0375.

- návrh vhodného technického a technologického řešení obnovy, popřípadě postupu sanace a restaurování;
- výběr nebo návrh kompatibilních materiálů pro konzervaci, doplňování, nebo náhradu materiálů nebo celých konstrukcí a jejich spojů, které musí vycházet ze složení a vlastností původních materiálů a konstrukcí, a navíc respektovat charakter prostředí, do kterého jsou navrhovány.

### 3.1. Diagnostický průzkum mostního objektu

Účelem diagnostického průzkumu mostního objektu v rozsahu tohoto památkového postupu je poskytnout zpracovateli přepočtu (hodnocení **konstrukce**) dostatečné podklady pro určení zatížitelnosti mostního objektu. Poskytuje také podklady pro rozhodovací proces o opravě, rekonstrukci či výměně nosné konstrukce s ohledem na památkovou hodnotu mostu, jeho stavebně-technický stav a plánované využití.

Rozsah a podrobnost diagnostického průzkumu památkově chráněné konstrukce musí být navržen s ohledem na jeho památkovou hodnotu a musí odpovídat požadavku určení zatížitelnosti, stavebního stavu, materiálového řešení a uspořádání mostního objektu. Diagnostický průzkum mostního objektu se provádí podle „plánu diagnostického průzkumu“, který má být před zahájením prací odsouhlasen všemi zainteresovanými stranami, zejména objednatelem a zpracovatelem přepočtu a zpracovatelem diagnostického průzkumu. V případě památkově chráněných konstrukcí má být průzkum již ve svém záměru projednán v souladu s příslušnými zákonnými ustanoveními<sup>3</sup> s orgány státní památkové péče; zvláštní zřetel má být přitom kladen na minimalizaci invazivity průzkumu.

Plánování diagnostického průzkumu navazuje na požadavky objednatele a zpracovatele přepočtu mostního objektu a vychází z dostupných archivních materiálů a prohlídky, případně pasportizace mostního objektu provedené před zahájením prací. Pro památkově chráněnou konstrukci se v souladu se závazným stanoviskem státní památkové péče zpracovává v předstihu stavebně-historický průzkum, jehož součástí jsou archivní rešerše a prohlídka konstrukce in situ, na jejímž podkladě je popsána památková hodnota konstrukce jako celku a popsány a dokumentovány jsou rovněž jednotlivé památkově významné hodnotné prvky. Při zpracování plánu diagnostického průzkumu se zohlední zejména:

- účel a požadovaný rozsah prováděných diagnostických prací;
- podrobná specifikace zkoušek, které se provedou na konstrukci a na odebraných vzorcích (typ zkoušek, navrhovaná poloha a množství zkušebních míst, navrhovaná poloha lokalit pro odběr vzorků, podmínky pro odběr vzorků apod.), včetně případné sanace zkušebních míst po provedení diagnostického průzkumu;
- souhrn dostupných informací o konstrukci (archivní dokumentaci, výsledky provedených měření a zkoušek, výsledky provedených přepočtů a analýz konstrukce apod.);
- uspořádání a skutečný stav mostní konstrukce zastižené prohlídkou;
- plán zpřístupnění konstrukce pro provedení diagnostického průzkumu;
- důležitá omezení a upozornění pro provádění diagnostického průzkumu, včetně omezení a upozornění formulovaných v závazném stanovisku státní památkové péče;
- program provádění zkoušek ve vztahu k případným omezením provozu.

---

<sup>3</sup> §14, zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění

Plán diagnostického průzkumu může být během provádění prací na základě dohody všech zainteresovaných stran operativně upraven v návaznosti na skutečnou situaci a stav zkoumané konstrukce zastižený při provádění prací.

Geotechnický průzkum může být též součástí diagnostiky mostního objektu, pokud je nezbytný pro stanovení zatížitelnosti objektu. Případně pokud se na konstrukci vyskytují poruchy, které mohou mít původ v nedostačujícím založení objektu. Ten však není předmětem tohoto památkového postupu.

U mostů s podporami ve vodním toku je při plánování průzkumu nutno uvážit riziko případného podemletí základů a provést odpovídající průzkum (například potápěčský).

Jako efektivní metodu lze v řadě případů doporučit provedení předběžného přepočtu konstrukce na základě dostupných archivních materiálů jako podkladu pro zpracování plánu diagnostického průzkumu. Výsledkem předběžného přepočtu konstrukce je zpravidla identifikace kritických míst mostní konstrukce a požadavky na upřesnění rozhodujících vstupních parametrů, které se mohou významně lišit podle konkrétního uspořádání a stavu konstrukce.

Při plánování a provádění diagnostického průzkumu se dbá na to, aby výsledky získané při průzkumu vystihovaly skutečný stav konstrukce (poškození, materiál, uspořádání výztuže atd.). Průzkumné práce se mají provádět v odpovídajících reprezentativních místech konstrukce takovým způsobem, aby byly minimálně zkresleny použitou diagnostickou metodou.

Při plánování a provádění diagnostického průzkumu, zejména při odběru vzorků a destruktivních zkouškách, se musí vyloučit takové zásahy do konstrukce, které významně snižují její odolnost (oslabení průřezů nebo prvků v místech extrémního namáhání, přerušení betonářské nebo předpínací výztuže apod.), případně by zásadním způsobem snížily její památkovou hodnotu. Tento požadavek zpravidla znamená nutnost provádění destruktivních zkoušek a odběru vzorků mimo oblast extrémních namáhání konstrukce a mimo prvky významně památkově hodnotné. Často je nutno přesnou lokalizaci pro provedení zkoušky určit až na místě, na základě dalších, zpravidla nedestruktivních, zkoušek.

Výsledkem diagnostického průzkumu je zpráva o diagnostickém průzkumu. Tato zpráva obsahuje zejména:

- identifikační údaje všech zainteresovaných stran;
- účel a požadované výstupy prováděných diagnostických prací;
- popis konstrukce a jejího zpřístupnění;
- popis památkové hodnoty konstrukce a výpis jejích památkově hodnotných prvků;
- popis provedených prací, jejich přesná lokalizace (schéma konstrukce s vyznačenými místy provedených prací), fotodokumentace a podrobné výsledky;
- vyhodnocení provedených prací a vymezení rozsahu jejich platnosti, zatřídění zastižených materiálů, stanovení materiálových parametrů konstrukce, zjištěný stav konstrukce;
- vyhodnocení provedených prací z hlediska památkové péče, včetně popisu kroků minimalizujících negativní dopad diagnostických prací na památkovou hodnotu konstrukce;
- závěr a hodnocení konstrukce, jejích částí a prvků z hlediska provedených prací.

### 3.2. Zjištění uspořádání a rozměrů konstrukce

Rozměry a celkové uspořádání nosné konstrukce a spodní stavby mostního objektu jsou základními podklady pro provedení posouzení objektu. Pro analýzu konstrukce je nutná zejména znalost rozměrů a konstrukčního uspořádání (statického nebo dynamického působení) jednotlivých částí a prvků nosné konstrukce a spodní stavby mostního objektu. Zjištění rozměrů konstrukce se provádí vhodnými metodami se stanovenou přesností tak, aby získané výsledky vyhovovaly potřebám navazujících prací (analýze konstrukce, určení zatížitelnosti apod.) - viz Plán diagnostického průzkumu.

Jako podklad pro provedení průzkumu uspořádání a rozměrů konstrukce se využije dostupná archivní dokumentace, pokud je k dispozici. Součástí průzkumu za účelem zjištění uspořádání a rozměrů konstrukce je zejména:

- identifikace statického chování konstrukce, včetně případných úprav konstrukce v průběhu používání (zesílení, výměna prvků apod.);
- stanovení rozměrů nosných konstrukcí a jednotlivých prvků (rozpětí, uspořádání a průřezy rozhodujících prvků nosné konstrukce);
- zjištění tvaru a rozměrů spodní stavby;
- stanovení uspořádání a rozměrů mostního svršku a vybavení (za účelem stanovení zatížení).

Při stanovení rozměrů konstrukce se vhodným způsobem zohlední případné oslabení jednotlivých prvků nosné konstrukce v důsledku degradace základního materiálu.

V závislosti na velikosti a vnějším uspořádání mostního objektu a v závislosti na dostupných archivních podkladech (archivní dokumentaci) se doporučuje v rámci diagnostického průzkumu provést tyto činnosti:

- Zjištění podrobných vnějších rozměrů mostního objektu (doporučuje se podrobné zaměření nosné konstrukce a spodní stavby mostního objektu, případně kontrola rozměrů dle archivní dokumentace), se zaměřením na stanovení rozpětí, tvaru NK a spodní stavby, tvaru vybavení mostu, os nosníků a uložení, geometrie ztužení a chybějících údajů v dokumentaci apod. Rozsah zaměření musí být takový, aby bylo možno sestavit výpočtový model konstrukce včetně dílčích excentricit jednotlivých prvků.
- Pro geodetické zaměření je vždy nutno stanovit požadovanou přesnost, neboť běžně dosahované přesnosti geodetického měření mohou být u mostních objektů nedostatečné, geodetické zaměření lze obvykle použít pouze pro stanovení základní geometrie mostu. Geodet by měl následně specifikovat, které body byly zaměřeny (často je například zaměření osy prutu nemožné) a které byly odvozeny (například na základě zaměření hran ocelového profilu). Doporučuje se identifikace bodů ve vhodném schématu, případně zákresy do fotografií. Důrazně doporučená je však účast zpracovatele přepočtu při zaměření, pokud je v dané fázi již znám.
- Zjištění základních rozměrů rozhodujících částí a prvků konstrukcí mostního objektu. Při měření tloušťek ocelových průřezů materiálu je možno kromě geodetických metod použít zejména měření posuvným měřidlem nebo v případě uzavřených profilů ultrazvukový tloušťkoměr, který by měl být kalibrován pro dané parametry nátěru. Měření tloušťek je nutno provádět na očištěné konstrukci bez nátěru. Doporučuje se provádět min. 3 měření. Zejména litinové průřezy mohou mít značně proměnné vlastnosti.

- Kontrola prvků zajišťujících funkční způsobilost mostu. Jedná se například o omezení funkce ložisek z hlediska posunů a pootáčení, jejich poškození, omezení funkce závěrů a pohybu NK, funkce čepů, kloubů, styčníků.
- U komplikovaných konstrukcí je účelné zaměřením doplnit provedením laserového skenování mostu, které poslouží zejména k sestavení osového schématu konstrukce, excentricit a velikostí styčnickových plechů. Zaměřením profilů a tlouštěk plechů je vždy ale nezbytné provést ručně, přesnost laserového skenování i geodetického zaměřením není dostatečná.
- Důležité je rovněž zaměřením vozovkových vrstev, které mohou být za dobu užívání mostu mnohonásobně převrstveny. Zde se doporučuje provedení sondy až k izolaci. Záznamy o provedení sondy (poloha sondy, skladba sondy) budou podkladem i pro závěrečné vyhodnocení prací z hlediska památkové péče.



Obr. 2 Ultrazvukový tloušťkoměr TM280

### 3.3. Vizuální průzkum konstrukce – provádění hlavní a mimořádné prohlídky

Vizuální hodnocení mostů je nejvýznamnější diagnostickou metodou. Kvalifikovaný a zkušený diagnostik dokáže na základě vizuálního hodnocení získat velké množství informací, které pak lze doplnit podrobným průzkumem. Zásadní výhodou vizuálního hodnocení je jeho rychlost a operativnost, nevýhodou potřeba značné praxe a zkušenosti a současně subjektivnost hodnocení. Rovněž je nezbytná značná důslednost osoby provádějící průzkum, zejména je vždy nezbytné prohlédnout most i zespoda, jakkoliv to je v některých případech obtížné.

Při vizuálním hodnocení je nezbytné postupovat systematicky a zhodnotit všechny konstrukční prvky mostu a vliv jejich poškození na stav mostu. Pro hodnocení mostů pozemních komunikací se doporučuje využití katalogu závad. Vizuální hodnocení bude použito i pro vyhodnocení památkové hodnoty konstrukce, je proto třeba sledovat a popsat i možné výměny jednotlivých prvků, spojovacích prvků, změny nátěrů apod., které mohly během dosavadního života konstrukce nastat. Je-li to možné, je vhodné i odborně odhadnout období, kdy byly tyto materiály nebo prvky měněny, případně kdy došlo k novým nátěrům a zda byly starší nátěry ponechány nebo odstraněny.



Pro provedení vizuální prohlídky mostu se doporučuje použití příslušného vybavení, které zajistí dostatečný přístup k mostu za účelem odhalení případných závad:

- osobní vybavení a osobní ochranné pomůcky, holiny, prsačky
- kladivo, šroubovák, sekyrka, vodováha, lopatka, drát
- svítilna, pásmo, fotoaparát, skládací či případně provazový (obtížná práce) žebřík
- posuvné měřítko, metr, ruční laserový dálkoměr
- GPS jednotka, kompas; telefon
- značkovací křída a sprej, trhlinoměr
- dalekohled, drátěný kartáč,
- ultrazvukový tloušťkoměr nátěrů a oceli
- případně vybavení pro detekci trhlin v oceli
- speciální vybavení, jako zdvižná plošina, mostní prohlížečka, potápěčské vybavení atd.

### 3.3.1. Ověření spolehlivosti mostu

Každá mostní konstrukce má být navržena tak, aby za předpokladů stanovených pro ověření spolehlivosti a při dostatečné údržbě byla zajištěna její funkčnost a spolehlivost. Ověření spolehlivosti obvykle uvažuje s určitým systémem uložení nosné konstrukce, možnostmi dilatace od teploty, s tuhostí nosné konstrukce, s tuhostí podepření či předpokládá stanovené sedání podpěr. V případě změny těchto okrajových podmínek může docházet k přemáhání nosné konstrukce či její části nebo k přemáhání spodní stavby zejména v důsledku:

- omezení funkce ložisek
- omezení funkce mostních závěrů a pohybu NK
- přebalení vozovky mostu a následnému přetížení
- korozní úbytky OK
- změna parametrů materiálu.

V krajním případě mohou změny okrajových podmínek vést k havárii celého mostu nebo k porušení některých nosných prvků. Proto je nezbytné zaměřovat se při kontrole konstrukce na to, zda její fungování odpovídá předpokladům statického výpočtu. To je možné provádět:

- vizuálním způsobem
- statickou či dynamickou zkouškou, případně monitoringem konstrukce a případně následným porovnáním s výpočtním modelem nebo se zkouškou již dříve na mostě provedenou. Doporučení k provádění těchto zkoušek lze nalézt v metodickém pokynu SŽ [13].

### 3.3.2. Prvky náchylné k podemletí

Mosty přes řeky, potoky či jezera, které mají základy opěr či pilířů v dosahu vody, mohou být náchylné k podemletí. To je rizikové zejména v případě vodních toků, které jsou náchylné k rozvodnění – často malé vodní toky, říčky a potoky. Zde může docházet k prohlubování dna koryta nebo změně koryta. Pokud je založení mostu v úrovni dna vodoteče (při plošném založení spodní stavby), tak hrozí jeho podemletí a následuje ztráta stability celého mostu. Je nutno zvážit toto riziko i u mostů, které nejsou přes trvalou vodoteč, neboť dle zkušeností při povodních mohou být i tyto mosty zasaženy.

V případě mostů přes vodní toky je nutno nejprve vyhodnotit, zda poloha spodní stavby předurčuje riziko podemletí. Pokud ano, je nutno kontrolovat při prohlídkách i průzkumech stav dna vodoteče s ohledem na založení mostu. V některých zemích (USA) probíhají např. povinné potápěčské prohlídky základů náchylných k podemletí v intervalu 5 let.

V případě hlavního města Prahy doporučujeme geodetické sledování spodní stavby všech ocelových mostů přes Vltavu, a to v intervalu hlavních prohlídek.

### 3.3.3. Prvky v kontaktu s vodou

Jedná se většinou o prvky spodní stavby, které jsou většinou obtížně dostupné. V případě ocelových prvků se většinou jedná o vznik koroze, nejvíce v oblastech změny hladiny.

### 3.3.4. Mostovka

Na naprosté většině mostů je mostovka provedena z betonu nebo oceli. Mostovka je značně namáhanou částí mostu s největším podílem proměnného zatížení, a tedy náchylná na vznik únavových poškození. V případě oceli je nutno zaměřit se na únavové trhliny v přípojích příčníků a podélníků, na poškozené spoje, šrouby či nýty a na korozi vlivem zatékání.

V případě betonových mostovek (zde se týká spřažených mostů) se jedná většinou o vznik trhlin v desce mostovky a následné zatékání, zatékání vlivem neceloplošné izolace (izolace do vany), koroze výztuže vlivem malého krytí, vyplavování pojiva zatékáním a degradace povrchu betonu. Dále vznik ASR, karbonatace a poškození CHRL.

### 3.3.5. Mostní závěry

Mostní závěry jsou nejnamáhavější částí mostu, která je vystavena velkým dynamickým účinkům, účinku vody, nečistot, rozmrazovacích látek a vlivu teploty se související deformací. Účelem závěrů je zajistit plynulý přechod pro dopravu z opěry na most, a současně většinu zajistit vodotěsnost tohoto přechodu. Použití otevřené netěsněné spáry je velmi řídké.

V případě poškození závěrů dochází k průniku agresivní vody a negativním vlivům na konec nosné konstrukce, ložiska a na spodní stavbu.

### 3.3.6. Ložiska

Ložiska zajišťují přenos reakcí z nosné konstrukce do spodní stavby, polohu nosné konstrukce na spodní stavbě a zajišťují požadované posuny a pootáčení nosné konstrukce vůči spodní stavbě. V případě poškození ložisek může dojít k přemáhání některých částí nosné konstrukce nebo spodní stavby. Koroze ložisek může omezit nebo zcela zabránit dilataci nosné konstrukce a vést k jejím poruchám. Při diagnostice je potřebné každé ložisko zpřístupnit, odejmout krycí gumu a zaměřit se na:

- funkčnost z hlediska posunů a pootáčení
- nastavení ložiska vzhledem k teplotě konstrukce při prohlídce mostu
- poškození vodících prvků
- poškození podložiskových bloků, kde se koncentrují značné síly (trhliny, degradace betonu)
- aktivnost ložisek, tedy zda nejsou nadzdvihována při přejezdu vozidel
- poškození spojovacích prostředků, šrouby k NK a ke kotevním trnům
- Zablokování konstrukce neodborným zásahem (zabetonování závěrné zídky apod.)

### 3.3.7. Prvky náchylné na vznik lomu

K lomu ocelové konstrukce může dojít buď houževnatým, nebo křehkým lomem. Při vzniku lomu je dosaženo mezního stavu a prvek nebo celá konstrukce se poruší. K lomu dochází v tažených prutech nebo v tažených částech průřezu ocelové konstrukce. Při houževnatém porušování dochází ke vzniku únavové trhliny, k jejímu postupnému růstu a při dosažení kritické délky trhliny dochází k závěrečnému křehkému lomu. Ke křehkému porušení dochází náhle bez předchozího varování. Aby nedošlo k porušení ocelové konstrukce únavou, tak se posuzuje únavová pevnost jednotlivých konstrukčních detailů podle ČSN EN 1993-1-9. Vzniku křehkého lomu se brání volbou materiálu z hlediska použité tloušťky ocelového prvku. Podle ČSN EN 1993-1-10 lze posoudit přípustnou tloušťku.

V případě ocelových mostů, které vždy obsahují tažené nebo ohýbané prvky s velkým množstvím únavových detailů, je vždy nutno dbát na důkladnou prohlídku těchto detailů. Vznik trhlin lze očekávat v oblastech náhlé změny průřezu či změny svaru, křížení svarů, ve svarových přípojích styčnickových plechů, výztuh stěn nosníků nebo diafragmat komorových průřezů. Zvláštní pozornost je nutno věnovat ortotropním mostovkám mostů pozemních komunikací. Rovněž místa kde může docházet k hromadění nečistot a tím ke koroznímu oslabení jsou z hlediska únavy nebezpečná. V případě zjištěného poškození v těchto detailech je nezbytné provést jejich nejprve důkladnou diagnostiku za pomoci nedestruktivních metod, zdokumentovat tvar a délku únavové trhliny. Při pravidelném provádění preventivních prohlídek se většinou jedná o takovou délku trhliny, která umožňuje připravit opravu nebo výměnu porušeného prvku s případně omezeným provozem na mostě. Platí však zásada, že únavově porušený prvek se nesmí bez předchozího důkladného prověření svařovat. V případě zjištění únavové trhliny je nezbytné prohlédnout všechny obdobné konstrukční detaily.

Barva a nečistoty způsobují, že odhalení trhlin in situ je poměrně obtížný úkol. Proto je vždy u kritických prvků potřeba ocelový prvek zbavit všech vrstev protikorozní ochrany. Únavová trhlinka pak může být doprovázena poruchami ve vrstvě nátěru či může být doprovázena lokální korozí.

Trhliny na ocelových konstrukcích jsou zejména únavové, které vznikají v důsledku dlouhodobého časově proměnného namáhání konstrukce. Na vznik únavových trhlin má kromě velikosti a počtu cyklů rozkmitu napětí a typu konstrukčního detailu jistý vliv i třída a jakost oceli a jakost povrchu včetně jeho napadení korozí. Z hlediska únavového procesu je možno rozlišit tři fáze vzniku a šíření trhliny:

- stádium změny mechanických vlastností, které je prakticky nezjistitelné
- stádium nukleace trhliny, kdy dochází k vytvoření zárodečné trhliny. Toto stádium je zakončeno vznikem magistrální trhliny, která má délku v řádu milimetrů. Taková trhlinka je již viditelná, ale velmi obtížně zjistitelná.
- stádium šíření trhliny, kdy dochází k růstu magistrální trhliny. Magistrální trhlinka se šíří vždy kolmo ke směru hlavního napětí. Magistrální trhlinka je při pečlivé prohlídce zjistitelná. Směr trhliny dává informaci o směru hlavního napětí, které vedlo ke vzniku trhliny. Tato informace je velmi užitečná pro zjištění příčin vzniku trhliny. Obecně se trhlinka šíří až do okamžiku dosažení kritické délky, kdy dojde k závěrečnému křehkému lomu, tzn. k porušení prvku. V mnoha případech však trhlinka roste velmi pomalu a tudíž bývá dost času na přípravu opravy nebo výměny poškozeného prvku. V některých případech se šíření trhliny zastaví úplně a trhlinka dále neroste. Rozhodnutí o opatřeních pro zajištění bezpečnosti provozu po objevení únavové trhliny by mělo být svěřeno odborníkovi se zkušenostmi z únavově porušených konstrukcí. Každopádně je nutné při zjištění únavové trhliny tuto trhlinku okamžitě zdokumentovat, na konstrukci označit viditelný konec trhliny a provést fotodokumentaci

Únavové trhliny vznikají v detailech konstrukce s vysokou mírou vrubového účinku, kde dochází ke koncentraci napětí. Nejčastějšími vruby na mostních konstrukcích jsou zejména:

- místa s náhlou změnou průřezu (náhlá změna tloušťky nebo šířky průřezu, zářezy, zúžení, rozšíření, otvory apod.)
- náhlá změna geometrie (zalomené pruty, zalomená stěna apod.)
- všechny svary vedou na koncentraci napětí. Míra vrubového účinku svaru závisí na druhu svaru, na technologickém postupu při svařování a neposlední řadě na lidském činiteli (například dodržení předepsaného technologického předpisu). Vysokou míru vrubového účinku mají příčné svary bez zabroušení, začátky a konce svarů, místa přerušení při ručním svařování, křížové svary, kumulace několika svarů v jednom místě apod. Míra vrubového účinku ve svaru a jeho okolí je dána vnitřním pnutím, které vzniká při chladnutí svarového kovu. Hodnocení detailů svařované konstrukce je uvedeno v ČSN EN 1993-1-9. Obecně platí, že svařovaná mostní konstrukce je mnohem více náchylná na únavové porušení než konstrukce nýťovaná nebo šroubovaná.
- vady a nehomogenity ve svaru a v základním materiálu (např. vměstky)
- povrchové vady materiálů vzniklé při výrobě (vrypy, rýhy, neopracovaný povrch svaru)
- místa s lokální korozí a následným lokálním oslabením průřezu, viz obr. 9.

Specifickým případem jsou uzavřené prostory, kde může v případě naplnění vodou a následným zmrznutím vzniknout trhlina. V tomto případě se pak nejedná o únavovou trhlinu ale o křehký lom.



Obr. 3 Zjištění únavové trhliny vznikem koroze v jinak celistvém nátěru, vlevo po odstranění nátěru

Jak již bylo uvedeno, nalezení únavové trhliny vyžaduje značnou zkušenost osoby provádějící průzkum, se znalostí působení konstrukčního systému, aby se mohla zaměřit na rizikové konstrukční detaily. V případě nálezu trhliny je nezbytné ji řádně zdokumentovat a změřit její rozměry, aby ji bylo možno dále sledovat.

### 3.3.8. Prvky náchylné ke ztrátě stability

Ke ztrátě stability jsou obecně náchylné veškeré štíhlé tlačené nebo ohýbané prvky. Štíhlé tlačené pruty mohou vybočit. U krátkých tlačných prutů může dojít k boulení stěn nebo pásnic. O vysokých ohýbaných plnostěnných nosnících může dojít k boulení tlačných částí průřezu, tzn. k boulení tlačené pásnice nebo k boulení tlačené části stěny. U vysokých nosníků, zvláště příhradových, může dojít ke ztrátě stability tlačného pásu, tzv. klopení. Ztráta stability

znamená dosažení mezního stavu prvku nebo konstrukce. Prvek nebo celá mostní konstrukce se porušuje.

Ke ztrátě stability může přispívat zvětšená geometrická imperfekce daného prvku, způsobená například nárazem vozidla. Při diagnostikování ocelového mostu se musí věnovat zvýšená pozornost geometrickému tvaru všech výše zmíněných prvků náchylných na ztrátu stability. Zjištěné imperfekce se porovnávají s mezními hodnotami imperfekcí uvedenými v návrhových normách.

### 3.3.9. Rizikové styčníky, uvolnění nýtů

Styčníky, které jsou zásadní pro únosnost a stabilitu konstrukce, je nutno zvlášť důkladně kontrolovat. To platí pro styčníky svařované, šroubované, nýtované nebo čepové. Při poruše jednoho čepu může dojít ke kolapsu konstrukce (např. u provizorních mostů). Obdobné riziko je u spojů staticky určitých příhradových nosníků.

Poškození spojovacích prostředků se může vyskytovat u šroubovaných, nýtovaných styčníků nebo čepových spojů. Příčinou může být koroze spojovacích prostředků či základního materiálu, přetěžování konstrukce či dlouhodobé působení vibrací, vznik trhliny či poškození samotného prostředku.

Samotné poškození spojovacího prostředku, nebo jeho uvolnění nemusí být přímo zjizitelné vizuální prohlídkou. Proto je nutno sledovat související indikátory, jako je koroze v místě spoje, deformace příložek, spojovaných prvků, trhliny v přípoji, poškození nátěru, hluk při přejezdu vozidel atd. Jakékoliv známky opotřebení čepových spojů je nutno prověřit a zhodnotit s ohledem na možnost jejich poruchy.

Jako jednoduchou a účinnou metodu lze doporučit poklep kladivem na šroub nebo nýt – odlišný zvuk signalizuje uvolnění či poškození spojovacího prostředku.

Uvolnění nýtu lze očekávat zejména na dynamicky významně namáhaných konstrukcích, kde je spojovací prvek zatěžován střídavým směrem, nebo významným rozkmitem napětí, který převyšuje únosnost v tření daného spoje. Lze jej tak očekávat zejména na podélnících a příčnících železničních mostů (např. podélníky na mostě pod Vyšehradem). Vliv má i případné nekvalitní provedení nýtu a nedostatečné roznýtování hlavy. Dalším typicky problematickým prvkem je detail nasazeného podélníku na příčník, kde je značná smyková síla mezi pásnicemi a malá plocha pro realizace spoje, tento detail je namáhán pouze dynamicky a dochází k otlacení spoje a následnému uvolnění.



Obr. 4 Poškození spoje podélník-příčník, Lužná u Vsetína, železniční most

U nýtovaných konstrukcí namáhaných staticky nebo tam, kde statické namáhání převažuje nad dynamickým, což v zásadě jsou všechny prohlížené konstrukce ve správě TSK, může k uvolnění dojít, jen pokud odkoroduje celá hlavička nýtu. Po většinovém odkorodování hlavičky dojde ke ztrátě předpětí, která snižuje únavovou odolnost spoje, to dále způsobuje jeho degradaci. Nicméně, i po poškození hlavičky a ztrátě předpětí může dřík nýtu dále fungovat. Sice jeho únosnost je redukována, ale jako kolíkový spoj může určité zatížení přenášet.



Obr. 5 Štěrbinová koroze poškozující nýtovaný spoj na železničním mostě, koroze hlaviček nýtu



Obr. 6 Porušení přemáhaného šroubového spoje, podélník na železničním mostě

### 3.3.10. Hodnocení deformací a chování při průjezdu dopravy

Trvalé deformace ocelových prvků se mohou vyskytovat v následujících formách – ohyb, kroucení, protažení, boulení či jejich kombinace. Příčinou může být přetížení mostu, mechanické poškození od nárazu vozidla, účinek povodně, nedostatečné ztužení konstrukce nebo pokles podpory. Trvalé deformace jsou důležitým indikátorem závažnější skryté vady a je nezbytné při jejich zjištění stanovit příčinu vzniku a předejít tak vážným následkům.

Ocelové prvky jsou rovněž náchylné na poškození od nárazu vozidel - zejména dolní pásnice hlavních nosníků trémových mostů nadjezdů nebo svislice, diagonály příhradových trémových mostů s dolní mostovkou nebo svislé výztuhy stěny plnostěnných trémových mostů s dolní mostovkou.

V každém diagnostickém průzkumu musí být konstrukce sledována při přejezdu dopravy. Toto sledování dokáže odhalit řadu poruch jinak nezjistitelných (nadzdvihávání ložisek, únavové trhliny, uvolněné spoje atd.)

### 3.4. Degradční průzkum

V rámci degradačního průzkumu se provádí průzkum konstrukce se zaměřením na vady a poruchy, které mají vliv na spolehlivost mostu a jeho statické nebo dynamické působení:

- Ověření působení konstrukčního systému – mimo obecné požadavky popsané výše se ověřuje funkce ocelových prvků, jako např. čepů, kloubů, styčnicků.
- Kontrola prvků náchylných na vznik únavového lomu. Jedná se zejména o tažené či ohýbané prvky s velkým množstvím únavových detailů, oblasti náhlé změny průřezu či změny svaru, křížení svarů, svarové přípoje styčnickových plechů, výztuh stěn nosníků nebo diafragmat komorových průřezů, vady a nehomogenity materiálu nebo povrchové vady materiálu. Zvláštní pozornost je nutno věnovat ortotropním mostovkám, kde je možné očekávat vznik únavových trhlin.
- Kontrola prvků náchylných ke ztrátě stability. Jedná se o veškeré štíhlé tlačené nebo ohýbané prvky s ohledem na riziko vybočení či boulení, případně o klopení. Ke ztrátě stability může přispívat zvětšená geometrická imperfekce daného prvku způsobená například nárazem vozidla.
- Kontrola rizikových styčnicků, které jsou zásadní pro únosnost a stabilitu konstrukce.
- Poruchy šroubů a nýtů. Jde zejména o jejich porušení lomem, případně nadměrné deformace v otvoru a související ztráta předpětí. Tyto poruchy a změny mají vliv na působení konstrukce, tuhost styčnicků i na kompaktnost průřezů s ohledem na přenos silových účinků.
- Poruchy svarů (svařovaných prvků, svařovaných přípojů).
- Koroze. Rozeznává se koroze bodová, místní, rovnoměrná, nerovnoměrná, silná, lístková, koroze ve styčnicích OK, korozní únava, štěrbinová, koroze svaru, prorezavění, podkorodování nátěru, odlupování nátěru, puchýřování nátěru. Z hlediska přepočtu zatížitelnosti je zásadní stanovení korozního oslabení NK. Požadavky a postup jsou uvedeny v samostatné kapitole 6.
- Hodnocení deformací a chování při průjezdu dopravy. Jde o nezbytnou součást diagnostiky, v rámci které lze zjistit vady a poruchy jinak nezjistitelné (pohledem, pocitem, sluchem).

Pro zjištění trhlin, zejména únavového charakteru, se doporučuje v prvním kroku využít vizuální hodnocení při přejezdu vozidel.

Dále lze na vybraných či podezřelých místech využít následující metody (tučně zvýrazněné jsou doporučené a jsou popsány dále):

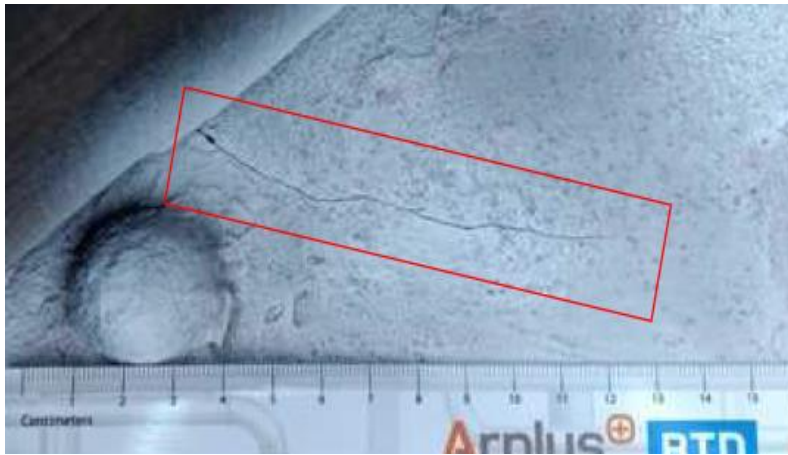
- VT - vizuální kontrola
- PT – kapilární (penetrační) zkoušky

- **MT – Magnetická zkouška**
- **ET – vířivé proudy.**
- UT – ultrazvukové metody klasické
- UT-TOFD – ultrazvukové difrakční metody
- **PA – Phased Array**
- **MPM - Magnetická Paměť Materiálu**
- RT – radiografické zkoušení
- AE – metody akustické emise

Tab. 2 Přehled použití NDT metod

	<b>Odstranění PKO</b>	<b>Záznam zkoušky</b>	<b>Povrchové trhliny či vady</b>	<b>Podpovrchové trhliny/vady</b>	<b>Koncentrace napětí - SCZ</b>	<b>Rozvoj trhlín</b>
<b>MT – Magnetická zkouška</b>	Jen hrubé nečistoty	Ano	Ano	Omezeně, do 2-3mm hloubky	Ne	Ne
<b>ET – vířivé proudy.</b>	Jen hrubé nečistoty	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
<b>UT – ultrazvukové metody klasické</b>	Hladký povrch PKO či odstranění	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne
<b>UT-TOFD – ultrazvukové difrakční metody</b>	Hladký povrch PKO či odstranění	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
<b>PA – Phased Array</b>	Hladký povrch PKO či odstranění	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
<b>MPM - Magnetická Paměť Materiálu</b>	Jen hrubé nečistoty	Ano	Ano, spojené s koncentrací napětí	Ano, spojené s koncentrací napětí	Ano	Ne
<b>RT – radiografické zkoušení</b>	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
<b>AE – metody akustické emise</b>	Ne	Ano	Ne		Ne	Ano





Obr. 7 Únavová trhлина na mostě pod Vyšehradem

## 3.5. Materiálový průzkum

### 3.5.1. Obecná doporučení

Před průzkumem zaměřeným na stanovení materiálových vlastností se provede prohlídka a ověření dokumentace mostního objektu. Homogenita materiálu se ověří alespoň nedestruktivními zkouškami.

Doporučuje se stanovit vlastnosti materiálů a jejich charakteristické a návrhové hodnoty na základě výsledků destruktivních materiálových zkoušek provedených se souhlasem správce a případně se souhlasem orgánu památkové péče.

Zkušenosti z praxe a výsledky v odborné literatuře ukazují, že v porovnání s údaji v normách vedou výsledky tahových zkoušek obvykle k vyšším pevnostem a následně i k vyšší zatížitelnosti nebo přechodnosti. Materiálové vlastnosti se vyhodnotí podle ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038 či MP v závislosti na počtu zkoušek.

Ve výjimečných případech lze po dohodě se správcem a případně orgánem památkové péče stanovit vlastnosti materiálu na základě prohlídkou a nedestruktivními zkouškami ověřené dokumentace mostního objektu s využitím norem a předpisů platných v době jeho návrhu. Za charakteristickou hodnotu meze kluzu oceli se potom považuje zaručená mez kluzu oceli uvedená v dokumentaci mostního objektu, v normě platné v době jeho návrhu nebo v normě ČSN 73 0038 (tab. 3).

Pokud z dostupné dokumentace mostního objektu není známa hodnota zaručené meze kluzu materiálu, je znám rok provedení mostu a nejsou pochybnosti, že vlastnosti použitého materiálu odpovídají kvalitě ocelí třídy S235, S275 nebo S355 podle ČSN EN 10025-2, je možné využít charakteristické hodnoty meze kluzu ocelí pro mezní stavy únosnosti kromě únavy podle ČSN 73 0038; viz tab. 3. Pokud je tloušťka materiálu konstrukčního prvku vyrobeného do roku 1950 větší než 25 mm, redukuje se návrhová hodnota meze kluzu oceli o 10 MPa.

U mostů postavených před rokem 1905, s rozpětím větším než 18 m, se doporučuje vždy ověřit materiálové vlastnosti destruktivními zkouškami. Návrhová hodnota meze kluzu nebo meze pevnosti oceli pro mezní stavy únosnosti kromě únavy se stanoví z příslušné charakteristické hodnoty a dílčího součinitele materiálu  $\gamma_{Mi}$ .

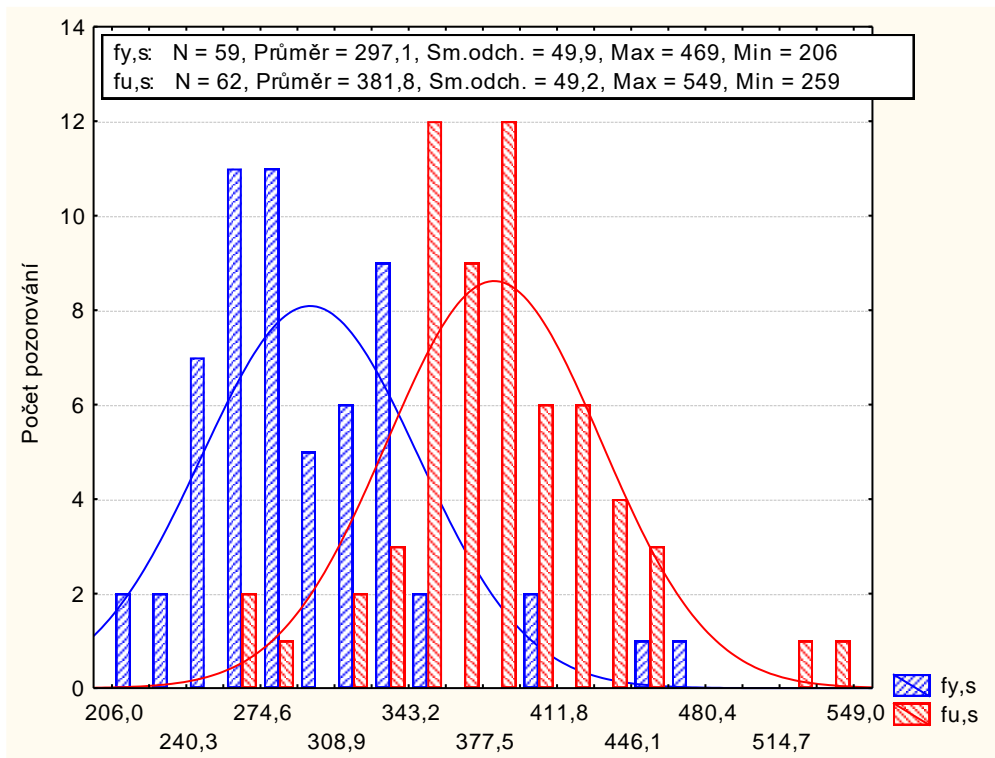
Prvotní představu o materiálových charakteristikách poskytují výsledky průzkumu mostů postavených mezi lety 1865 až 1947, ze kterých se odebralo celkem 284 zkušebních vzorků. Obr. 6 a 7 ukazuje histogramy a odpovídající hustoty pravděpodobnosti meze kluzu a pevnosti zkoušených ocelí. Charakteristická hodnota meze kluzu (5% kvantil) při souhrnném zhodnocení všech vzorků byla  $f_{y,k} = 235$  MPa pro plávkovou ocel a  $f_{y,k} = 214$  MPa pro

svářkovou ocel. Je patrné, že provedení materiálových zkoušek a diagnostického průzkumu může vést k vyšším hodnotám meze kluzu než uvážení hodnot uvedených v ČSN 73 0038.

