

Programu 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

Etapa E1

**Metodika pro diagnostiku
ocelových mostních
konstrukcí kulturního
dědictví**

11.2019

Obsah

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1. | ÚVOD | 3 |
| 2. | CÍLE A POUŽITÍ METODIKY | 5 |
| 3. | VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA PROVEDENÍ DIAGNOSTICKÉHO PRŮZKUMU | 6 |
| 4. | ZJIŠTĚNÍ USPOŘÁDÁNÍ A ROZMĚRŮ KONSTRUKCE | 8 |
| 5. | VIZUÁLNÍ PRŮZKUM KONSTRUKCE | 10 |
| 5.1. | OVĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI MOSTU | 11 |
| 5.2. | PRVKY NÁCHYLNÉ K PODEMLETÍ | 11 |
| 5.3. | PRVKY V KONTAKTU S VODOU | 11 |
| 5.4. | MOSTOVKA | 12 |
| 5.5. | MOSTNÍ ZÁVĚRY | 12 |
| 5.6. | LOŽISKA | 12 |
| 5.7. | PRVKY NÁCHYLNÉ NA VZNIK LOMU | 12 |
| 5.8. | PRVKY NÁCHYLNÉ KE ZTRÁTĚ STABILITY | 14 |
| 5.9. | RIZIKOVÉ STYČNÍKY | 15 |
| 5.10. | HODNOCENÍ DEFORMACÍ A CHOVÁNÍ PŘI PRŮJEZDU DOPRAVY | 15 |
| 6. | PROVÁDĚNÍ DEGRADAČNÍHO PRŮZKUMU | 15 |
| 7. | PRŮZKUM KOROZNÍHO OSLABENÍ | 18 |
| 8. | ZKOUŠKY MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ | 22 |
| 8.1. | OBEČNÁ DOPORUČENÍ | 22 |
| 8.2. | PROVÁDĚNÍ DESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK | 26 |
| 8.3. | DOPORUČENÍ PRO PROVÁDĚNÍ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK | 28 |
| 8.4. | KOMBINACE DESTRUKTIVNÍCH A NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK | 32 |
| 8.5. | STANOVENÍ CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY NA ZÁKLADĚ ZKOUŠEK | 32 |
| 8.6. | AKTUALIZACE DÍLČÍHO SOUČiniteLE MATERIÁLU | 32 |
| 9. | POŽADAVKY NA KOROZNÍ PRŮZKUM PKO A JEHO SPECIFIKA | 35 |
| 9.1. | DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY | 36 |
| | <i>Zkoušky přilnavosti OPS</i> | 36 |
| | Odrhová zkouška | 36 |
| | 9.1.1. <i>Ověření skladby OPS</i> | 38 |
| 9.2. | NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY | 39 |
| | 9.2.1. <i>Vizuální hodnocení degradace OPS</i> | 39 |
| | 9.2.2. <i>Nedestruktivní měření tloušťky OPS</i> | 39 |
| 9.3. | SLOŽENÍ OPS PRO URČENÍ NEBEZPEČNÉHO MATERIÁLU | 39 |
| | 9.3.1. <i>Rentgenová spektrometrie</i> | 40 |
| 9.4. | ZNEČIŠTĚNÍ A ZASOLENÍ DIAGNOSTIKOVANÝCH PLOCH | 40 |
| 9.5. | MECHANICKÁ NEBO JINÁ POŠKOZENÍ | 41 |
| 10. | LITERATURA | 41 |
| 10.1. | NORMY | 41 |
| 10.2. | LITERATURA | 42 |
| 11. | PŘÍLOHA 1 – NEDESTRUKTIVNÍ METODY DIAGNOSTIKY | 42 |
| 11.1. | MT – MAGNETICKÁ ZKOUŠKA | 42 |
| 11.2. | ET – VÍŘIVÉ PROUDY | 43 |
| 11.3. | UT – ULTRAZVUKOVÉ METODY KLASICKÉ | 44 |
| 11.4. | PA – PHASED ARRAY | 46 |
| 11.5. | MPM - MAGNETICKÁ PAMĚŤ MATERIÁLU | 46 |

Zpracovatelé metodiky:

Zpracovatelé za katedru ocelových a dřevěných konstrukcí, FSv ČVUT:

- Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
- doc. Ing. Tomáš Rotter, CSc.

Zpracovatelé za KÚ ČVUT:

- doc. Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.
- Ing. Jan Mlčoch

Zpracovatelé za FA ČVUT:

- doc. Ing. Martin Pospíšil, Ph.D.