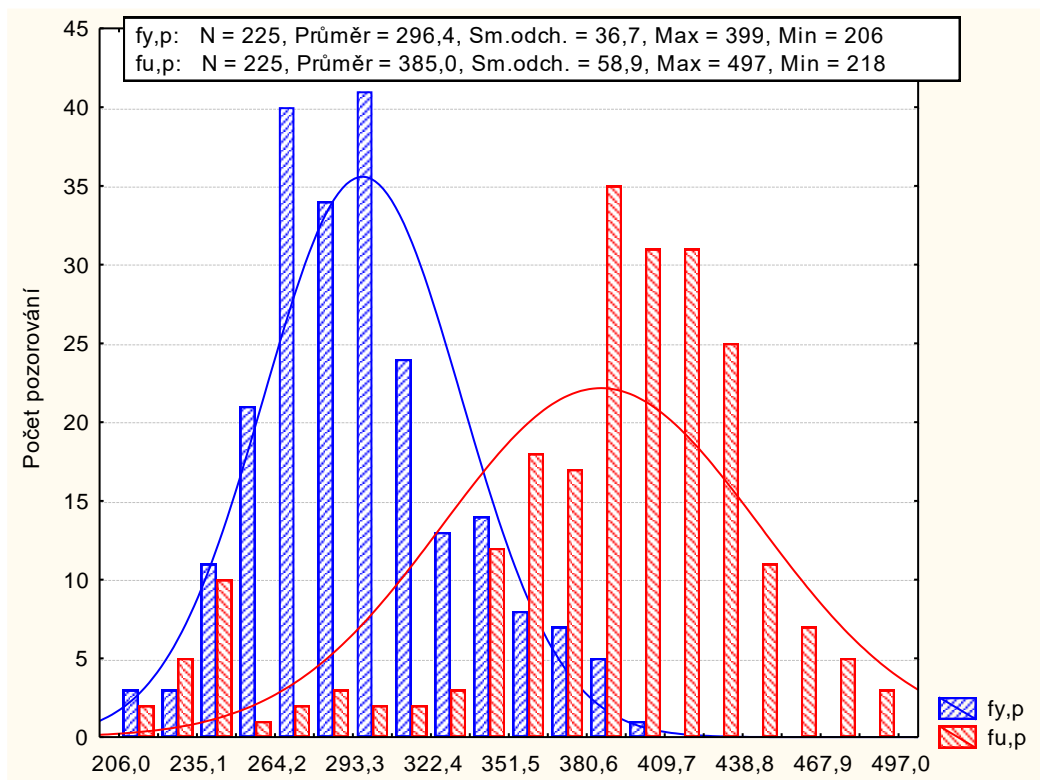
Závislost meze kluzu a meze pevnosti na roku výstavby mostu (obr. 10) ukazuje, že ani u jedné veličiny nelze prokázat jednoznačný časový trend. Poznamenejme, že výsledky jsou ovlivněny i zahrnutím několika vzorků velmi kvalitních či málo kvalitních ocelí.

Tab. 3 Vlastnosti ocelí dle ČSN 73 0038

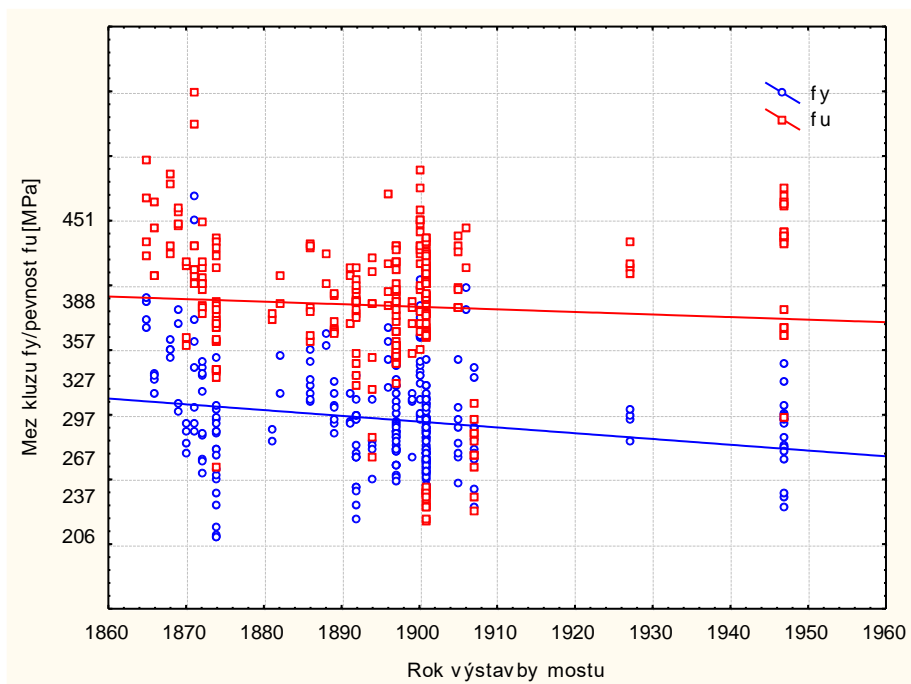
Rok výroby	Materiál pevnostní třídy		Dovolené namáhání $\sigma_{adm}$ [MPa]	Zaručená mez kluzu $f_y$ [MPa]	Mez pevnosti $f_u$ [MPa]	Norma
do 1894	svářkové železo		130	210	340	
1895-1904	svářkové železo		130	210	340	Nařízení 97/1904
	plávková ocel		140	230	360	
1905-1937	plávková ocel		140	230	360	ČSN 1230
1938-1950	37 (S235)		140	230	360	ČSN 1232
	52 (S355)		195	335	490	
1951-1968	37 (S235)	tloušťka $t \leq 25$ mm	140	230	360	Směrnice pro navrhování mostů, ČSN 73 6202
		> 25	130	210	340	
	52 (S355)	$\leq 16$	210	360	510	ČSN 73 6204
		> 17	200	340	490	
1969-1985	37 (S235)	$\leq 25$		235	360	ČSN 73 6205
		> 25		215	360	
	52 (S355)	$\leq 50$		355	510	
1986-1998	37 (S235)	$\leq 25$		235	360	
		> 25		215	360	
	52 (S355)	$\leq 25$		355	510	
		> 25		335	470	
Po roku 1998	S235	$\leq 40$		235	360	ČSN 73 0038
	S235	$40 < t \leq 80$		215	360	
	S275	$\leq 40$		275	430	ČSN EN 10025-2, 3
	S275	$40 < t \leq 80$		255	410	
	S355	$\leq 40$		355	510	
	S355	$40 < t \leq 80$		335	470	
	S460	$\leq 40$		460	550	
	S460	$40 < t \leq 80$		430	550	



Obr. 8 Histogramy a odpovídající hustoty pravděpodobnosti meze kluzu a pevnosti zkoušených ocelí - svářková ocel.

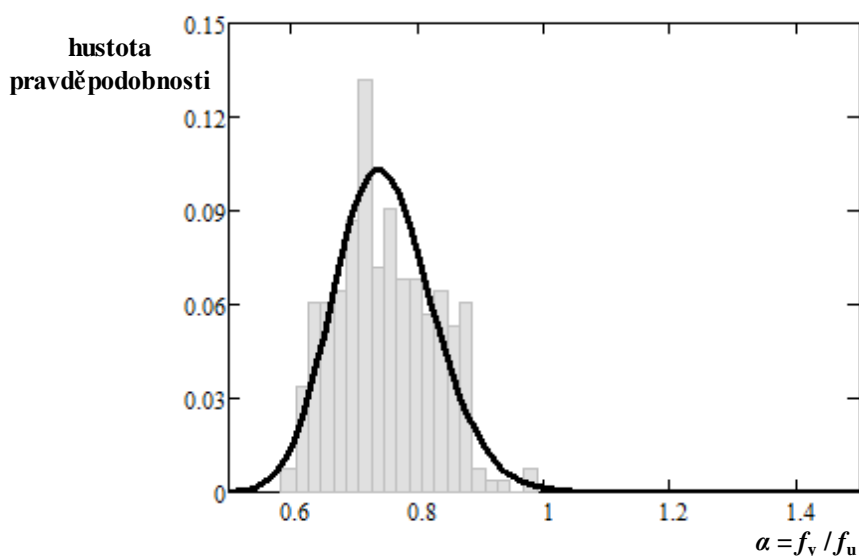


Obr. 9 Histogramy a odpovídající hustoty pravděpodobnosti meze kluzu a pevnosti zkoušených ocelí - plávková ocel.



Obr. 10 Závislost meze kluzu a meze pevnosti na roku výstavby mostu

Pevnost materiálu  $f_u$ , jejíž odhad je obvykle výstupem měření nedestruktivních (NDT) měření, se využívá pouze v menším množství případů (posouzení nýtů, styčnicků nebo průřezů s otvory). Obvykle je potřeba převést  $f_u$  na mez kluzu  $f_y$ . Obr. 11 ukazuje histogram a odpovídající hustotu pravděpodobnosti součinitele  $\alpha = f_y / f_u$  zkoušených ocelí.



Obr. 11 Histogram a odpovídající hustota pravděpodobnosti součinitele  $\alpha$  zkoušených ocelí z období 1865-1947

Součinitel  $\alpha$  stanovený pro sledovaný most jako průměr hodnot z dostupných zkoušek nevykazuje žádnou závislost na čase ani na pevnostech  $f_y$  a  $f_u$ . Má přibližně normální rozdělení s průměrnou hodnotou  $\mu_\alpha \approx 0,8$  a variačním koeficientem  $V_\alpha \approx 10\%$ . Hodnota variačního koeficientu přibližně odpovídá variačnímu koeficientu nejistoty měření tvrdoměrných metod a je obvykle vyšší než variační koeficient  $f_y$  a  $f_u$ .

Není-li známý materiál nýtů nebo šroubů použitých v ocelové konstrukci mostu, je možné v přepočtu stávajícího mostu uvažovat s hodnotami vlastností materiálů nýtů a šroubů podle

ČSN 73 0038. Obdobně lze postupovat u odlitků či litiny. V případě litiny se však vždy doporučuje provedení materiálových zkoušek.

### 3.5.2. Provádění destruktivních zkoušek

Odběr zkušebních vzorků se provádí pouze v místech, která nerozhodují o statickém nebo dynamickém chování konstrukce a o její únosnosti. Pokud je to možné, tak se odběry vzorků provedou v rozhodujících částech nosné konstrukce. Pokud to možné není, volí se podružné prvky, u kterých je předpoklad, že mají stejný materiál a shodné stáří s rozhodujícími prvky. Pro odběr lze využít například plechy dolních pasů a stěn za ložiskem, výztuhy stěn, odstávající konce úhelníků v místě přípojů, styčnickové plechy, přesah plechů za odstupňováním plechů na dolním a horním pasu, diafragmata nebo nulové pruty.

Pro odběr vzorků je nutné volit takový postup, který neovlivní materiálové charakteristiky oceli (nejlépe vodním paprskem, broušením, řezáním a nikoliv vypálením).

Pro odběr vzorků a provádění destruktivních zkoušek na kulturní památce je nutné v souladu s příslušnými zákonnými ustanoveními<sup>4</sup> v předstihu projednat záměr jejich provedení s orgány státní památkové péče. Destruktivní zkoušky by pak neměly být prováděny na prvcích významně památkově hodnotných (např. ojediněle dochované autentické prvky, prvky s vysokou uměleckou nebo řemeslnou hodnotou apod.)<sup>5</sup>. Rozsah destruktivních zkoušek má být minimalizován citlivě a účelně na nejnižší možnou mez. Tato minimalizace však nesmí vést k tomu, aby nedokonalé informace o vlastnostech konstrukce a související nejistoty vedly k vyšší invazivitě případného zesilování.

Destruktivní odběry vzorků je vždy nutno provést pro každý typ prvku, který mohl pocházet z jiné hutě či se vyráběl odlišným způsobem. Typicky se jedná o plechy, pásovinu, úhelníky a další válcované profily.

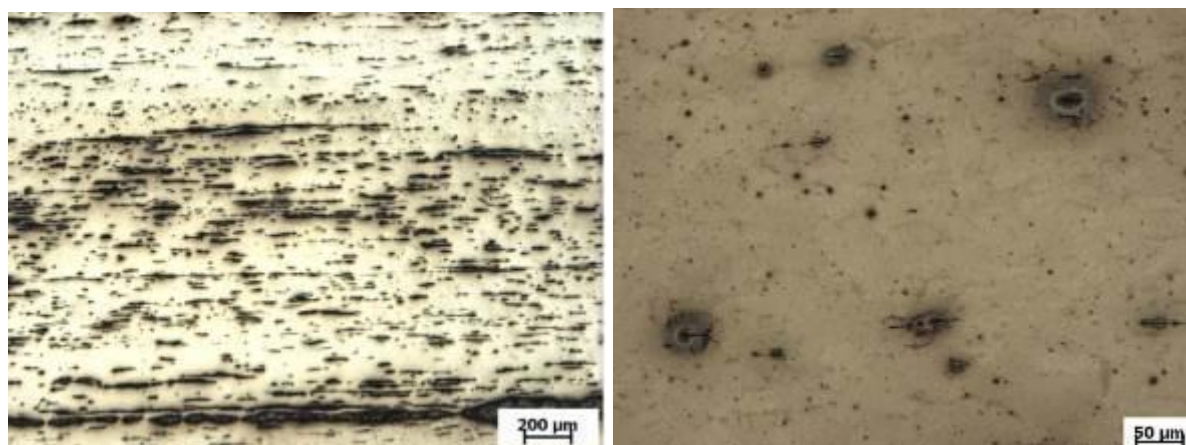
Na každém typu prvku se obvykle provedou následující zkoušky:

- stratigrafie historických povrchových úprav (bude podkladem i pro závěrečné vyhodnocení prací z hlediska památkové péče),
- analýza chemického složení oceli optickou emisní spektrometrickou metodou,
- zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 (při pokojové teplotě, včetně grafu průběhu zkoušky),
- metalografická zkouška mikrostruktury, výbrus a série snímků z mikroskopu (obr. 12),
- zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 148-1 (20°C, -20°C), provádí se u svařovaných konstrukcí.

U zkoušky tahem a rázem v ohybu se doporučuje provedení alespoň 3 zkušebních těles v místě odběru a minimálně 3 zkušebních těles na typu prvku, pokud to umožňuje dostupná velikost plochy pro odběr vzorku.

<sup>4</sup> § 14, zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění

<sup>5</sup> Podrobněji viz ČSN 73 0038, Příloha B Doplňující informace k zásadám hodnocení, k průzkumu a k návrhu opatření pro památkově chráněné objekty



Obr. 12 Vlevo snímek mikrostruktury svářkové oceli (Hanušovice), vpravo pak ocel plávková (Žatec)

Množství materiálu potřebné odebrat pro provedení zkoušky závisí na typu zkoušky, způsobu odbírání vzorku (metodě dělení materiálu) a potřebné rezervě tak, aby odbíraný materiál nebyl nepříznivě ovlivněn např. vysokou teplotou při dělení plamenem. Uváží se požadovaný počet vzorků pro konkrétní zkoušku. Význam mohou mít i další vlivy (například způsob upnutí vzorku pro tahovou zkoušku do čelistí zkušebního stroje). Nesmí se zapomenout na prořez při dělení plechu na dílčí zkušební vzorky v případě, že se několik vzorků vyrábí z jednoho kusu plechu, opět s případnou rezervou kvůli tepelnému ovlivnění materiálu. Obecné doporučení je uvedeno v tab. 4.

Tab. 4 Orientační rozměry odebíraného materiálu pro výrobu zkušebních vzorků

Zkouška	Rozměry odebíraného materiálu s rezervou pro obrábění, bez přídavku na tepelné ovlivnění materiálu	Poznámka
Zkouška tahem	180×10 mm	krátká zkušební tyč Ø 5 mm, jeden vzorek
	180×50 mm	krátká zkušební tyč Ø 5 mm, tři vzorky
	220×15 mm	krátká zkušební tyč Ø 10 mm, jeden vzorek
	220×70 mm	krátká zkušební tyč Ø 10 mm, tři vzorky
	270×15 mm	dlouhá zkušební tyč Ø 10 mm, jeden vzorek
	270×70 mm	dlouhá zkušební tyč Ø 10 mm, tři vzorky
Zkouška rázem v ohybu	12×60 mm	jeden vzorek
	75×60 mm	pět vzorků
Poznámka: předpokládá se, že tloušťka prvku je dostatečná pro výrobu zkušebních vzorků		

Pokud se na mostě vybudovaném před rokem 1905 plánuje provedení zatěžovací zkoušky (zejména pokud budou využity snímače přetvoření), doporučuje se provést zkoušku pro stanovení modulu pružnosti oceli. Modul pružnosti může kolísat mezi 190 – 210 GPa a

doporučuje se provedení samostatné zkoušky ohybem (vzhledem k nepřesnosti stanovení modulu pružnosti ze zkoušky tahem).

### 3.5.3. Doporučení pro provádění nedestruktivních zkoušek

Pro ocelové konstrukce lze pro stanovení materiálových vlastností nedestruktivními (NDT) postupy využít v běžných případech pouze měření tvrdosti. Díky korelaci mezi pevností oceli a její tvrdostí (ČSN EN ISO 18265) lze predikovat pevnost oceli jakéhokoliv prvku na konstrukci i v místech, kde klasický odběr vzorků není možný. Tato zkouška je rychlá a jednoduchá.

Pro měření tvrdosti lze použít digitální přenosné tvrdoměry (obr. 13), které umožňují měřit tvrdost oceli různými metodami, převádět ji do různých stupnic a následně i odhadnout pevnost oceli v MPa. Pro měření in-situ se používají tvrdoměry založené na metodě Leeb, popř. Rockwell, Vickers a Brinell. Přesnost je velmi citlivá na správné provedení. Je nutno zkušební místa volit v místě tuhých celků konstrukce – například místa s výztuhou, s diafragmatem nebo s vložkami. Místa s malou tuhostí mohou díky vibraci při provádění významně ovlivnit výsledek měření. Měření tvrdosti nelze provádět v tepelně ovlivněných oblastech – například svary a jejich okolí nebo hrany plechů.



Obr. 13 Tvrdoměr typu KT-C se sondou typu G

Pro měření je důležité, aby byla odstraněna vrchní zkorodovaná vrstva oceli a nátěrové vrstvy (obr. 14). Proto se musí zkušební místo vždy vybrousit na hladký lesklý kov. V každém místě se provádí minimálně devět měření. Ta se uspořádají do sérií po třech měřeních, ze kterých se vyhodnotí průměrná hodnota.



Obr. 14 Zkušební místo

Měřená místa se volí průběžně na celé konstrukci, na všech charakteristických prvcích a v místech odběru vzorků pro tahové zkoušky pro kalibraci NDT výsledků na základě výsledků tahových zkoušek.

Pro převod tvrdosti podle Rockwella, Vickersa a Brinella se postupuje podle příslušných norem. Hodnotu tvrdosti podle Leebe  $H_L$  lze na pevnost  $f_u$  převést prostřednictvím následujícího vztahu:

$$f_u = 1,93H_L - 244 \text{ [MPa]} \quad (1)$$

Tab. 5 Statistické charakteristiky nejistoty měření tvrdoměrných zkoušek

Metoda	Rozsah souboru $n$	Průměr $\mu_\varepsilon$	Variační koeficient $V_\varepsilon$
Brinell	35	0.98	12 %
Leeb	51	1.01	12 %
Poldi	18	1.01	12 %
Vickers	10	0.89	18 %
Rockwell	5	1.00	7 %
Všechny	119	0.99	12 %

Tab. 5 poskytuje statistické charakteristiky nejistoty měření  $\varepsilon$  tvrdoměrných zkoušek. I s ohledem na odlišné rozsahy souborů lze přibližně uvažovat, že metody vedou k nestrannému odhadu ( $\mu_\varepsilon \approx 1$ ) a nejistotu v odhadu pevnosti  $f_u$  na základě tvrdoměrných metod lze popsat variačním koeficientem  $V_\varepsilon \approx 12\%$ . Toto zjednodušení a zobecnění se opírá o obdobný princip tvrdoměrných metod a podobných faktorech ovlivňujících nejistotu měření:

- zkušenosti pracovníka provádějícího tvrdoměrnou zkoušku,
- kvalita povrchu,
- tuhost a hmotnost zkoušeného prvku,
- opakovatelnost (správně kalibrované zařízení),
- homogenní tvrdost materiálu (v důsledku válcování mají vnější části plechů vyšší pevnost a tvrdost než vnitřní),



- počet měření tvrdosti v jednom místě,
- sklon vyšetřovaného prvku (tento vliv je obvykle kompenzován moderními zařízeními).

#### 3.5.4. Kombinace destruktivních a nedestruktivních zkoušek

*Postup 1:* Podrobné hodnocení má vycházet z výsledků *destruktivních zkoušek*. Doporučuje se kombinovat destruktivní a NDT metody tak, aby došlo k ověření homogenity materiálu a ke zjištění materiálových vlastností v celé nosné konstrukci. Při vyšším počtu destruktivních zkoušek (pět a více) a při prokázání homogenity na základě NDT zkoušek se materiálové vlastnosti stanoví již pouze z tahových zkoušek.

*Postup 2:* Při velmi nízkém počtu destruktivních zkoušek použitých pro *kalibraci NDT zkoušek* (1-2 tahové zkoušky) lze očekávat pro homogenní materiál až o 15 % nižší (nepříznivý) odhad návrhové hodnoty meze kluzu stanovené podle tohoto památkového postupu. To je způsobeno nejistotou měření, která je u tvrdoměrných zkoušek vyšší než obvyklá variabilita materiálové vlastnosti.

*Postup 3:* Materiálové vlastnosti ověřené podle *NDT zkoušek bez kalibrace* tahovými zkouškami lze podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038 využít pouze při předběžném ověření spolehlivosti. V některých případech je však provedení tahové zkoušky velmi obtížné (například při stanovení pevnosti nýtů), a proto se uvažuje i možnost hodnocení na základě nekalibrovaných NDT zkoušek.

#### 3.5.5. Stanovení charakteristické hodnoty na základě zkoušek

Pro předběžné ověření spolehlivosti lze při znalosti roku výstavby usuzovat na třídu oceli odpovídající zjištěné pevnosti oceli.

Charakteristická hodnota materiálové vlastnosti se stanoví ze zkoušek podle ČSN EN 1990, přílohy D a podle ČSN 73 0038, kapitoly 4.

V případě pochybností o homogenitě materiálu se zváží, které prvky mají nižší tvrdost a u kterých lze předpokládat nižší mez kluzu. U těchto prvků se pak následně odeberou vzorky pro provedení zkoušky tahem, pokud je to s ohledem na jejich rozměr možné.

## 3.6. E-P metoda (evaluation by parts)

Požadavek zachovat architektonické dědictví pro budoucí generace formulovalo mezinárodní společenství již před mnoha desítkami let v Benátské chartě (1964), která dala v roce 1965 vzniknout Mezinárodní radě pro památky a sídla (ICOMOS), hlavnímu poradnímu orgánu UNESCO pro světové dědictví. Tehdejší Československo se účastnilo jak přípravy Benátské charty, tak bylo i zakládajícím členem ICOMOS. Zásadami péče o architektonické dědictví formulovanými Benátskou chartou a dalšími dokumenty přijatými později mezinárodní radou ICOMOS se institucionální památkové péče v jednotlivých signatářských zemích řídí až do současnosti. Jedním ze základních požadavků při výběru staveb a sídel k památkové ochraně je co nejpečlivější poznání jejich památkové hodnoty, na jejímž základě pak celý proces prohlášení probíhá. Sama památková hodnota se ale nerodí až okamžikem právního aktu prohlášení stavby nebo sídla památkou; památkovou hodnotu mohou vykazovat i stavby, konstrukce či sídla, která pod institucionální památkovou ochranu zahrnuta nejsou. Postupy pro analýzu památkové hodnoty proto bývají obecnější povahy a bývají nastaveny tak, aby s jejich pomocí bylo možné analyzovat i objekty, které pod památkovou ochranu formálně nespádají.

Národní památkový ústav, státní příspěvková organizace zřízená Ministerstvem kultury ČR, vydává jako nástroje pro poznání, zachování, konzervaci, ale i jako podklad pro další tvůrčí

práci s objekty vykazujícími památkové hodnoty, již několik desítek let systematické ediční řady tematicky zaměřených praktických příruček<sup>6</sup>, památkových postupů<sup>7</sup> nebo vnitřně závazných metodik<sup>8</sup>. Speciálně konstrukcemi historických kovových<sup>9</sup> mostů se však žádná z publikací vydaných v těchto edicích nezabývá. Historické kovové mosty proto dosud přiřazujeme obecně, a to jak vzhledem k použitému materiálu, tak vzhledem k nejčastějšímu historickému účelu užití, jímž byla výstavba dopravních a zvláště pak železničních sítí, ke stavbám průmyslového dědictví. Metodologicky tedy památková péče pracuje s příručkami, postupy a metodikami zaměřenými na průmyslové dědictví, v první řadě s *Metodikou hodnocení a ochrany průmyslového dědictví z pohledu památkové péče*<sup>10</sup> (dále jen *Metodika*). Tato *Metodika* je součástí konceptu tří provázaných obecných metodik v oblasti průmyslového dědictví (památkové, muzejní<sup>11</sup> a archeologické), na které budou navazovat oborové metodiky reflektující specifika jednotlivých průmyslových odvětví klíčových pro průmyslový rozvoj českých historických zemí (například hutnictví železa, železniční doprava, vodohospodářství, textilní průmysl, cukrovarnictví a pivovarnictví, apod.). Autoři *Metodiky* přináší odpovědi na základní otázky, které souvisejí s industriálními památkami: co je průmyslové dědictví, proč je chránit, jak k jeho poznání a správnému hodnocení dojít a jak přistupovat k jeho zachování a k jeho novému využití. Tyto obecné principy nepostihují, a postihnout ani nemohou, specifickou problematiku jednotlivých odvětví - k tomu jsou určeny již zmíněné oborové metodiky, mezi něž bude patřit i připravovaná oborová metodika pro historické kovové mostní konstrukce.

Oproti obecné metodice, která analyzuje památkové hodnoty průmyslových objektů z perspektivy:

- tradičních hodnotících kategorií, tj. architektonické, urbanistické, umělecko-historické a hodnoty stáří

a

- hodnotících kategorií specifických pro průmyslové dědictví, tj. historické hodnoty, typologické hodnoty (včetně hodnoty znaku, symbolu, vzorového řešení, modelu a modulu), hodnoty technologického toku (a role jednotlivosti v něm, v rámci kompletního výrobního cyklu a v rámci navazujících technologických kroků), hodnoty systémových a technologických vazeb (vsazení do širšího...), technické hodnoty jednotlivých zařízení a technologických celků, hodnoty autenticity ve vztahu

<sup>6</sup> např.: Solař, M. et al. Památková obnova vilové architektury 20. a 30. let 20. století. NPÚ. Brno, 2015.

Pešta, J. Plošný průzkum lidové architektury a venkovských sídel. NPÚ. Praha, 2014.

<sup>7</sup> např.: Krušová, A. Památkový postup: Příprava podkladů pro poskytnutí aktuálních údajů Národního památkového ústavu pro pořizování územně analytických podkladů. NPÚ. Praha, 2015.

Rovnaníková, P. et al. Památkový postup: Vizuální prohlídky a nedestruktivní metody stanovení materiálových charakteristik betonu ŽB konstrukcí. VUT v Brně. Brno, 2020.

<sup>8</sup> Kuča, K., Kučová, V. Metodika klasifikace staveb podle památkové hodnoty. NPÚ. Praha, 2015.

Kuča, K., Kučová, V. Metodika identifikace a klasifikace území s urbanistickými hodnotami. NPÚ. Praha, 2015.

Rykl, M. Metodika dokumentace městských domů. NPÚ. Ústí nad Labem, 2015.

<sup>9</sup> Výraz „kovové mosty“ užíváme jako obecnější pojem oproti běžněji používanému výrazu „ocelové mosty“, a to z důvodu možného použití litiny, případně dalších kovových materiálů v konstrukcích mostů, zvláště pak historických mostů

<sup>10</sup> Matěj, M. Rysková, M. Metodika hodnocení a ochrany průmyslového dědictví z pohledu památkové péče. NPÚ. Ostrava, 2018.

<sup>11</sup> Mertová, P. Metodika ochrany průmyslového dědictví muzejními prostředky. NPÚ. Ostrava, 2019.

k průmyslovému dědictví (včetně definice autenticity posledního pracovního dne) a hodnoty atmosféry místa,

je vhodné specifikovat hodnotící kategorie odpovídající potřebám analýzy památkové hodnoty historických mostních konstrukcí.

Mezi hlavní důvody, proč hledat specifické hodnotící kategorie pro analýzu památkové hodnoty mostních konstrukcí, patří následující:

- mostní konstrukce jsou většinou stále intenzivně užívány
- mostní konstrukce jsou většinou důležitými součástmi aktivní dopravní sítě
- mostní konstrukce jsou významně staticky a dynamicky zatěžovány
- mostní konstrukce jsou většinou trvale vystaveny povětrnosti
- mostní konstrukce mají většinou značné rozměry, a to při relativní subtilnosti konstrukce
- pro plnění podmínek funkčnosti a bezpečnosti musejí být mostní konstrukce pravidelně sledovány formou technických prohlídek, nutné je přitom počítat s nedestruktivní i destruktivní diagnostikou, s pravděpodobnou nutností výměny opotřebovaných a degradovaných prvků i s možnou nutností zesílení konstrukce<sup>12</sup>.

Propojení tradičních hodnotících kategorií, specifických hodnotících kategorií průmyslového dědictví a specifických vlastností mostních konstrukcí jako speciálních stavebních objektů, vede k pohledu na jejich památkovou hodnotu jako na komplexní, integrální hodnotu, kořeny jejího řešení je vhodné hledat v širším spektru vědních oblastí, zahrnujících kromě věd společenských, humanitních a uměnovědných i vědy přírodní a technické, včetně jejich propojení s příslušnými řemesly. Nesnadnost stanovení památkové hodnoty takto specifických objektů pak pramení z různých logických prostředí jednotlivých vědních oblastí a oborů. Jiné metodologické postupy se používají v přírodních a technických vědách, jiné ve vědách společenských a jiné ve vědách humanitních; zásadně odlišné pak je hodnocení uměleckých disciplín. Hodnotit je proto třeba každou skupinu oborů zvlášť, a to metodami, které jsou pro danou skupinu vlastní. Hodnocení je tedy vhodné strukturovat tak, aby bylo možné svěřit analýzu každé skupiny odborníkovi pro danou problematiku (např. obecnou historii, historii vědy a techniky, historii architektury, historii umění, architekturu, urbanismus, sociologii, krajinnou architekturu, technologii, stavební mechaniku apod.). Pro tento druh hodnocení byla sestavena E-P metoda<sup>13</sup>, tedy metoda hodnocení po částech. Památková hodnota je zde rozdělena na jednotlivé segmenty, které je možné podle povahy zkoumané skupiny objektů doplnit nebo redukovat. Díky rozdělení na segmenty je metoda přehledná, otevřená a s možností harmonicky koordinovat spolupráci odborníků z celého spektra vědních oblastí. Výhodou je i možnost hodnotit stavbu nebo konstrukci jako celek nebo detailně hodnotit její části. Další výhodou je její relativně snadná aktualizovatelnost.

Každý ze segmentů památkové hodnoty je analyzován ve formě slovního hodnocení. V případě posuzování historických mostů je v analytické části metody navrženo hodnocení v následujících segmentech:

---

<sup>12</sup> Hodnocení existujících nosných konstrukcí podle ISO 13822 přihlíží mj. ke kvalitě a kvantitě technických informací o konstrukci. Nastává tak určitý problém, kdy menší zásah do hmotné podstaty konstrukce vede k nižší kvalitě informací získaných diagnostikou pro hodnocení spolehlivosti => výpočet musí zohlednit vyšší nejistoty a vycházet z konzervativnějších hodnot, což může vést k nutnosti většího zesílení konstrukce a tím i k většímu zásahu do její hmotné podstaty. To může snížit nebo i ohrozit její památkovou hodnotu. Obdobně menší sanační zásah do hmotné podstaty konstrukce může limitovat její životnost nebo snížit její využitelnost; naopak příliš intenzivní zásah může snížit nebo ohrozit její památkovou hodnotu

<sup>13</sup> E-P Metoda (Evaluation by Parts Method) pro posouzení citlivosti památkové hodnoty nosných konstrukcí, viz též: Sophie Eberhardt & Martin Pospisil (2021): E-P Heritage Value Assessment Method Proposed Methodology for Assessing Heritage Value of Load-Bearing Structures, International Journal of Architectural Heritage, DOI: 10.1080/15583058.2021.1901160

**Hodnota stáří**<sup>14</sup>. Hodnota získaná v průběhu existence objektu, kdy je na vzhledu objektu patrná jeho věkovitost, např. jeho expozice povětrnosti nebo opotřebením způsobeném běžným užíváním. Pro mostní konstrukce to mohou být například ohmataná původní madla zábradlí servisních lávek, vrstvy původních nátěrů apod.

**Historická hodnota**<sup>15</sup>. Vztahuje se k historickým událostem nebo k historickým osobnostem spjatým s objektem. Příkladem je osobnost Karla IV. jako iniciátora stavby Karlova mostu nebo podpis příměří mezi švédskými vojsky a obránci Prahy uprostřed tohoto mostu 29. listopadu 1648.

**Tvůrčí hodnota umělecká**<sup>16</sup>. Představuje stopu tvůrčího génia uměleckého ztvárnění. Příkladem mohou být tepané výplně mostních oblouků na Čechově mostě od výtvarníka Karla Klusáčka.

**Tvůrčí hodnota technická**<sup>17</sup>. Představuje stopu tvůrčího génia technického řešení. Příkladem je Tyršův most v Plzni navržený prof. Františkem Faltusem jako první celosvařovaný obloukový most na světě nebo konstrukce Žďákovského mostu na základě výjimečně přesných výpočtů (ve světovém měřítku) Ing. Josefa Zemana.

**Řemeslná hodnota**<sup>18</sup>. Vztahuje se ke kvalitě řemeslného zpracování objektu. Příkladem mohou být precizně provedené vodotěsné nýtované spoje na mostních konstrukcích z konce 19. století.

**Užitná hodnota**<sup>19</sup>. Odráží použitelnost objektu v běžném provozu. Příkladem může být využití řady mostů jako frekventované součásti dopravních tras.

**Vědecká hodnota**<sup>20</sup>. Vztahuje se k využití objektu pro vědecké účely, např. F. J. Gerstner a zkoušky předdeformovaných článků mostních řetězů, nebo destrukční zátěžový test mostu vyztuženého SMA (shape-memory alloy) v Petrově nad Desnou.

**Společensko-kulturní hodnota**<sup>21</sup>. Představuje přínos objektu k sociálním vazbám, kulturnímu transferu apod., např. most v Mostaru propojující křesťanskou a muslimskou část města.

**Duchovní hodnota**<sup>22</sup>. Představuje vazbu objektu k duchovní oblasti. Příkladem je Karlův most v Praze, způsob a datace jeho založení i jeho pozdější sochařská výzdoba obsahující duchovní rozměr.

**Symbolická hodnota**<sup>23</sup>. Vzniká v případě, že se objekt stal symbolem geografickým, kulturním, historickým, technologickým apod., např. most přes Golden Gate jako symbol města San Francisca; Socha svobody jako symbol svobody a vlády práva; Eiffelova věž jako symbol města Paříže a rovněž jako symbol období Fin de siècle.

---

<sup>14</sup> hodnota stáří definována Aloisem Rieglem (1903)

<sup>15</sup> historická hodnota definována Aloisem Rieglem (1903)

<sup>16</sup> vztahuje se k čl. (i) mistrovský výtvarný lidské tvořivosti (Kritéria pro hodnocení mimořádné univerzální hodnoty statků zapsaných na Seznam světového dědictví, §77 Operačních směrnic WHL UNESCO, 2008)

<sup>17</sup> dtto

<sup>18</sup> vztahuje se k čl. (ii) vývoj stavebnictví nebo technologie (Kritéria pro hodnocení mimořádné univerzální hodnoty statků zapsaných na Seznam světového dědictví, §77 Operačních směrnic WHL UNESCO, 2008)

<sup>19</sup> vychází z čl. 5 Benátské charty

<sup>20</sup> „...The scientific interest, or research value, of a structure will depend on the importance of the data involved and on its rarity and/or quality...” Architectural Heritage Protection Guidelines, Dublin 2011

<sup>21</sup> „...The concept of social value follows closely the notion of ‘social capital’, a widely used concept in the social science and development fields. The social values of heritage monuments enable and facilitate social connections, networks, and other relations in a broad sense, one not necessarily related to central historical values of the heritage...” Getty Report, 2002

<sup>22</sup> „...Heritage sites are sometimes associated or imbued with religious or other sacred meaning. These spiritual values can emanate from the beliefs and teachings of organised religion, but they can also encompass secular experiences of wonder...” Getty Report, 2002

<sup>23</sup> „...more modest works of the past that have acquired cultural significance with the passing of time...” Úmluva o ochraně architektonického dědictví Evropy, Granada 1985

**Urbanistická hodnota.** Význam objektu pro urbanismus místa, např. stavba Brooklyn Bridge zahájila významný územní rozvoj New Yorku.

**Krajinná hodnota.** Krajinnotvorná hodnota objektu, např. Znojemský viadukt nebo viadukt v Millau významně ovlivnily vzhled okolní krajiny.

**Hodnota typičnosti.** Objekt je zástupcem typu navrženého nebo vyrobeného v sérii, např. silniční most v Jablonci nad Jizerou jako zástupce série plnostěnných trémových nýtovaných malorozponových silničních mostů.

**Hodnota jedinečnosti.** Objekt vykazuje unikátní znaky nebo vlastnosti, např. Čechův most v Praze je v rámci České republiky unikátní jako architektonicky ztvárněný ocelový most s reliéfní a sochařskou výzdobou.

**Hodnota autenticity hmotné<sup>24</sup>.** Výskyt původní konstrukce a materiálu, které se dochovaly z doby vzniku objektu. Nejstarší celosvařovaný ocelový most na našem území a jeden z nejstarších na světě, Faltusův most ve Škodových závodech v Plzni, obsahuje původní materiál i svary z doby svého vzniku.

**Hodnota autenticity nehmotné<sup>25</sup>.** Výskyt konstrukce a materiálu shodných s původní konstrukcí a materiálem, které v případě, že byly po dobu dosavadního života objektu měněny, byly měněny za tvarově a rozměrově shodné konstrukce a materiál<sup>26</sup>, a to shodnými řemeslnými nebo technologickými postupy. Příkladem je snaha o doplnění nehmotné autenticity Čechova mostu umístěním replik bronzových váz v nikách zábradlí.

**Hodnota integrity<sup>27</sup>.** Objekt se dochoval ve své celistvosti. Příkladem může být mostek přes řeku Úslavu v parku zámku Kozel u Štáhlav, který byl při rekonstrukci doplněn novým materiálem podle historické fotodokumentace a původního stavu.

**Hodnota transformovatelnosti.** Objekt má potenciál transformace, tj. je možné jej díky tomu zachovat. Příkladem je konverze železničního mostu na pěší a cyklistickou lávku (železniční most z ulice U Slávie v Praze).

V analýze E-P metodou je výskyt hodnot v jednotlivých segmentech slovně popsán. Pro použití v dalších inženýrských posouzeních, která jsou převážně početního charakteru, je ale třeba úroveň hodnot v jednotlivých segmentech kvantifikovat. Pro jednoduchost řešení je zvoleno pět úrovní hodnot: 1 = slabá; 2 = podprůměrná; 3 = průměrná; 4 = nadprůměrná; 5 = vynikající, které je možné doplnit ještě o hodnotu 0 = žádná hodnota. Je samozřejmě možné zavést jemnější dělení, například 0 až 100, vzhledem k vhodnosti jednoduchého doprovodného slovního popisu

---

<sup>24</sup> “The ability to understand the value attributed to the heritage depends on the degree to which information sources about this value may be understood as credible or truthful. Knowledge and understanding of these sources of information, in relation to original and subsequent characteristics of the cultural heritage, and their meaning, are the requisite bases for assessing all aspects of authenticity” Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention (art. 80.). UNESCO 2017.

<sup>25</sup> „Depending on the nature of the cultural heritage, its cultural context, and its evolution through time, authenticity judgements may be linked to the worth of a great variety of sources of information. Aspects of the sources may include form and design, materials and substance, use and function, traditions and techniques, location and setting, and spirit and feeling, and other internal and external factors. The use of these sources permits elaboration of the specific artistic, historic, social, and scientific dimensions of the cultural heritage being examined.“ The Nara Document of Authenticity (art. 13). ICOMOS 1994.

<sup>26</sup> Podle názoru autora této kapitoly je možné pod autenticitu nehmotnou začlenit např. i autenticitu formy (viz Štulc, J. Autenticita památky a problém její rekonstrukce. In.: Zprávy památkové péče, 2001, č. 8, s. 242-247).

<sup>27</sup> „Integrity is a measure of the wholeness and intactness of the natural and/or cultural heritage and its attributes. Examining the conditions of integrity, therefore requires assessing the extent to which the property: a) includes all elements necessary to express its outstanding universal value; b) is of adequate size to ensure the complete representation of the features and processes which convey the property’s significance; c) suffers from adverse effects of development and/or neglect.” Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention (art. 88.). UNESCO 2017.

je ale zvolena uvedená pětistupňová škála. Slovní hodnocení v analytické části je tedy v každém segmentu doplněno kvantifikací výskytu dané hodnoty.

Následující krok závisí na způsobu využití analýzy v inženýrských výpočtech. Typicky se může jednat o stanovení citlivosti památkové hodnoty dané mostní konstrukce na diagnostické nebo sanační metody. Pro každý segment je tak nastavena jeho citlivost na diagnostický nebo sanační zásah. Zde jsou stanoveny čtyři úrovně citlivosti na diagnostické metody: 0 = žádná citlivost; 1 = nízká citlivost; 2 = střední citlivost; 3 = vysoká citlivost. Po výpočtu (vážená hodnota spočtená z úrovní hodnoty segmentů a jejich citlivostí) je stanovena celková citlivost konstrukce na diagnostický nebo sanační zásah s určením kritických oblastí.

Jako příklad je uvedena analýza Čechova mostu v Praze:

<b>Čechův most</b>			
Praha			
<p>Stručná stavební historie mostu: Silniční, tramvajový a pěší most dokončený v roce 1908, o třech polích překlenujících řeku Vltavu, pole tvoří kovové (plávkové železo) příhradové dvoukloubové oblouky s horní mostovkou, doplněný o jedno pole železobetonové položené nad komunikaci na malostranském nábřeží v 50. letech 20. století. Projektanty mostu byli inženýři Jiří Soukup a František Mencl (koncepce mostu), Zdeněk Bažant a Jan Kolář (realizační projekty) a Jan Koula (architektonické řešení). Dodavateli mostu byly firmy Müller&amp;Kapsa (založení a pilíře), mostárna bratří Prášilů (konstrukce I. pole), Pražská akciová společnost v Praze, dříve Rustonka (konstrukce II. pole) a Pražská mostárna – Filiálka První Českomoravské továrny na stroje (konstrukce III. pole). Výtvarná výzdoba Ludvík Herzl a Karel Opatrný (bronzové sochy světloňů s pochodněmi na zhlavích protivodních pilířů), Luděk Wurzl (bronzové šestihlavé hydry se znaky Prahy na zhlavích povodních pilířů), Antonín Popp (sochy Viktorií na pilířích nad výběřčími budkami, reliéfy sloupů osvětlení) a Karel Klusáček (návrh tepaných reliéfních výplní v obloucích mostů). Most zůstal zachován v původní podobě od svého vzniku až do roku 1939, kdy byly z kamenných balustrád v nikách nad pilíři sejmuty bronzové vázy a z celého mostu postupně i další prvky z barevných kovů, které byly po válce vráceny zpět, s výjimkou festonů (byly nahrazeny po válce) a bronzových váz (byly nahrazeny po roce 1962). V roce 1941 došlo k dopravní nehodě, při níž byly prolomeny rzi oslabené plechy Zorés pod návodním chodníkem, nahrazeny byly železobetonovými deskami. V době 2. světové války byly vyměněny i rzi napadené ocelové prvky zábradlí. V letech 1954-57 došlo k rozšíření levobřežní komunikace a k prodloužení mostu o železobetonové čtvrté pole překrývající mimoúrovňovou komunikaci pod vjezdem do křižovatky na levobřežním (malostranském) předpolí. V roce 1956 byla o 31 m západněji přesunuta kaple sv. Máří Magdalény (z r. 1635), původní levobřežní gloriety byly zrušeny a nahrazeny posunutými mýtnými domky, které byly vyztuženy monolitickým železobetonem, zrušena původní okna a dveře. V roce 1958 byla ustanovena pražská památková rezervace, jejíž je most součástí. V roce 1961 byla odstraněna původní špalíková dlažba z australského dřeva Jarrah a nahrazena dlažbou z dubových špalíků (neosvědčily se - viklaly se a za vlhka byly kluzké, byly proto od 70. let nahrazeny živичným povrchem), plocha kolejiště vydlážděna drobnou žulovou dlažbou (od 70. let živичný povrch). V roce 1965 došlo k dopravní nehodě, při níž se ulomily tři původní osvětlovací stožáry z důvodu silné koroze. V letech 1971-1975 proběhla generální rekonstrukce, opravovány byly v 1. etapě hlavní nosníky (hlavně výměny nýtů), příčné a vodorovné zavětrování (výměna poškozených prutů), zábradlí (nové ocelové plechy, opravy a repliky měděných prvků), ve 2. etapě byla odstraněna vozovka, dodána nová mostovka, původní litinové sloupy byly nahrazeny litými kopiemi, repliky váz a festonů. Ve stejných letech probíhalo i řízení o prohlášení mostu za nemovitou kulturní památku, to nabylo právní moci v prosinci 1975. V letech 1979-1982 proběhlo restaurování Viktorií a lamp. V roce 1985 byly opraveny prostory v pravobřežní opěře (prvorepublikové toalety). V roce 1989 generální rekonstrukce a výměna mostních dilatací. V roce 2000-2001 generální oprava nosné konstrukce mostu. V letech 2013-2014 proběhly restaurátorské práce na mýtných domcích, vč. pilířů a soch Viktorií, doplnění chybějících bronzových prvků kopiemi. V roce 2019 restaurování a oprava prvků zábradlí. V letech 2020-2021 pak proběhl rozsáhlý diagnostický průzkum mostu.</p>			
Citlivost památkové hodnoty na invazivitu zásahu	L	S	W

Segment (složka) památkové hodnoty	Popis segmentu památkové hodnoty ve studované konstrukci	Úroveň hodnoty	Citlivost	Vážená hodnota
		(stanovena podle aktuálního stavu konstrukce)	(k invazivitě diagnostické nebo sanační metody)	
		(1 až 5) =	(0 až 3) =	$W_i = L_i \cdot S_i$
		slabá až vynikající	nulová až vysoká	
Hodnota stáří	Most byl v průběhu své existence několikrát opravován, došlo k výměně prvků, včetně osazení kopií a replik, vozovka je nepůvodní. Přesto některé prvky zůstaly zachovány z doby vzniku (např. hlavní nosníky), mají tedy nezpochybnitelnou hodnotu stáří. Některé prvky byly obnoveny před desítkami let (sloupy osvětlení) a hodnotu stáří tak začínají nabývat. Nejexponovanějšími prvky z hlediska opotřebení jsou povrchy vozovek a chodníků, ty jsou ale nepůvodní a jsou z racionálních důvodů obnovovány častěji, hodnotu stáří tak vykazovat nemohou. Celkový aktuální stav hodnoty stáří je průměrný.	3	3	9
Historická hodnota	Konstrukce mostu souvisí s důležitým obdobím ekonomického a politického růstu města Prahy v počátku 20. století. V letech 1893 až 1908 proběhla velká městská přestavba Josefova (do roku 1850 pražské židovské město Judenstadt). Současná Pařížská třída (do roku 1926 Mikulášská třída) byla navržena jako hlavní ulice protínající původní středověkou zástavbu Josefova podle vzoru Haussmannovy přestavby Paříže (1852-1870). Most Svatopluka Čecha byl navržen jako pokračování této třídy a měl spojit středověké Staré Město s nově plánovanými městskými částmi v meandru řeky Vltavy. Most byl pojmenován po českém spisovateli a básníkovi Svatopluku Čechovi, který krátce před otevřením mostu zemřel. Stav historické hodnoty je nadprůměrný.	4	3	12
Tvůrčí hodnota (umělecká)	Konstrukce je zdobena originálními sochami a reliéfy velmi dobré umělecké kvality; zábradlí a stožáry jsou doplněny nadstandardní výzdobou a v mnohem větší míře než podobné jiné mosty. Umělecká výzdoba měla jednotnou architektonickou koncepci (Jan Koula) a výtvarná díla byla zadána několika výborným soudobým výtvarníkům. Stav umělecké tvůrčí hodnoty je vynikající.	5	1	5

Tvůrčí hodnota (technická)	Velmi dobrá kvalita inženýrského řešení, výpočty byly provedeny nejrespektovanějšími českými inženýry své doby. Neobvyklé je použití velmi nízkého kovového oblouku, které bylo v době návrhu kritizováno jako příliš odvážné. Jediný dochovaný kovový obloukový most v Praze a v té době neobvyklý i v rámci Evropy (obdobný konstrukční koncept jako Pont Alexandre III v Paříži, který má dvojnásobné rozpětí oblouku a je o několik let starší; Čechův most oproti Pont Alexandre III otevřeně přiznává příhradové řešení oblouků). Technologicky vyspělé řešení. Stav technické tvůrčí hodnoty je nadprůměrný.	4	1	4
Řemeslná hodnota	Kvalitní výroba, přesně zarovnané a sesazené prvky, výborná řemeslná kvalita odlévaných a tepaných prvků. Stav řemeslné hodnoty je nadprůměrný.	4	2	8
Užitná hodnota	Konstrukce slouží jako městský most, důležitý zejména s ohledem na hustou městskou dopravu. Stav užitné hodnoty je vynikající.	5	1	5
Vědecká hodnota	Konstrukce nikdy nebyla zamýšlena a nikdy nebyla použita pro vědecké experimenty. Provádí se zde standardní historický, památkový a technický výzkum. Současný stav vědecké hodnoty je podprůměrný.	2	2	4
Společenská / kulturní hodnota	Na konci 19. století došlo k velkému společenskému tlaku ze strany dvou skupin (občanů Bubenče a Letné na jedné straně a občanů Malé Strany na druhé straně) směřujících k tomu, aby byl postaven most ze Starého Města směrem k Letné, resp. na Malou Stranu. Časově zvítězil Čechův most, který byl postaven již v roce 1908, oproti pozdějšímu malostranskému Mánesovu mostu (1914). V padesátých letech byl v ose mostu na Letenském návrší postaven gigantický Stalinův památník. V roce 1989, během sametové revoluce, bylo návrší nad mostem místem setkávání mládeže a v roce 1991 zde byla umístěna socha Metronom od Vratislava Nováka. Stav společenské/kulturní hodnoty (včetně zahrnutí navazujícího, po schodech přístupného, Letenského návrší) je nadprůměrný.	4	1	4
Duchovní hodnota	Konstrukce nemá žádnou duchovní hodnotu.	0	1	0
Symbolická hodnota	Most byl zamýšlen a rovněž se stal symbolem českého národního politického a ekonomického růstu (je to možné doložit zadávacími podmínkami, které byly vypsány výslovně pro české autory a firmy, název mostu byl pojmenován podle významného českého básníka a spisovatele národního obrození Svatopluka Čecha, který zemřel jen	4	1	4



	několik měsíců před otevřením mostu). Z tohoto hlediska má konstrukce nadstandardní symbolickou hodnotu. Aktuální stav symbolické hodnoty je nadprůměrný.			
Urbanistická hodnota	Most byl zamýšlen jako důležitá součást urbanistického rozvoje Prahy. Pařížská třída (dříve Mikulášská) vede k mostu od Starého Města a plánováno bylo její další prodloužení ulicí nebo tunelem spojujícím Staré Město a Letnou. Tento plán však nebyl realizován. Současný stav urbanistické hodnoty je proto průměrný.	3	0	0
Krajinná hodnota	Most je důležitou součástí malebné městské krajiny podél řeky Vltavy. Současný stav krajinné hodnoty je nadprůměrný.	4	0	0
Hodnota jedinečnosti	Most je součástí souboru pražských mostů, je však konstrukčně i umělecky jedinečný. Aktuální stav hodnoty jedinečnosti je mezi nadprůměrným a vynikajícím.	5	3	15
Hodnota typičnosti	Konstrukce je typologicky častá (most); tento most je však jedinečný jak nosnou konstrukcí, tak výzdobou. Konstrukce nikdy nebyla zamýšlena pro sériovou výrobu. Stav hodnoty typičnosti je slabý.	1	3	3
Hodnota autenticity (hmotné)	Objekt je chráněn od roku 1958 v rámci památkové rezervace a od roku 1975 je zapsán jako nemovitá kulturní památka. Během své existence bylo jeho prostředí významně pozměněno v průběhu 50. let 20. století (přemístění kaple sv. Máří Magdalény, posunutí mýtných domků), později byl několikrát opravován, od počátku 70. let již pod památkovým dozorem. Některé původní prvky byly vyměněny ještě před památkovou ochranou (např. původní ocelové plechy Zorés byly nahrazeny válcovanými nosníky v kombinaci s plechy), některé již během památkové ochrany (původní dlážděné povrchy komunikací byly nahrazeny živičnými). Řada prvků byla nahrazena kopiemi nebo replikami). Aktuální stav hodnoty materiálové autenticity je průměrný.	3	3	9

Hodnota autenticity (nehmotné)	Jak je již uvedeno výše, v 50. letech 20. století došlo ke kompozičním změnám, původní nehmotné autenticity z doby vzniku konstrukce tak již není možné dosáhnout. Snížení nehmotné autenticity vyvolává i změna původních povrchů za zcela odlišné (např. povrchy vozovek). V současné době je sice nehmotná autenticita respektována snahou o použití materiálů a řemeslných postupů podobných historickým, avšak pouze v ekonomicky a provozně únosné míře. Současný stav hodnoty nehmotné autenticity je podprůměrný.	2	0	0
Hodnota integrity	Konstrukce byla částečně poničena při dopravních nehodách a rovněž z důvodu nedostatečné ochrany proti korozi, některé prvky proto byly vyměněny, v některých případech došlo i k zásadní materiálové změně (povrchy vozovek a chodníků). Z důvodu kompozičních změn provedených v 50. letech 20. století již nemůže jít o původní integritu z doby vzniku stavby, přesto je možné hovořit o nově nastavené integritě z konce 50. let. Od roku 1995 je most chráněn jako součást Historického centra Prahy v rámci zápisu na Seznam Světového dědictví UNESCO, myšlenka integrity je proto pečlivěji sledována. Aktuální stav hodnoty integrity je průměrný.	3	3	9
Hodnota transformovatelnosti	Konstrukci lze používat pouze jako most. V případě problémů s nosnou částí může být například sníženo provozní zatížení mostu, extrémně až na pěší lávku. Nicméně neexistuje žádný jiný rozumný způsob, jak tuto stavbu transformovat. Stav hodnoty transformovatelnosti je podprůměrný.	2	3	6
Maximální citlivost na invazivitu (dosažitelná v této tabulce)		155		X
$S_{max} = S (L_{max} \cdot S_i)$				
kde:				
$S_{max}$ ... mmaximální citlivost na invazivitu				
$S_i$ ... citlivost na invazivitu (konkrétního segmentu památkové hodnoty)				
$L_{max}$ ... maximální možná úroveň památkové hodnoty (=5 vynikající)				
Vážená hodnota citlivosti na invazivitu (tato konstrukce)				97
$W_{tot} = S W_i = S (L_i \cdot S_i)$				
kde:				

$W_{tot}$ ... vážená hodnota citlivosti na invazivitu (celková)	
$W_i$ ... vážená hodnota citlivosti na invazivitu (konkrétního segmentu památkové hodnoty)	
$S_i$ ... citlivost na invazivitu (konkrétního segmentu památkové hodnoty)	
$L_i$ ... úroveň památkové hodnoty (konkrétního segmentu)	
Citlivost památkové hodnoty na invazivitu (tato konstrukce)	63%
$S_{tot} = W_{tot} / S_{max}$	
kde:	
$S_{tot}$ ... citlivost na invazivitu (celková)	
$W_{tot}$ ... vážená hodnota citlivosti na invazivitu (celková)	
$S_{max}$ ... maximální citlivost na invazivitu	

Následuje rozdělení diagnostických metod do skupin podle jejich invazivity<sup>28</sup> (0 = žádná nebo nízká invazivita; 1 = mírná invazivita; 2 = střední invazivita; 3 = vysoká invazivita). Příkladem žádné nebo nízké invazivity jsou některé globální testy (např. statické zatěžovací zkoušky, lokální nebo globální dynamické zkoušky, sledování deformací – geodetické, fotogrammetrické, laserové skenování atd.) a některé místní průzkumy (např. metody vyžadující pouze očištění povrchu: metoda vířivých proudů (ET), detekce kovové magnetické paměti materiálu (MPM), magnetická zkouška (MT) nebo metody bez kontaktu s povrchem: metody akustické emise (AE), radiografie (RT)). Příkladem mírné invazivity jsou metody způsobující lokální poškození nátěrů a povrchů materiálů (např. nedestruktivní (NDT) zkoušky tvrdosti, ultrazvukové metody (UT) a UT difrakční metody (UT-TOFD), Phased Array metoda (PA), průzkumy nátěrů – stratigrafie – tloušťka, chemické složení, analýza vrstev, zkoušky adheze, barviva). Střední invazivitu představují metody založené na odběru vzorků o velikosti jednotek cm<sup>2</sup>, případně vrtání malých otvorů o průměru do 1 cm (např. odběr vzorků pro analýzu chemického složení, metalografie, endoskopický průzkum). Do vysoké invazivity jsou řazeny odběry vzorků přesahujících jednotky cm<sup>2</sup> (typicky vzorky 10×3 cm, odběr vzorků pro tahové zkoušky a zkoušky lomové houževnatosti, ve statisticky přiměřeném množství). Na závěr probíhá optimalizace, jejímž cílem je stanovení nejvhodnějších diagnostických metod pro maximalizaci získané informace o konstrukci a zároveň zajišťujících minimalizaci negativního dopadu diagnostiky na památkovou hodnotu konstrukce. Obdobným způsobem probíhá optimalizace sanačních a rekonstrukčních nebo zesilovacích metod.

E-P metoda je samozřejmě pouze pomocnou analytickou metodou, která má sloužit jako pomůcka pro přehlednější analýzu památkové hodnoty, pro snazší volbu diagnostických a sanačních postupů a pro usnadnění komunikace mezi památkáři a inženýry. Popis a stanovení památkové hodnoty a rozhodnutí o konkrétních opatřeních podléhají správnímu procesu podle platných právních předpisů.

<sup>28</sup> Eberhardt, Pospisil, Ryjacek, Sykora: Heritage Value Assessment Method – Application to Historic Bridges in Prague. 17th International Conference on Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture STREMAH 2021

### 3.7. Průzkum korozního oslabení

Korozní průzkum – zjištění korozního oslabení je zásadním vstupem pro přepočítání zatížitelnosti a ověření přechodnosti provozního zatížení. Z tohoto důvodu je potřebné koroznímu průzkumu věnovat dostatečnou pozornost a provést jej důkladně a podrobně. Není tedy například dostatečné použít výsledky korozního průzkumu z podrobné prohlídky a ty uvažovat při hodnocení kritického prvku.

Na průzkum korozního oslabení může dle požadavků zadavatele navazovat i diagnostický průzkum protikorozní ochrany, její stav a tloušťka, rozbor nebezpečných látek atd. Pro provedení průzkumu PKO lze využít např. TP42.

Při korozním průzkumu se rozlišují následující oslabení:

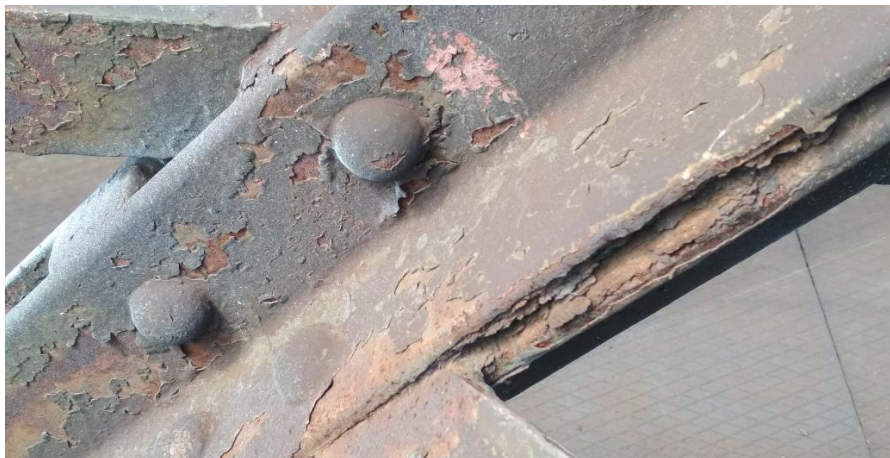
- **Lokální korozní oslabení** – dílčí lokální oslabení prvku, které je svým rozsahem několikanásobně menší než hodnocený prvek či jeho část (pásnice, stěna atd.). Jedná se například o korozní důlek, prokorodování části průřezu prvku atd. Lokální oslabení je významným koncentrátorem napětí a může být významné pro hodnocení únavové životnosti.
- **Průměrné korozní oslabení** – jedná se o korozní oslabení, které odpovídá celkové průřezové ploše oslabení dílčí části průřezu (stěna, část pásnice atd.) podělené šířkou této části. Vyjadřuje v podstatě průměrné korozní oslabení na dílčí části prvku. Tato hodnota se odečte od původní tloušťky prvku a výsledná zbytková tloušťka se použije pro stanovení skutečných zbytkových průřezových parametrů celého prvku pro posouzení mezního stavu únosnosti a použitelnosti.

Při provádění průzkumu korozního oslabení se postupuje následujícím způsobem:

- **Analýza pokladů** konstrukce, sestavení osového schématu konstrukce s definováním jejich průřezů, rozdělení konstrukce na dílčí pruty (příhradové mosty) nebo části s konstantním průřezem definované délky (například úsek mezi příčníky u plnostěnného trámu), jednoznačné označení prvků.
- **Příprava karet prvků** pro jednotlivé zkoumané prvky, včetně schématu příčného řezu profilu v tištěné formě pro korozní průzkum
- **Zpřístupnění konstrukce**, a to horolezecky, odkrytím podlahových plechů, nájezdem vysokozdvizné plošiny, osazením dočasných lávek atd. Pro korozní průzkum je nepřijatelné hodnocení z dálky, konstrukce musí být přístupna tzv. „na dosah ruky“. Mimořádně významné je to zejména pro mostovku, dolní pasy, dolní pásnice a všechna místa, kde dochází k hromadění vody a nečistot a ke zvýšenému koroznímu působení.
- **Provedení korozního průzkumu.** Při jeho provádění je nutno pečlivě mechanicky očistit korozně oslabená místa, a to včetně mechanického odstranění degradované oceli pod vrstvami koroze. Po odstranění korozních zplodin se na prvku stanoví lokální a průměrné korozní oslabení na všech dílčích částech průřezu samostatně (například u T-průřezu stěna, pásnice vlevo, pásnice vpravo) a to tak, aby bylo možno sestavit v modelu průřezové parametry. Do karty prvku se uvedou i další poznatky, poškození (trhliny, poškozené nýty a šrouby, deformace, šterbinová koroze). Korozní oslabení se měří pomocí posuvného měřítka za pomoci příložené lišty, nepřístupné části (plechy na stranách šterbinové koroze), duté profily, rozsáhlé plochy atd.) se měří ultrazvukovým tloušťkoměrem. Při měření ultrazvukovým tloušťkoměrem je nutno důkladně odstranit vrstvu koroze a nátěrů (nátěr je následně nutno opravit). Důvodem je fakt, že rychlost zvuku v nátěru je menší než v oceli a tloušťka nátěru se projeví zdánlivým nárůstem tloušťky plechu (pro epoxidové či

akrylátové nátěry jde o přibližně dvoj- až trojnásobný rozdíl). Alternativně lze změřit tloušťku nátěru a hodnotu zjištěnou ultrazvukovým tloušťkoměrem příslušně opravit.

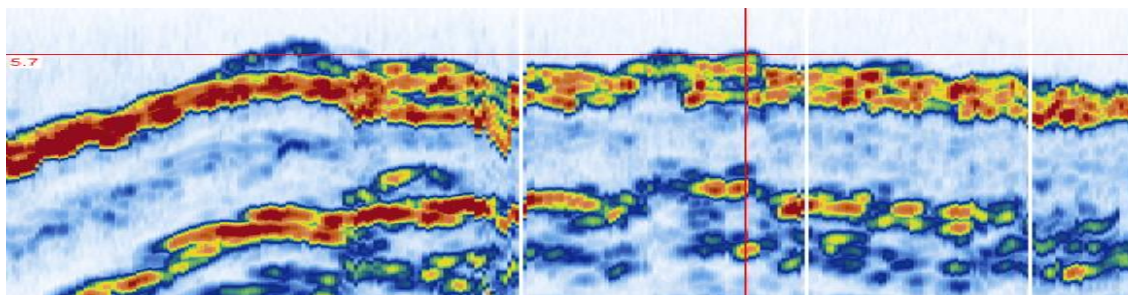
- Zpracování zjištěných dat do přehledné tabulkové formy jako podklad pro stanovení průřezových hodnot.



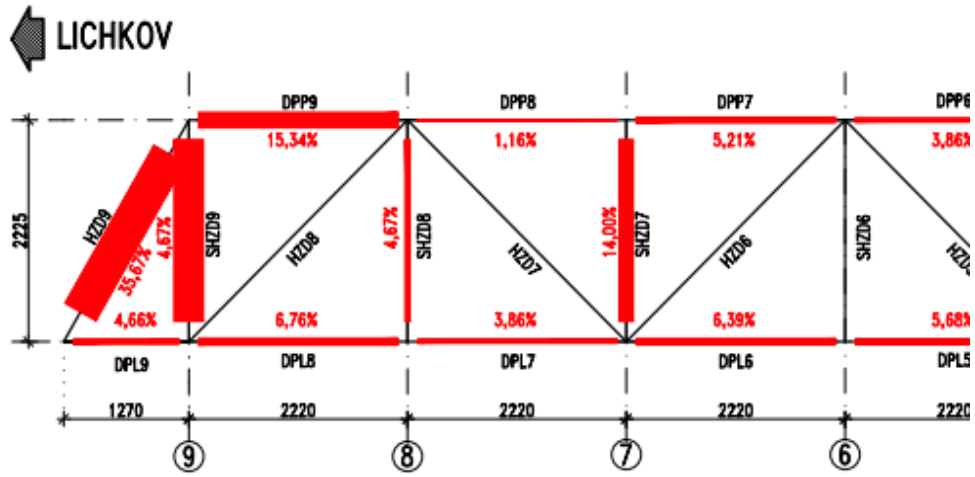
Obr. 15 Štěrbinová koroze, stav před otryskáním, patrné korozní úbytky



Obr. 16 Štěrbinová koroze, stav po otryskání, patrné korozní úbytky



Obr. 17 Prokorodování před a po čištění a odpovídající snímek pořízený metodou Phased Array



Obr. 18 Příklad zakreslení korozního poškození

Tab. 6 Doporučená forma karty prvku pro průzkum korozního oslabení

**PRŮZKUM KOROZNÍHO OSLABENÍ OK**  
 PRVEK : DOLNÍ PÁS -   
 SCHÉMA KONSTRUKCE

**MOST V KM** .....TÚ .....  
 PŘÍHRADA :  STRANA  L + P

KOLEJ Č.  1 - 2

**SCHÉMA PRŮŘEZU**

Z - začátek prutu		S - střed prutu		K - konec prutu	

H - HORNÍ PÁSNIČE, S - STOJINA, D - DOLNÍ PÁSNIČE  
 S - 380x18, D - 280x14 + 2x L120x120x12

**Korozní oslabení prutu [mm]**

č.	φ/max	Rozměr - š/d	č.	φ/max	Rozměr - š/d	č.	φ/max	Rozměr - š/d
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
POZN:			POZN:			POZN:		

### 3.7.1. Požadavky na korozní průzkum PKO

Požadavky na diagnostický průzkum a funkci protikorozní ochrany (ochranného povlakového systému – OPS) lze nalézt v technických podmínkách Ministerstva dopravy ČR - TP 42.

V případě provedení diagnostiky stávající PKO, je nutno v první fázi zajistit archivní podklady se zaměřením na konstrukční detaily, záznamy a informace ohledně naposledy použitého OPS.

V případě, že nejsou k dispozici podklady, je nutné složení OPS zjistit některou z metod případně jejich kombinací:

- pokud existují pamětníci, kteří prováděli poslední PKO konstrukce, je možno základní informace získat z těchto zdrojů a následně pouze provést prověření metodami níže popsanými.
- odebrání vzorků a provedení rozboru jednotlivých vrstev PKO, včetně zjištění jejího složení chemickou analýzou nebo dalšími metodami (je nutné provést i zkoušky pro určení nebezpečného materiálu jako jsou např. PCB, těžké kovy apod.),

Vyhodnocení degradačních procesů OPS musí být provedeno dle norem ČSN EN ISO 4628-1 až 10, provedení destruktivních zkoušek ke zjištění přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1,2 a zjištění průměrných tloušťek OPS dle zásad ČSN EN ISO 2808. Dalšími důležitými informacemi pro komplexní provedení diagnostiky PKO je zjištění složení OPS, znečištění a zasolení ploch, mechanická poškození a rozdělení ploch podle zvláštního korozního namáhání.

Tab. 7 Přehled použití metod diagnostiky PKO

	Lokální poškození PKO	Plošné poškození PKO
<b>Odrhová zkouška</b>	Ano	Ano
<b>Mřížková zkouška</b>	Doplňk odtrhové zkoušky	Doplňk odtrhové zkoušky
<b>Křížový řez</b>	Doplňk odtrhové zkoušky	Doplňk odtrhové zkoušky
<b>Ověření skladby OPS</b>	V případě pochybností o původní skladbě PKO	V případě pochybností o původní skladbě PKO
<b>Průměrná tloušťka OPS</b>	Ano	Ano
<b>Rentgenová spektrometrie</b>	V případě pochybností o původní skladbě PKO	V případě pochybností o původní skladbě PKO
<b>Znečištění a zasolení diagnostikovaných ploch</b>	V případě pochybností o výskytu solí	V případě pochybností o výskytu solí
<b>Mechanická nebo jiná poškození</b>	Ano	Ano



Z hlediska degradace OPS, je nutné rozlišovat lokální poškození a plošně rozmístěné poškození nátěrů. V případě lokálních (místních) poškození se kritéria pro hodnocení liší oproti plošně rozmístěnému poškození v max. přípustném poměru poškození k posuzované ploše. Lokální poškození se vyskytuje zejména v oblastech, kde je riziko vyššího korozního namáhání oproti jiným částem konstrukce, jako jsou např. koncové příčnický, nadpodporové oblasti, nevhodně řešené detaily, místa kontaminovaná ve zvýšené míře chemickými látkami, ptačím trusem nebo mechanicky poškozená.

### 3.7.2. Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky pro zjištění přilnavosti jsou velmi důležitým hodnotícím kritériem pro stanovení stavu stávající OPS. Pro objektivní vyhodnocení je nutno stanovit dostatečné množství těchto zkoušek v závislosti na ploše konstrukce, rozdílném korozním namáhání a vyskytujících se konstrukčních prvcích (stěny, pásnice, výztuhy apod.).

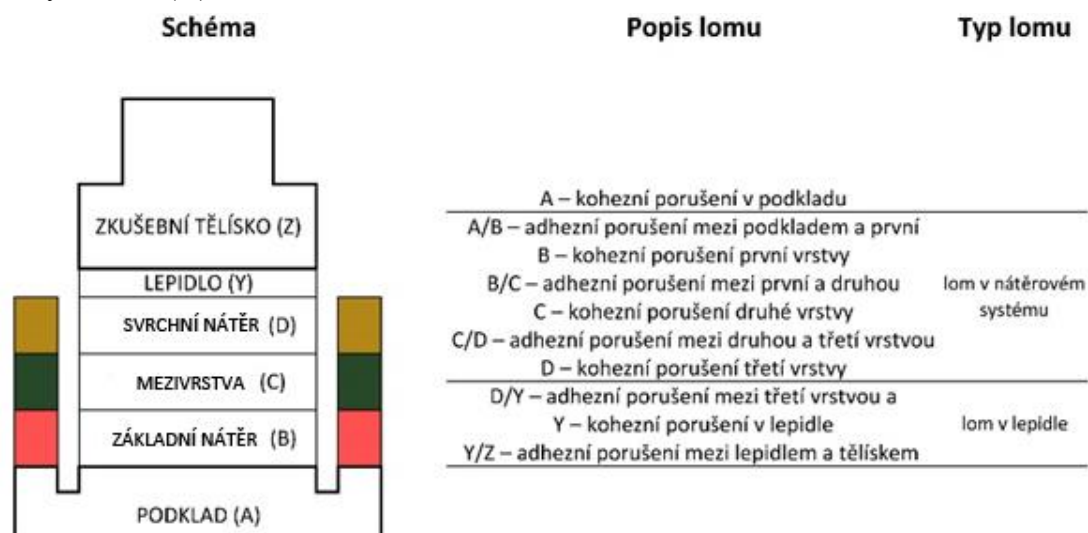
#### Zkoušky přilnavosti OPS

Zkouška přilnavosti OPS se provádí dle ČSN EN ISO 4624 a ČSN EN ISO 16276-1. Mřížková zkouška a křížový řez se provádí dle ČSN EN ISO 2409 a ČSN EN ISO 16276-2.

**Odtrhová zkouška.** Pro testování povlaků se používají zkušební tělíska o průměru 20 mm, která jsou k povlaku přilepena pomocí vhodného lepidla. Před provedením zkoušky je povlak po obvodu zkušebního tělíska ručně odstraněn vícebřitým řezným nástrojem. V průběhu zkoušky je zaznamenána hodnota odtrhového napětí a charakter porušení. Při odtrhové zkoušce lze stanovit skutečnou adhezi/kohezi nátěru, vyjádřenou odtrhovou pevností v MPa. Pro stanovení charakteristiky lomu se vizuálně prohlédne jeho povrch a hodnotí se typ lomu.

V případě PKO na zkoumaném stavebním objektu je značení jednotlivých povlaků pro odtrhovou zkoušku následující:

- základní materiál – podklad (A),
- žárový nástřík kovu – metalizace (B),
- penetrace – základní nátěr (C),
- vrchní krycí nátěr (D).



Obr. 19 Popis charakteru lomu a značení jednotlivých vrstev PKO

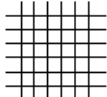
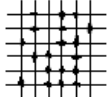
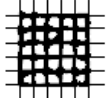

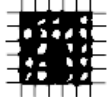
Za vyhovující pro následnou opravu PKO při využití stávajícího OPS lze považovat systémy, kde průměrná hodnota přilnavosti systému v posuzované oblasti je  $\geq 2,5$  MPa a vyhodnocení křížového řezu nebo mřížkové zkoušky je do stupně (klasifikace) 2. Pro hodnocení přilnavosti

navíc platí, že jednotlivé hodnoty odtrhové pevnosti nesmějí být  $\leq 1,5$  MPa (adhezní lom od podkladu nesmí vykazovat korozní body).

**Mřížková zkouška.** Stanovuje se pro tloušťky nátěrů do 250  $\mu\text{m}$ . Provádí se šest rovnoběžných řezů a šest na ně kolmých s odpovídajícími rozestupy mezi řezy podle tloušťky nátěru a druhu podkladu:

pro tloušťku nátěru od 0-60 $\mu\text{m}$	1 mm rozestup pro tvrdý podklad,
pro tloušťku nátěru od 0-60 $\mu\text{m}$	2 mm rozestup pro měkký podklad,
pro tloušťku nátěru od 60-120 $\mu\text{m}$	2 mm rozestup pro měkký a tvrdý podklad,
pro tloušťku nátěru od 121-250 $\mu\text{m}$	3 mm rozestup pro měkký a tvrdý podklad.







Přílnavost se hodnotí na tvrdých podkladech až po odtrhu lepicí páskou s definovanou lepivostí přes provedené řezy. Při vyhodnocování se rozlišuje celkem šest stupňů přílnavosti označované 0-5 (v závislosti na poškození vytvořené mřížky), viz obr. 15.

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkou, na které se vyskytlo odlupování <sup>a</sup> (Příklad pro šest rovnoběžných řezů) <sup>a</sup>
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není odloupen	
1	Odloupení malých šupinek povlaku v místech křížení řezů. Zasažená plocha není větší než 5 % plochy mřížky.	
2	Nátěr odloupen podél hran řezů a v místech jejich křížení. Zasažená plocha převyšuje 5 %, ale není větší než 15 % plochy mřížky.	
3	Nátěr částečně nebo zcela odloupen ve velkých pásech podél hran řezů a/nebo částečně nebo zcela odloupen na různých částech čtverců. Zasažená plocha převyšuje 15 %, ale není větší než 35 % plochy mřížky.	
4	Nátěr odloupen ve velkých pásech podél hran řezů a/nebo se některé čtverce částečně nebo zcela odlouply. Zasažená plocha převyšuje 35 %, ale není větší než 65 % plochy mřížky.	
5	Jakýkoli rozsah odloupení, který nelze klasifikovat ani stupněm 4.	–

<sup>a</sup> Obrázky znázorňují příklady mřížek v rámci jednotlivých klasifikačních stupňů. Uvedené procentuální podíly jsou založeny na vizuálním dojmu z obrázků a při digitálním zpracování obrazu nemusí být nutně dosaženy stejné podíly.

Obr. 20 Vyhodnocení mřížkové zkoušky podle ČSN EN ISO 2409:2013

**Křížový řez.** Destruktivní stanovení přílnavosti povlaků nátěrových hmot, které vykazují střední hodnotu tloušťky větší než 250  $\mu\text{m}$ . Řezy jsou provedeny pomocí ručního rezného nástroje s odlamovatelným ostřím skrze povlak na základní materiál. Odstranění uvolněného nátěru se provádí lepicí páskou. Klasifikace výsledků zkoušky se provádí dle ČSN EN ISO 16276-2 Přílohy A – Hodnocení výsledků křížového testu. Zkouška křížovým řezem se standardně v oboru povrchových úprav provádí jako doplňující stanovení adheze povlaků ke zkoušce mřížkové a odtrhové, nehledě na tloušťku povlaku, viz obr. 16.

 <p><b>Stupeň 0</b> Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.</p>	 <p><b>Stupeň 1</b> Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.</p>
 <p><b>Stupeň 2</b> Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.</p>	 <p><b>Stupeň 3</b> Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
 <p><b>Stupeň 4</b> Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	 <p><b>Stupeň 5</b> Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>

Obr. 21 Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2:2008

**Ověření skladby OPS.** Pro diagnostiku je nutné stanovení skladby OPS. Pro stanovení skladby OPS je vhodné použít destruktivní měření tloušťky metodu klínového řezu metoda 6B dle ČSN EN ISO 2808. Jedná se o měření pomocí mikroskopu a klínového řezu. Při tomto postupu je používán přístroj, pomocí kterého je povlak v předepsaném úhlu seříznut až k podkladu. Mikroskopem se stupnicí se změní půdorysná šířka klínového řezu v  $\mu\text{m}$  a na základě úhlu řezu se vypočítá tloušťka suché vrstvy. Metodu lze účinně použít i pro měření tloušťky více vrstev u vícevrstvých systémů, které jsou dostatečně barevně odlišeny a tím i určení skladby OPS, viz obr. 17.



Obr. 22 Ukázka destruktivního měření tloušťky a stanovení skladby OPS - základní nátěr 170  $\mu\text{m}$ , mezivrstva 220  $\mu\text{m}$  a vrchní nátěr 80  $\mu\text{m}$  (vlevo); mikrosnímek měřeného řezu (vpravo)

Druhým způsobem stanovení skladby PKO je zhotovení odstupňovaných výbrusů OPS



Obr. 23 Skladba OPS výbrusem

### 3.7.3. Nedestruktivní zkoušky

#### **Vizuální hodnocení degradace OPS**

Degradace nátěrových systémů je posuzována dle řady norem ČSN EN ISO 4628. Mezi velmi důležité typy degradace nátěrů nejvíce vypovídající o stavu PKO celé konstrukce patří zejména hodnocení stupně prorezavění (ISO 4628-3), stupně odlupování (ISO 4628-5) a stupně křídování (ISO 4628-6). Ostatní druhy degradací dle této normy se ve většině případů nevyskytují v takové míře jako výše popsané typy poškození nátěrů a jsou spíše doplňkového charakteru.

#### **Nedestruktivní měření tloušťky OPS**

Zjištění průměrných tlouštěk OPS musí být provedeno dle zásad ČSN EN ISO 2808

#### **Složení OPS pro určení nebezpečného materiálu**

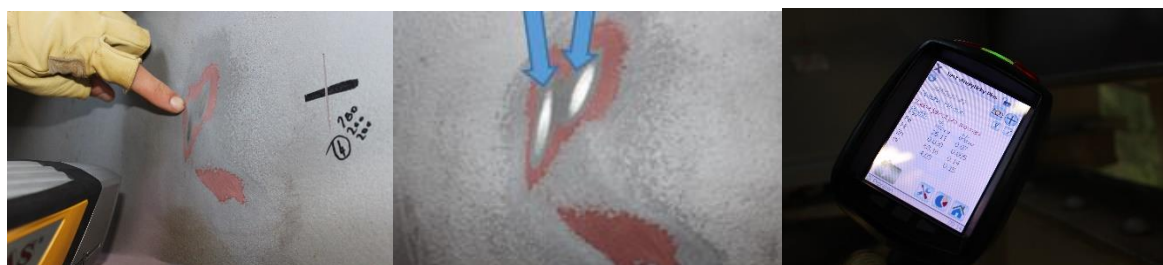
Tyto zkoušky se provádějí zejména u OPS, které byly aplikovány před první polovinou 90. let 20. století. Mezi nejčastěji se vyskytující nebezpečné látky patří u nátěrů zejména šestimocné chromy, sloučeniny olova a polychlorované bifenylly (PCB).

Zkoušky na přítomnost PCB v nátěrech by se měly provádět vždy u systémů, které byly aplikovány před rokem 1986, kdy bylo dle dostupných podkladů možno ještě tyto materiály legálně na území Československa použít. Po tomto roce by se již neměly tyto látky v barvách nacházet.

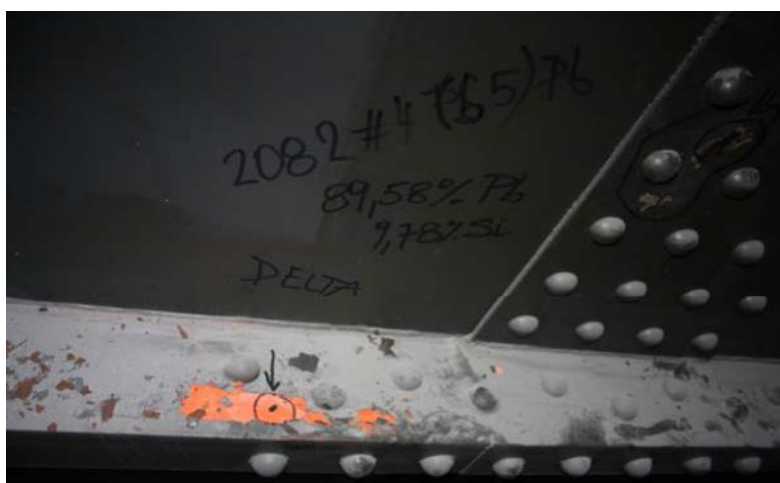
Zkoušky na přítomnost dalších nebezpečných látek v povlakových systémech by se měly obecně provádět vždy. Pro zjištění výskytu nebezpečných látek nám velmi dobře poslouží zkouška chemického složení nebo spektrometrická analýza chemického složení, která nám poskytne základní informaci o jejich procentuálním zastoupení v nátěru. Na základě výsledků těchto zkoušek, kde může být zjištěn výskyt vyššího obsahu nebezpečných látek, než je obvyklé se následně provedou další podrobné analýzy pro určení přesného obsahu v povlakovém systému a případně jeho jednotlivých vrstvách.

### **Rentgenová spektrometrie**

Před měřením je nutné provést výbrusy do skladby OPS a poté provést spektrální prvkovou analýzu pro zjištění chemického složení jednotlivých vrstev OPS. Měření je možné provést např. pomocí ručního rentgenového spektrometru Delta Professional.



Obr. 24 Chemická analýza - místo chemické analýzy povlaku (vlevo), tmavě šedý Zn základní nátěr (uprostřed), výsledek chemické analýzy – 68,16% Zn (vpravo).