Zpracovatelé za FS ČVUT:

- Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Realizátor ověřené technologie:

- Fakulta stavební ČVUT v Praze
- Fakulta strojní ČVUT v Praze
- Kloknerův ústav ČVUT v Praze

Uživatel ověřené technologie:

Metodické centrum průmyslového dědictví v Ostravě, Národní památkový ústav

- prof. Ing. arch. PhDr. Miloš Matěj, Ph.D. et Ph.D.
- Mgr. Alena Borovcová, Ph.D.

1. Úvod

Mosty jsou součástí každé dopravní cesty, ať železniční, nebo dálniční a silniční nebo stezky pro cyklisty a chodce. Mosty jsou velkými stavbami, které dotvářejí ráz krajiny nebo urbanismus města. Jsou to velké „pomníky“ s dlouhou životností.

V druhé polovině 19. století nastal rozmach železniční dopravy. Právě v té době vzniklo mnoho železničních mostů. Pro malá rozpětí to byly mosty kamenné nebo cihelné. V případě potřeby větších rozpětí to byly ocelové mosty. Jistá část těchto mostů slouží železničnímu provozu dodnes. Převážně se s nimi setkáme na lokálních tratích.



Obr. 1 Železniční most pod Vyšehradem

Tyto stoleté a starší mosty již splnily svoji úlohu z hlediska požadované životnosti, ale není možno je ve větším počtu v poměrně krátké době nahradit novými mosty. Z hlediska zachování industriálního kulturního dědictví je dokonce žádoucí vybrané reprezentanty zachovat a udržet je náležitým stavebním stavu.

V mnoha případech se jedná o nádherné a ojedinělé mostní konstrukce, se kterými se ve světě běžně již nesetkáme. Jsou chloubou našeho mostního stavitelství z období Rakouska-Uherska, ale i z období první republiky. Vysoká odbornost tehdejších inženýrů, rozvinutý průmysl a kvalita práce při výrobě a stavbě ocelových mostů byla předpokladem, že tyto mosty se nám dochovaly v jistém počtu dodnes.



Obr. 2 Visutý most ve Stádleci

Je proto naší povinností toto industriální kulturní dědictví v přiměřené míře zachovat pro další generace. To však znamená, že se o vybrané reprezentanty starých ocelových mostů musíme postarat tak, aby mohly sloužit dopravě, byť v omezeném použití, po několik dalších desetiletí. Jednou z možností je náhrada již nepoužitelného železničního mostů lávkou pro cyklisty. Stará ocelová mostní konstrukce může být snesena a přemístěna na jiné místo.

Ocelové mosty uvedené do provozu před 100 lety a dříve mají jiné konstrukční řešení než moderní mosty. Hlavní charakteristikou starých ocelových mostů je nýtování. Jednotlivé pruty, které nebylo možno vyrobít válcováním, tak byly zhotoveny pomocí nýtování. Ale i spoje v celé nosné konstrukci byly nýtované. Technologie svařování nastoupila do výroby ocelových mostů až v druhé polovině 20. století.



Obr. 3 Detaily nýtovaných mostů (Holubov, Mokropsy)

Nýtované ocelové mostní konstrukce se vyznačují specifickými konstrukčními detaily, které z hlediska údržby a oprav vyžadují v mnoha případech speciální technologie. V dřívější době se běžně používaly pro návrh konstrukce tzv. členěné pruty. Jsou to pruty, které se skládají ze dvou nebo více válcovaných profilů, nejčastěji z úhelníků nebo U průřezů, do jednoho nosného průřezu. Mezi jednotlivými dílčími pruty jsou mezery, které odpovídají tloušťce plechů ve styčnicích. Tloušťka takové mezery se běžně pohybuje mezi 12 až 18 mm. Z hlediska údržby a oprav jsou tyto mezery problematické. Pro záchranu ocelových mostů s členěnými pruty byly

v současné době vyvinuty technologie, pomocí kterých lze výše zmíněné mezery zbavit korozních produktů a připravit ocelový materiál pro novou protikorozní ochranu.

Dalším specifickým znakem starých ocelových příhradových mostů je skutečnost, že každý prut má jiný průřez, protože se v tehdejší době v maximální míře šetřilo ocelovým materiálem bez ohledu na vysokou pracnost.

Při návrhu příhradových ocelových mostů se používaly zjednodušené statické modely, které byly zvládnutelné tehdejšími prostředky. Pro řešení vnitřně staticky mnohonásobně neurčitých konstrukcí byly používány přibližné statické modely, které v sobě obsahovaly jisté rezervy, kterých dnes dokážeme účelně využívat. Obdobně dnes dokážeme stanovit spolupůsobení jednotlivých nosných prvků ocelové konstrukce, což dříve nebylo možné.