Obr. 25 Chemická analýza - výsledek chemické analýzy – 89,58% Pb.

### **Znečištění a zasolení diagnostikovaných ploch**

Vyhodnocení znečištění a zasolení ploch se provádí za účelem zjištění reálného stavu kontaminace povrchů CHRL. Na základě zjištěného výskytu solí na konstrukci, lze stanovit nebo vytipovat místa, která jsou zatížena vyšším korozním namáháním. Tyto údaje jsou následně důležitým podkladem pro správný návrh a postup opravy PKO. V těchto místech je pak možno navrhnout správné postupy při realizaci opravy PKO nebo definovat případná zesílení protikorozní ochrany, případně navrhnout jiná opatření a pokyny pro údržbu, která zlepší efektivitu protikorozní ochrany.



Obr. 26 Přítomnost chloridů z vozovky a následné podkorodování a delaminace OPS ocelových prvků

### **Mechanická nebo jiná poškození**

Poškození na konstrukci se dělí na poškození způsobená přímým mechanickým kontaktem jiných předmětů z konstrukcí, jako jsou např. poškození od odlétávajících kamínků z vozovky, odření povrchů způsobená vybočeními vozidel z dráhy nebo způsobená vandalismem. Naproti tomu existují i nepřímá poškození způsobená např. úsadami nečistot, ptačím trusem nebo zvýšenou kondenzací a ovlhčením konstrukce. Veškerá tato poškození je nutno při diagnostice zaznamenat a vyhodnotit zda se jedná o ojedinělý jev nebo systémový nedostatek vycházející z konkrétních podmínek nebo konstrukčního řešení mostu. Na základě těchto zjištění by měla být vypracována doporučení nebo návrhy řešení, jakým způsobem tyto nedostatky by měly být omezeny nebo úplně odstraněny.



Obr. 27 Ptačí trus a degradace OPS ocelových prvků

## **3.8. Hodnocení mostů**

### **3.8.1. Zpřesnění zatížení**

Při hodnocení existujících mostů je nezbytné zjistit, k jakým změnám na konstrukci během její existence došlo a jakým způsobem tyto změny ovlivnily její spolehlivost a funkční způsobilost. Hodnocení existujících mostů musí vycházet ze skutečně působících zatížení stanovených na základě stavebně technického průzkumu.

Druh, uspořádání a velikost působících zatížení se doporučuje zjistit šetřením na místě, a to zejména pokud:

- je důvodně podezření, že na konstrukci působí jiná významná zatížení, než se původně předpokládalo – například se v konstrukci vyskytují poruchy, za jejichž příčinu lze považovat odchylky od původně očekávaných druhů a hodnot zatížení;
- v průběhu používání konstrukce se hodnoty zatížení významně změnily.

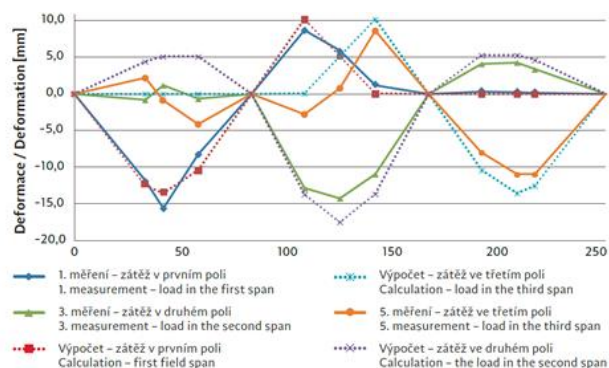
**Stálá zatížení.** Charakteristickou hodnotu stálého zatížení  $G_k$  a dílčí součinitel  $\gamma_G$  se doporučuje stanovit na základě odebraných vzorků a měření podle ČSN 730038, čl. 4.2.4. a 4.4.3.1. Stálá zatížení se stanovují na základě objemových hmotností a skutečných rozměrů prvků nebo částí mostního objektu. Pro potřeby přepočtu se požaduje zohlednit i polohu stálého zatížení na existujícím mostním objektu. Pokud se například pro zatížení vlastní tíhou mostu redukuje variační koeficient z obvyklé hodnoty  $V_G = 10\%$  na  $V_G = 5\%$ , dílčí součinitel klesne z  $\gamma_G = 1,35$  na  $\gamma_G = 1,15$  (tj. návrhový účinek stálého zatížení klesne o 15 %).

**Proměnná zatížení.** Charakteristickou hodnotu proměnného zatížení  $Q_k$  a příslušný dílčí součinitel  $\gamma_Q$  lze zpřesnit podle postupu v ČSN 730038, čl. 4.4.3.2.

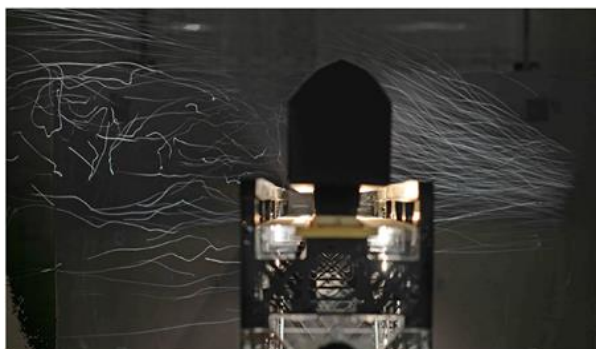
Zatížení dopravou pro hodnocení existujících mostů se stanoví podle ČSN EN 1991-2; při stanovení zatížitelnosti se postupuje podle metodického předpisu SŽ pro železniční mosty [13] a podle ČSN 73 6222 pro mosty pozemních komunikací.

Modely pro zatížení dopravou může být potřebné nebo účelné zpřesnit například:

- na základě informací o skutečném zatížení dopravou na základě informací SŽ nebo měření WIM (Weight-in-motion) u silničních mostů – takováto zpřesnění mohou umožnit identifikovat rezervy spolehlivosti jako pro MSÚ, tak při hodnocení únavové životnosti,
- měření statických a/ nebo dynamických účinků s cílem zpřesnit účinky zatížení s ohledem na chování konstrukčního systému, stav koleje nebo vozovky, vlastnosti přejíždějících vozidel apod.; viz obr. 28.



Obr. 28 Ukázka zatěžovací zkoušky a naměřené deformace



Obr. 29 Stanovení zatížení větrem na příhradový most ve větrném tunelu

Zpřesnění modelů pro klimatická zatížení (obvykle tlak větru a zatížení teplotou) může vycházet z údajů od ČHMÚ nebo z využití pokročilých postupů (zkoušky ve větrném tunelu nebo osvědčené a/ nebo řádně ověřené numerické metody).

ČHMÚ může specifikovat model klimatického zatížení pro konkrétní umístění mostu.

Metodický předpis SŽ [13] poskytuje postup pro zpřesnění součinitelů síly  $c_{fx}$  a  $c_{fz}$  pro typické tvary železničních mostů na základě série měření ve větrném tunelu. Pro osm reprezentativních typů ocelových mostů a čtyři typy kolejových vozidel lze použít následující postup pro stanovení zatížení větrem na most s dopravou:

1. Pro posuzovaný most se nalezne vhodný, tvarově blízký reprezentant.
2. Na základě existující či předpokládané výhledové skladby dopravy se pro most stanoví kategorie výšky dopravy.
3. Pro zvolený reprezentující most a kategorii výšky dopravy KVD se odečte korekční součinitel  $c_{kor,x}$  a  $c_{kor,z}$ .
4. Korekční součinitele se upraví pro mosty se světlou výškou otvoru 2,5 m a méně přenásobením součinitelem 1,1; resp. hodnotou 1,05 pro mosty se světlou výškou otvoru 2,5 až 5,0 m. Pro světlé výšky nad 5,0 m není potřeba korekční součinitele upravovat.
5. Pro stanovení zatížení větrem se pak použije upravený vztah 8.1 dle ČSN EN 1991-1-4 pro výpočet součinitele síly, který má přímý dopad do celkového zatížení větrem.

Takto upravené součinitele vedou ke snížení účinků zatížení větrem až o 20-30 %, což může mít zásadní význam především při hodnocení mezní stavu rovnováhy (EQU).

Metodický předpis SŽ [13] dále umožňuje zpřesnit součinitel expozice  $c_e$ . Pokud má zatížení větrem významný vliv na zatížitelnost či přechodnost mostu, požaduje se získat přesnější údaje o základní rychlosti větru na základě dat poskytnutých ČHMÚ. Obvykle lze získat základní rychlost větru  $v_{b,0}$  s 50letou dobou návratu v osmi základních směrech v nejbližší měřicí stanici. Při použití je však nutno zohlednit vzdálenost měřicí stanice od posuzovaného místa s ohledem na geografické podmínky, které mohou charakter proudění měnit, a dále pak vliv rozdílu nadmořské výšky mezi posuzovaným mostem a měřicí stanicí. Pokud je posuzovaný most výše než měřicí stanice, je nutno měřené hodnoty příslušně zvýšit, nebo měřená data použít pouze pro stanovení relativního poměru mezi střední rychlostí větru  $v_m(z)$  a základní rychlostí větru  $v_{b,0}$ .

Pokud má zatížení větrem významný vliv na zatížitelnost či přechodnost mostu, požaduje se dále zpřesnit výpočet  $v_m(z)$  na základě numerické simulace, kterou provádí ČHMÚ (například s využitím softwaru WENG). Tento výpočet je založen na simulaci proudění větru v zadané 3D konfiguraci terénu a na základě zadaných rychlostí větru z nejbližší měřicí stanice  $v_{b,0}$  v osmi různých směrech. Pokud zadaná poloha měřicí stanice odpovídá polohou a nadmořskou výškou posuzovanému mostu, lze výsledky simulace převzít přímo jako hodnoty rychlosti větru  $v_m(z)$ . Pokud tato podmínka není splněna, lze simulaci použít na základě vstupních údajů o  $v_{b,0}$  a výsledných údajích o  $v_m(z)$  ke zpřesnění součinitele turbulence  $k_t$  a součinitele orografie  $c_0(z)$ .

Aktualizace dílčích součinitelů pro proměnná zatížení se však provádí pouze v odůvodněných případech. Dílčí součinitele pro proměnná zatížení lze odvodit na základě dostupných dat a s použitím vhodných modelů (distribuční funkce). Při aktualizaci dílčích součinitelů pro proměnná zatížení se doporučuje spolupráce s odborným pracovištěm se zkušenostmi se statistickým hodnocením účinků proměnných zatížení a stanovením jejich charakteristických a návrhových hodnot.

Pro železniční mosty lze využít postupy podle metodického předpisu SŽ [13].

Pokud se nepoužijí přesnější postupy pro stanovení dílčích součinitelů zatížení pro existující mosty pozemních komunikací a předpokládá se omezená zbytková životnost mostu do 20 let a



stav mostu v kategorii nanejvýš IV (viz ČSN 73 6221), pak lze uvážit pro ověřování mostu s ohledem na mezní stav únosnosti hodnoty dílčích součinitelů podle kapitoly 10 v ČSN 730038. Pro kategorii V a vyšší se však provede podrobné hodnocení.

Pokud je spolehlivost, přechodnost nebo zatížitelnost mostu nedostatečná, je možné přijmout provozní opatření, například monitoring zatížení a deformací (pokud rozhodují duktilní způsoby poruchy) nebo opatření pro omezení účinků zatížení dopravou.

### 3.8.2. Zpřesnění odolnosti

Podle ČSN 73 0038 lze dílčí součinitel  $\gamma_M$  (odolnost konstrukce) vyjádřit vztahem:

$$\gamma_M = \exp(-1,645V_m) / \exp(-\alpha_R \beta V_R) \quad (2)$$

kde  $V_m$  značí variační koeficient materiálové vlastnosti,  $\alpha_R = 0,8$  je součinitel citlivosti pro odolnost,  $\beta$  je směrný index spolehlivosti a  $V_R$  je variační koeficient odolnosti.

Vztah (2) platí pro modely poskytující nestranný odhad, tj. pro modely s průměrem modelové nejistoty  $\mu_R \approx 1$ . Pokud tento předpoklad nelze přijmout (často například u modelů popisujících mezní stav únosnosti na základě meze kluzu, které vedou ke konzervativním odhadům,  $\mu_R > 1$ ), je potřebné ve vztahu (2) uvážit průměr modelové nejistoty:

$$\gamma_M = \exp(-1,645V_m) / [\mu_R \exp(-\alpha_R \beta V_R)] \quad (3)$$

Zatímco odhad charakteristické hodnoty může vycházet z malého množství zkoušek, hodnota dílčího součinitele vychází obvykle z předchozích zkušeností o vlastnostech a nejistotách ovlivňujících spolehlivost stavebních konstrukcí.

Kromě variability materiálové vlastnosti variační koeficient odolnosti  $V_R$  zohledňuje nejistoty geometrických vlastností (variační koeficient  $V_{geo}$ ) a modelových nejistot ( $V_{\theta R}$ ). Pokud se odolnost stanovuje na základě lineárního vztahu mezi základními veličinami pro materiálové a geometrické vlastnosti a modelovou nejistotu, pak se v případě *postupu 1* (destruktivní zkoušky) nebo *postupu 2* (kalibrované NDT zkoušky) určí  $V_R$  z následujícího vztahu:

$$V_R = \sqrt{(V_m^2 + V_{geo}^2 + V_{\theta R}^2)} \quad (4)$$

Informativní hodnoty variačních koeficientů, průměrů modelových nejistot a dílčích součinitelů materiálu pro mosty z oceli a litiny jsou uvedeny v tab. 8 [18].

V případě *postupu 1* se hodnota  $V_m$  se stanoví na základě vyhodnocení zkoušek. V případě *postupu 2* (kalibrované NDT zkoušky) se uváží vyšší z hodnot  $V_m$  stanovených z kalibrovaných ND zkoušek a podle tab. 8. V případě pochybností se doporučuje uvážit  $V_m$  podle tab. 8.

Pokud nejsou k dispozici podrobnější údaje, uváží se hodnoty  $V_{geo}$  a  $V_{\theta R}$  se v obvyklých případech uváží podle tab. 8.

Z tab. 8 vyplývá, že při hodnocení existujících mostů je potřebné uvažovat  $\gamma_M > 1$ , pokud je charakteristická hodnota stanovena jako 5% kvantil na základě měření.

V případě použití *postupu 3*:

- je potřebné dodatečně zohlednit ve vztahu (4) nejistotu v převodu tvrdosti na pevnost (viz tab. 5 – nejistota měření a  $V_\varepsilon \approx 12$  %).
- Navíc pokud se mez kluzu odhaduje z pevnosti  $f_u$ , je potřebné ve vztahu (4) zohlednit nejistoty v převodním součiniteli  $\alpha$ .

Vztah (4) je proto pro *postup 3* potřebné rozšířit:

$$V_R = \sqrt{(V_m^2 + V_{geo}^2 + V_{\theta R}^2 + V_{dod}^2)} \quad (5)$$

kde dodatečný variační koeficient lze uvážit jako:

- $V_{dod} = V_\varepsilon \approx 12$  % při převodu tvrdosti na pevnost (například při posouzení nýtů),

b.  $V_{\text{dod}} \approx \sqrt{(V_{\varepsilon}^2 + V_{\alpha}^2)} \approx \sqrt{(0,12^2 + 0,1^2)} = 18,5 \%$  při převodu tvrdosti na pevnost a odhadu meze kluzu z pevnosti bez DT zkoušek.

Tab. 8 Informativní hodnoty variačních koeficientů, průměrů modelových nejistot a dílčích součinitelů materiálu pro konstrukční ocel a litinu

Materiál	$V_m$	$V_{\text{geo}}$	$\mu_{\theta R}$	$V_{\theta R}$	$\gamma_M$ pro $\beta = 3,8$ – orientačně podle [18]
Konstrukční ocel	3-5 %	1 % pro tažené prvky 5 % pro tlačené a ohýbané prvky a pro spojovací prostředky**	Klopení (obecný případ), vzpěr: 1,15	11 %	1,2
			Klopení válcovaných průřezů nebo ekvivalentních svařovaných průřezů: 1,1	9 %	
			Ohybová odolnost vycházející z meze kluzu: 1,1	7 %	1,15
			Šrouby v tahu: 1,1*	10 %	1,2
			Šrouby ve smyku: 1,1-1,2*		1,15
			Svary: 1,5	25 %	1,35
Litina	10-15 %	5-10 %	Sloupy se štíhlostí > 60: 1,25	15 %	1,25
			Sloupy se štíhlostí ≤ 60: 1,2		

\*U nýtů se odhaduje, že je možné uvažovat  $\mu_{\theta R} \approx 1,1$  jako u šroubů. Vzhledem k nedostatku dat se doporučuje uvažovat konzervativně  $V_{\theta R} \approx 15 \%$ . \*\*V případě ověření měření na mostu lze redukovat na  $V_{\text{geo}} = 1 \%$ .

Hodnota  $V_m$  se uváží jako vyšší z hodnot  $V_m$  stanovených z ND zkoušek a podle tab. 8. Pokud nejsou k dispozici podrobnější údaje, uváží se hodnoty  $V_{\text{geo}}$  a  $V_{\theta R}$  v obvyklých případech podle tab. 8.

Zohlednění  $V_{\text{dod}}$  vede například u ohýbaného ocelového prvku ke zvýšení dílčího součinitele (a tedy snížení návrhové hodnoty) o 5 % v případě a) a o 12 % v případě b).

### 3.8.3. Směrná úroveň spolehlivosti

Směrný index spolehlivosti  $\beta$  může stanovit správce mostu nebo může být stanoven podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038. Podle ČSN 73 0038 lze směrné úrovně spolehlivosti pro existující konstrukci v řádně odůvodněných případech snížit v porovnání s požadavky na nově navrhované konstrukce. Toto odůvodnění může vycházet z ekonomického a/ nebo společenského hlediska a/ nebo z hlediska udržitelnosti. Je možné rozlišovat:

- minimální směrné úrovně spolehlivosti, které udávají požadavek na zesílení konstrukce a které mohou být v odůvodněných případech nižší než směrné hodnoty pro nové konstrukce,
- směrné úrovně spolehlivosti pro optimální zesílení – tyto úrovně jsou obvykle stejné jako směrné úrovně pro nové konstrukce.

Podle ČSN 73 0038 lze směrnou úroveň spolehlivosti a kritéria přijatelnosti stanovit na základě příslušných funkcí mezních stavů a výstižných modelů základních veličin. Směrné úrovně lze stanovit ekonomickou optimalizací, kalibrací k návrhovým postupům vedoucím k uspokojivé spolehlivosti a na základě požadavků na bezpečnost uživatelů (ČSN ISO 2394).

Při stanovení směrné úrovně spolehlivosti konstrukce se mají uvážit příslušná hlediska, která zahrnují:

- možnou příčinu nebo způsob, jakým se mezního stavu dosáhne; např. pokud může dojít k náhlému zřícení nosného prvku, musí se tento prvek navrhnout na vyšší úroveň spolehlivosti než prvek, u kterého vlastnímu zřícení předchází určité známky porušení umožňující provést potřebná opatření (viz ČSN EN 1991-1-7);
- velikost následků poruchy vyjádřenou na základě pravděpodobnosti ztráty lidských životů, zranění, očekávaných ekonomických, sociálních nebo ekologických ztrát a rozsahem společenské závažnosti včetně ztráty kulturních hodnot;
- předpokládanou reakci veřejnosti na uvažovaný typ poruchy s ohledem na sociální a ekonomické podmínky;
- velikost nákladů na opatření, která jsou potřebná pro snížení pravděpodobnosti poruchy.

Je možné volit odlišné hodnoty indexu  $\beta$  pro různé prvky mostu (například nižší hodnotu pro sekundární prvky, jejichž porucha nezpůsobí významné ekonomické následky ani neohrožuje bezpečnost uživatelů).

Pro významné památky je možné požadavek na vyšší směrnou úroveň spolehlivosti nahradit vhodným bezpečnostním opatřením, například monitorováním, omezením přístupu osob, omezením provozu apod. Doporučuje se přitom spolupracovat s odborným pracovištěm.

Při klasifikaci následků je potřebné přihlídnout i k následkům vyvolaným opravou včetně důsledků omezení provozu konstrukce.

### 3.9. Požadavky na numerický model mostu

Přepočet mostního objektu musí vždy obsahovat:

- technickou zprávu k přepočtu mostního objektu,
- vlastní přepočet mostního objektu,
- přehled zatížitelnosti (viz příloha E).

Součástí technické zprávy k přepočtu mostního objektu jsou zejména:

- identifikační údaje mostního objektu,
- vymezení částí mostního objektu, které jsou předmětem přepočtu, resp. vyčlenění těch částí mostního objektu, kterých se přepočet netýká,
- přehled podkladů použitých při zpracování přepočtu mostního objektu včetně souvisejících norem, směrnic a další použité literatury,
- údaje o základních geometrických parametrech mostního objektu s uvedením zdroje dat,
- údaje o fyzikálně-mechanických vlastnostech použitých materiálů s uvedením zdroje dat,
- údaje o geometrické poloze koleje na mostě a kvalitě jízdní dráhy, nebo stavu a tloušťce vozovky,
- datum zjištění skutečného stavu mostního objektu,
- přehled zjištěných závad a poruch mostního objektu,
- upozornění, které závady a poruchy mostního objektu nejsou v přepočtu zohledněny, protože se předpokládá jejich odstranění údržbou nebo opravou,
- podmínky a/nebo doporučená opatření pro další provoz mostního objektu (způsob odstranění závad nebo poruch, ověření chování konstrukce zatěžovací zkouškou nebo dlouhodobým sledováním, návrh na zesílení kritických konstrukčních prvků apod.),
- základní údaje o použitých softwarových produktech.

Součástí vlastního přepočtu mostního objektu je zejména:

- dispoziční výkres mostního objektu,
- přehled uvažovaného zatížení a jeho začlenění do jednotlivých zatěžovacích stavů,
- přehled kombinací zatížení uvažovaných při stanovení zatížitelnosti,
- popis výpočtového modelu mostního objektu, jakož i zdůvodnění jeho výběru, popis okrajových podmínek, uložení, modelování přípojů jednotlivých prvků, dále popis zohlednění excentricit, případných nelinearit, změn průřezových charakteristik vlivem koroze apod.,
- posouzení všech rozhodujících prvků v přehledné formě včetně vyhodnocení,

Vlastní přepočet mostního objektu musí být kontrolovatelný. V případě přepočtu stávajícího mostního objektu s poruchami, které nebudou odstraněny údržbou nebo opravami, je nutné uvést způsob zohlednění poruch v použitém výpočtovém modelu mostního objektu a v modelech únosnosti jeho příslušných průřezů a prvků. V odůvodněných případech může být požadavkem správce provedení přepočtu mostního objektu s poruchami i bez nich. Přepočet pak může sloužit jako podklad k rozhodnutí, zda přistoupit k odstranění poruch (zvláště u poruch obtížně odstranitelných).

Pro globální analýzu ocelových konstrukcí stávajících mostů se mají přednostně používat prostorové výpočtové modely umožňující přesnější vystižení skutečného působení a současně i zohlednění případné redistribuce vnitřních sil v důsledku imperfekcí a poruch prvků a částí ocelové konstrukce mostu. Použití zjednodušených rovinných výpočtových modelů lze uvažovat zejména v souvislosti s kontrolními a ověřovacími výpočty nebo pro posouzení některých specifických případů, které nelze vystihnout pomocí primárních prostorových (prutových) modelů. Pokud se celá konstrukce modeluje pomocí jednodušších submodelů, má se její prostorové působení vždy zohlednit jiným způsobem.

Ve výpočtovém modelu je nutno uvážit i lokální vyztužení prutových prvků a jejich vzájemné propojení, například styčnickovými plechy. Zejména u příhradových konstrukcí je tento efekt velmi významný (typicky přípoj svislice – příčník, svislice – příčník – horní či dolní pás). Styčnickové plechy lze zohlednit úpravou průřezu v místě styčnickového plechu nebo deskostěnovými lokálními prvky reprezentujícími styčnickový plech.

Tuhost styčníků ve výpočtovém modelu může významným způsobem ovlivňovat vnitřní síly, a to zejména ohybové momenty na konstrukci. Tento vliv je nejvýznamnější pro prvky mostovky a pro příhradové konstrukce. Z tohoto důvodu v odůvodněných případech (tedy pokud tuhost styčníků má vliv na zatížitelnost nosné konstrukce) je doporučeno modelovat styčnický tak, aby jejich tuhost odpovídala reálnému působení. Toho lze docílit nejlépe nejpřesněji analýzou podrobných nelineárních modelů styčníků, které zohlední chování spojovacích prostředků, lokální plastifikaci v jejich okolí a detailní chování částí styčnicku. Výsledně zjištěnou počáteční tuhost styčnicku lze následně zavést do výpočtového modelu.

Je nutno ale upozornit, že ve stabilitní analýze se musí respektovat tuhosti styčníků zavedené do modelu při globální analýze konstrukce.

Pro odhad tuhosti nýtovaných styčnicku lze orientačně využít prediktivní regresní vztah, odvozený na základě série podrobných výpočtů, uvedený v S5/I.

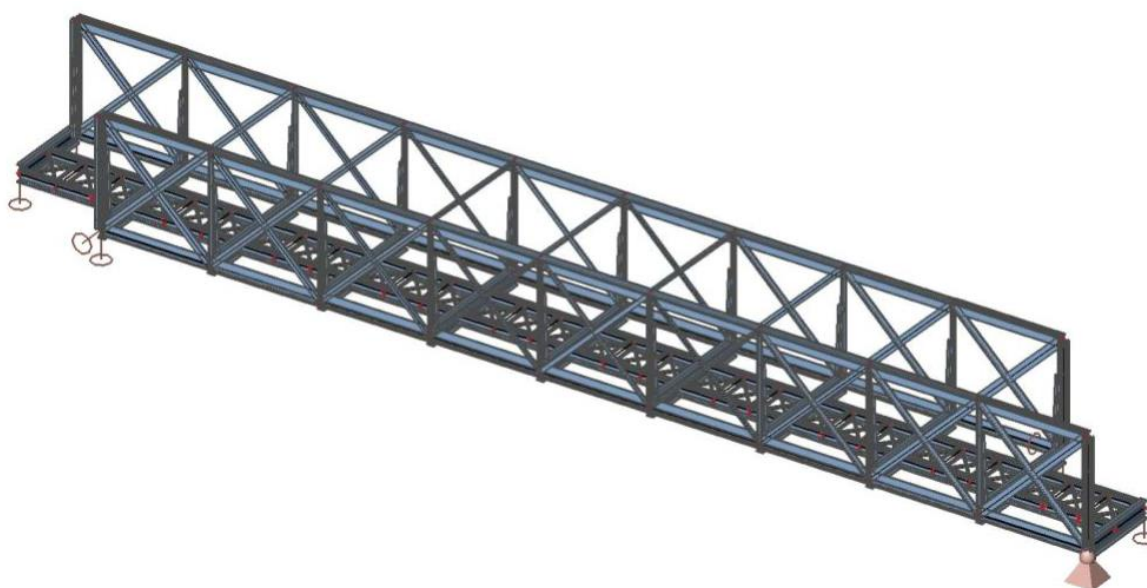
V globálním modelu a pro posouzení prvků je nutné zohlednit excentricity prutů v přípojkách, které vyvolávají přidavné momenty na prutech. Typickými příklady jsou diagonály ztužení, připojené nesymetricky na styčnickový plech, záměrné excentricity prutů příhrady hlavního nosníku a další. U štíhlých prutů je vliv podružných momentů velmi významný.

Pokud se členěný prut (například dvojice U profilů) modeluje v globálním modelu jedním prutem (např. tvořeným dvěma U profily), je při zadání průřezu do modelu nutno

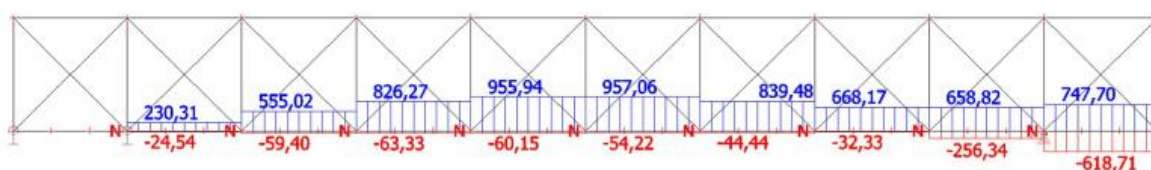
v odůvodněných případech (tedy pokud zatížitelnost předmětného prutu je rozhodující pro zatížitelnost nosné konstrukce, resp. hlavního příhradového nosníku) zohlednit vliv snížené ohybové a smykové tuhosti ve směru spojek (rámových či příhradových). Tato snížená tuhost v důsledku redukuje velikost podružných ohybových momentů zejména u příhradových konstrukcí a odpovídá reálnému působení. Zohlednění snížené tuhosti lze stanovit na základě postupů dle ČSN EN 1993-1-1 pro určování tuhosti členěných prutů nebo lze pro stanovení tuhosti využít dílčí podrobné deskostěnové modely daného prutu.

Při modelování ložisek je nezbytné zohlednit jejich konstrukční vůli či reálnou tuhost v ložisku, současně i s tuhostí spodní stavby. Zohlednění lze provést pomocí nelineární funkce v uložení, nebo pružným uložení, kde tuhost uložení se stanoví tak, aby při návrhovém příčném či podélném zatížení byl vyvozený posun odpovídající cca 1 - 2x vůli v ložisku. Správné zohlednění tuhosti spodní stavby a vůlí ložisek je významné zejména pro zatížení mostu větrem, pro kroucení mostu vlivem nesymetrického zatížení, nebo při posouzení interakce most – kolej.

Stará ocelová pevná ložiska mají v uložení konstrukční vůli, která je obvykle až 5 mm. Při působení zatížení tedy dojde nejprve k zatížení, překonávajícímu tření, dále k prokluzu, a až následně fungují jako pevná. To ukazuje, že nelze toto ložisko zadat do modelu jako pevné, neboť to neodpovídá skutečnosti. Pokud je na jedné opěře zadána dvojice ložisek jako pevná, u úzkých mostů dochází k vetknutí mostu na vodorovné účinky větru a vzniku značných reakcí, a i namáhání mostu či vodorovného ztužení. Toto chování však neodpovídá skutečnosti. Tento problém byl nalezen na řadě modelů. Ukázka je na obrázku níže, kde jsou patrná 2 pevná ložiska. To vede k síle v dolním pase, která je tlaková, a podobná jako tah uprostřed rozpětí. I pokud bychom připustili malou vůli v ložisku, není běžné ložisko uložené na olovu takovou sílu schopno přenášet, dojde k jeho posunu a vymizení tlakové síly.



Obr. 30 Most, na pravé straně chybně dvě pevná ložiska



Obr. 31 Důsledek chybného modelu – síla v dolním pase u opěry je blízka síle uprostřed rozpětí !

Dynamická globální analýza ocelového mostu se má provést pouze v případech definovaných v ČSN EN 1993-2. V běžných případech, kdy se dynamická analýza mostu nepožaduje, je možné dynamické účinky zatížení zohlednit pomocí dynamického součinitele. Při globální analýze s využitím prostorových výpočtových modelů je však nutná správná aplikace odlišného dynamického součinitele zatížení pro globální odezvu celé nosné konstrukce a lokální odezvu jejích dílčích prvků (např. spolupůsobení mostovek s hlavními nosníky).

Odezva na zatížení se při globální analýze ocelové konstrukce mostu stanoví vždy pružnostní metodou za předpokladu pružného chování materiálu bez ohledu na úroveň zatížení. Obvykle je možné aplikovat pružnostní globální analýzu prvního řádu s počátečním tvarem konstrukce. Vliv přetvoření konstrukce (účinky teorie druhého řádu) se má uvážit, pokud významně zvětšuje účinky zatížení nebo významně mění chování konstrukce.

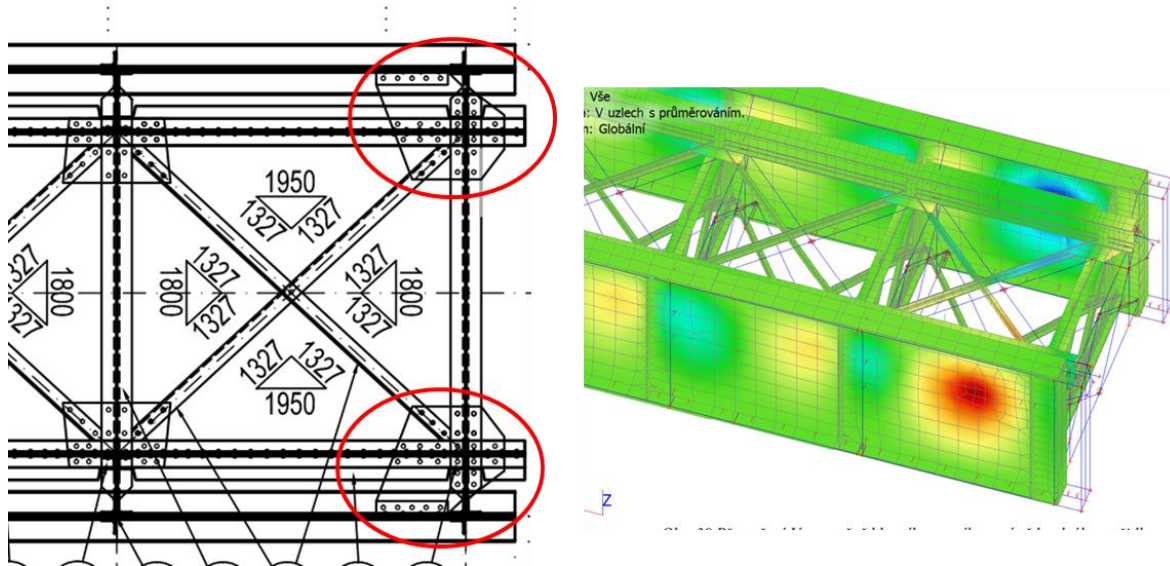
Při globální analýze se požaduje zohlednit vliv podstatných imperfekcí prvků a částí ocelové konstrukce mostu, kterými jsou u stávajících mostů i případné poruchy. Tvar a velikost imperfekcí, které mohou evidentně ovlivnit zatížitelnost, se mají získat přímým zaměřením na konstrukci. Hlavními představiteli těchto imperfekcí jsou zejména:

- zřetelná globální vybočení prutových soustav tvořících jeden celek (například oblouky obloukových mostů nebo tlačené pásy otevřeně uspořádaných mostů),
- výrazné deformace nosných prvků a částí ocelové konstrukce mostu od nárazů dopravních prostředků,
- chybějící prvky nebo části prvků (chybějící ztužidla apod.),
- zkorodované průřezy nosných prvků s výrazným úbytkem jejich průřezové plochy na takové délce, která může mít vliv na redistribuci silových účinků do jiných prvků.

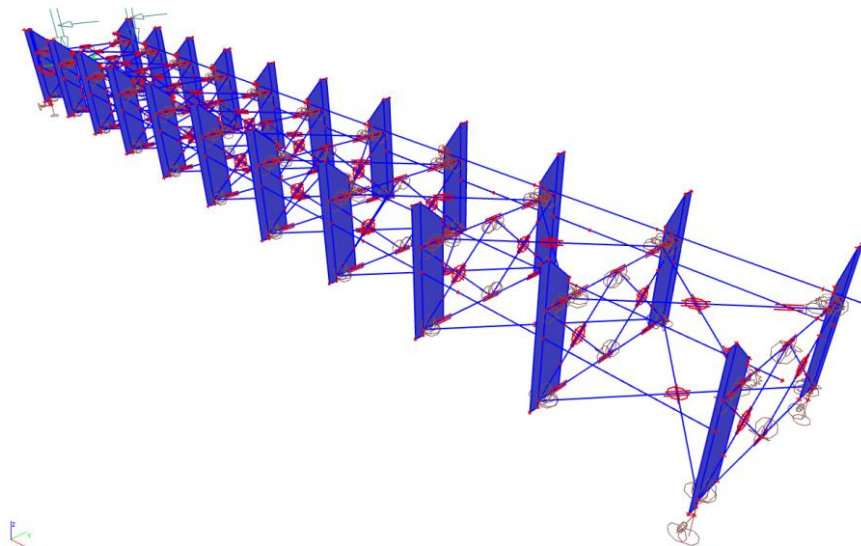
V přepočtu ocelové konstrukce stávajícího mostu se požaduje vždy uvést, které zjištěné poruchy a imperfekce byly v jeho výpočtovém modelu při globální analýze zohledněny a které se odstraní údržbou nebo opravami a nemají tak na zatížitelnost mostu vliv.

Kromě výrazných případů koroze uvedených je možné korozivní úbytky zohlednit jen při stanovení únosnosti průřezů redukcí tloušťek příslušných částí průřezů při respektování skutečného průběhu zkorodování po délce prvku.

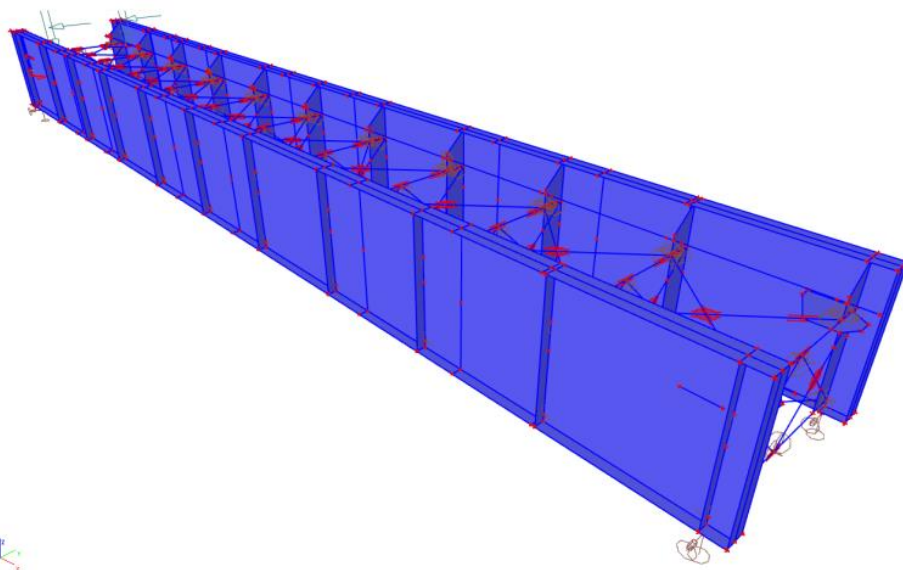
Při globální analýze desko-stěnových nosných konstrukcí se musí zohlednit vliv ochabnutí normálových napětí v širokých deskových pásech vlivem smyku (smykové ochabnutí). Pokud se nepostupuje s využitím desko-stěnových finitních modelů, je možné účinky smykového ochabnutí v pásech zohlednit pomocí účinné šířky. Ukázka kombinace prutového a deskostěnového modelu je na následujícím obrázku. Zde byl prutový model použit pro posudek hlavního nosníku, pro ztužení pak byl využit deskostěnový model. Ten pak i ukázal omezenou funkčnost brzděného ztužidla, vlivem nevyztužení stojiny hlavního nosníku.



Obr. 32 Detail brzdného ztužení a související lokální namáhání stojiny



Obr. 33 Ukázka prutového modelu, posudek hlavních nosníků



Obr. 34 Ukázka deskového modelu, posudek hlavních nosníků

V případě, že je zatížitelnost ocelové konstrukce nebo její části významně limitována únosností některých velmi štíhlých tlačných prvků, je možné při globální analýze ocelové konstrukce zvážit možnost vynechání těchto prvků po dosažení jejich příslušné únosnosti, ovšem za předpokladu, že je možná redistribuce vnitřních sil a zbývající části konstrukce jsou schopné dále přenášet působící zatížení. Konzervativně je možné daný prvek vyloučit již na začátku globální analýzy. Současně je nutno uvážit vliv pokritického chování vyloučeného prvku na namáhání, a tedy i na zatížitelnost zbývajících částí ocelové konstrukce.

### 3.10. Využití SZZ a DZZ pro validaci modelu

Při plánování a provádění experimentálního ověření mostu (při podrobném stanovení zatížitelnosti) za účelem validace výpočtového modelu se doporučuje postupovat podle ČSN 73 6209. Nicméně vzhledem k možnostem provádění měření je možné po dohodě zpracovatele přepočtu a odborného útvaru zadavatele některé požadavky ČSN 73 6209 na statickou či dynamickou zatěžovací zkoušku redukovat či modifikovat. Takto modifikovanou zkoušku, nespĺňující požadavky ČSN 73 6209 sloužící validaci výpočtového modelu, označujeme jako studijní zkoušku mostu podle ČSN 73 6209, statickou či dynamickou. Dynamickou zkoušku pak můžeme podle ČSN 73 2044 dále rozdělit na dynamickou zkoušku zatěžovací a informativní (též tzv. experimentální modální analýzu).

Cílem statické studijní zkoušky je zejména:

- získat podklady pro ověření statické funkce nosné konstrukce,
- ověřit přiléhavost výpočtových modelů a jeho vstupních charakteristik,
- získat charakteristiky konstrukce potřebné pro provedení přepočtu či jeho zpřesnění,
- ověření spolehlivosti a kvality konstrukce v mezních stavech použitelnosti,
- získat referenční deformační stav mostu tak, aby bylo další měření v budoucnu porovnávat a vyhodnocovat s ohledem na riziko poruch a závad,
- zjistit případné závady a poruchy na základě sledování konstrukce.

Základním účelem studijní dynamické zatěžovací zkoušky je stanovit charakteristiky vynuceného kmitání zkoumaného existujícího mostního objektu. Mezi cíle patří zejména:

- získat podklady pro ověření a posouzení dynamického chování zkoumaného mostního objektu,
- ověřit výstižnost teoretického modelu použitého pro výpočet dynamického chování vyšetřovaného mostního objektu a získat podklady pro jeho upřesnění,
- prověřit, zda při provozu zkoumaného mostního objektu nedochází k nadměrnému dynamickému namáhání důležitých konstrukčních částí z hlediska mezního stavu únosnosti,
- prověřit, zda při provozu zkoumaného mostního objektu nedochází k nadměrným vibracím některých konstrukčních částí z hlediska mezního stavu použitelnosti,
- prověřit, zda nedochází k nadměrnému zrychlení mostu podle článku A2.4.4.2.1 (4) P z přílohy A2 normy ČSN EN 1990 ed.2,
- získání spekter napětí pro posouzení únavové životnosti konstrukce na základě sledování reálné dopravy.

Mezi cíle dynamické informativní zkoušky (experimentální modální analýza) patří zejména:

- získat podklady pro ověření a posouzení dynamického chování zkoumaného stávajícího mostního objektu,
- ověřit potenciální riziko vzniku rezonančního kmitání celé nosné konstrukce mostu nebo některého jeho konstrukčního prvku,



- získat charakteristiky nosné konstrukce potřebné pro provedení dynamického výpočtu či jeho zpřesnění,
- ověřit výstižnost, provést verifikaci, identifikaci či validaci výpočtového modelu použitého pro výpočet dynamického nebo statického chování vyšetřovaného mostního objektu například za účelem stanovení jeho zatížitelnosti,
- získat podklady pro hodnocení skutečného stavu mostního objektu po jeho poškození a při jeho opravě,
- detekovat a lokalizovat závadu nebo poruchu zkoumaného mostního objektu,
- ověřit účinnost dílčí opravy, rekonstrukce či konstrukční úpravy mostního objektu,
- získat podklady pro kontrolu mostního objektu a pro různé případy pochybností o jeho skutečném stavu.

### 3.10.1. Podklady pro studijní zkoušku mostu

Pro provedení studijní zkoušky mostu je nutno vždy zpracovat podklady. Jejich rozsah vychází z kap. 5 ČSN 73 6209, ale doplní se o další požadované specifické výstupy. Zpracování podkladů musí vycházet ze zpracovaného výpočtového modelu nosné konstrukce, kde se rovněž stanoví předpokládané rozsahy měřených hodnot pro správnou volbu a nastavení snímačů. Je velmi účelné, aby zpracování podkladů probíhalo ve spolupráci s měřicí organizací, s ohledem na správnou interpretaci požadavků a cílů měření.

Oproti požadovaným měřeným veličinám v kap. 6.3 ČSN 736209 se doporučuje dále měřit:

- vodorovné posuny ložisek, a to pro ověření jejich funkce a případné podchycení prokluzu v rámci pevného ložiska,
- poměrná přetvoření ve významných částech konstrukce,

Naopak lze většinou s ohledem na dlouhodobou konsolidaci základů zanedbat pokles podpěr, pokud tyto nejeví známky poruch.

Doporučuje se provádět videozáznam průběhu zkoušky s ohledem na lepší vyhodnocení měřených dat, zejména pokud se používá skutečného železničního provozu. Kvalita a rozsah videozáznamu by mělo umožnit identifikaci řazení vozů a v případě osobní dopravy alespoň odhadnout množství převážených osob, pokud to typ skel vlaků na trati umožňuje.

Obvykle lze upustit od geodetického zaměření nosné konstrukce před a po provedení statické a dynamické zatěžovací zkoušky.

#### 3.10.1.1. Osazení snímačů poměrného přetvoření při studijní zkoušce

Místa pro měření poměrného přetvoření je nutno vybrat na dané nosné konstrukci tak, aby bylo ověřeno její prostorové chování a bylo jej možno porovnat s předpoklady výpočtu. Poloha snímačů přetvoření vychází z požadavků statického výpočtu a zejména z nejistot při zpracování výpočtového modelu. Doporučuje se provedení tenzometrického měření zejména na prvcích popsanych níže, kde bývají největší nejistoty ve výpočtovém modelu.

#### **Trámové plnostěnné mosty:**

- horní a dolní pásnice hlavních nosníků uprostřed rozpětí, u spojitých konstrukcí i nad podpěrou, u symetrických a přímých konstrukcí a symetrického zatížení může postačovat osazení jednoho hlavního nosníku,
- u roštových trámových konstrukcí horní a dolní pásnice u všech nosníků v jednom řezu pro stanovení příčného roznosu zatížení.

#### **Trámové příhradové mosty:**

- diagonály hlavního nosníku, s ohledem na zjištění torzního chování mostu, případně i pro zjištění rozkmitů napětí, které u diagonál bývají významné, volba měřených diagonál se stanoví na základě statické analýzy mostu,
- horní a dolní pas v místě maximálního momentu v poli a nad podporou.

#### **Prvková mostovka mostů trémových i obloukových:**

- druhý krajní, či koncový příčník uprostřed jeho rozpětí a blízko napojení na hlavní nosník, a to pro stanovení svislého i vodorovného ohybového momentu, pro stanovení tuhosti přípoje hlavní nosník – příčník a míry namáhání v důsledku spolupůsobení mostovky s hlavním nosným systémem,
- podélník v poli a v místě připojení na příčník, s ohledem na zjištění míry jeho spojitosti.

#### **Ocelobetonové mosty**

- Pokud existuje pochybnost o spřažení, doporučuje se osadit snímače na pásnice hlavního nosníku a na žb desku, na základě průběhu napětí ověřit typ konstrukce.

V rámci příčného řezu měřeného prvku se doporučuje osadit snímače přetvoření na oba okraje horní a dolní pásnice tak, aby bylo možné ze zjištěných dat zjistit svislý i vodorovný ohybový moment a normálovou sílu. V případě prvku dominantně svisle ohýbaného lze osadit snímače do jeho osy, kde napětí od příčného momentu je nulové, a měřit pouze přetvoření od dominantního svislého ohybu.

Pokud existuje podezření na nekompaktní průřez, například z důvodu ztráty předpětí nýtů na krčním úhelníku, je nutno osadit snímače přetvoření i na jeho stěnu.

Umístění snímačů přetvoření musí být koncipováno v částech s konstantním průřezem prvku tak, aby nedocházelo k ovlivnění měření lokální napjatostí (např. diafragmaty, výztuhami, šrouby, nýty, svary, lokální změnou geometrie apod.). Z obdobného důvodu se doporučuje odsadit měřená místa v ose uložení mimo oblast ovlivněnou lokálním svislým napětím nad ložiskem.

Při využití snímačů přetvoření se zejména u mostů budovaných před rokem 1905 doporučuje provést zkoušku základního materiálu pro stanovení modulu pružnosti, neboť jeho reálná hodnota může kolísat mezi 190 – 210 GPa. Při jeho pouhém odhadu může dojít k nezanedbatelné chybě ve stanovení výsledného napětí. Vzhledem k nepřesnosti stanovení modulu pružnosti ze zkoušky tahem se doporučuje provedení samostatné zkoušky ohybem.

#### **3.10.1.2. Měření průhybů při studijní zkoušce**

Pro měření průhybů se doporučuje využít následující metody měření:

- **Průhyboměry.** Průhyboměry se používají především k měření ze spodního líce nosné konstrukce, kde je třeba upevnit měřící drát. Jako závěsy se běžně používají invarové, popř. ocelové dráty. Drát je pro statické měření zatížen závažím, pro dynamické měření se používá napínání pružinou. V případě použití pružiny je nutné provést kalibraci přípravkem s ohledem na zohlednění vlivu průhybu na zkrácení pružiny a ztrátu napínací síly, která se projeví pružným zkrácením drátu (při nezohlednění se může výsledná chyba pohybovat až v desítkách procent). Pro samotné měření se obvykle používají potenciometrické nebo indukční snímače deformace s volným jádrem. Přesnost se pohybuje v setinách až desetínách milimetru.
- **Optické geodetické metody.** Optické systémy jsou běžným způsobem sledování jak svislých deformací mostů, tak jejich polohy. Nivelační přístroj se umísťuje mimo most, v měřeném místě se pak umístí nivelační lať, používá se metoda velmi přesné nivelace. Výhodou je rychlost aplikace a netečnost k podmínkám pod mostem. K nevýhodám patří snižující se přesnost měření s délkou záměry, ovlivnění klimatickými podmínkami,

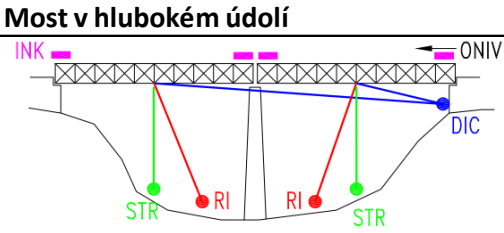
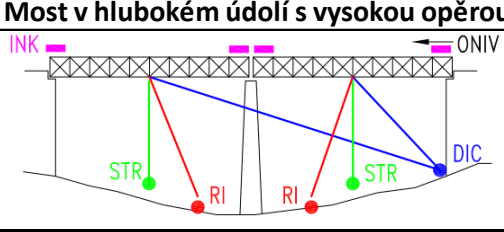
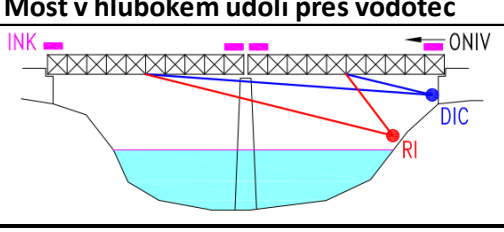
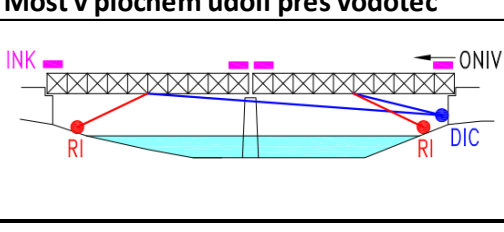
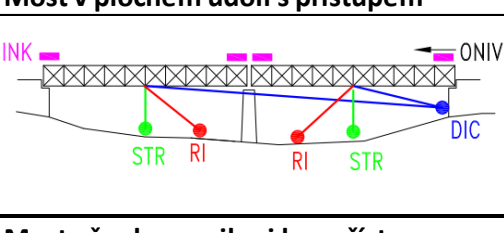
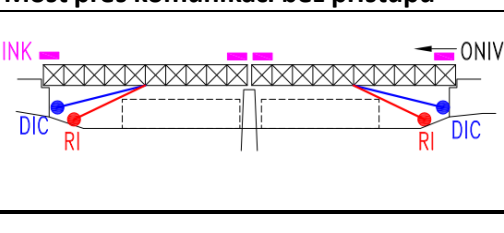
a především malý počet reálně souběžně měřených míst. S ohledem na časovou náročnost nelze metodu použít pro dynamické zkoušky. Přesnost se pohybuje v desetinách milimetru.

- **RI - Radarová interferometrie.** Metoda radarové interferometrie je metoda, která umožňuje sledovat svislé průhyby mostů v několika bodech současně. Instalace zařízení a příprava je velmi jednoduchá a rychlá. Pohyby mostu lze snímat dynamicky s vysokou snímací frekvencí, přičemž snímán je pohyb mostu ve směru k radaru. Na základě geometrie a předpokladu průhybu mostu je odvozen svislý průhyb. Nevýhodou je nevhodnost a související nepřesnost měření pro mosty s malou výškou nad terénem, kdy nelze ustavit radar ve vhodném úhlu k mostu. Měření může být ovlivněno i podélnou či příčnou deformací, tu je nutné eliminovat vhodným umístěním radaru. Přesnost se pohybuje od setin do desetin milimetru,
- **DIC – Digitální korelace obrazu.** Pro toto měření je třeba použít dvě či více kamer, snímajících sledovaný objekt. Na konstrukci jsou pak osazeny terčíky se známou vzdáleností bodů, které jsou s vhodnou vzorkovací frekvencí snímány. Lze využít většího množství kamer souběžně. Následně jsou pořízené fotografie digitálně zpracovány a převedeny do svislých či vodorovných deformací. Touto metodou lze měřit staticky i dynamicky. Přesnost měření se obvykle pohybuje v desetinách milimetru. Metoda je výhodná zejména tam, kde není možno zajistit přístup pod most a také v případech, kdy je třeba zaznamenat deformace většího počtu bodů kolmo k záměře kamery, jako např. mosty nízko nad terénem.
- **Měření náklonů.** Pro měření náklonů se používají velmi přesné inklinometry. Na základě náklonů a znalosti charakteru deformace, stanovené numerickým výpočtem, lze pak stanovit průhyb mostu. Jedná se o nepřímou metodu, jejíž využití se doporučuje v případech, kdy nelze efektivně využít výše uvedené metody, nebo naopak efektivně pro dlouhodobé sledování konstrukce, kdy je deformační křivka mostu již známa. Přesnost se pohybuje až v desetinách milimetru, v závislosti na přesnosti stanovení deformační křivky. Zásadní podmínkou použití je validace numerického modelu na základě zkušebního zatížení a naměřených náklonů, pouze u konstrukcí s konstantní tuhostí a staticky určitým působením lze deformační křivku teoreticky odvodit.

Z hlediska volby metody lze použít doporučení, uvedené v tab. 9. Obecně se doporučuje, pokud je to možné, použít klasických průhyboměrů. Pokud jejich využití není možné, volí se jiná metoda podle tab. 9. Při zpracování podkladů pro zkoušku je nutno si uvědomit, že při použití jiné metody, než průhyboměrů či geodetických metod (které nelze využít pro dynamická měření), se snižuje maximální možný počet měřených míst. Současně volba metody jako jsou inklinometry, DIC a radarová interferometrie určuje volbu měřicí organizace, případně vyvolává nutnost kooperace více organizací při měření. Důvodem je, že tyto technologie vlastní nezávisle na sobě omezené množství organizací.

Dále se obecně doporučuje provádět kontinuální záznam deformace dostatečnou vzorkovací frekvencí či i případných dalších veličin i při statické zatěžovací zkoušce.

Tab. 9 Vhodnost metod měření průhybu

	Vhodnost	Dyn.měř.	Stat.měř.	Env.vl.	Model	
<b>Most v hlubokém údolí</b> 	DIC	++	++	++	A	N
	RI	++	++	++	N	N
	STR	-	+	+	A	N
	ONIV	+	0	+	A	N
	INK	+	+	+	N	A
<b>Most v hlubokém údolí s vysokou opěrou</b> 	DIC	+	+	+	A	N
	RI	++	++	++	N	N
	STR	-	+	+	A	N
	ONIV	+	0	+	A	N
	INK	+	+	+	N	A
<b>Most v hlubokém údolí přes vodoteč</b> 	DIC	++	++	++	A	N
	RI	++	++	++	N	A/N
	STR	0	0	0	0	0
	ONIV	+	0	+	A	N
	INK	+	+	+	N	A
<b>Most v plochem údolí přes vodoteč</b> 	DIC	++	++	++	A	N
	RI	+	+	+	N	A
	STR	0	0	0	0	0
	ONIV	+	0	+	A	N
	INK	+	+	+	N	A
<b>Most v plochem údolí s přístupem</b> 	DIC	++	++	++	A	N
	RI	+	+	+	N	N
	STR	++	++	++	N	N
	ONIV	+	0	+	A	N
	INK	+	+	+	N	A
<b>Most přes komunikaci bez přístupu</b> 	DIC	++	++	++	A	N
	RI	+	+	+	N	A
	STR	0	0	0	0	0
	ONIV	+	0	+	A	N
	INK	+	+	+	N	A

**Legenda:** DIC – digitální korelace obrazu, RI – radarová interferometrie, STR – strunové průhyboměry, ONIV – optická nivelace, INK – inklinometry, ++ - metoda velmi vhodná, + - metoda je využitelná, - - metoda podmíněně použitelná, 0 – metodu nelze použít, env. vl. – metoda může být ovlivněna environmentálními vlivy (světlo, vítr, teplota), model - pro použití metody je/není nutný numerický model s predikcí deformací, A – ano, N - ne

### 3.10.1.3. Zkušební zátěž

Jako zkušební zátěže se doporučuje přednostně využití nákladních vozidel a lokomotiv, kde lze využít jejich známé hmotnostní parametry nebo jejich zvážené parametry. Dále lze využít zatěžování reálnou dopravou, kde po provedení zkoušky lze zjistit hmotnost vozidel ze systému COMPOST, kde jsou uvedeny parametry hnacího vozidla, typy převážených vozů včetně jejich naložení. Při využití těchto údajů je nutno uvážit nejistotu v hmotnosti provozních náplní, které se obvykle pohybují v rozmezí 3-6 % hmotnosti hnacího vozidla. Údaje o osobních vozech lze s ohledem na nejistotu obsazení využít v omezené míře. Snímání kamerou je s ohledem na častou reflexní úpravu skel obtížně použitelné k odhadu obsazenosti.

Doporučuje se dosáhnout v maximální možné míře účinnosti zatížení alespoň 0,5 vůči známé přechodnosti či zatížitelnosti, je-li to s ohledem na možnosti zajištění břemene, přechodnosti trati a možnosti výluk možné. Požadavky na minimální účinnost závisí na cílech zkoušky, velikosti deformací a dalších veličin ve vztahu k použitým snímačům, míře vzájemného spolupůsobení prvků, které mohou ovlivnit tuhost konstrukce a srovnání s reálným provozním zatížením. Dále je třeba přihlídnout k tomu, jaký prvek na mostě je zkoušen a stanovit účinnost zkoušky vzhledem k přechodnosti tohoto prvku.

Při modální analýze se dnes používají tyto základní postupy experimentálního buzení a následného určování charakteristik vlastního kmitání zkoušené konstrukce:

- použití řízené budící síly, například za pomoci vhodného budiče. Při vyhodnocování je naměřená dynamická odezva konstrukce normována k budící síle, která dynamickou odezvu vyvolala. Tato metoda je ideální, je však časově náročná a vyžaduje výluky na trati,
- použití přirozeného nahodilého dynamického zatížení dopravou. Toto buzení nevyžaduje zajištění výluky na trati, může však dojít k ovlivnění hmotnosti mostu hmotností dopravy (míra závisí na poměru hmotnosti vozidla a mostu), což má vliv na zjištěné frekvence. Vlastní kmitání po přejezdu, kdy již most hmotnostně ovlivněn není, bývá s ohledem na obvyklý útlum většinou krátké a nedostatečné pro vyhodnocení vlastních charakteristik,
- použití přirozeného nahodilého dynamického zatížení (např. proměnné zatížení větrem, mikroseismicita). Toto buzení má obvykle nižší účinnost, nevyžaduje však zajištění výluky na trati.

U všech popsaných metod je třeba uvážit, že velikost buzení konstrukce má vliv na chování mostu, s ohledem na prokluzu ve spojích, ložiskách a míře spolupůsobení prvků, což následně může mírně ovlivňovat vlastní frekvence a tvary.

### 3.10.2. Statické studijní zatěžovací zkoušky

Statické studijní zkoušky se provádí podle ČSN 73 6209. Pokud je to s ohledem na možnosti výluk účelné či nutné, lze redukovat dobu na  $T_2 = 5$  min. Podmínkou je však splnění požadavku odstavce B.4 výše uvedené normy. Zkoušku se doporučuje provádět za ustálených teplot.

Kritéria v odst. 7.1.4 (a) se stanoví informativně a uvedou v protokolu. V případě nesplnění podmínek 7.1.4.(b) se doporučuje zjištění příčiny před pokračováním zkoušky, u dlouhodobě provozovaných mostů toto nesplnění ukazuje na významnější poruchu nosné konstrukce.

### 3.10.3. Dynamické studijní zatěžovací zkoušky

Při dynamických studijních zkouškách prováděných v rámci diagnostiky stávajících mostních objektů se obvykle používá jejich přirozené dynamické zatížení, tedy u železničních mostů proměnné zatížení železniční dopravou.

Pro dynamické ověřovací zkoušky lze vedle výše uvedených typů přirozených dynamických zatížení použít i zatěžování, které simuluje běžný dopravní provoz na nosné konstrukci. Jedná se o vhodné zkušební vozidlo nebo skupinu vozidel, která se pohybují různými rychlostmi v jednom i druhém směru jízdy po mostovce mostu. Jezdí se rychlostmi 5, 10, 15, 20, 30 km·h<sup>-1</sup> až do dosažení maximální povolené rychlosti na trati nebo na mostním objektu.

Při využití reálného provozu je v závislosti na cílech zkoušky doporučuje měřit i rychlost vozidel na mostě. To lze provést např. pomocí tenzometrů, umístěných v definované vzdálenosti na kolejnice. Napěťové špičky a doba mezi nimi pak umožní odvodit rychlost jízdy.

Přejezdy se doporučuje doplnit u prvkových mostovek železničních mostů brzdovou zkouškou pro zjištění roznosu brzdného a rozjezdového zatížení do prvků mostovky. U brzdné zkoušky je nezbytné stanovit brzdou sílu pro srovnání s odezvou na nosné konstrukci. Tu lze zjistit buď pomocí videozáznamu, nebo snímáním polohy na koleji pomocí tenzometrů na stojině kolejnice a následně odvozenému zrychlení soupravy.

Zvláštním způsobem dynamické zkoušky je sledování namáhání konstrukce s ohledem na získání spekter napětí pro únavové posouzení. V tomto případě se doporučuje provádět monitoring v trvání minimálně 7 dní tak, aby bylo zajištěno získání reprezentativního složení dopravy v průběhu jednoho týdne. Současně je nutno sledovaná místa volit v místech, kde je posouzení únavové životnosti předpokládáno. Pro návrh i vyhodnocení se doporučuje konzultace s odborným pracovištěm.

**Dynamická studijní informativní zkouška (experimentální modální analýza).** Cílem dynamické informativní zkoušky je zjištění vlastních tvarů konstrukce a vlastních frekvencí. Základní požadavky definuje ČSN 73 6209. Upozorňuje se, že při provádění modální analýzy je vždy nezbytné měřit teplotu konstrukčních prvků, jejichž tuhost či modul pružnosti jsou závislé na teplotě, neboť může významně ovlivnit její výsledky. Jde například o tuhost asfaltových vrstev ochrany izolace či mrznutí kolejového lože.

Dále je třeba zohlednit při využití výsledků modální analýzy, že budící síla je v porovnání s únosností mostu velmi malá a do spolupůsobení se tedy zapojují prvky, které se běžně ve výpočtovém modelu neuvažují. Jde například o:

- tuhost kolejového lože, které v případě nového lože nebo v případě nízkých teplot a následném zamrznutí vlhkosti mezi zrny šterku vede k nezanedbatelnému zvýšení tuhosti, a tedy i vlastních frekvencí (jednoznačný podklad není k dispozici, dle existujících dynamických měření lze odhadovat vliv kolejového lože na tuhost NK ekvivalentním sečnovým modulem pružnosti  $E_{kl}=50-200$  MPa, v případě zmrzlého kolejového lože pak cca  $E_{kl}=1-2$  GPa),
- vliv spolupůsobení mostu s kolejí nebo s vozovkovými vrstvami, který zvyšuje jeho tuhost a následně vlastní frekvence,
- tření v ložisku, kdy vlivem malé budící síly nemusí dojít k překonání třecí síly a k posunu ložiska, což ovlivňuje jeho statické schéma,
- tuhost říms, podlah a zábradlí a jejich příspěvek k celkové tuhosti mostu.

Uvedené faktory mohou být velmi významné a je nutné je zohlednit při validaci výpočtového modelu mostu a porovnání vypočtených a změřených hodnot. Výsledně validovaný model je pak validován s ohledem na dynamickou analýzu nízkým zatížením. V dalším kroku je nutno odborným odhadem zhodnotit, které parametry se uplatní odlišným způsobem při zatížení na úrovni mezního stavu použitelnosti a únosnosti. Tyto parametry následně upravit (např. uvolnit posun v posuvném ložisku, snížit tuhost styčnicků a kloubů s ohledem na překonání tření, odstranit nevyužitelné prvky jako je zábradlí, podlahy atd.)

V případě využití modální analýzy jako základního měření pro detekci budoucího poškození je nezbytné měřit v co nejhustší síti bodů. Současně je nezbytné předem stanovit výpočtem projev různého poškození do vlastních charakteristik za účelem návrhu měřené sítě bodů.

#### 3.10.4. Vyhodnocení a interpretace výsledků

Při vyhodnocení výsledků se postupuje v souladu s ČSN 73 6209. Požaduje se, aby v přepočtu, pro nějž byla studijní zatěžovací zkouška provedena, bylo provedeno zhodnocení výsledků a porovnání experimentálně zjištěných údajů a údajů z numerického modelu. Dále se uvede, jakým způsobem byl model validován a jaké úpravy byly provedeny na základě zkoušek. Toto porovnání se provede:

- pro všechny úspěšně provedené zatěžovací a změřené stavy, přičemž pro každé měřené místo se provede minimálně jedno porovnání v jemu rozhodujícím stavu,
- v případě využití reálné dopravy pro zatížení se provede vyhodnocení a porovnání pro přejezdy vozidel nejtěžších, a současně nejlépe definovaných z hlediska geometrie a hmotnosti.

Pro statickou studijní zatěžovací zkoušku se vyhodnotí a porovnájí minimálně veličiny dle ČSN 73 6209:

- poměr změřených pružných složek  $S_e$  k teoreticky stanoveným veličinám  $S_{cal}$  podle 7.1.4.a)
- zhodnotí a odůvodní se případné velikosti trvalých složek  $S_r$  k celkovým hodnotám  $S_{tot}$ , s ohledem na příčinu vzniku. Pokud je splněna podmínka 7.1.4.b), může jít o vliv tření či naakumulovaných napětí. Při nesplnění této podmínky je třeba hledat příčinu i v poškozené konstrukci.
- Splnění podmínek 7.1.4.a) a 7.1.4.b) se kontroluje pouze pro kladné průhyby uprostřed rozpětí a v místech největších očekávaných průhybů každého mostního pole, a to při těch stavech, které vyvozují největší účinky. V ostatních sledovaných stavech a měřených místech se provede pouze porovnání.

Při studijní dynamické informativní a zatěžovací zkoušce se vyhodnotí a porovnájí minimálně následující veličiny podle 7.2.2 v ČSN 73 6209:

- vlastní tvary a jim příslušné frekvence, pro složitější konstrukce či pokud je shoda nejednoznačná, se doporučuje provést porovnání tvarů pomocí koeficientu  $MAC_{(j)}$ . Přičemž splnění podmínky dle 7.2.3 se doporučuje, ale nevyžaduje.
- logaritmický dekrement útlumu  $\theta$ , pokud je jeho hodnota využita v přepočtu,
- dynamický součinitel  $\delta_{obs}$ ; tento součinitel je nutno uvažovat pouze jako informativní, nelze jej použít pro přepočet (neboť v něm nejsou zahrnuty imperfekce a nedokonalosti kol, jako např. zbrošené nákolky, ani budoucí degradace jízdní dráhy a jejích imperfekcí), pokud je však  $\delta_{obs}$  větší než součinitel uvažovaný v přepočtu, je nutno analyzovat příčinu a zohlednit ji. Splnění podmínky 7.2.8. se nevyžaduje,
- případně další veličiny podle 7.2.2 a podle požadavků a cílů zkoušky.

Obecně při interpretaci výsledků je nutno uvažovat, že dobré shody experimentu a výpočtu lze dosáhnout většinou pouze pro globální veličiny, jako je průhyb NK, poměrného přetvoření na hlavním nosníku apod.

V případě lokálních veličin (např. poměrné přetvoření na příčnicku, podélníku, ztužení apod.) se do výsledků promítá mnoho faktorů, které lze v modelu obtížně postihnout. Jde například o vliv tření, nelineárního chování styčnic, vůlí ve spojích, vůlí v ložiskách. U namáhání podélníků se často projevuje vliv mezer pod mostnicemi a vlastní únosnost kolejnice, která přenáší část

zatížení dopravou. U příčníků se projevuje vliv vodorovných momentů, který je ovlivněn charakterem přípojů podélníku a příčníku.

Cílem validace modelu je tedy přiblížit se v maximálně možné míře reálnému globálnímu a lokálnímu působení mostu v maximální možné míře, a to za pomoci hlubokého pochopení fungování mostu.



## 4. Obnova a údržba PKO

Problematika protikorozní ochrany ocelových konstrukcí je obsáhlá a její konkrétní způsoby vychází především z úrovně znalostí pracovníků, kteří se tím zabývají. Neexistuje jednotný předpis pro její provádění. Konkrétní postup opravy korozních vad by měl provádět pověřený pracovník s příslušnou kvalifikací. Ten by měl být schopen určit, o jakou korozní vadu se jedná a jakou technologii předepsat pro opravu a údržbu.

Údržba ocelových konstrukcí je nekonečný problém, který je nutné řešit s ohledem na ekologické, technologické, a hlavně ekonomické možnosti. Cílem je zajistit bezpečnost a prodloužit životnost ocelových konstrukcí.

Povinnosti vlastníka pozemní komunikace, potažmo mostu na ní ležícího, definuje Zákon 13/1997 Sb. a podrobně upřesňuje vyhláška 104/1997, kterou se tento zákon provádí. Základní povinnosti vlastníka jsou:

- vést evidenci komunikace a objektů na komunikaci
- vykonávat správu komunikace a objektů na komunikaci, zahrnující zejména pravidelné prohlídky údržbu a opravy komunikace a všech objektů na ní.

Podrobné požadavky na rozsah jednotlivých úkonů, včetně odborné způsobilosti k jejich provádění, stanoví prováděcí předpis (vyhláška 104/1997 Sb.). Obecně platí, že pro výkon správy, evidenci, provádění prohlídek a přípravu oprav jsou závazné platné technické předpisy, tj. technické normy (ČSN EN a ČSN) a další technické předpisy (Technické kvalitativní podmínky MD ČR, Technické podmínky MD ČR apod.).

### 4.1. Kontroly mostů

V ČR je již cca 40 let zaveden systém kontroly mostů vyplývající z požadavků platné legislativy. Každá konstrukce musí být pravidelně sledována a hodnocena z hlediska zajištění bezpečnosti a spolehlivosti mostu. V případě, že nejsou požadavky na požadovanou úroveň bezpečnosti a spolehlivosti mostu splněny, navrhnou se v rámci prohlídky mostu taková opatření, kterými se požadovaná úroveň bezpečnosti zajistí. Takto stanovenými opatřeními se musí vlastník mostu následně řídit při výkonu správy a údržby mostu.

Z hlediska úrovně a podrobnosti kontroly mostů na pozemních komunikacích se rozlišují tyto základní typy prohlídek (viz ČSN 73 6221):

- **běžná prohlídka**, kterou se provádí běžný dozor nad stavem a bezpečností mostních objektů. Běžné prohlídky slouží jako podklad pro plánování údržby mostů a vykonávají se v intervalech v závislosti na stavebním stavu mostu, nejméně však jedenkrát za rok.
- **hlavní prohlídka**, kterou se provádí podrobný dozor nad stavem, spolehlivostí a bezpečností mostních objektů. Hlavní prohlídky slouží jako základní podklad pro správu, plánování údržby a oprav mostů. Hlavní prohlídky se vykonávají v intervalech v závislosti na uspořádání, materiálu a stavebním stavu mostu, nejméně však jedenkrát za 6 let.
- **mimořádná prohlídka**, kterou se provádí podrobný dozor nad stavem, spolehlivostí a bezpečností mostních objektů po výskytu mimořádných situací (povodně, nehody apod.) nebo v případě pochybností o stavu mostu.

Prohlídky mostů na pozemních komunikacích v ČR smějí podle platné legislativy vykonávat pouze odborně způsobilé osoby.

Kontrolou a údržbou ocelových konstrukcí, pozemních a inženýrských staveb se zabývá norma ČSN 73 2604:2012. Cílem kontroly povrchových úprav je zvýšení kvality protikorozní ochrany a následné prodloužení životnosti ocelových konstrukcí.

U mostních konstrukcí se vychází z normy ČSN 73 2603. Tato norma stanoví doplňující ustanovení pro provádění ocelových mostních konstrukcí, kterým musí odpovídat inženýrské dílo tak, aby plnilo funkci během životnosti, pro kterou bylo navrženo. Tato norma navazuje na ČSN EN 1090-2. Jedná se o stanovení: tříd provedení a pokynů k vypracování dokumentace, způsob přejímky konstrukcí, pokyny k provádění prohlídek ocelových konstrukcí nových, opravovaných nebo rekonstruovaných.

Hodnocení stavebního stavu železničních mostů se provádí pomocí tří stupňů 1 až 3. Podrobné pokyny pro provedení hlavní a podrobné prohlídky obsahuje předpis Správy železnic S5 Správa mostních objektů

Pro hodnocení aktuálního technického stavu a zbytkové životnosti konstrukcí a zařízení, se provádí analýzy stavu. Výsledkem je získání komplexních informací o technickém stavu, který umožňuje rozhodnout za jakých podmínek a jak dlouho je možno konstrukci bezpečně provozovat, případně jakým způsobem a kdy je potřeba provést opravu. Analýza PKO by měla začínat u kontrolních ploch na konstrukci, pokud jsou tyto kontrolní plochy stanoveny.

Kontrolní plochy PKO na konstrukci slouží:

- pro kontrolu správnosti údajů dodaných výrobcem nátěrových hmot nebo dodavatelem prací ke kontrole stavu povlaku v každém okamžiku po jeho zhotovení
- případně i pro účely záruky

Kontrolní plochy se zřizují u nové protikorozní ochrany, u údržbových nátěrů pouze pro velké plochy. Zhotovují se v místech, která jsou typická pro korozi namáhání konstrukce jako celku. Velikost a počet kontrolních ploch se stanovuje proporcionálně k velikosti konstrukce v rozmezí od 1 m<sup>2</sup> do 20 m<sup>2</sup> (ČSN EN ISO 12 944-7 a 8). Všechny kontrolní plochy musí být přesně zdokumentovány a trvale označeny.

Záznam o kontrolní ploše PKO by měl obsahovat:

- počet a tloušťky vrstev
- způsob přípravy povrchu
- údaje o použitých nátěrových hmotách
- technologie nátěru (způsob nanášení, doba zasychání jednotlivých vrstev a klimatické podmínky)

Postup při zpracování analýz:

- Získání veškerých dostupných informací o konstrukčním a technologickém provedení, provozních podmínkách a historii.
- Stanovení kritických míst konstrukce dle nejvýznamnějších degračních mechanismů.
- Zhodnocení historie provozu, stupně opotřebení a zbytkové životnosti konstrukce.
- Zpracování plánů údržby (oprav, kontrol a doporučení intervalů mezi jednotlivými kontrolami).
- Zhodnocení výsledků.

## 4.2. Údržba a opravy

Údržba a opravy vychází ze dvou principů. První je plánovaná životnost (pro celkovou obnovu), druhý plánovitě prováděné kontroly (viz předchozí kapitola). Na základě těchto

kontrol a s přihlédnutím k možnostem se provádějí opravy a další údržbářské zásahy. Volba vhodného typu (stupně) údržby závisí zejména na stavu korozního napadení.

V praxi se rozlišují tři druhy oprav:

- Malé (lokální opravy)
- Částečná oprava
- Obnova

Údržbu a následnou opravu konstrukcí si určuje každý vlastník sám na základě životnosti povrchové úpravy, ale také podle aktuálního stavu zjištěného při pravidelných kontrolách. Pro údržbu konstrukce je důležité znát původní povrchovou úpravu a její typ, aby byla zajištěna identita. Pokud to není možné, je nutné ověřit slučitelnost nátěrových hmot nebo provést konzultaci s výrobcem. Ověření přilnavosti (adheze) nátěrů a stavu PKO se provádí na kontrolní ploše přímo na konstrukci. Pro lokální opravy se musí zajistit vhodná penetrace, důkladně očištěný podklad a základní nátěr nanášený štětcem, často ve dvou vrstvách. Všechny druhy oprav musí vycházet, kromě protikorozní ochrany i z dalších podmínek zatěžujících konstrukci. O všech opravách a kontrolách je nutné vést kompletní dokumentaci.

Zatřídění ocelových konstrukcí z hlediska požadované spolehlivosti vychází z ČSN EN 1990:2004 podle třídy následků:

- **třída CC3:** velké následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo velmi významné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí  
příklady staveb: stadiony, budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruch vysoké – např. koncertní sály
- **třída CC2:** střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí  
příklady staveb: obytné a administrativní budovy určené pro veřejnost kde jsou následky poruch středně závažné – např. kancelářské budovy
- **třída CC1:** malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí  
příklady staveb: zemědělské budovy, kam lidé běžně nevstupují (např. budovy pro skladovací účely, skleníky)

Klasifikace konstrukcí mostů pozemních komunikací s ohledem na její spolehlivost (stavební stav) dle ČSN 73 6221:2018:

#### I. **Bezvadný**

II. **Velmi dobrý** – bez stop po korozi, barevná nejednotnost, zatekliny, fleky

III. **Dobrý** – lokální povrchové závady PKO na spojovacích prostředcích bez vlivu na funkci a odolnost spoje (do 1% plochy spojovacích prostředků vystavených okolnímu prostředí), lokální povrchové závady PKO bez vlivu na odolnost konstrukce (do 1% referenční plochy),

IV. **Uspokojivý** - lokální povrchová koroze spojovacích prostředků bez významného vlivu na funkci a odolnost spoje (do 5% plochy spojovacích prostředků vystavených okolnímu prostředí), lokální povrchová koroze (i důlková) základního materiálu bez významného vlivu na odolnost konstrukce (korozní úbytek do 0,5% plochy průřezu), hromadění nečistot a vlhkosti ve styčnicích,

V. **Špatný** - lokální uvolnění a povrchová koroze spojovacích prostředků s významným vlivem na funkci a odolnost spoje (do 5% celkového počtu spojovacích prostředků v jednom spoji), koroze základního materiálu s významným vlivem na odolnost konstrukce (korozní úbytek do 5% plochy průřezu) včetně prvků z korozivzdorné oceli,

VI. **Velmi špatný** - lokální uvolnění a koroze spojovacích prostředků se zásadním vlivem na funkci a odolnost spoje (do 10% celkového počtu spojovacích prostředků v jednom spoji), koroze základního materiálu se zásadním vlivem na odolnost konstrukce (korozní úbytek do 15% plochy průřezu) v ploše do 10% referenční plochy,

VII. **Havarijní** – Havarijní stav přesahující stav VI

Klasifikace konstrukcí mostů pozemních komunikací s ohledem na její bezpečnost provozování dle ČSN 73 6221:2018:

- I. **použitelná konstrukce** - zjištěné závady nemají vliv na použitelnost, např. místní povrchová koroze zábradlí, žebříků, přístupových schodišť, manipulačních nebo kontrolních lávek
- II. **podmíněně použitelná** - závady, které mohou mít v budoucnu vliv na použitelnost, např. počínající povrchová koroze zábradlí, žebříků, přístupových schodišť, manipulačních nebo kontrolních lávek
- III. **použitelná s výhradou** - závady, které mají vliv na použitelnost, ale nevyžadují okamžité přerušování provozu, např. rovnoměrná povrchová koroze zábradlí, žebříků, přístupových schodišť, manipulačních nebo kontrolních lávek, drobné otvory nebo výpaly v pochozím plechu lávek, mírné deformace uvedených konstrukcí
- IV. **omezeně použitelná** - závady, které vyžadují okamžité, byť provizorní opatření, např. značně korodované prvky zábradlí, opačně položené podlahové rošty, nadměrné deformované prvky zábradlí atd.
- V. **nepoužitelná konstrukce** - konstrukce není použitelná pro bezpečný provoz, jedná se např. chybějící části zábradlí, žebříků atd., chybějící části podlahových plechů nebo roštů, zkorodované prvky zábradlí atd.

Klasifikace železničních mostů s ohledem na stav mostu a i PKO je:

- **stupeň 1** objekt vyžaduje jen běžnou údržbu;
- **stupeň 2** objekt vyžaduje opravu přesahující rámec běžné údržby, např. celkovou obnovu nátěru, výměnu podlahy na mostě, lokální výměnu mostnic, popř. i opravu nebo výměnu některých částí, které by mohly omezit provoz;
- **stupeň 3** objekt vyžaduje stavební zásah většího rozsahu, rekonstrukci nebo úplnou přestavbu, přestavbu opěr nebo výměnu nosné konstrukce, popř. jen opravu nebo výměnu některých částí, jejichž stav může být příčinou omezení provozu (např. bylo nutné omezit rychlost na mostě nebo propustku s ohledem na trhliny v podélnících, v klenbě nebo s ohledem na celkový stav mostnic apod.) Hodnocení stupněm „3“ nemusí zadržovat okamžitou příčinu na změnu podmínek provozuschopnosti. Toto hodnocení indikuje správci potřebu vážně se zabývat dalším užíváním objektu, to je například zajistit plánování stavebního zásahu, zajistit zvýšený dohled a nárokovat přidělení finančních prostředků dle příslušných postupů.

Tab. 10 – Kritéria pro výběr vhodného stupně údržby

Stav povrchu koroze na % plochy	Stupeň korozního napadení	Stupeň údržby	Doporučená minimální příprava povrchu
normativní podklad	ČSN EN ISO 4628-3	S 5/4 čl. 7	ČSN EN ISO 8501-1 a ČSN ISO 8501-2 ČSN EN ISO 12 944-4
znečištění bez koroze	Ri 0	provozní čištění	-
< 1 % koroze	Ri 3	místní oprava	St 2, St 3; P St 2, P St 3
< 8 až 10 % koroze	Ri 4	celková oprava	St 3, Sa 2; P St 3, P Sa 2
> 8 až 10 % koroze	Ri 5	obnova	Sa 2½

#### 4.2.1. Obsah návrhu vhodné údržby

##### Identifikační údaje stavby

Název stavby:

Účel dokumentu: Plán údržby

Zadavatel:

##### Základní údaje o stavbě

Místo stavby:

Základní charakteristika stavby a její účel:

##### Povinnosti správce mostu

- Správce provádí (zajišťuje) pravidelně 1x ročně vizuální běžnou prohlídku. U mostní ocelové konstrukce se vizuálně prohlídají všechny dostupné části konstrukce. Zaznamenávají se případné změny vzhledu, poškození provozem, znečištění, vznik korozních produktů (rzi), apod.
- Správce ocelové konstrukce má podle stavebního zákona povinnost ji řádně udržovat. V případě zanedbání údržby je vlastník konstrukce spoluzodpovědný za případné škody.
- Hlavní prohlídka konstrukce se provádí po max. šesti letech či dříve, dle stavebního stavu objektu. Zadává ji správce u oprávněného subjektu, nebo organizace, mající k této činnosti oprávnění. Výsledky prohlídky zaznamená správce v mostním listu, případně objedná diagnostiku, opravu nebo stavební údržbu. Stav konstrukce je při prohlídce fotograficky zdokumentován.
- V případě mimořádné situace (nadměrného zatížení, živelné události – povodeň, požár apod.) objedná správce mimořádnou prohlídku u oprávněného subjektu, který provádí i hlavní prohlídky.
- Veškeré písemnosti, týkající se mostu (projekt, DSPS, mostní list, záznamy o prohlídkách, opravách a podobně) tvoří tzv. mostní archív, který je povinen správce vést po celou dobu životnosti mostu.

##### Údržba ocelové konstrukce (dělí na nestavební a stavební část)

###### Nestavební údržba:

- Pravidelné čištění od nečistot.
- Pravidelné odstraňování nečistot a trusu od ptactva stlačeným vzduchem a tlakovou vodou o tlaku min 100 barů, hlavně v místech kde se nečistoty hromadí (styčníky ocelových konstrukcí apod.).
- Čištění a kontrola zábradlí.
- Odstraňování případné vegetace.

- Zimní údržba (odstraňování sněhu a náledí) a s tím související zbytky posypových prostředků

### Stavební údržba:

Objednává správce obvykle u odborné firmy. K zajištění kvality těchto prací poslouží jako podklad projektová dokumentace, uložená u správce. Frekvence těchto prací je dána výsledky běžné nebo hlavní prohlídky.

Tab. 11 – Způsoby údržby protikorozní ochrany

Č.	Prvek konstrukce	Požadavek minimální životnosti (roky)		Stupeň agresivity	Plán údržby (roky)
		Díl	Povlak		
1	Hlavní nosné části (hl. nosný systém, mostovka včetně spojů a kotvení)	100	(VV)	C4/C5	5
2	Vzpěry a nosný oblouk	100	(VV)	C4	5
3	Mostní ložiska a kluzné podpěry	100	-	C4/C5	2
4	Nosná část lávky	100	(VV)	C4/C5	5
5	Zábradlí	50	(V)	C4	3
6	Uchyacení kolejnic	30	(V)	C4	1 (po zimě)
7	Plechové rošty a pochozí lávky	30	(V)	C4	5
8	Osvětlení a dopravní značení	30	(V)	C4	1 (po zimě)

Výsledky kontroly a zjištěné vady jsou popsány v zápise o prohlídce jednotlivých konstrukcí, zápis by měl obsahovat také fotodokumentaci zjištěných vad ocelové konstrukce a návrh opatření pro zajištění bezpečného provozu konstrukce.

### Obnova PKO mostní ocelové konstrukce

Je charakterizována obvykle větším rozsahem stavebních prací, dochází k ní v rozmezí 30 až 50 let, podle hustoty provozu a velikosti zátěže. Doporučení k obnově či opravě obdrží správce obvykle v závěru hlavní, případně mimořádné prohlídky.

#### 4.2.2. Příklad vhodného plánu údržby (Strabag a.s.):

##### Identifikační údaje stavby

Název stavby: Lávky na želez. mostě přes Vltavu, Praha 2 a 5, č. akce 999 010  
 Ev.č. mostu V-025 a V-026  
 Účel dokumentu: Plán údržby  
 Zadavatel: Technická správa komunikací hl.m. Prahy,  
 IČO: 63834197,  
 DIČ: CZ63834197  
 Kontaktní adresa: Řásnovka 770/8, 110 15 Praha 1

## **Základní údaje o stavbě**

Místo stavby:	lávky jsou součástí železničního mostu přes Vltavu
Železniční trať:	TÚ: 0201 Praha, hl. n. – Praha Smíchov
Katastrální území:	Smíchov [729051]; Vyšehrad [727300]; Nové Město [727181]
Obec:	Praha 2 a Praha 5
Kraj:	Hlavní město Praha

## **Základní charakteristika stavby a její účel:**

Mosty (lávky) ev. č. V-025, V-026 jsou součástí železničního mostu na Výtoni spojujícího smíchovský a výtoňský (vyšehradský) břeh řeky. Lávky jsou vyloženy na obou stranách železničního mostu vně příhradových dvoustěnných hlavních nosníků. S ohledem na špatný stav některých konzol lávek byla provedena rekonstrukce nosné konstrukce lávky V-025 v roce 2018 a V-026 v roce 2019. Hodnocení stavebního stavu konstrukcí lávek je po rekonstrukci na klasifikačním stupni III - dobrý.

Přístup na lávky je po přístupových schodištích z chodníku Rašínova nábřeží na výtoňském břehu. Na Smíchovské straně je přístup z ulice Hořejší nábřeží (Strakonická) na přístupové rampy se živičným povrchem stoupajícím k lávkám. Jedná se o komunikace používané v běžném provozu pro přístup chodců na lávky..

## **Povinnosti správce mostu dle ČSN 736220**

- Veškeré písemnosti, týkající se lávek (projekt, DSPPS, mostní list, záznamy o prohlídkách, opravách a podobně) tvoří tzv. mostní archiv, který je povinen správce vést po celou dobu životnosti mostu.
- Po celou dobu životnosti mostu archivovat projektovou dokumentaci.
- Po celou dobu životnosti mostu archivovat mostní list a případně jej aktualizovat na základě výsledků prohlídek, případně oprav a rekonstrukcí.
- Správce provádí (zajišťuje) pravidelně 1x ročně vizuální běžnou prohlídku. U konstrukce tohoto typu se vizuálně prohlíží všechny dostupné části konstrukce. Zaznamenávají se případné změny vzhledu, poškození provozem, znečištění, korozní napadení či vzrůst vegetace apod.
- Po max. šesti letech či dříve, dle stavebního stavu objektu, zadává správce odbornému pracovníkovi, nebo organizaci, mající k této činnosti oprávnění, hlavní prohlídku lávek. Na základě výsledků a doporučení z této prohlídky správce upraví správní údaje v mostním listu (např. stavební stav), případně objedná diagnostiku, opravu nebo stavební údržbu.
- V případě mimořádné situace (nadměrného zatížení, živelné události – povodeň, požár apod.) objedná správce mimořádnou prohlídku u oprávněného subjektu, který provádí i hlavní prohlídky.

## **Nestavební údržba**

- Pravidelné čištění pochozího povrchu od nečistot. Kontrola mostin (suky a praskliny) + případná výměna mostin.
- Tato výměna mostin probíhá, že se horolezeckým způsobem slaní pod lávku, povolí se kontra matice a matice na vratových šroubech M10 a mostina se vyndá. Další mostiny 4-5 v řadě na každou stranu od demontované se dají vyměnit shora z podlahy (povolit pomocí klíčů a nástavců). Následně se osadí nové mostiny. Poslední mostina se musí vrátit opět horolezeckým způsobem. Mostiny jsou dubové, s tlakovou impregnací,

rozměru 120 x 40 x 1800 s plechy v čelech proti štěpení dřeva. Doporučujeme si objednat odbornou firmu.

- Pravidelné čištění nosných konstrukcí, zejména detailů, kde se hromadí nečistoty (styčníky ocelových konstrukcí apod.) viz příloha příčný řez. Doporučujeme si objednat odbornou firmu.
- Čištění a kontrola oboustranného zábradlí, včetně pravidelného odstraňování cizích objektů. Zejména se jedná o neoprávněně umístěné visací zámky, které v případě většího počtu snižují zatížitelnost objektu a mohou poškozovat PKO kovových součástí.
- Odstraňování vegetace uchycené na lávkách a jejich přístupových konstrukcích včetně ramp na Smíchově a jejich bezprostředním okolí.
- Zimní údržba (odstraňování sněhu a náledí), pokud jsou lávky v zimě v provozu. Pokud ne, umístí správce na obě strany objektu dopravní značku s upozorněním, že se lávky v zimě neudrží, případně osadí mechanické zábrany ke vstupu.
- Očištění konstrukcí celých lávek (zejména přístupové rampy s asfaltovým povrchem) od posypových prostředků po zimním období, které na OK nanesou chodci z přístupových ramp.

### Stavební údržba

Objednává správce obvykle u odborné firmy. K zajištění kvality těchto prací poslouží jako podklad projektová dokumentace, uložená u správce. Frekvence těchto prací je asi 15 let podle výsledků běžné nebo hlavní prohlídky. U lávek se jedná především o:

- Obnova protikorozní ochrany kovových částí lávek – nosné konstrukce (konzol i podélných nosníků), vnitřního i vnějšího zábradlí, přístupových schodišť, plechů překrývající dilatace mostovky.
- Opravy zábradlí a jeho výplně.
- Kontrola případné dotažení šroubových spojů na zábradlích (přípevňovací šrouby zábradlí, mostnice - kontra matice, bez kontroly - nové spoje OK- nýty)
- Oprava anebo výměna dřevěných mostin lávky a přístupových schodišť, případně provádění impregnačních nátěrů dřevěných konstrukcí.
- Vysprávkování a opravy asfaltového krytu přístupových ramp na Smíchově.

### Plán údržby PKO

Plánované prohlídky by měly probíhat 1x ročně včetně fotodokumentace kvalifikovanou osobou správce nebo kvalifikovanou osobou odborné firmy (běžná prohlídka)

Pravidelné odstraňování nečistot a trusu od ptactva ve spojích OK a styčnicích, stlačeným vzduchem nebo talkovou vodou min tlakem 100 barů. Doporučujeme očistit všechny OK lávek včetně zábradlí i dřevěné mostiny. Čištění by měla provádět odborná firma horolezeckým způsobem či z lodi (lešení, plošina, nebo jiným způsobem z úrovně dolní pásnice hlavního nosníku). Interval čištění doporučujeme 1 x za rok a dle míry znečištění od vandalů a ptactva. Tato firma musí mít platná oprávnění pro výškové práce. Celá lávka musí být v průběhu čištění uzavřena pro veřejnost. Při zjištěném poškození prvků OK (zábradlí vnitřní a vnější, konstrukce lávky, přístupových schodišť) musí následovat oprava poškozených míst.

Opravu PKO by měla provádět odborná firma na nepřístupných místech lávky horolezeckým způsobem či z lodi (lešení, plošina nebo jiným způsobem z úrovně dolní pásnice hlavního nosníku). Opravy vnějšího a vnitřního zábradlí lze provádět z pochozí plochy lávek.

Do konce záruční doby (V-025 – 15.10.2023, V-026-14.11.2024) provádí opodstatněné opravy zhotovitel poslední obnovy PKO. Jsou to zejména, delaminace PKO od podkladu (puchýře), nesoudržné jednotlivé vrstvy PKO, nekvalitní provedení PKO (praskání nátěru)



Zhotovitel PKO nese zodpovědnost za mechanické poškození PKO vandalismem, mechanické poškození PKO pohybem konstrukce mostu a přenosu pohybů do konstrukce lávek od projíždějících vlakových souprav a za korozní výluhy ze spojů (štěrbín) jednotlivých dílů OK, které zhotovitel neopravoval, či nevyměňoval (např. podélníky pod vnějším a vnitřním zábradlím, všechny neroznytované spoje atd.)

Postup opravy PKO:

1. Odstranění nečistoty
2. Odmaštění (ředidlo, technický líh, vhodný detergent)
3. Přebroušení poškozeného místa do pozvolného přechodu na další vrstvu (ručně menší místa smirkovým papírem, větší místa strojně brusným kotoučem), při hlubším poškození až na neporušenou vrstvu nebo na podklad (PSt 2)
4. Očištění konstrukce tlakovým vzduchem

Po provedení přípravy podkladu se přistoupí k provádění nátěrů dle původního prováděného systému PKO.

- Základní nátěr (např. typu mastic) – stříbrnošedý odstín 80 □m
- I Mezivrstva nátěr (např. typu mastic) – červenošedý odstín 80 □m
- II Mezivrstva nátěr (např. typu mastic) – stříbrnošedý odstín 80 □m
- Vrchní polyuretanový nátěr pololesk – zelený odstín 60 □m

(pozn. použití typu nátěrových hmot je pouze informativní, vždy je nutné vycházet doporučení výrobce nátěrových hmot)

Provádění oprav výše uvedeným systémem lze pouze v klimaticky vhodných podmínkách. Alternativní použití jiných nátěrových systémů může správce užít jen v případě jeho prověření, že nový nátěrový systém nenarušuje původní systém, viz výše a je s ním kompatibilní.

### **4.3. Navrhování oprav protikorozní ochrany ocelových konstrukcí a vhodné předúpravy povrchu.**

U ocelových konstrukcí se vyskytují různé druhy poškození PKO. V některých případech je to komplikovanější, což je dáno pouze jen okolními podmínkami či volbou správné protikorozní úpravy. Na ocelových konstrukcích se mohou vyskytovat různé vady a poškození. Mezi tyto vady lze obecně zahrnout korozní napadení, mechanické poškození, nevhodný návrh ocelové konstrukce, vandalismus a další. Koncepce protikorozní ochrany musí obsahovat: materiál a jeho ochranu pro danou technologii, údaje o ztrátách materiálu a jeho sledování při provozu zařízení. K tomu se přidává i provozní spolehlivost, životnost, protipožární odolnost a hospodárnost řešení. Celá tato část je důležitá a rozhoduje často o úspěchu celé investice na opravu.

Ve stádiu návrhu opravy projektu by se měla k zajištění odpovídající životnosti konstrukce věnovat zvláštní péče. Problematika koroze by měla mít samostatnou zprávu.

Nejdůležitější hlediska, která je zapotřebí vzít v úvahu:

- Jednoduchý tvar stavebních prvků a vyvarování se nadměrné složitosti. Transportní, manipulační a montážní postupy konstrukce by neměly snižovat efektivitu protikorozních metod.
- Snížit na minimum kontakt mezi ocelovým povrchem a vodou nebo nečistotami.
- Je třeba se vyvarovat vytváření míst (dutin a štěrbin), kde se může zadržovat voda. A to tím, že se umožní její snadné odtékání.
- U přístupných vnitřních prostor by mělo být pamatováno na odpovídající ventilaci.

- Nepřístupné vnitřní prostory ocelových prvků by měly být utěsněny, aby se zamezilo přístupu vzduchu i vlhkosti. Také je možné navrhnout větší tloušťku materiálu, která by nahradila úbytek materiálu v důsledku koroze během životnosti konstrukce.
- Zabránit, pokud je to možné, vytvoření galvanických článků nebo kovové povrchy v místě styku izolovat.
- Měl by být zajištěn přístup pro provedení vhodné protikorozi ochrany (např. nátěr nebo žárového pokovení).

Vhodné konstrukční řešení při opravě může omezit nebezpečí korozního napadení a také přispět ke kvalitnější protikorozi ochraně. Např. nosné konstrukce se mají řešit tak, aby nevznikala místa či štěrbin, ve kterých by se zadržovala srážková voda nebo agresivní kapaliny.

#### 4.3.1. Návrh oprav PKO

Základem návrhu oprav PKO je reálné hodnocení vad a příčin jejich vzniku, které je ve většině případech výsledkem běžné nebo hlavní mostní prohlídky. Při přípravě návrhu technologického předpisu (TP) na opravu PKO, se vychází vždy ze základních údajů mostní ocelové konstrukce (materiál, stávající PKO, stav prostředí, atd.) a vhodnosti použití případné technologie opravy pro vybraný typ (lokální oprava, částečná oprava, obnova celého systému PKO).

Při návrhu opravy je nutné stanovit vhodné dílčí technologické procesy, které povedou k zajištění požadované životnosti PKO. Nejdůležitějším procesem je předúprav povrchu. Vždy je zapotřebí předupravit povrch, tak aby následný technologický proces (nátěrová hmota, žárový nástřík, žárové pokovení) mělo dostatečnou přilnavost k původnímu povrchu. Pro návrhu oprav je možné vycházet z předpisu ŘSD TKP 19C.

Technologický předpis by měl obsahovat:

- Identifikaci stavby pro opravu
- Identifikaci realizátora opravy
- Návrh předúpravy povrchu v kontextu s danou opravou.
- Návrh hodnocení stavu předúpravy povrchu
- Návrh vhodného opravného systému PKO
- Specifikaci použitých dílčích částí opravného systému
- Specifikaci prováděných prací
- Systém kontroly během provádění opravných prací
- Systém dodržování BOZP při provádění
- Způsob nakládání se vzniklými odpady

#### 4.3.2. Způsoby opravy PKO těžko dostupných míst ocelových konstrukcí (úzkých štěrbin)

Oprava PKO úzkých štěrbin je doposud velice obtížně řešitelná. Při opravě se musí vycházet z velikosti a tvaru těchto štěrbin (úzká, široká, průchozí neprůchozí), stavem korozního napadení a degradace stávající PKO, možností vhodné technologie odstranění nečistot a vhodností aplikace opravného systému PKO.

#### 4.3.3. Předúpravy povrchu úzkých štěrbin.

##### Čištění vysokotlakým vodním paprskem

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 protikorozi ochrany ve formě nátěrových systémů s dobrou adhezí v těchto štěrbinách. Z výsledků výzkumu lze konstatovat, že tato předúprava nesplňuje požadavky pro odpovídající čistotu 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. Jako účinnější se jeví použití demoliční trysky při maximálním tlaku (2500 bar), díky které je možné v některých částech štěrbin provést očištění až na základní materiál ocelové konstrukce. V současné době se vyvíjí nový typ trysek pro vysokotlaké čištění vodním paprskem s cílem docílit zvýšení účinnosti samotné předúpravy pro tyto aplikace. Dalším omezením je nutnost 100% zachytu odpadní vody z důvodu zachycení nebezpečných látek obsažených v původních nátěrech.



Obr. 35 Tryska složená z tryskové a redukční části

### **Tryskání křemičitým pískem a pomocí kovového abraziva**

Při použití mechanických předúprav, tedy tryskání křemičitým pískem a tryskání pomocí kovového abraziva je možné dosáhnout v mnoha případech příznivého stavu povrchu. Těmito způsoby je možné dosáhnout odpovídající čistoty a drsnosti povrchu pro aplikaci nátěrového systému. Odpovídající kvality předúpravy štěrbin je však možné dosáhnout pouze u štěrbin s menší hloubkou a větší šířkou, neboť v případě hlubokých štěrbin dochází k výraznému rozptýlu abraziva o stěny ocelových prvků konstrukce. Nevýhodou je však dlouhá doba čištění.

### **Kombinace čištění vodním vysokotlakým paprskem a následným tryskáním pomocí abraziva**

Kombinace čištění pomocí vysokotlakého vodního paprsku a následné předúpravy tryskáním křemičitým pískem či ocelovou drtí je, co do čistoty povrchu, odpovídající kvalitu povrchu, dobu čištění a následnou aplikaci nátěrových systémů, nejvhodnější. Avšak záleží na typu upravované štěrbině. Zároveň je tento způsob v závislosti na čistotě povrchu nejrychlejší a nejúčinnější. Nejprve pomocí předčištění vysokotlakým vodním paprskem se rychle odstraní všechny nečistoty a těsně před aplikací nátěrové hmoty se provede dotryskání na požadovanou drsnost a čistotu. Tento způsob je možné využít, tam kde je možné 100% zachytit všechny odstraněné nečistoty (korozi produkty, původní nátěrové systémy) nebo tam, kde nebudou mít nečistoty vliv na životní prostředí.



Obr. 36 Druhy mechanického čištění (zleva - tryskání křemičitým pískem, tryskání ocelovou drtí a tryskání tlakovou vodou)

#### **Aplikace protikorozi ochrany do úzkých štěrbin.**

Aplikace protikorozi ochrany do úzkých štěrbin je velice obtížná a mnohdy i průmyslově nerealizovatelná. Pokud jede o velice úzké štěrbin, je možné použít tmelení těchto štěrbin vhodným tmelem během aplikace opravného systému PKO. Tmelení však není vhodné pro použití u značně dynamicky namáhaných konstrukcí a to z důvodu ztráty adheze vůči systému PKO. U širších úzkých štěrbin je možné aplikaci opravného systému PKO provést ručně pomocí úzkých štětců či válečků. V tomto případě je aplikace ale omezena hloubkou štěrbin a typem štětce či válečku. Nanesený opravný nátěrový systém bývá nerovnoměrný a nemusí zaručit požadovanou PKO.

V současné době se výzkum a vývoj zabývá využitím úzkých trysek pro vysokotlaký nástřik nátěrových hmot. První výsledky ukazují možnost využití těchto trysek jako vhodnou protikorozi ochranu úzkých štěrbin za daných podmínek.



Obr. 37 Kuželová tryska Wagner Cavity lance 120 mm, R15

**U aplikace opravného systému PKO do úzkých štěrbin je nutné si uvědomit, že v některých případech nebude možné docílit 100% předúpravy povrchu a ani 100% PKO. Taktéž nebude možné zaručit celistvost PKO u značně dynamicky namáhaných ocelových konstrukcí. Účinnost protikorozi ochrany bude vždy vázána na vhodně nastavenou a plánovanou následnou údržbou PKO.**

#### **4.4. Rekapitulace doporučení pro budoucí opravy**

Z hlediska oprav PKO doporučujeme zejména následující:

##### **1. Vhodný systém předúpravy povrchu ocelové konstrukce pro aplikaci PKO**

Doporučujeme přednostně použít abrazivní tryskání. U obtížně dostupných míst (jako jsou úzké štěrbin) doporučujeme zvážit a zhodnotit použití kombinace čištění vodním vysokotlakým paprskem s následným tryskáním pomocí ostrohranného abraziva.

Vhodné ostrohranné abrazivo může být např. kovové abrazivo či křemičitý písek (důvodem je vytvoření vhodného kotvícího profilu pro následnou aplikaci PKO) Současně nedoporučujeme používat ruční a mechanizované čištění nebo čištění plamenem (výjimkou mohou být nedostupná místa pro aplikaci tryskání).

## **2. Vhodný nátěrový systém**

Nátěrový systém musí být vždy individuálně navrhnout korozním inženýrem, s ohledem na charakter povrchu, drsnost, podmínky a možnosti provádění. Každopádně lze doporučit používání schválených systémů (systémů na bázi epoxidu a polyuretanu), naopak doporučujeme, pokud je to možné, vyhnout se použití vodou ředitelných systémů.

## **3. Aplikace PKO**

Při obnově PKO doporučujeme aplikaci nátěrové hmoty primárně nástřikem. U oprav je nutné stanovit vhodnou aplikační metodu (nevylučuje se použití válečků a štětců). V případě aplikace nátěrové hmoty do úzkých štěrbin může být vhodnější použití válečků či dlouhých štětců, popř. atypických trysek.

## **4. Dozorová a projekční činnost pro provádění PKO.**

Pro předcházení vzniku vad a poruch PKO doporučujeme jako hlavní opatření zajistit dostatečnou přítomnost kvalifikovaného korozního inženýra s praxí na mostních konstrukcích při realizaci PKO. Druhým opatřením je při zpracování projektové dokumentace využívat služeb zkušeného projektanta – mostáře a oceláře, který dokáže v rámci přípravy upravit a zlepšit stávající detaily tak, aby měly dlouhodobou spolehlivost. V případě výběrových řízení na projekty oprav pak tyto zkušenosti vyžadovat při plnění kvalifikace v zadávacích podmínkách.

## 5. Opravy a zesilování

### 5.1. Památková hodnota

Památková hodnota je hodnota, kterou lidé přikládají objektům, prostoru nebo místům pro jejich specifickou komplexní kvalitu, již chtějí akcentovat pro přítomnost a zachovat pro budoucnost. Stanovení památkové hodnoty je jedním z nejsložitějších úkonů v památkové péči. Jedná se o výsledek komplexního víceoborového posouzení kvality objektu zejména z pohledu historického, kulturního, společenského, uměleckého, řemeslného nebo technického. Památková hodnota tak představuje souhrn specifických hodnot objektu (viz část 3.6. E-P metoda), jež jako celek významným způsobem vypovídají o úrovni komunity a společnosti, které zkoumaný objekt vytvořily a užívaly. Památkovou hodnotu, jako důležitý doklad vývoje společnosti, je třeba rozpoznat, v co nejvyšší míře zachovat a předat dalším generacím.

Pro zachování památkové hodnoty objektu jsou důležité aspekty jeho integrity a autenticity. Integrita představuje zachování celistvosti objektu a autenticita zachování původnosti objektu, a to v jeho hmotě (autenticita hmotná) nebo v jeho tradici (autenticita nehmotná). Pro evropskou kulturní oblast je příznačný důraz na zachování autenticity hmotné. Autenticita nehmotná se uplatňuje např. v souvislosti s přednostním využíváním shodných materiálů, konstrukčních řešení a tradičních řemesel pro další zachování integrity a autenticity objektu (podrobněji viz část 3.6. E-P metoda).

Prohlášení objektu za kulturní památku nebo jeho zařazení pod plošnou památkovou ochranu (např. městskou nebo vesnickou památkovou zónu nebo rezervaci) je výsledkem správního procesu, který byl zpravidla iniciován na základě rozpoznání znaků památkové hodnoty, jež objekt vykazoval. Základní popis památkové hodnoty by měl být uveden již v dokumentaci o prohlášení objektu kulturní památkou, případně obecněji ve vyhlášení plošné ochrany, pod níž objekt spadá. Některé tyto popisy jsou uvedeny v příslušných heslech Památkového katalogu, který spravuje Národní památkový ústav<sup>29</sup>. Dalším okamžikem, kdy by měl být pod dohledem Národního památkového ústavu odborně analyzován a formulován aktuální stav památkové hodnoty objektu, je probíhající správní řízení podle příslušných zákonů<sup>30</sup> například v situaci, kdy dochází ke stavební úpravě.

Památkovou hodnotu ale mohou vykazovat i objekty, které pod institucionální památkovou ochranu zahrnuty nejsou. Postupy pro analýzu památkové hodnoty proto bývají obecnější povahy a bývají nastaveny tak, aby s jejich pomocí bylo možné analyzovat i objekty památkově nechráněné. Národní památkový ústav vydává jako nástroje pro poznání, zachování, konzervaci, ale i jako podklad pro další tvůrčí práci s objekty vykazujícími památkové hodnoty, již několik desítek let systematické ediční řady tematicky zaměřených praktických příruček, památkových postupů a metodik (podrobněji viz část 3.6. E-P metoda). Oborová metodika pro historické kovové mostní konstrukce je v současnosti ve fázi příprav. Obecné zásady přístupu k památkově chráněným nebo památkově hodnotným stavbám v inženýrské praxi jsou uvedeny v ČSN 73 0038 a rovněž v této příručce v části 2. Zásady hodnocení památkově chráněných objektů.

<sup>29</sup> <https://www.pamatkovykatalog.cz/>

<sup>30</sup> Zák. č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění, a zák. č. 500/2004 Sb., správní řád, v platném znění

## 5.2. Klasické metody oprav a zesilování

Nejčastějšími důvody pro zesilování historických ocelových mostů jsou obvykle nedostatečná únosnost prvků nebo korozní oslabení. Nahrazení všech přesluhujících historických ocelových mostů v ČR je v krátkodobém hledisku technicky i ekonomicky nemožné, ale z hlediska uchování památkových hodnot i často velmi problematické. Účelnějším řešením je lokální zesílení kritických prvků a detailů.

Opravě a zesílení nýtovaného mostu musí vždy předcházet podrobný diagnostický průzkum celého mostu, tzn. mostní konstrukce a spodní stavby. Je důležité se uvědomit, že případné závady spodní stavby mohou vést k poškození nosné konstrukce. Zde se budeme zabývat pouze samotnou opravou nosné konstrukce ocelového nýtovaného mostu.

Výsledkem diagnostického průzkumu nosné ocelové konstrukce musí být rozhodnutí o tom, které prvky jsou dostatečné a mohou v konstrukci zůstat bez opravy, které prvky je možné zachovat pouze po provedení opravy, případně které prvky je nutné vyměnit za nové. Součástí tohoto rozhodování je i uvážení potřeby roznýtování některých styčniců.

Metody zesilování ocelových konstrukcí lze rozdělit na metody s cílem zvýšení statické únosnosti nebo zvýšení únavové životnosti. Ačkoli zesílením bývá běžně docíleno obojího účinku, způsoby zesilování se liší. Při výběru vhodné metody zesílení pro danou konstrukci musí být zohledněny různé faktory - aktuální stav konstrukce, spolehlivost a plánovaná životnost zesílení, rozsah zásahu do konstrukce s ohledem na omezení provozu a památková hodnota mostu.

V následujících sekcích jsou nejprve uvedeny dvě činnosti, které jsou součástí zesilování a opravných prací. Těmi jsou obnova protikorozní ochrany a volba metody spojování. Dále jsou již popsány tradiční, běžně používané metody zesilování včetně jejich hlavních výhod a nevýhod.

### 5.2.1. Obnova protikorozní ochrany

Nejčastější opravou tyčového prvku příhradového nosníku je obnova protikorozní ochrany. U prvků celistvých se jedná pouze o odstranění starých nátěrů, otryskání povrchu a zhotovení nové protikorozní ochrany, nejčastěji pomocí nátěrů. U členěných tyčových prvků, u kterých je mezera mezi dílčími pruty cca 12 až 25 mm, je zásadním problémem, jak odstranit v úzké mezeře korozní produkty, jak zajistit předúpravu povrchu a jak provést novou protikorozní úpravu. Zatmelení této úzké mezery trvale plastickými tmely se ukázalo jako nevhodné. V současné době se intenzivně hledají způsoby, jak provést novou spolehlivou protikorozní ochranu členěných prutů. Zde je třeba podotknout, že aplikace protikorozní ochrany by měla být součástí plánu správy mostního objektu a její obnova by měla být zajištěna v pravidelných intervalech dle její životnosti, ale i dle aktuálního stavu.

### 5.2.2. Spojování

Spojování nových prvků je potřeba řešit v případě zásahu do nosné konstrukce prakticky vždy. Může se jednat o připojení nových prvků nebo opravu poškozeného spoje stávající konstrukce. Při volbě vhodné metody spojování a návrhu spojů je potřeba se vyvarovat vzniku členěných detailů náchylných k zachycování vlhkosti, např. mezery mezi plechy a vodorovné plochy. Z tohoto hlediska se jako vhodné řešení ukazuje svařování.

#### 5.2.2.1. Svařování

Svařování historické oceli má však svá úskalí. Svařitelnost nemusí být u všech materiálů zaručena a případně je podmíněna vhodným postupem svařování. Proto je vhodné v rámci diagnostického průzkumu provádět odběry vzorků pro stanovení chemického složení materiálu

nosné konstrukce, zejména u mostů historických. Svařitelnost se určuje na základě chemického složení, respektive vyhodnocení tzv. uhlíkového ekvivalentu oceli (CE). Při vyhodnocení CE je třeba uvážit rok výroby materiálu, např. dnes užívaná rovnice uvedena v ČSN EN 1011-2 není vhodná pro oceli vyrobené v první polovině 20. století.

Nakonec se hodí poznamenat, že vedle spojování je svařování také možným postupem pro opravu únavových trhlin, podmínkou ale je, aby byl prvek bez namáhání, jinak hrozí rychlé rozšíření trhliny, díky vysoké lokální napjatosti. V rámci opravy je trhlina po celé délce zavařena a ve vrcholu odvrtna. Typickým detailem, který byl v minulosti často opravován bylo nýtované připojení podélníku na příčník. Následující obrázek zachycuje opravenou únavovou trhlinu ve stojině prvku podélníku historického mostu. Trhlina byla svařena a její vrchol byl odvrtnán, aby bylo zabráněno dalšímu šíření.



Obr. 35 Opravená únavová trhlina na stojině podélníku

#### 5.2.2.2. Šroubování

Šroubování je časově i ekonomicky nenáročnou metodou spojování v porovnání se svařováním a nýtováním. Na rozdíl od dalších metod spojování také nevyžaduje speciální kvalifikaci pracovníků. U mostních konstrukcí je vzhledem k cyklickým účinkům a dynamickému zatížení zavedeno používání třecích spojů pomocí vysokopevnostních předpjatých šroubů. Relativně novou technologií jsou šrouby HRC (High Resistance Calibrated). Díky upravenému dříku je možno tyto šrouby utáhnout na předepsanou předpínací sílu. Toho je dosaženo pomocí „lomového krčku“ na kraji dříku, který je při dosažení požadovaného momentu přetržen. HRC šrouby jsou dodávány s kulatou hlavou z estetického hlediska se jedná o vhodné prvky pro použití na historických ocelových mostech jako náhrada původních nýtů.

#### 5.2.2.3. Nýtování

Nýtování lze dnes prohlásit za historickou metodu spojování, určenou výhradně pro historické konstrukce s památkovou hodnotou. Nýty se skládají z dvou hlav nýtu a společného dříku. Nejpoužívanější bylo nýtování za tepla. Otvory pro spoje byly vyplněny nýty ohřátými na teplotu blízkou 1000 °C. Přechýlující dřík horkého nýtu byl zatlučen kladivem čímž vznikla druhá hlava nýtu. Zatlučený horký nýt plně vyplnil otvor a během ochlazování se zvýšila upínací síla. Problematickou částí bylo a je však to, že upínací síla se u každého nýtu liší v závislosti na zručnosti montéra, podmínkách povrchu, průběhu ohřevu a chlazení. Nýtování bylo náročným a nákladným procesem, který při dostupnosti moderních šroubových materiálů a metod není rentabilní. Nejnáročnější na celém procesu je potřeba kvalifikovaného dělníka. Málokterá pracovní skupina je dnes schopna správně provést nýtování za tepla přímo v terénu. Z těchto důvodů je dnes nahrazování spojovacího materiálu nýty vyhrazeno pouze pro spoje historicky významných konstrukcí. Hlavními nedostatky jsou velká náročnost provádění,



náchylnost ke vzniku štěrbinové koroze a absence možnosti kontroly upínací síly nýtovaného spoje.

### 5.2.3. Zesílení zvětšením průřezu příložkami

Případnou opravou tyčového prvku může být jeho zesílení zvětšením průřezu. Oslabený nebo nedostatečně únosný prvek lze zesílit zvětšením průřezu připojením dodatečných ocelových plechů nebo jiných profilů. Potřeba zesílení může být vyvolána lokální korozí nebo mechanickým porušením (např. nárazem). Toto řešení se využívá i v případě nutnosti snížení štíhlosti pro redukci účinků vzpěru. Výhodou je příznivá cena a minimální zásah do vzhledu mostu. Na druhou stranu je nutné si uvědomit, že ocelové příložky jsou také náchylné ke koroznímu oslabení. V případě připojení příložek nýtováním nebo šroubováním pak vzniká nevhodný detail styku dvou plechů kde může dále propuknout štěrbinová koroze. O způsobu zesílení se rozhoduje na základě svařitelnosti materiálu. Pokud je materiál svařitelný, lze tyčový prvek zesílit přivařenými příložkami vhodného průřezu, v opačném případě přínýtovány příložkami. Důležitým faktorem, který je třeba zohlednit je také rozdílnost chemického složení stávající a použité oceli, což může vést ke vzniku galvanické koroze. Přidáním materiálu se kromě zvětšení průřezu zvyšuje i vlastní tíha nosné konstrukce. V případě členěných ocelových konstrukcí se složitými detaily a styčníky je značně omezen tvar i rozsah zesilujícího prvku.

Výhody této metody jsou:

- + Dostupný materiál
- + Minimální narušení rázu konstrukce
- + Reverzibilní zásah

Nevýhody této metody jsou:

- Náchylnost ke koroznímu oslabení (možnost vzniku nevhodných detailů)
- Nebezpečí problémů se svařitelností případně se vznikem galvanické koroze vzhledem k odlišnosti chemického složení historické a dnešní oceli
- Zvýšení vlastní tíhy již oslabeného prvku
- Rozsah možného zesílení je limitovaný vzhledem k složitosti styčnicků členěných prutů

### 5.2.4. Nahrazení prvku

Výměna prvku je jedna z metod zesílení, ke které je vhodné přistupovat v krajních případech, pokud oslabený prvek již nemůže být z důvodu nedostatečné únosnosti ve stávající konstrukci zachován ani zesílen. Při zásahu je třeba zohlednit původní geometrii a umístění nahrazovaného prvku v celé nosné konstrukci tak, aby při výměně došlo k minimálnímu přerozdělení vnitřních sil. K tomu může dojít také při použití ocelového prutu s výrazně větší pevností nebo jinou materiálovou charakteristikou. V případě výměny prvku nosné konstrukce je vždy vhodné provést podrobnou statickou analýzu chování mostního objektu po provedené výměně.

Tento opravný postup je velmi častá u styčnicků. Především se jedná o styčníky na dolním pasu příhradových nosníků, kde se dlouhodobě zadržuje vlhkost a nečistoty, což vede k tvorbě koroze. Korozní oslabení se nejvíce projevuje na vodorovných styčnickových plechách, ale také na krčných úhelnících jednotlivých prutů. V tomto případě je nutné roznýtování styčnicku, výměna styčnickových plechů a oprava nebo výměna korozně oslabených prutů.

Při opravě nýtového spoje mostní konstrukce je nutné stanovit statickým výpočtem únosnost nýtového spoje, která je závislá na charakteristické vlastnosti materiálu a na rozměrech spojovaného průřezu, a dále je nutno dodržovat stejné konstrukční zásady jako při návrhu nového spoje:

- Minimální počet nýtů pro málo namáhaný prut  $n = 2$ . Pro přípoj úhelníků  $n = 3$ .
- Ve směru síly můžeme použít nejvýše 5 nýtů v řadě za sebou.

- Nýty musí být uspořádány tak, aby výslednice sil v nýtech byla v ose prutu.
- Odstávající příruby úhelníků nebo  $\tau$  průřezů zachycujeme přípojnými úhelníky.
- Jde-li o připojení prutu složeného z několika prvků, musí být každý prvek připojen.
- Oslabená plocha stykových prvků musí být stejná nebo větší než průřezová plocha stykovaného prutu v místě největšího oslabení.
- Těžiště stykových prvků se má co nejvíce ztotožnit s těžištěm stykovaných částí.
- Široké prvky mají být při stykování kryty stykovými příložkami na celou šířku.
- Stykové nýty umístěné na jedné straně styku musí mít stejnou únosnost jako stykovaný průřez.
- Správně dimenzovaný styk není slabým místem.

Příklad opraveného nýtovaného styčnicku je na následujícím obrázku. Po roznýtování styčnicku došlo k výměně některých prvků.



Obr. 36 Příklad opraveného nýtovaného styčnicku

Výhody této metody jsou:

- + Dostupný materiál
- + Minimální narušení rázu konstrukce

Nevýhody této metody jsou:

- Velký zásah do nosné konstrukce
- Reverzibilita prakticky nezajistitelná
- Opravné práce je nutné provádět s dočasným omezením provozu na mostě
- Pracný a ekonomicky náročný stavební zásah
- Výměnou dojde ke změně únosnosti styčnicku nebo nahrazeného prvku

#### 5.2.5. Redistribuce vnitřních sil

Variantou zesílení je také modifikace rozložení vnitřních sil připojením nového prvku nebo konstrukce k původní. Tato metoda představuje významný zásah do konstrukce staticky a vizuálně a není preferována pro mosty s památkovou hodnotou. Principem metody je zajistit cílené přerozdělení vnitřních sil z nejnamáhanějších nebo oslabených prvků do zbytku nosné

konstrukce. Příkladem takového zásahu může být např. doplnění brzdného ztužení do úrovně mostovky pro zachycení a přerozdělení účinků zatížení ve vodorovném směru. Především u historických konstrukcí ztužení proti účinkům vodorovných sil často zcela chybí. Z výše uvedených důvodů by se k takovému zásahu do nosných konstrukcí historických ocelových mostů mělo přistupovat pouze v krajních případech, kdy není jiné možnosti.

Výhody této metody jsou:

- + Zajištění zachování historické konstrukce z dlouhodobého hlediska

Nevýhody této metody jsou:

- Velký zásah do nosné konstrukce
- Potřeba komplexní statické analýzy chování navržené zesílené konstrukce
- Pracný a ekonomicky náročný stavební zásah
- Reverzibilita zásahu proveditelná s velkými zásahy
- Opravné práce je nutné provádět s dočasným omezením provozu na mostě

#### 5.2.6. Dodatečné předpínání prvků

Nejefektivnějším způsobem zesilování je dodatečné předpínání ocelovými táhly nebo předpínacími lany. Výhodou je okamžitý účinek zesílení i proti stálému zatížení. Přesto však aplikace může představovat značný zásah do konstrukce vzhledem k rozsahu kotevní oblasti přenášející velké síly. Nevýhodou je v tomto případě také náchylnost ke korozi a nebezpečí v podobě vystavení povětrnostním podmínkám případně požáru pod mostem nebo nárazu vozidla do mostu.

Výhody této metody jsou:

- + Okamžité zvýšení únosnosti

Nevýhody této metody jsou:

- Velký zásah do konstrukce v kotevní oblasti zesílení
- Vnesení zatížení (předpětí) do již oslabené konstrukce
- Zesílení je vystaveno povětrnostním vlivům, je potřeba počítat s důslednou údržbou předpínacích prvků
- Zvýšení stavební výšky, existuje riziko nárazu vozidla do zesílení
- Nutný prostor pro předpínací lisy

### 5.3. Moderní technologie zesilování

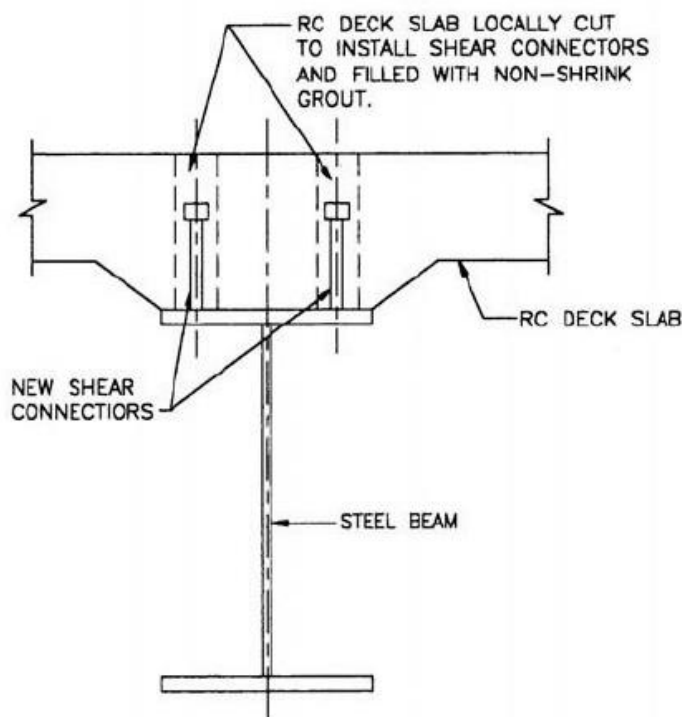
#### 5.3.1. Zesilování pomocí spřažení s betonem

Mezi moderní technologie zesilování ocelových i betonových mostů patří zesilování pomocí normálních, vysokohodnotných (HPC – C55/67 a výš) i ultra-vysokohodnotných (UHPC – C110/130 a výš) betonů. Zesilování těmito materiály je vhodné zejména v tlačných oblastech nosných konstrukcí.

Historické ocelové konstrukce jsou nýtované, primárně s příhradovými hlavními nosníky. Pokud je v tlačné oblasti těchto mostů nalezeno korozní oslabení, je možné provést zesílení pomocí spřažení s betonem. Zesílením se vytvoří spřažený průřez, který využívá výhody obou materiálů, v tomto případě oceli a betonu, a eliminuje jejich nevýhody.

Zesílení stávající ocelové konstrukce jejím spřažením s betonem je možné provést mnoha způsoby. V současné době se zesilování pomocí betonu soustředí do tlačné oblasti mostovky nebo hlavních nosníků, pokud se jedná o most bez mostovky. Příkladem může být zesilování

ortotropního plechu mostovky přidáním vrstvy betonu, která je s tímto plechem smykově propojena. Dalším příkladem může být osazení betonové desky na hlavní nosníky (most bez mostovky) s nimiž se smykově propojí. V obou případech dochází ke vzniku spřaženého průřezu, kde beton přenáší část namáhání a tím výrazně zesiluje stávající ocelovou konstrukci. Pro tuto aplikaci lze použít i běžné dodávaný beton, ovšem v mnoha případech bývají upřednostňovány betony ultra-vysokohodnotné (UHPC), kde tloušťka potřebná k zesílení je výrazně menší než při použití běžně dostupného betonu. Kromě pevnosti mají tyto ultra-vysokohodnotné betony ještě vynikající konzistenci, jsou téměř vodonepropustný a jejich trvanlivost může být až 200 let. Oproti běžným betonům tak nevznikají v ultra-vysokohodnotných betonech široké smršťovací trhliny, vzhledem k vysokým pevnostem lze v některých případech nahradit konstrukční výztuž pouze rozptýlenou výztuží a vlivem konzistence také vytvrzený materiál bude obsahovat minimum pórů a vzduchových bublin.



Obr. 38 Spřažení existující žb desky k nosníku

Výhody této metody jsou:

- + Ztužení příčného řezu na vodorovné účinky
- + Lepší dynamické chování
- + Lepší roznos zatížení
- + Zesílení tlačných oblastí

Nevýhody této metody jsou:

- Mokrý proces

### 5.3.2. Zesílení podporových oblastí

Hlavní nosníky historických ocelových mostů jsou hlavně příhradové. Podporové oblasti těchto mostů jsou velmi složité, neboť obsahují velké množství prutů a vzniká zde proto velké množství míst, kde se může usazovat voda a nečistoty, které řadíme mezi významné činitele urychlující korozi. V případě nalezení koroze v podporové oblasti lze styčníky vyměnit, ovšem tento proces je velmi složitý a nákladný, nebo může dojít k úplné výměně celé nosné konstrukce, čímž zanikne její památková hodnota.



Obr. 39 Korozně oslabená podporová svisllice  
(silniční most v Praze-Vršovicích)



Obr. 40 Korozně oslabená podporová oblast  
(silniční most v Bohumíně)

Alternativním řešením je zapouzdření korozně oslabených podporových styčnicků do kapes z ultra-vysokohodnotného betonu výztužného vlákniny (UHPFRC). Tím bude sice částečně narušena památková hodnota historického mostu, ovšem toto narušení bude pouze minimální (lokální) a dojde k němu v místech, které nejsou v mnoha případech viditelná, neboť jsou skrytá například pod pochozími plechy. Navrhované zesílení bude pomáhat korozně oslabenému styčníku dvojím způsobem. Obetonovaná část styčníku se bude nacházet v alkalickém prostředí, ve kterém je korozní rychlost ocelí, historických i v současné době běžně používaných, prakticky nulová, neboť se nachází v pasivním stavu. Zároveň díky smykovému spojení (spřažení) korozně oslabené části s kapsou z UHPFRC dojde k zesílení, neboť část namáhání přenesou kapsa z UHPFRC.

Výhody této metody jsou:

- + Minimální zásah do památkové hodnoty
- + Rápidní snížení korozní rychlosti prvků v podporové oblasti
- + Zesílení styčníku v podporové oblasti
- + Lepší rozložení zatížení na ložisko

Nevýhody této metody jsou:

- Mokrý proces

### 5.3.3. Zesilování moderními materiály

Moderní metody zesilování jsou vyvíjeny za pomoci nových materiálů s cílem překonat nedostatky tradičních metod. Tedy zajistit vyšší pevnost, spolehlivost, trvanlivost a odolnost vůči povětrnostním vlivům.

#### 5.3.3.1. Uhlíkové kompozity

Uhlíkové kompozity "Carbon fibre reinforced polymer" (CFRP) se vyznačují velmi vysokou tahovou pevností. V posledních dvou dekádách začaly být používány pro zesilování betonových a ocelových konstrukcí. Zesílení pomocí CFRP lze provést jako pasivní, tzv. „mokrou“ aplikaci, a to lepením na zesilovaný prvek. Příkladem takové aplikace je zesílení provedené na prvku diagonály mostu pod Vyšehradem - součástí Pražské památkové rezervace UNESCO [19].

Výhodou lepení CFRP jsou:

- + Velká tvarová variabilita (lepení přes nýty či vytvoření otvoru na nýt)
- + Možnost pracovat s orientací vláken kompozitu
- + Zvýšení únavové životnosti
- + Reverzibilita je zajištěna – např. pomocí otryskání

Nevýhodou lepení CFRP jsou:

- Pracnost na přípravu a náročné na kvalitu provedení
- V současné době stále vysoká pořizovací cena materiálu
- Funkční zesílení až po vytvrnutí lepidla
- Nelze přesně zjistit materiálové vlastnosti bez odběru vzorků



a)

b)

Obr. 37 a) Diagonála mostu před a b) po zesílení lepenou lamelou CFRP

Efektivním způsobem využití tahové pevnosti CFRP je zesilování dodatečným předpínáním uhlíkových lamel. Zesílení 122 let starého mostu pomocí dodatečně předpínaných lamel CFRP bylo provedeno v Melbourne, Austrálii [20]. Nevýhodou zesilování předpínáním je obecně nutnost mohutných kotevních přípravků a také umístění hydraulických předpínacích lisů. To značně komplikuje aplikaci zesílení, ve stísněných podmínkách jsou pak tyto aplikace mnohdy těžko proveditelné. Neduhem aplikací CFRP na ocelové konstrukce je také nekompatibilita součinitele teplotní roztažnosti, který je u CFRP oproti oceli záporný. Nevýhodou je také chování za vysokých teplot, kdy dochází velice rychle k degradaci a snížení modulu pružnosti. Při vystavení CFRP teplotě nad 400°C dochází k úniku toxických plynů.

Výhodou předpínání CFRP jsou:

- + Využití pevnosti materiálu oproti lepení
- + Okamžité a výrazné zvýšení únosnosti

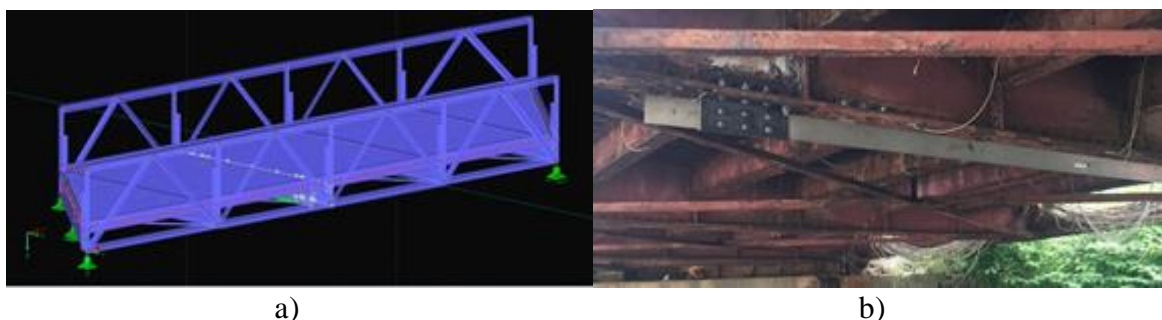
Nevýhodou předpínání CFRP jsou:

- Reverzibilita zajištěna ovšem s trvalými zásahy v kotevní oblasti
- V současné době stále vysoká pořizovací cena materiálu
- Nekompatibilita s konstrukční ocelí (Chemické složení, teplotní roztažnost apod.)
- Rychlá degradace za vysokých teplot
- Rozsáhlá kotevní oblast
- Nutný prostor pro předpínací lisy

### 5.3.3.2. Slitiny s tvarovou pamětí

Oproti tomu slitiny s tvarovou pamětí, tzv. SMA („Shape Memory Alloy“) jsou z hlediska teplotní roztažnosti a chování při vysokých teplotách velice podobné konstrukční oceli. Díky efektu tvarové paměti také umožňují provedení zesílení předpínáním s jednoduchým kotvením pouze pomocí aktivace ohřevem. Základním principem efektu tvarové paměti je obnovit svůj původní tvarový či napěťový stav v důsledku aktivačního zahřátí. Takovýto materiál je možné použít jako předpínací výztuž do betonových či ocelových konstrukcí. Materiál je nejprve za běžné teploty vystaven značnému přetvoření a následně uchycen na ocelovou (betonovou) konstrukci. Následně je prvek SMA ohřát na aktivační teplotu, po jejím dosažení je přirozeně ochlazen. V průběhu aktivace (zahřátí a ochlazení) se v materiálu vyvine předpínací síla (Materiál se snaží obnovit svůj původní tvar). Pro aktivaci SMA lze použít odporový ohřev pomocí elektrického proudu. Tato metoda je však vhodnější především pro betonové konstrukce, při použití na ocelových konstrukcích je zapotřebí zesilovaný prvek bezpečně odizolovat, např. sklo-laminátovými pásky [21]. Další možností je ohřev pomocí infračervených zářičů [22]. Obě výše zmíněné metody ohřevu jsou však značně energeticky náročné a dosud byly úspěšně ověřeny pouze laboratorně. Jedinou metodou, která byla ověřena i pro použití v terénních podmínkách, je ohřev pomocí keramických topných deček. Nevýhodou keramických deček je delší doba potřebná pro ohřev SMA. Nicméně experimenty [23] prokázaly, že míra dosaženého předpětí není výrazně ovlivněna rychlostí ohřevu (chladnutí).

Pilotní aplikace zesílení pomocí pásek SMA byla provedena na historickém mostě v Petrově nad Desnou nad Desnou v rámci projektu NAKI II. Jednalo se o první zesílení mostu na světě [24].



Obr. 38 a) numerický model, b) detail SMA zesílení mostu v Petrově nad Desnou

Díky pilotní aplikaci v Petrově nad Desnou se naskytla příležitost provést další aplikaci na mostě s nadměrným průhybem v Karlových Varech. Místní podmínky neumožňovaly použití běžných konstrukčních postupů a i vzhledem k nutnosti aplikace ve stísněném prostoru bylo přistoupeno k aplikaci zesílení pomocí SMA [25].

Zesilování pomocí SMA je progresivní metodou pro zajištění udržitelnosti a spolehlivosti mostních konstrukcí, která poskytuje mnoho výhod oproti tradičním a moderním metodám

Výhody této metody jsou:

- + Aplikace zesílení a předpínání ve stísněných prostorech (typické pro komplikované konstrukční systémy historických mostů),
- + Minimální zásah do konstrukce, a tím i zachování vzhledu a památkové hodnoty,
- + Jednoduché kotvení a provádění bez nutnosti komplexních systémů pro předpínání,
- + Velice podobné materiálové charakteristiky s konstrukční ocelí a stálost za vysokých teplot např. v porovnání s prvky CFRP.

Nevýhody této metody jsou:

- Omezené zkušenosti s dlouhodobým chováním za reálných provozních podmínek
- V současné době vysoká pořizovací cena materiálu

## 6. Vzorové postupy

### 6.1. Příklad hodnocení – Kadaň

Předmětem prací na historickém ikonickém železničním mostu v Kadani bylo vyhodnocení podmínek pro zajištění provozuschopnosti ocelové nosné konstrukce. Historický most byl v rámci hodnocení podroben diagnostickému průzkumu a statickému přepočtu. Most má celkem 5 polí, krajní pole jsou klenbová z kamenného zdiva. Vnitřní pole jsou tvořeny ocelovými nosnými konstrukcemi (K2, K3, K4) pocházejícími z roku 1902. Jako rozhodující a kritický část nosné konstrukce mostu se ukázala být konstrukce středního pole.



Obr. 39 Most v Kadani – pohled na střední pole (rozhodující konstrukce)

#### 6.1.1. Technický popis rozhodující konstrukce

Nosná konstrukce je příhradová nýtovaná s mezilehlou prvkovou mostovkou. Konstrukce středního pole má rozpětí 52 m s délkou jedné příhrady od 3,00 do 5,31 m. Uložení je šikmé (58 °), kolej je vedena v přímé. Staticky působí jako prostý nosník. Horní pás je parabolického oblouku, jednotlivé profily jsou z členěných průřezů. Podélníky jsou připojeny přímo do stojiny příčniců. Podélníky jsou uprostřed své délky vždy spojeny podružným příčným profilem. Příčné ztužení je zajištěno pouze příčně pod příčnicí. Vodorovné ztužení je umístěno v úrovni dolního pasu. Narozdíl od krajních polí s horními pásy příhrady v přímé postrádá konstrukce středního pole jakékoliv vodorovné ztužení v úrovni mostovky. Absence tohoto ztužení se ukázala být jako rozhodující faktor v nedostatečnosti konstrukce při přepočtu dle dnešních normativních požadavků.





Obr. 40 Pohled do nosné konstrukce středního pole v úrovni dolního pásu

### 6.1.2. Diagnostický průzkum a popis poruch

Na mostě byl proveden diagnostický průzkum a řada destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Součástí destruktivního testování bylo odebráno 12 ks, z toho 5 ks na konstrukci středního pole. Vzorky byly použity pro tahové zkoušky a z několika z nich byly odebrány menší části na provedení metalografie a vyhodnocení chemického složení. Dle struktury materiálu bylo konstatováno, že se jedná o svárkovou ocel. Zjištěné charakteristiky plechů a úhelníků hlavního nosníku ukazují na vyšší hodnoty meze kluzu, v průměru 266,5 MPa. Tato hodnota je příznivější než u dnešní oceli třídy S235. Nedestruktivní testování zahrnovalo především tvrdoměrné zkoušky. Bylo provedeno měření celkem na 78 místech, z toho 36 míst bylo měřeno na konstrukci středního pole. Výsledky tvrdoměrných zkoušek byly použity k vyhodnocení meze pevnosti.

Na základě diagnostického průzkumu včetně vizuální kontroly byl konstatován stav nosných konstrukcí jako obecně špatný. Nejvýznamnější defekty byly identifikovány při dolním pásu konstrukce středního pole. Hlavním defektem bylo především rozsáhlé korozní oslabení na vodorovných plochách členěných prutů a na části svislých přírub. Lokálně se vyskytuje také štěrbinová koroze.



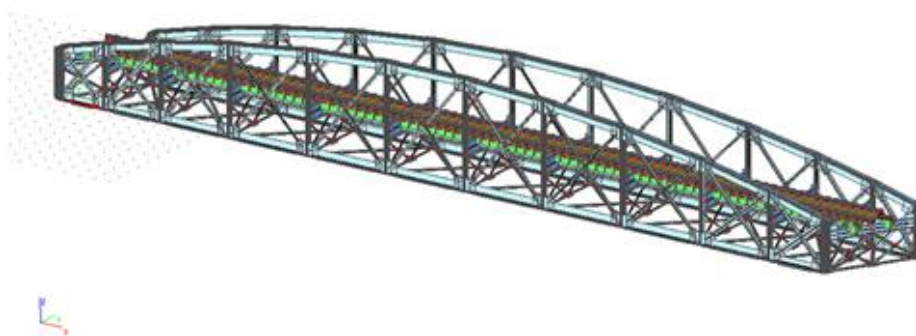
Obr. 42 Korozní oslabení prvku ztužení pod příčником nad podpěrou - nýty do špičky



Obr. 43 Štěrbinová koroze mezi plechy tažené diagonály a stojinou dolního pasu - obecný stav

### 6.1.3. Numerická analýza a výsledky přepočtu

Numerická analýza byla provedena v podrobném prostorovém výpočetním modelu z prutových prvků. Model zohledňoval tuhosti uložení, polotuhé přípoje styčnicků a jejich excentricity. V modelu byly také zohledněny náběhy styčnickových plechů. Modelována byla celá nosná ocelová konstrukce včetně prvkové mostovky s mostnicemi a kolejnicemi.



Obr. 44 Celkový pohled na model – vizualizace – pole K03

### 6.1.4. Výsledky přepočtu a aplikace úlev

Z prvních výsledků bylo zjištěno, že hlavní nosná konstrukce dramaticky nevyhovuje na zatížení modelem LM71, zatížení větrem, účinky bočního rázu a především brzdných a rozjezdových sil.

Protože výsledky numerické analýzy prokázaly, že nevyhovující stav pro neomezenou dobu životnosti z hlediska požadované minimální přechodnosti A (V případě účinku brzdných a rozjezdových sil bylo zjištěno, že konstrukce nevyhoví na charakteristické hodnoty zatížení ani v případě působení pouze od tohoto zatěžovacího stavu). Byly spolu s investorem, Správou železnic, řešeny dále následující otázky:

- Lze pomocí opravného zásahu a zesilování nosné konstrukce docílit stavu vyhovujícímu pro neomezenou životnost a přechodnostní třídu alespoň C2/30?
- Vyhoví stávající nosná konstrukce při aplikaci možných úlev tak, aby nebylo nutné přistoupit k okamžitému uzavření mostu pro dopravu?

### 6.1.5. Návrh zesílení

V návaznosti na první výsledky poukazující na problémy s přenosem vodorovných zatížení byl vypracován návrh zesílení. Návrh byl soustředěn na zesílení konstrukce na přechodnost C2/30. Zesílení bylo v tomto případě uvažováno výměnou případně doplněním konstrukčních prvků. Nejvýznamnějšími zásahy bylo především zesílení svislic a všech prvků mostovky:

- Doplnění brzdného ztužení mostovky
- Ztužení tlačené stojiny horního pasu proti boulení
- Zesílení pásnic podélníků a příčníků
- Zesílení svislic hlavního nosníku
- Zesílení diagonál vodorovného ztužení v úrovni dolního pasu

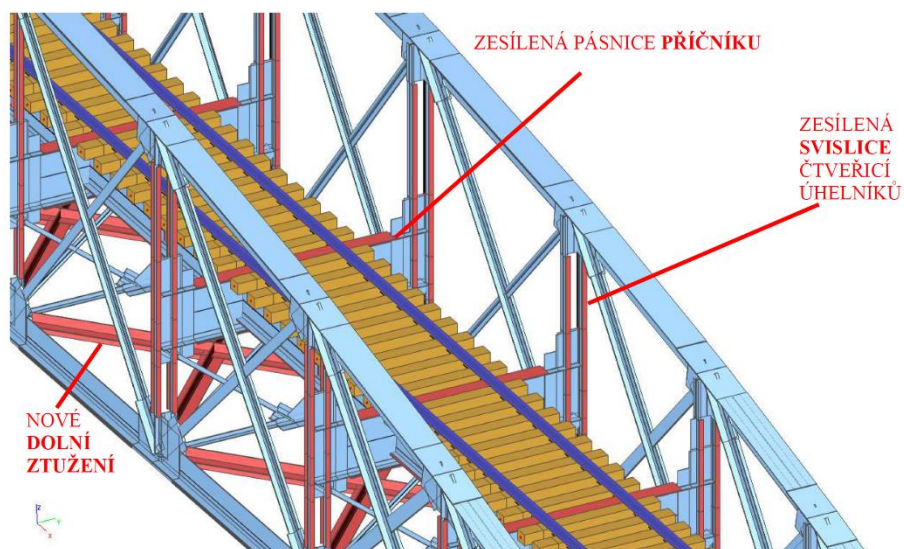
Stěžejním zesílením bylo doplnění brzdného ztužení na celé délce pole, propojeného na koncích s hlavními nosníky. Brzdné ztužení prochází mezi podélníky a příčnky. Na kraji NK navazuje na koncové svislíce a horní pas. Brzdné ztužení bylo navrženo ze svařovaných profilů tvaru „U“. Přidání diagonálního (brzdného) ztužení mostovky významně redukuje účinky podélných sil do příčníků.

Podélníky bylo nutné zesílit na plné délce pole přinýtováním příložkového plechu při horním a dolním povrchu pásnice. Prvky příčníků není po doplnění brzdného ztužení třeba zesilovat z hlediska jejich vlastní únosnosti, nicméně vzhledem jejich spolupůsobení v rámci tuhosti polorámu je nutné zesílení z konstrukčního hlediska, a to pro zajištění dostatečné tuhosti horního pasu proti vybočení z roviny.

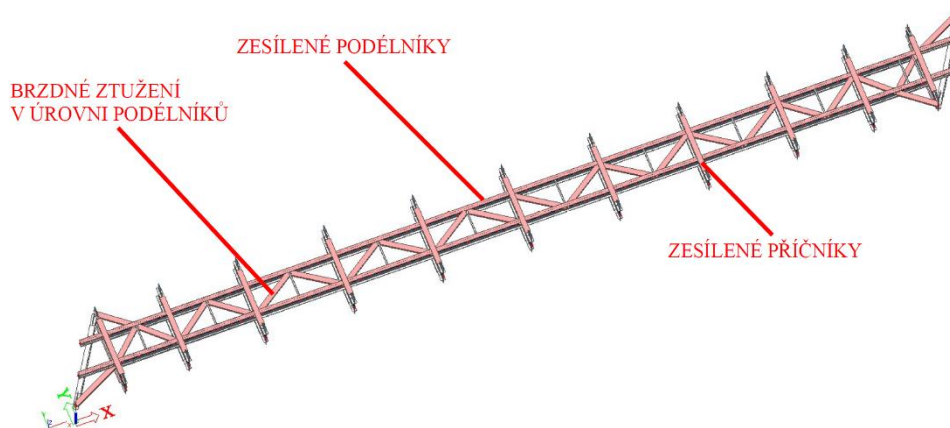
Stojina horního pasu je 4.třídy, pro využití celého průřezu je stojina zesílena přinýtovaným úhelníkem k dolnímu kraji. Úhelník při dolním povrchu stojiny neplní primárně funkci zesílení zvýšením plochy průřezu, ale jako ztužení zabraňující boulení přečnívající části.

Prvky svislic je nutné zesilovat jak z důvodu zvýšení nedostatečné únosnosti, tak z hlediska konstrukčního pro zajištění tuhosti polorámu. Zesílení bylo navrženo z dvojic úhelníků na podélných přírubách stávajících úhelníků.

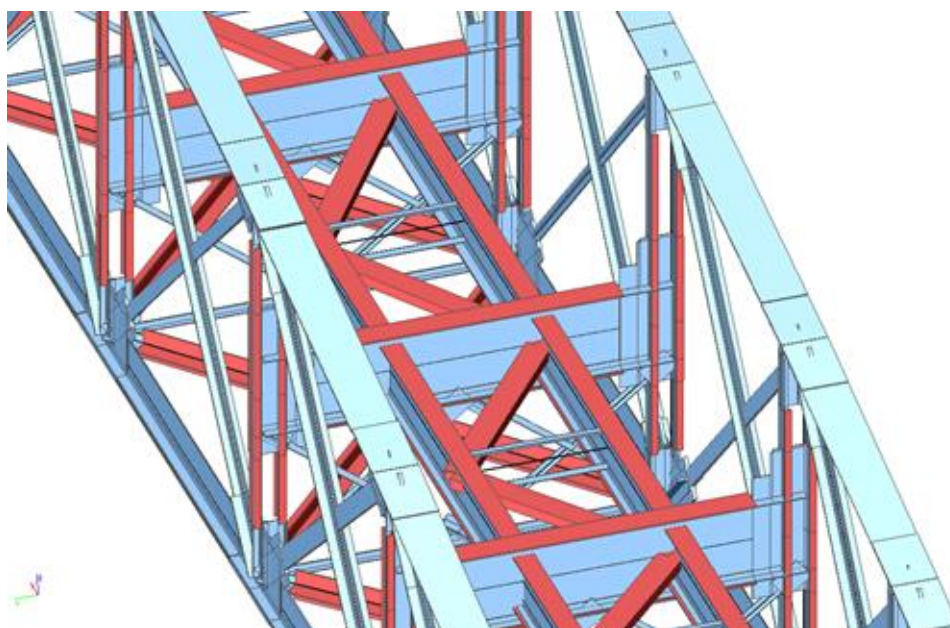
Dalším zesílením byla výměna všech prvků dolního zavětrování. Koncepční řešení navrženého zesílení je znázorněno na následujících obrázcích numerického modelu. Červenou barvou jsou znázorněny nové nebo přidávané prvky uvažované z oceli S355, modrou barvou je pak zobrazena původní konstrukce ze svárkové oceli.



Obr. 45 Schéma vyměněných a zesílených prvků, pro přechodnost C2/30; Zesílení z oceli S355 červenou barvou



Obr. 46 Schéma doplněných a zesílených prvků mostovky



Obr. 47 Schéma zesílených prvků NOK mostu včetně brzdného ztužení v úrovni podélníků

Přepočtem bylo prokázáno, že vhodným opravným zásahem a zesílením prvků hlavního nosného systému lze zajistit přechodnost C2/30 i na této historické ocelové mostní konstrukci.

#### 6.1.6. Zbytková životnost

Po prokázání účelnosti zesílení nosné konstrukce bylo přistoupeno k hodnocení současného stavu a udržitelnosti nosné konstrukce do možného opravného zásahu.

V tomto případě byla dále posuzována přechodnost s uvažováním zbytkové životnosti 5 let. Kromě možných úlev v součinitelích zatížení a materiálu vzhledem ke stáří konstrukce (materiálové charakteristiky byly stanoveny na základě zkoušek odebraných vzorků a pro stanovení větru byly získány lokální údaje od ČHMÚ a byl využit postup z příloh F a G předpisu S5/1), byly eliminovány brzdné a rozjezdové síly, které byly z hlediska posouzení rozhodujícím zatížením. Brzdné a rozjezdové síly musely být při přejezdu mostu zakázány.

Řešeno bylo také reálné působení a účinky zatížení bočním rázem. Pro redukcí vodorovných účinků bočního rázu byly využity nejnovější poznatky z reálného měření publikované v článku [26].

Pro výpočet tlacených prutů byly dále použity aplikovatelné úlevy z normy ČSN EN 1993-2 příloha D. Všechny tyto činnosti vedly obecně ke zlepšení únosnosti v přepočtu.

Po aplikaci úlev byl znovu proveden přepočít jednotlivých prvků stávající nosné konstrukce a bylo zjištěno, že hlavní nosná konstrukce vyhoví pro omezenou dobu životnosti (5 let) z hlediska požadované přechodnosti A s přidruženou traťovou rychlostí 10 km/h při dodržení následujících podmínek:

- Omezení výšky dopravy na třídu KVD1
- Maximální rychlost na mostě 10 km/h
- Zákaz rozjezdu a brzdění na mostě!
- Redukce bočního rázu dle nedávných měření hodnotou 12kN při 10 km/h
- Maximální délka vlaku 28 m (max. dva vozy třídy A)
- Nad rámec maximální délky vlaku byl povolen přejezd soupravy dvou vozů 845 a 945 za splnění výše uvedených podmínek

Díky podrobné aplikaci možných úlev s využitím reálných hodnot materiálových charakteristik a zároveň s uvážením zbytkové životnosti bylo možné dosáhnout podmínek pro zachování nosné konstrukce v provozu. To nabízí možnost vypracovat a realizovat projekt opravných prací, jejichž proveditelnost byla potvrzena v provedeném návrhu zesílení uvedeném výše.

## 6.2. Příklad opravy – železniční most Hybešova

Při rekonstrukci historických mostů narážíme někdy na konstrukční prvky, které jsou dnes již téměř nepoužívané a nepříliš známé. Jedním z takových prvků je tzv. „puklovka“, historický předchůdce ocelové ortotropní mostovky. V rámci rekonstrukce mostů Hybešova a Křídlovická v Brně mělo při stavbě dojít k rozsáhlé výměně těchto prvků za nové z oceli S355, nicméně ale s výrazným omezením doby výluk. Současně s ohledem na obtížný přístup nebyl jasný stav a korozní oslabení puklovek. Zhotovitel, společnost FIRESTA, tedy v rámci přípravy stavby potřeboval zjistit odpověď na následující otázky:

- Je možné stávající puklovky s ohledem na dodržení výluk ponechat, a za jakých podmínek?
- Vyhoví stávající puklovky staticky, při uvážení skutečných materiálových vlastností a reálného působení? Jaké jsou parametry původní oceli i s ohledem na svařitelnost?
- Jaká je minimální tloušťka po korozním oslabení, aby bylo možné puklovku ponechat?
- Je nová puklovka, vyrobená svařováním a ohýbáním, dostatečně odolná s ohledem na únavové namáhání?

Puklovka je vydutý mostovkový plech plnící svou funkci na základě membránové napjatosti. Plech puklovky má obdélníkový, někdy lichoběžníkový tvar. Vydutím připomíná tvar obrácené klášterní klenby. Rozměry puklovky jsou od 1 do 4 m<sup>2</sup>, se stranami v poměru 1:1,5 a tloušťkou plechu od 8 do 10 mm. Okraje puklovky tvoří rovná příruba o šířce 50 mm. Puklovky jsou na konstrukci umístěny do rámu mezi příčníky a podélníky. Plech obruby je po celém svém obvodu připevněn k horním pásnicím mostovkových prvků pomocí nýtů o průměru 20 mm. V nejhlubším místě každé puklovky je otvor o průměru 50 mm. Těmito otvory je zajištěno odvodnění. Plechy puklovek byly chráněny proti korozi z dolní strany nátěry, při horním povrchu i několika asfaltovými nátěry (tloušťky řádově v centimetrech).



Obr. 41 Odebraný plech puklovky a část mostovky, kde byla osazena

Problémem již zmíněné rekonstrukce byla otázka, jak tento historický prvek nahradit. S ohledem na časová omezení ve výluce, pracnost výměny a i historickou hodnotu proběhla řada diskusí o možnosti ponechání puklovek a stanovení podmínek, za kterých vyhovují současným statickým požadavkům. S tímto cílem byl sestaven komplexní diagnostický, výpočetní a experimentální program, jehož cílem bylo uvedené otázky zodpovědět.



Obr. 42 Osazená puklovka s odvodněním a Mikrostruktura materiálu, zvětšení 200x

Původní výrobní technologie, kování za tepla, je dnes obtížně realizovatelná, možností je pouze provedení lisováním za studena u firmy Maurer, nicméně i to je spojeno se značnými obtížemi (nutnost přesné výroby puklovek na míru, tak aby odpovídaly dnes zakrytému stavu, což vede zejména k významným časovým nárokům neslučitelným s dobou výluky). Na počátku tohoto projektu bylo provedeno měření zbytkové tloušťky prvků puklovek ultrazvukem, a to s příznivými výsledky. Nejmenší naměřenou tloušťkou bylo 6,5 mm, běžně naměřenou hodnotou tloušťky plechu bylo 8 mm. Naprostá většina plechů puklovek byla korozi zasažena minimálně. Důvodem byla kvalitně provedená asfaltová izolace

Dále byly provedeny zkoušky tahem, chemického složení a metalografický rozbor, které prováděla Fakulta strojní ČVUT v Praze. Výsledky těchto zkoušek ukázaly na vysoce kvalitní ocel. Vyhodnocena byla hodnota rozhodující návrhové min. meze kluzu  $f_{yd}=293,9$  MPa. Materiál puklovek je jiný a má lepší vlastnosti než jsou obvyklé pro plávkovou a svářkovou ocel. Mez kluzu materiálu není výrazná a je obecně blíže mezi pevnosti. Důvodem těchto vlastností je s největší pravděpodobností výrobní proces, kování a tváření plechu za tepla. To bylo potvrzeno i metalografickou analýzou. Díky tvrdoměrným zkouškám bylo prokázáno, že

i přes odběr vzorků v jedné puklovce je tvrdost a tedy i pevnost puklovek na obou mostech prakticky totožná.

Mikrostruktura materiálu je zobrazena na Obr. 42. Ta ukazuje na feritickou ocel se sulfidickými ostrůvky typicky protaženými vlivem plastické deformace. Po materiálových zkouškách byla provedena statická a dynamická zatěžovací zkouška jedné historické puklovky. Hlavním cílem zkoušky bylo nasimulovat reálné působení, na jejím základě pak validovat model a dosáhnout tak optimálnějšího využití oproti běžným předpokladům Eurokódu.



Obr. 43 Zkušební sestava pro experimentální analýzu

Pro zatěžovací zkoušku byla vytvořena zkušební sestava, Obr. 43, její základ tvoří ocelový rám uložený na čtyřech sloupcích, rám i sloupky jsou z profilů IPE300. Do rámu byla uložena historická puklovka, která byla přinýtována k horním pásnicím I-profilů. Rám s osazeným plechem puklovky byl vyplněn šterkem a ztuhněn. Na vrstvu šterku byl uložen pražec, přes který bylo vnášeno zatížení. Zatěžování bylo provedeno ve dvou zatěžovacích stavech, lišících se polohou pražce. V první poloze byl pražec umístěn v polovině plechu puklovky, v druhé poloze ve čtvrtině plechu.

Při zatěžovací zkoušce bylo pomocí 32 tenzometrů LY11-10/120 měřeno poměrné přetvoření, 17 induktivními snímači dráhy byly měřeny posuny. Polohy jednotlivých měřicích prvků byly určeny z předběžného numerického modelu. Měřena byla napětí při obou površích podél příčné i podélné osy puklovky, v rozích plechu a na obrubě. Obr.4

Zatížení zkušební sestavy bylo zajištěno hydraulickým válcem. Hodnota vnášeného zatížení představující kolovou sílu byla určena dle zatěžovacího modelu LM71 podle ČSN EN 1991-2. Dynamický součinitel zatížení byl uvažován hodnotou  $\delta=2,00$  [-]. Statická zatěžovací zkouška sestávala ze zatěžování charakteristickou (MSP) a návrhovou (MSÚ) zatěžovací silou. Zatížení bylo vnášeno po intervalech 1 s a 20 s.

Z průběhu statické zatěžovací zkoušky byly vyhodnoceny průběhy a extrémní výkmity napětí a deformací plechu puklovky. Využití plechu puklovky ani při působení návrhového zatížení

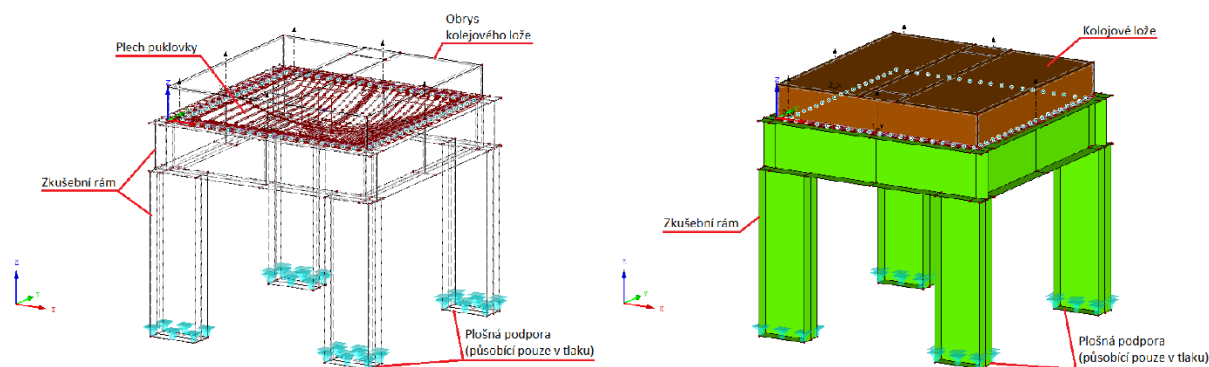
nepřesáhlo 75 %. Po provedení statické zatěžovací zkoušky byla sledována dynamická odezva puklovky. Buzení bylo prováděno impulzy síly o velikosti charakteristické hodnoty zatížení, ve frekvencích 1; 2; 3; 4 a 5 Hz.

Z pořízených záznamů byly vyhodnoceny extrémní výkmity napětí v nejvíce namáhaných bodech plechu puklovky a teoretický dynamický součinitel konstrukce puklovky pro místa s největší napjatostí. Zkouška ukázala malou odlišnost od chování konstrukce při statickém zatěžování. Dynamický součinitel pro místa s největší napjatostí dosahoval hodnoty  $\delta=1,05$ .

Pro zjištění chování historické puklovky bylo kromě výše zmíněných laboratorních měření využito numerické analýzy. Podrobný numerický model historické puklovky i se zkušebním rámem byl vytvořen ve výpočetním programu RFEM, přičemž model byl validován podle výsledků experimentu. Zjišťována byla odezva na zatížení při uvažování různých zatěžovacích stavů. Následně byly výsledky porovnány s výsledky naměřenými při laboratorních zkouškách. Numerický model byl průběžně validován tak, aby co nejlépe vystihoval skutečné chování plechu puklovky.

Pro numerickou analýzu byl vytvořen prostorový model skládající se z desko-stěnových a solid prvků včetně kontaktních ploch, přičemž plech puklovky a zkušební rám byly modelovány jako desko-stěnové prvky a solid prvkem bylo simulováno kolejové lože. Drátový a rendrovaný model puklovky je uveden na Obr. 44.

Tvar a rozměry plechu puklovky byly zjištěny laserovým skenováním. Plech byl modelován jako plocha z 2D prvků tloušťky 8mm. Tvar puklovky byl modelován včetně středového otvoru pro odvodnění. Rám podpírající puklovku byl modelován pomocí desko-stěnových prvků. Nýty spojující zkušební rám a puklovku byly modelovány jako 1D prvky. Tyto prvky působí pouze v tahu a je jim umožněn prokluz 1 mm do každé strany ve směru kolmo na osu prvku. Tím byla simulována vůle nýtů v otvoru. Modul pružnosti plechu puklovky a nýtů byl uvažován stejnou hodnotou  $E=194,6$  GPa, vycházející z materiálových zkoušek. Modul pružnosti zkušebního rámu byl uvažován hodnotou  $E=210$  GPa. Štěrkové lože bylo tvořeno solid prvkem z isotropně lineárně elastického materiálu. Místo modelování pražce jako solid prvku bylo jeho působení nahrazeno plošným zatížením, tím byla zanedbána jeho tuhost, nicméně při porovnání obou přístupů byly zjištěny minimální rozdíly. V patě každé stojky zkušebního rámu byla umístěna plošná podpora působící pouze v tlaku. Kromě jedné podpory byl všem umožněn vodorovný posun do všech směrů.



Obr. 44 Drátěný a rendrovaný numerický model zkušební sestavy s puklovkou

Uvažované proměnné zatížení vycházelo z experimentální analýzy. Zatěžováno bylo charakteristickými a návrhovými hodnotami kolové síly v obou zatěžovacích stavech, tj. pro polohu pražce v polovině a ve čtvrtině plechu. Pro výpočet byla použita nelineární analýza.

Následně bylo přistoupeno k hodnocení chování plechu puklovky s uvažováním korozního oslabení. Pomocí numerické analýzy byla zkoumána hodnota maximálního přípustného



korozního oslabení z hlediska posouzení zatížitelnosti. Korozní oslabení plechu puklovky bylo simulováno změnou jeho tloušťky (pro různé polohy koroze) a bylo pozorováno, zda účinky kolových sil nepřesáhnou hodnotu maximálních dovolených lokálních účinků od modelu LM71. Účinky zatížení byly sledovány při korozním oslabení plechu v rozsahu 0 až 1,5 mm. Pro tato korozní oslabení nebyla překročena maximální dovolená hodnota napětí.

Minimální přípustná tloušťka plechu puklovky, se kterou lze tento prvek zachovat v provozu byla stanovena hodnotou  $t_{\min}=6,35$  mm.

Součástí projektu byla i experimentální analýza nově vyrobené puklovky. Plech nové puklovky, byl tvarován za studena a sestává ze čtyř svařených částí. Pro výrobu byl použit plech z oceli S355J2C+N tloušťky 8 mm. Experimentální analýza byla provedena pro stanovení případných odchylek v chování nové puklovky.

Statická a dynamická zatěžovací zkouška nové puklovky navazovala na zatěžovací zkoušku historické. Průběh experimentu byl obdobný jako pro analýzu historické puklovky. Byla použita stejná zatěžovací sestava i program zatěžování. Pro možnost porovnání výsledků měla měřená místa stejnou polohu jako při předchozím měření.

Naměřené hodnoty napětí a deformací ukázaly na velmi malou odlišnost od chování konstrukce historické puklovky. Využití plechu puklovky ani při působení návrhového zatížení nepřesáhlo 62 %. Zjištěna byla určitá odlišnost od chování historické puklovky při zatěžování impulzy 1 Hz. Dynamický součinitel pro místa s největší napjatostí dosahoval hodnoty  $\delta=1,57$  [-].

Provedená analýza prokázala, že konstrukce historických puklovek je možno v mnohých případech zachovat i při splnění současných normativních požadavků. Tím lze vzácně skloubit věci obvykle neslučitelné - minimalizovat dobu výluky, snížit pracnost rekonstrukce a navíc zajistit její ekonomicky efektivní řešení zachovávající historickou a památkovou hodnotu mostu.



Obr. 45 Pohled na most po rekonstrukci

### 6.3. Příklad konverze – most nad ulicí U Slavie v Praze

#### 6.3.1. Historie

Ocelový plnostěnný trémový most s horní mostovkou a s použitím žlabin pochází z roku 1914 (Obr. 46.). Původně převáděl trať Gmünd – Praha přes ulici U Slavie; v současnosti je zahrnut

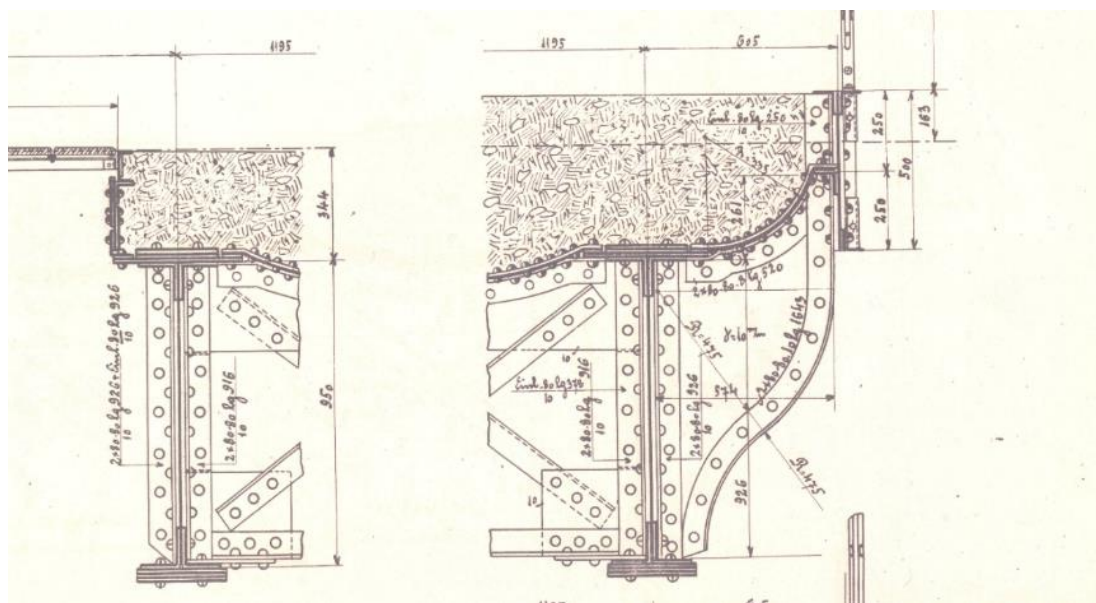
do projektu tzv. Drážní promenády. Most sestává z jednoho otvoru, je dlouhý cca 18 m s délkou přemostění 14 m a celkovou šířkou 10,78 m. Ocelovou konstrukci tvoří 9 hlavních plnostěnných nýtovaných nosníků průřezů I, z toho 7 nosníků vnitřních a dva nosníky krajní. Osová vzdálenost nosníků je 1 195 mm. Vnitřní nosníky mají proměnnou výšku po délce (836–1 036 mm), vnější nosníky pak mají konstantní výšku 1 032 mm. Mezi všemi hlavními nosníky probíhá příčné příhradové ztužení. Nosným podkladem pro kolejové lože jsou ocelové plechy tloušťky 9 mm, tzv. žlabiny. Konstrukce je uložena na 2 x 9 tangenciálních ložiskách (pohyblivá a pevná). Obě opěry jsou masivní zděné s betonovým základem a dvěma křídly na severní straně.



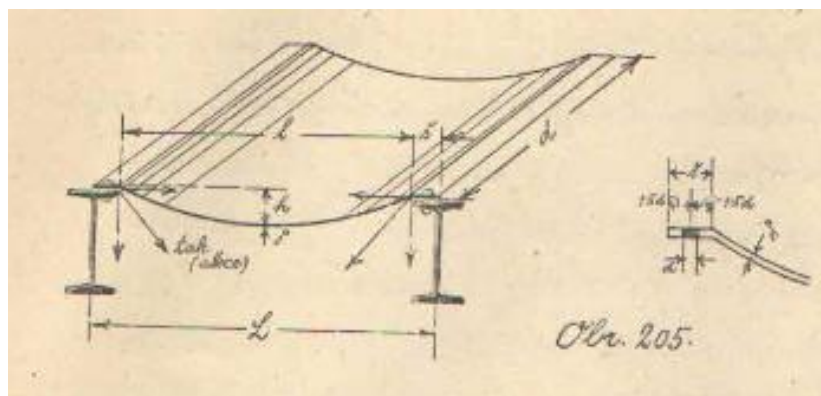
Obr. 46 Pohled na most od severu v roce 2021

### 6.3.2. Technické zvláštnosti

Most je z technického hlediska zajímavý zejména použitím tzv. žlabin (Obr. 47 a Obr. 48). Jedná se o válcovitě prohnuté plechy s rovnými přírubami, které se používaly jako podklad pro vozovku silničních nebo ocelových mostů od roku 1867. Prohnutí plechu se provádělo válcováním za studena, přičemž příruby se zhotovovaly za tepla. Žlabiny se vyráběly z plechu tloušťky 6–10 mm, rozpětí žlabin se pohybovalo v rozmezí 1,5–2 m, délka pak 2–2,2 m. Odvodnění žlabin se realizovalo nejčastěji otvory vyvrtanými na dně nebo mezerami mezi nimi. Žlabiny poskytovaly nosný podklad pro kolejové lože mezi hlavními nosníky. Původní výška kolejového lože uprostřed rozpětí byla 0,35 m, na koncích mostu 0,55 m.



Obr. 47 Příčný řez mostem na archivní dokumentaci



Obr. 48 Princip působení žlabiny

### 6.3.3. Popis poruch a korozního oslabení

Průzkum v roce 2021 obsahoval zmapování stavu konstrukce a rozsahu poruch, studium dostupných podkladů, ověření vlastností oceli tvrdoměrnými zkouškami, stanovení korozního oslabení NK, zjištění stavu PKO s ohledem na její obnovu. Cílem prací bylo získat obraz o aktuálním stavu konstrukce a poskytnout podklad pro zpracování projektové dokumentace opravy mostu.

Zhodnocení dimenzí nosné konstrukce proběhlo na základě zaměření zbytkových tloušťek žlabin ultrazvukovým tloušťkoměrem. Původní tloušťka žlabin byla dle statického výpočtu 9 mm. Oslabení je poměrně nízké a roste směrem se stékající vodou k opěrám. Ve středu mostu lze žlabiny označit za téměř nepoškozené, u opěr se oslabení pohybuje okolo 12 %, v některých místech bylo naměřeno lokální oslabení zdola až 33 %. Průměrné oslabení ale nepřekračuje 10 %.



Obr. 49 Stav horní plochy na žlabinách, degradace a koroze ložisek

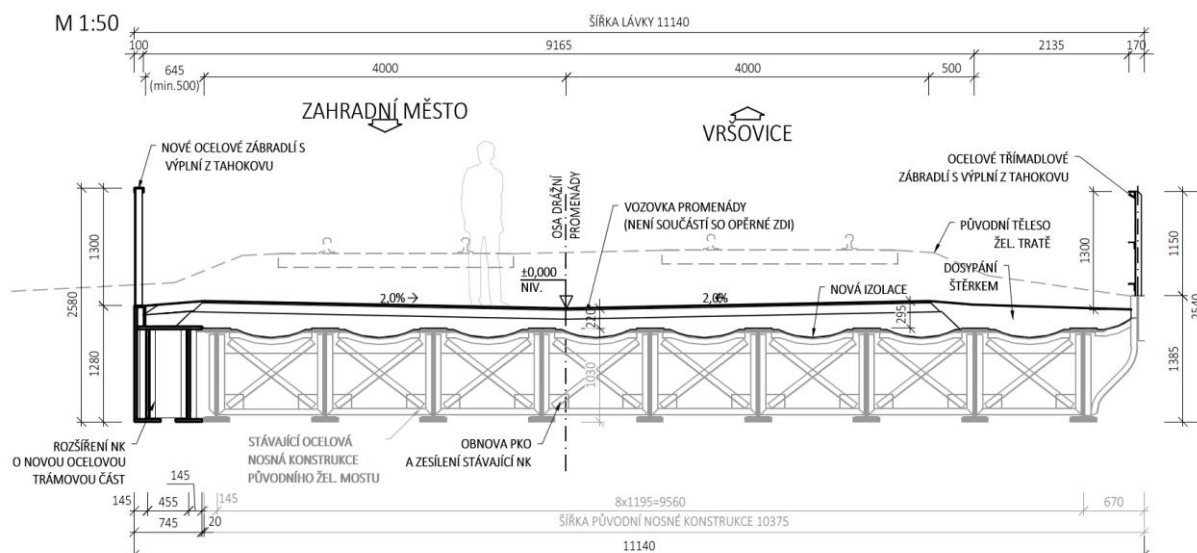
Rozsáhlejší poškození lze nalézt pouze na sekundárních prvcích – římse (vodorovné plochy úhelníků) a dále pak na přesahu NK přes závěrnou zídku. Na tomto přesahu nebylo z důvodu nemožného přístupu oslabení měřeno, bylo ale patrné místní celkové prokorodování konce NK a silná koroze příčného plechu zakončujícího NK.

Diagnostický průzkum také zahrnoval posouzení stavu PKO. Na základě šetření byla klasifikována skladba PKO o 2 až 3 vrstvách. Tloušťka nátěrového systému ocelové konstrukce mostu není na celé mostní ocelové konstrukci rovnoměrná a pohybuje se v průměru od 200 do 250  $\mu\text{m}$ . Lokálně se však na konstrukci vyskytují i místa s hodnotami nižšími než 150  $\mu\text{m}$ , což bylo většinou způsobeno při aplikaci nátěrových hmot nedůslednou kontrolou. Protikorozní ochrana v současné době neplní správně svoji funkci.

Mostní konstrukce je z velké části v poměrně dobrém stavu, nicméně některé části jsou již blízko konce životnosti. Je nezbytné zahájení rekonstrukce, jinak mohou být degradační škody nevratné. Z hlediska korozního oslabení je toto v rozsahu do 10 % v ploše žlabin, u hlavních nosníků není oslabení detekováno. Rozsáhlé oslabení až celkový rozpad prvků lze ale nalézt na římse a na přesahu NK přes závěrnou zídku. Tyto prvky jsou pro rekonstrukci nevyužitelné. Stav PKO již neposkytuje pro celek mostu dostatečnou ochranu a pro rekonstrukci je třeba zvažovat její celkovou obnovu, a to zejména s ohledem na nedostatečnou adhezi. Po rekonstrukci má ale most potenciál dlouhodobé životnosti.

#### 6.3.4. Konverze

Původní benešovská trať (221) je v současnosti přeložena. Most, který již nemůže sloužit původnímu účelu, je proto zahrnut do projektu tzv. Drážní promenády, která má za cíl iniciovat revitalizaci území železničních brownfields na území Vršovic. Plánuje se, že most bude využíván jako lávka.



Obr. 50 Příčný řez po konverzi

## 6.4. Příklad zesilování – most přes Labe v Kuksu

### 6.4.1. Původní most

Původní příhradový nýtovaný silniční most s dolní mostovkou pocházel z poslední čtvrtiny 19. století a byl zhotovený ze svárkové oceli. Leží na hlavní severojižní urbanistické ose spojující kolmo přes řeku Labe hospital (na jižní straně areálu) a dnes již neexistující zámek (na severní straně areálu).



Obr. 51 Most před rekonstrukcí

Přemostění řeky Labe mezi hospitálem a bývalým zámekem se skládá ze dvou částí: inundační kamenné, která přemostňuje pravidelně zaplavovaná luka údolní nivy, a ocelové přes koryto řeky. Inundační část pochází z poslední čtvrtiny 18. stol. a je národní kulturní památkou. Ocelová část na počátku 80. let 19. stol. nahradila dřevěný most se nachází na území památkové

rezervace obce Kuks s přilehlým komplexem hospitálu a souborem plastik a leží rovněž v prostředí předmětné kulturní památky.

Ocelová konstrukce silničního otevřeně uspořádaného nýtovaného příhradového mostu s původně dolní mostovkou o jednom poli je položena přes koryto řeky Labe. Původním materiálem byla svárková ocel. Nosnou konstrukci tvoří dva přímopásové příhradové nosníky svislicové soustavy o výšce 2 m a rozpětí 19 m. Nosníky mají 8 příhrad, které jsou od sebe osově vzdálené 5,48 m, s taženými diagonálami, ve dvou středních příhradách jsou diagonály překřížené. Horní i dolní pásnice jsou složeny ze dvou úhelníků s vloženým plechem, postupně jsou zesilovány pásovinou. Svislice jsou sestaveny ze čtyř úhelníků L 60 × 10 mm, koncové ze čtyř úhelníků L 70 × 10 mm a vloženého plechu 10 × 220 mm. Diagonály jsou zhotoveny ze zdvojené pásoviny, v prostředních dvou je pásoviná překřížená.

Mostovku podle popisu v Památkovém katalogu původně tvořily příčníky tvaru I výšky 380 mm, jejichž pásnice byly sestaveny z dvojic úhelníků L 70 × 10 mm, a zabetonované klenbičkové litinové panely, na nichž byl kryt z asfaltobetonu. Spodní stavbu mostu tvoří dva nábrežní kamenné pilíře vyzděné z opracovaného místního pískovcového kvádrového zdiva. Pilíř na pravém břehu řeky, který je zároveň posledním pilířem inundační části mostu, má lichoběžníkový tvar. Levobřežní pilíř mírně předstupuje před opěrnou kamennou nábrežní zeď, na jejíž koruně jsou pozůstatky po bývalé sochařské výzdobě.

#### 6.4.2. Stav původního mostu

Na mostě byla před zesilováním v roce 2017 provedena řada destruktivních i nedestruktivních zkoušek. Pro destruktivní testování bylo odebráno 10 vzorků. První dva vzorky byly odebrány z úhelníků horního pásu, třetí a čtvrtý vzorek z úhelníků svislic. Zbýlých šest vzorků bylo odebráno z plechů horního pásu. Z odebraných vzorků bylo zhotoveno dvanáct zkušebních vzorků, na osmi byly provedeny zkoušky tahem a na čtyřech byly provedeny zkoušky svařitelnosti.



Obr. 52 Odběr vzorku z úhelníku horního pásu

S ohledem na stáří konstrukce lze předpokládat použití svárkové oceli. Zjištěné charakteristiky plechů a úhelníků hlavního nosníku ukazují na vyšší hodnoty meze kluzu, v průměru 290 MPa. Tato hodnota je příznivější než u dnešní oceli třídy S235. Odebrané vzorky z příložkových

plechů horního pásu jsou však z méně kvalitní oceli, nemají zřetelnou mez kluzu a porušují se křehce.

Zkoušky svařitelnosti následně prokázaly náchylnost ke křehkému porušení. Do vzorků plátů oceli byl nejprve proveden vrub, který byl následně zavařen. Po vychladnutí byl prováděn ohyb do úhlu 30°. U všech vzorků došlo ke křehkému lomu v místě kontaktu svaru a oceli před dosažením 30°.

#### 6.4.3. Popis poruch a korozního oslabení

Zhodnocení vad a poruch nosné konstrukce bylo provedeno na základě prohlídky a změřeného korozního oslabení prvků. Nejzásadnější nalezenou poruchou z hlediska dopadu na statickou funkci nosné konstrukce je korozní oslabení styčnicků dolního pásu hlavního příhradového nosníku. Prvky diagonál a svislic byly v úrovni vozovky běžně oslabeny až o 50 % tloušťky (ČSN 73 6221 klasifikuje most v havarijním stavu již při korozním úbytku vyšším než 15 %). V některých místech byly nosné prvky již zcela zkorodované. Mezi krčnými úhelníky a plechy svislice či diagonály hlavního nosníku narůstala štěrbinová koroze. Místy se objevovalo odlupování plátků vlivem korozního oslabení.



Obr. 53 Korozní oslabení krčných úhelníků v úrovni vozovky a degradovaná vozovka s odhalenými podlažnicemi

Další poruchy byly nalezeny na desce mostovky. Mostovku tvořily podlažnice Zorés uložené na podélníky a příčnický a na nich vybetonovaná deska s živičnou vozovkou. Betonová deska mostovky byla při okrajích u hlavních nosníků silně degradovaná a rozrušená, místy byly odhaleny podlažnice, které byly významně zkorodované.

#### 6.4.4. Zesílení mostu v roce 2017

**Hlavní nosná konstrukce.** S ohledem na skutečnost, že materiál původní konstrukce se porušuje křehkým způsobem, bylo cílem zesílení maximálně snížit zatížení na příhradové nosníky. Pojíždějící vozidlo by měly přenést nově vložené nosníky. Pro snížení zatížení byla původní ocelobetonová mostovka odstraněna včetně asfaltových vrstev. Do konstrukce byly vloženy dva Vierendelovy nosníky. Horní a dolní pás je nově tvořen dvěma svařenými nosníky HEB 160.





**Další prvky.** V rámci zesílení konstrukce byl proveden nový úložný práh na podpěrách a závěrné zídce. Podpěry byly zpevněny injektáží a hloubkovým spárováním. Stabilizace základů bočních opěr byla provedena zasypáním kamennými bloky o minimální hmotnosti 250 kg. Líc kamenného záhozu kopíruje břeh a plynule navazuje na okolní neupravené koryto toku.

Jako nová mostovka byly pasy nových HEB160 překryty fošnami. Pochozí plocha je tvořena příčnými dubovými hraněnými trámy bez povrchové úpravy. Pojezdová plocha je vymezena opracovanými dubovými obrubami s úkosy.

Součástí opravy bylo i rozebrání a opětovné uložení římsy obou opěr. Na pravém břehu byla římsa rozebrána po celém obvodu pilíře. Na levém břehu se provedlo přezdění římsy za mostem.

Z důvodu nevyhovujícího původního zábradlí bylo provedeno nové ocelové zábradlí. Provedly se také potřebné úpravy okolního terénu. Projekt zpracoval Ing. Jan CHALOUPSKÝ, stavbu realizovala firma EUROVIA CS.

#### 6.4.5. Zhodnocení stavu mostu v roce 2021

Údržba mostu je na dobré úrovni. Most plní svůj účel a stavební stav mostu je II – velmi dobrý. Zesílený most má potenciál dlouhé životnosti.

## 7. Závěrečné poznámky

Při průzkumech, hodnocení, opravách a zesilování historických kovových mostů nelze použít všechny techniky vyvinuté pro moderní konstrukce, protože materiálové i konstrukční vlastnosti historických mostů se často významně liší od těch moderních. Navíc je nezbytné respektovat památkovou hodnotu konstrukce. Nekritické aplikace nových technologií a nedostatek informací o vlastnostech historických materiálů a návrhových postupů kovových mostů mohou vést ke ztrátě souvisejících kulturních hodnot. Proto je nezbytné věnovat velkou pozornost diagnostice a hodnocení historických kovových mostů, které pak slouží jako klíčové podklady pro návrh šetrné obnovy a dalšího využití historických mostů.

### 7.1. Diagnostika

Hodnocení komplexních konstrukčních systémů historických kovových mostů a rozhodování o opravách a dalším využití musí vycházet z detailních informací o sledované konstrukci. Je potřebné získat informace jak o historických materiálech, tak geometrii prvků, působení konstrukčních systémů i působení stálých a proměnných zatížení.

S ohledem na dopady na památkovou hodnotu je zpravidla potřebné a často možné omezit rozsah destruktivních zkoušek a doplnit chybějící informace s využitím kalibrovaných nedestruktivních postupů (nebo semi-destruktivních zkoušek). V rámci degradačního průzkumu je potřebné ověřit především kritické detaily, ověřit stav protikorozi ochrany (PKO) a rozvoj rovnoměrné a důlkové koroze.

Kromě technických parametrů podrobně popsanych v tomto památkovém postupu musí návrh diagnostiky památkově hodnotných objektů vycházet i z jasně rozpoznané a definované památkové hodnoty analyzované konstrukce. Památková hodnota stavby, konstrukce nebo její části, se stanovuje na základě současného stavu poznání pomocí odborné památkové analýzy zpracované v souladu s památkovým zákonem<sup>31</sup> v rámci příslušných správních řízení. Metodologicky se postupuje mimo jiné podle metodik vydávaných příslušnými resortními organizacemi Ministerstva kultury ČR (v případě památkové péče Národním památkovým ústavem). Pro diagnostiku a technické hodnocení konstrukcí pak platí závazná technická norma ČSN 73 0038. Hlavní zásady, kterými se diagnostika, hodnocení a návrh obnovy konstrukcí s památkovou hodnotou řídí, jsou podle ČSN 73 0038 následující:

- zásada šetrnosti v přístupu k památkově chráněným objektům,
- respektování vývojové vrstevnatosti díla,
- pečlivé a diferencované rozlišování hodnot,
- celistvá interpretace památkově chráněného objektu,
- věrohodnost ztvárnění a
- zásada kontextuálního přístupu.

V tomto památkovém postupu popsaná metoda rozdělení památkové hodnoty na jednotlivé segmenty (E-P metoda) má za cíl vytvořit platformu pro usnadnění mezioborové komunikace mezi specialisty památkové péče a inženýry projektanty (případně i vlastníky nebo správci) mostních objektů. E-P metoda má pomoci snáze definovat a přesněji se zaměřit na památková specifika analyzovaných konstrukcí s cílem optimalizovat diagnostické, sanační a rekonstrukční postupy tak, aby byla památková hodnota objektů co nejméně dotčena. Některé segmenty památkové hodnoty jsou totiž výrazně citlivější na invazivní průzkum nebo na některé sanační metody, podle povahy jejich výskytu tak může vyvstat potřeba diagnostické nebo sanační postupy omezit. To je v konfrontaci s faktem, že neúplné informace z průzkumu

<sup>31</sup> aktuálně zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění.

mohou vést ke zbytečně konzervativním předpokladům při hodnocení a v důsledku toho k možným ztrátám památkové hodnoty z důvodu navazujících nadbytečných úprav. Obdobně tak mohou některé sanační metody, které se zdají na první pohled památkově šetrnější, zapříčinit následnou kratší životnost objektu.

## 7.2. Hodnocení

Pro potřeby hodnocení spolehlivosti a případné stanovení zbytkové životnosti mostu se doporučuje zjistit druh, uspořádání a velikost působících zatížení šetřením na místě. Stálá zatížení se stanoví na základě odebraných vzorků a měření rozměrů prvků a tloušťky vrstev.

Model pro účinky zatížení dopravou by se měl opírat o informace o skutečném zatížení dopravou, může být účelné aktualizovat modely pro účinky zatížení měřeními statických a/ nebo dynamických účinků.

Zpřesnění modelů pro klimatická zatížení (obvykle tlak větru a zatížení teplotou) může vycházet z údajů od ČHMÚ nebo z využití pokročilých postupů (zkoušky ve větrném tunelu nebo osvědčené a/ nebo řádně ověřené numerické metody).

Při modelování často komplikovaných konstrukčních systémů historických mostů se doporučuje využívat pokročilé numerické metody, které dokáží přihlídnout ke:

- skutečné tuhosti styčniců,
- působení podpor,
- excentricitám,
- nelineárnímu chování materiálu,
- vlivu rovnoměrné i důlkové koroze včetně jejich vlivu na účinky únavy apod.

Numerické modely lze validovat statickou nebo dynamickou zatěžovací zkouškou.

U významných mostů (z hlediska památkové hodnoty nebo z ekonomického) nebo při rozhodování o nákladných opravách je účelné využít v souladu se zásadami Eurokódů a norem ČSN pravděpodobnostní analýzu. Oproti konzervativním předpokladům v normách zpřesňuje pravděpodobnostní analýza především:

- popis kombinace zatížení,
- účinků zatížení teplotou,
- odhad únavové životnosti,
- popis nejistot ve specifických případech – nehomogenní materiály, velmi málo nebo naopak hodně testových dat, významné účinky koroze,
- atd.

Klíčovým vstupem (požadavkem) pro hodnocení spolehlivosti je hodnota směrného indexu spolehlivosti  $\beta$ . Tu může stanovit správce mostu nebo může být stanoven podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038. Podle ČSN 73 0038 lze směrné úrovně spolehlivosti pro existující konstrukci v řádně odůvodněných případech snížit v porovnání s požadavky na nově navrhované konstrukce. Toto odůvodnění může vycházet z ekonomického a/ nebo společenského hlediska a/ nebo z hlediska udržitelnosti. Je možné rozlišovat:

- minimální směrné úrovně spolehlivosti, které udávají požadavek na zesílení konstrukce a které mohou být v odůvodněných případech nižší než směrné hodnoty pro nové konstrukce,
- směrné úrovně spolehlivosti pro optimální zesílení – tyto úrovně jsou obvykle stejné jako směrné úrovně pro nové konstrukce.

### 7.3. Obnova a údržba PKO

Správná a pravidelně prováděná údržba PKO je jedním ze zásadních předpokladů zajištění požadované životnosti ocelových konstrukcí a poskytnutí potřebné ochrany proti nepříznivým činitelům daného prostředí. Údržbu ocelových konstrukcí je nutné řešit s ohledem na životnost konstrukce, ale také s ohledem na ekologické, technologické a ekonomické možnosti. Cílem je zajistit bezpečnost a prodloužit životnost ocelových konstrukcí při maximální míře uchování jejich památkové hodnoty.

Na ocelových konstrukcích se mohou vyskytovat různé vady a poškození. Mezi tyto vady lze obecně zahrnout korozní napadení, mechanické poškození, nevhodný návrh ocelové konstrukce, vandalismus a další. Koncepce protikorozní ochrany musí obsahovat materiál a jeho ochranu pro danou technologii, údaje o ztrátách materiálu a jeho sledování při provozu zařízení. K tomu se přidává i provozní spolehlivost, životnost, protipožární odolnost a hospodárnost řešení. Celá tato část je důležitá a rozhoduje často o úspěchu celé investice na opravu.

Údržbu a následnou opravu či obnovu PKO si určuje každý vlastník sám na základě životnosti povrchové úpravy, ale také podle aktuálního stavu zjištěného při pravidelných kontrolách. Dbát je přitom nutné na požadavek památkové péče na zachování autenticity (například barevnosti nátěru apod.).

Základem návrhu opravy nebo obnovy PKO je reálné hodnocení vad a příčin jejich vzniku, které je ve většině případů výsledkem běžné nebo hlavní mostní prohlídky.

Při návrhu opravy je nutné stanovit vhodné dílčí technologické procesy, které povedou k zajištění požadované životnosti PKO. K tomuto účelu je nutné mít vypracovaný a schválený technologický předpis (TP) pro opravu či obnovu PKO. Nejdůležitějším procesem v TP jsou předúpravy povrchu. Vždy je zapotřebí předupravit povrch, aby následný technologický proces (nátěrová hmota, žárový nástřik atd.) mělo dostatečnou přilnavost k původnímu povrchu. Provádění oprav je povoleno pouze v případě vhodných klimatických podmínek.

Pro zajištění vhodné opravy nebo obnovy by TP mělo obsahovat:

- návrh předúpravy povrchu v kontextu s danou opravou,
- návrh hodnocení stavu předúpravy povrchu,
- návrh vhodného opravného systému PKO,
- specifikaci použitých dílčích částí opravného systému,
- specifikaci prováděných prací,
- systém kontroly během provádění opravných prací.

V rámci provádění oprav PKO je nezbytné, aby při opravách na dodržování pracovních postupů a kvalitu provedení protikorozní ochrany dohlížel odborně způsobilý pracovník – korozní inženýr, certifikovaný dle standardu APC Std-401 jakožto zástupce za stranu objednatele. Je také nutné mít zpracován plán sledování a údržby mostu, včetně prohlídek a údržby protikorozní ochrany.

### 7.4. Zesilování

Moderní technologie zesilování - zesilování pomocí spřažení s betonem, zesílení podporových oblastí, zesilování moderními materiály

## 7.5. Další způsoby využití

Historické mosty často nesplňují požadavky na spolehlivost a jejich zesílení může být s respektem k požadavku na zachování památkové hodnoty technicky a ekonomicky neproveditelné. Z tohoto důvodu je namísto zvážit i alternativní postupy směřující k zachování alespoň některých segmentů původní památkové hodnoty konstrukce; mezi tyto postupy patří:

- transformace,
- konverze,
- kopie,
- reprodukce,
- replika,
- anastyloza,
- nápodoba.

alespoň některých segmentů původní památkové hodnoty konstrukce.

### 7.5.1. Transformace

Transformace představuje obecně přeměnu objektu s cílem dosáhnout pozitivní změny. Pro účely posuzování změn mostních konstrukcí je pojem transformace použit jako nejobecnější pojem pro přeměnu konstrukce, tj. obsahuje možnou změnu užívání, změnu tvaru, změnu materiálu, změnu lokace, změnu měřítka apod.

### 7.5.2. Konverze

Konverze je změna v užívání objektu. Pro účely posuzování změn mostních konstrukcí je pojem konverze použit pro změnu užívání konstrukce. Příkladem je most nad ulicí U Slávie v Praze, který bude přemístěn a použit jako součást cyklostezky. Obdobným příkladem je náš první celosvařovaný most profesora Františka Faltuse ze Škodových závodů v Plzni, který bude z areálu Škody přemístěn pro použití na cyklostezce nebo jako pěší lávka (pravděpodobně na severozápadním okraji Plzně). Z úspěšných světových realizací je možné jmenovat například původně železniční most přes údolí řeky Hudson *Walkway Over the Hudson State Historic Park* v Poughkeepsie ve státě New York v USA, který byl změněn na pěší vyhlídkovou promenádu.

Z hlediska zachování historických mostních konstrukcí je právě konverze slibnou cestou, která v případě nedostatečné únosnosti umožní **zachování konstrukce i pro další pokolení**. Důvodem je to, že zatížení, na které byly navrženy silniční a železniční mosty, jsou vyšší než dnešní požadavky na lávky pro pěší, proto právě konverze na lávku pro pěší a cyklisty je možný i v případě značné degradace koroze či jinými degradačními vlivy. Možnost konverze by v případě hrozící demolice měla vždy být prověřena.

### 7.5.3. Kopie

Kopie je vytvoření tvarově i materiálově identického díla podle originálu ve stejném měřítku. Pro účely posuzování změn mostních konstrukcí je pojem kopie použit pro změnu jednoho nebo více prvků v konstrukci (případně až celé konstrukce), a to za tvarově i materiálově shodné i shodně spojované prvky jako je tomu u originální konstrukce, která musí být v době změny k dispozici. Vzhledem k rozdílné technologii výroby oceli je přípustná záměna historické oceli za novodobou ocel obdobných vlastností.

### 7.5.4. Reprodukce

Reprodukce je vytvoření tvarově identického díla podle originálu, s možnou změnou materiálu a měřítka. Představuje například situaci, kdy dojde k výměně původní konstrukce za tvarově identickou konstrukci novou, avšak při použití odlišného materiálu (například v původní

konstrukci byla použita standardní konstrukční ocel, která je v nové konstrukci nahrazena ocelí vysokopevnostní). Reprodukci je rovněž výroba již neexistujícího prvku podle původní dokumentace a jeho vložení do konstrukce na místo po chybějícím prvku, přitom může být k jeho výrobě použit odlišný materiál. Reprodukci též představuje změna měřítka nové konstrukce, která nahrazuje původní konstrukci, avšak se zachováním vzájemných proporcí původní konstrukce (například prodloužení nové konstrukce o 2 % oproti originálu je provázáno i jejím zvýšením a rozšířením o 2 %).

#### 7.5.5. Replika

Replika je vytvoření tvarově i materiálově identického díla ve stejném měřítku, nikoliv podle originálu, ale podle věrohodné dokumentace originálu (například původní projektové dokumentace, zaměření původní konstrukce s fotodokumentací apod.). Příkladem je vytvoření nové mostní konstrukce nebo její části v přesné shodě s historickou dokumentací v situaci, kdy původní konstrukce již zanikla.

#### 7.5.6. Anastyloza

Anastyloza je znovusestavení konstrukce z dochovaných dílů původní konstrukce, která se rozpadla nebo byla zničena ve své integritě. Předpokladem je dostupnost převážné části původních prvků, které tak zůstaly k dispozici a jsou instalovány do svých původních pozic ve znova sestavované konstrukci. Příkladem je znovusestavení oblouků Karlova mostu stržených při povodni v roce 1890.

#### 7.5.7. Nápodoba

Nápodoba je změna situace do stavu, který neodpovídá tvarově a/nebo materiálově a/nebo proporčně původní konstrukci, avšak se snahou původní konstrukci reflektovat. Příkladem nápodoby je transformace železničního mostu přes přehradu Hracholusky v roce 2018. Negativním až groteskním příkladem nápodoby je imitace Tower Bridge v čínském Su-chou.

## 7.6. Poučení z reálných příkladů

Vzorové postupy prezentované na konci tohoto památkového postupu ukazují příklady dobré praxe, kdy se podařilo:

- zachránit most v Kadani s využitím hodnocení na základě pokročilých numerických metod,
- vhodným přístupem k opravě mostu přes ul. Hybešova zachovat konstrukci historických puklovek i při splnění současných normativních požadavků; v tomto případě se podařilo skloubit věci obvykle neslučitelné – minimalizovat dobu výluky, snížit pracnost rekonstrukce a navíc zajistit její ekonomicky efektivní řešení zachovávající historickou a památkovou hodnotu mostu,
- využít železniční most nad ulicí U Slavie v Praze k novému účelu – vzhledem k přeložení železniční tratě již most nemůže sloužit původnímu účelu, a je proto zahrnut jako lávka do projektu tzv. Drážní promenády, která je součástí revitalizace železničních brownfields ve Vršovicích,
- vhodným návrhem zesílení zachránit památkovou hodnotu most přes Labe v Kuksu - zesílený most má potenciál dlouhé životnosti.

## 7.7. Závěr

V případě památkově chráněných staveb jsou diagnostika, hodnocení i návrh obnovy činnostmi směřujícími k udržení nebo k prodloužení životnosti stavebního díla. Tyto činnosti musí vycházet ze soudobých poznatků v technických, přírodovědných a společenských vědách

oborech, a má být založena na odborných dovednostech a na inženýrské a architektonické erudici. Problematika průzkumů, hodnocení, oprav a zesilování památkově hodnotných objektů mostů je velmi komplexní a náročnou oblastí. Zachování takových to památek pro budoucí pokolení je často náročné, ale v řadě případů uskutečnitelné. Vyžaduje ale odbornou erudici, provádění důsledných průzkumů využití moderních metod stavebního inženýrství a intenzivní spolupráci mezi specialisty na památkovou péči a projektanty.

## 8. Literatura

### 8.1. Normy

- [1] ČSN ISO 13822 (730038) Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.
- [2] ČSN 73 0038 (730038) Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení.
- [3] ČSN EN 1990 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- [4] ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty.
- [5] ČSN ISO 2394 (730031) Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí.
- [6] ČSN 73 2604 Ocelové konstrukce - Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb.
- [7] ČSN EN ISO 17638 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou metodou práškovou
- [8] ČSN EN ISO 23278 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou - Stupně přípustnosti.
- [9] ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací.
- [10] ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací.

### 8.2. Literatura

- [11] TP 42 Opravy, obnovy a přestavby ocelových nosných konstrukcí mostů; Metody a technologie k zvýšení zatížitelnosti a prodloužení životnosti. 2014.
- [12] TP 72 Diagnostický průzkum mostů pozemních komunikací. 2008.
- [13] SŽ S5/1 Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů, 2021
- [14] Bates, W.: Historical Structural Steelwork Handbook. British Constructional Steelwork Association, Ascot: 1984.
- [15] Sutherland, R.J.M. (ed.): Structural Iron, 1750-1850: Studies in the History of Civil Engineering. Volume 9. Ashgate Variorum, Aldershot: 1997.
- [16] Thorne, R. (ed.): Structural Iron and Steel, 1850-1900: Studies in the History of Civil Engineering. Volume 10. Ashgate Variorum, Aldershot: 2000.
- [17] Tilly, G.: Conservation of Bridges. Spon Press, London: 2000.
- [18] R. Lenner, P. Ryjáček, M. Sýkora: Resistance Models for Semi-Probabilistic Assessment of Historic Steel Bridges. In Proc. IABSE Symposium – Synergy of Culture and Civil Engineering – History and Challenges, 7-9 Oct 2020, Wrocław, Poland. Zürich: IABSE, p. 1061-1068, 2020
- [19] Vůjtěch, J.; Ryjáček, P.; Vovesný, M.: Application of carbon FRP for fatigue strengthening of old steel structures. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017, 175(1), ISSN 1757-899X.
- [20] Ghafoori E.; Hosseini A.; Al-Mahaidi R.; Zhao Xiang-Ling; Motavilli M.; Prestressed CFRP-strengthening and long term wireless monitoring of an old roadway metallic bridge. In Engineering structures 176, Cambridge: Elsevier, 2018, p. 585-605.
- [21] IZADI, M., Ghafoori, E., Shahverdi, M., Shahrokh, M., et al. Development of an iron-based shape memory alloy (Fe-SMA) strengthening system for steel plates. *Engineering Structures*, 2018, vol. 174, p. 433–446.



- [22] Fritsch, E., Izadi, M., Ghafoori, E. Development of nail-anchor strengthening system with iron-based shape memory alloy (Fe-SMA) strips. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 229, p. 1–14.
- [23] Czaderski, C., Shahverdi, M., Brönninman, R., Leinenbach, C., et al. Feasibility of iron-based shape memory alloy strips for prestressed strengthening of concrete structures. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 56, p. 94–105.
- [24] Vůjtěch, J.; Ryjáček, P.; Matos, J.C.; Ghafoori, E. Iron-Based shape memory alloy for strengthening of 113-Year bridge. *Engineering Structures*. 2021, Vol. 248, ISSN 0141-0296. DOI 10.1016/j.engstruct.2021.113231
- [25] Vůjtěch, J., Ryjáček, P., Ghafoori, E., Matos, J.C. (2022). Innovative Strengthening of Road Bridges with Iron-Based Shape Memory Alloys (Fe-SMA). In: Pellegrino, C., Faleschini, F., Zanini, M.A., Matos, J.C., Casas, J.R., Strauss, A. (eds) Proceedings of the 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures. EUROSTRUCT 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 200. Springer, Cham. ISSN 23662557. ISBN 978-303091876-7. DOI 10.1007/978-3-030-91877-4\_64
- [26] Georgiev, Lazar & Zdravkov, Lyubomir & Tanev, Vatyu & Lepoev, Milcho. (2021). Equivalent nosing force for a steel railway bridge based on in situ measurements. 1273-1279. 10.2749/ghent.2021.1273.
- [27] Ing. Jan CHALOUPSKÝ, Kuks, p.č. 550 a 559, Rekonstrukce ocelového mostu, DPS, 2016.

### 8.3. Předchozí publikace autorů památkového postupu

- [28] Rotter, T.; Vítek, J. 100 let mostů v naší republice. In: Inženýrská komora 2019: století našeho stavebnictví. Praha 2: ČKAIT, 2019. p. 26-37. ISBN 978-80-88265-14-6.
- [29] Kudláček, J.; Svoboda, J.; Zoubek, M. Volba opravy PKO demontovatelných částí ocelových konstrukcí. In: 17. Mezinárodní odborný seminář "Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav". Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2021. p. 69-74. 1. ISBN 978-80-87583-34-0.
- [30] Eberhardt, S.; Pospíšil, M.; Ryjáček, P.; Sýkora, M. Heritage Value Assessment Method – Application to Historic Steel Bridge in Prague. *The International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*. 2021, 9(4), 309-326. ISSN 2046-0546.
- [31] Vůjtěch, J.; Ryjáček, P.; Ghafoori, E.; Matos, J.C. Innovative strengthening of road bridges with Iron-based shape Memory Alloys (Fe-SMA). In: Proceedings of the 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures. Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2022. p. 560-568. ISSN 2366-2557. ISBN 9783030918767.
- [32] Vůjtěch, J.; Ryjáček, P.; Campos Matos, J.; Ghafoori, E. Iron-Based shape memory alloy for strengthening of 113-Year bridge. *Engineering Structures*. 2021, 2021(248C), 151-165. ISSN 0141-0296.
- [33] Pospíšil, M.; Eberhardt, S. E-P Heritage Value Assessment Method Proposed Methodology for Assessing Heritage Value of Load-Bearing Structures. *International Journal of Architectural Heritage*. 2021, 2021(15), ISSN 1558-3066.
- [34] Lenner, R.; Ryjáček, P.; Sýkora, M. Resistance Models for Semi-Probabilistic Assessment of Historic Steel Bridges. In: Proceedings of the IABSE Symposium – Synergy of Culture and Civil Engineering – History and Challenges. Zürich: IABSE, 2020. p. 1061-1068. ISBN 978-3-85748-169-7.

- [35] Ryjáček, P.; Rotter, T.; Kudláček, J.; Pospíšil, M.; Sýkora, M.; Mlčoch, J. Metodika pro diagnostiku ocelových mostních konstrukcí kulturního dědictví. Ověřená technologie, 2019.
- [36] Výzkumné zprávy 2018-2021 k řešení projektu NAKI II DG18P02OVV033 „Metody pro zajištění udržitelnosti ocelových mostních konstrukcí industriálního kulturního dědictví“; řešitel doc. P. Ryjáček, ČVUT v Praze
- [37] Výzkumné zprávy 2016-2019 k řešení projektu NAKI II DG16P02M050 „Optimalizace sledování a hodnocení informací o památkových stavbách“; řešitel prof. M. Holický, ČVUT v Praze
- [38] Výzkumné zprávy 2016-2017 k řešení projektu Správy železnic „Pokročilé metody posuzování existujících ocelových mostů na účinky zatížení větrem, brzdných a rozjezdových sil“; řešitel doc. P. Ryjáček, ČVUT v Praze a ÚTAM AV ČR