Obr. 4 Most ve Skochovicích

Současné diagnostické metody nám poskytují informace o skutečné kvalitě ocelového materiálu, o korozních úbytcích, o případném únavovém porušení, o skutečném působení nýtovaných styčniců a o spolupůsobení jednotlivých prvků v celé mostní konstrukci. Na základě podrobného diagnostického průzkumu tak dokážeme jednak využít všech rezerv ocelové mostní konstrukce, ale také zohlednit všechna poškození, která snižují její zatížitelnost.

2. Cíle a použití metodiky

Metodika je v první řadě určena pro nejširší veřejnost, pro lidi s humanitním vzděláním za účelem poznání krásy a hodnoty starých ocelových mostů, které jsou bezpochyby zařazeny mezi kulturní dědictví. V druhé řadě metodika slouží pro terénní pracovníky památkové péče, aby mohli snáze formulovat podmínky pro zadání opravy nebo rekonstrukce starého ocelového mostu, tak aby v maximální míře byla zachována kulturní hodnota mostu, ale současně aby oprava či rekonstrukce zajistila bezpečné užívání mostu po dobu několika dalších desetiletí. Teprve až v třetí řadě je metodika určena projektantům, jejichž úkolem je navrhnout takové diagnostické metody, které jsou nezbytné pro statické posouzení mostu, ale které jsou co možná nejméně invazivní. Metodika se snaží nabádat projektanty, aby při své práci úzce spolupracovali s památkáři, aby se snažili pochopit smysl památkové ochrany kulturního dědictví, v konkrétním případě starých ocelových mostů.

Hlavním obsahem metodiky je definice vhodných metod pro diagnostické průzkumy historických ocelových mostů, a to především mostů s památkovou hodnotou. Metodika se zaměřuje na metody zjištění degradačních faktorů (únavové trhliny, koroze) a na zjištění parametrů základního materiálu. Cílem metodiky je definovat takové metody, které povedou

k co nejefektivnějšímu výsledku diagnostického průzkumu s ohledem na zjištění zatížitelnosti, resp. přechodnosti mostu, a na zjištění stavu protikorozní ochrany.

Metodika poskytuje doplňující pokyny pro hodnocení mostů, které jsou kulturními památkami. Doporučuje se ji v přiměřeném rozsahu využít i pro hodnocení památkově hodnotných mostů, které nejsou památkově chráněny.

Použití metodiky je v oblasti **památkové péče** uvažováno v oblasti kontrolní a metodické, a to při:

- Vydávání stanovisek k opravě, rekonstrukci, přestavbě či demolici staveb. NPÚ by mělo vyžadovat provedení diagnostického průzkumu dle této metodiky v případě významnějších zásahů do konstrukce či její demolice. Použití metodiky vede k **efektivnějšímu posouzení existujících konstrukcí**, což v důsledku vede ke **snížení invazivity** stavebního opravného či zesilujícího zásahu a často i k možnosti **konstrukci ponechat v provozu a zamezit tak nevratné demolici** či úpravě.
- Přípravě metodik památkové péče jako podpůrný a doplňující dokument.

Metodika by dále měla být využita v **projekční přípravě** a pro přípravu podkladů pro hodnocení (statické posouzení) ocelových konstrukcí a mostů a její využití by mělo být vyžadováno orgány památkové péče po projektantech a staticích. Rozsah využití by měl odpovídat památkovému významu konstrukce.

úzce navazuje a doplňuje zásady uvedené v:

- Eurokódy 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,
- Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů, SŽDC, 2019.

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

3. Všeobecné požadavky na provedení diagnostického průzkumu

Účelem diagnostického průzkumu mostního objektu v rozsahu této metodiky je poskytnout zpracovateli přepočtu (hodnocení **konstrukce**) dostatečné podklady pro určení zatížitelnosti nebo přechodnosti 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 uvažované kategorii 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 objednatel 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 ustanoveními¹ 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.

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 zastižené 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 této metodiky.

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

¹ §14, zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění

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.

4. 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, funkci čepů, kloubů, styčnicků.
- U komplikovaných konstrukcí je účelné zaměření doplnit provedením laserového skenování mostu, které poslouží zejména k sestavení osového schématu konstrukce, excentricit a velikostí styčnickových plechů. Zaměření profilů a tloušťek plechů je vždy ale nezbytné provést ručně, přesnost laserového skenování i geodetického zaměření není dostatečná.
- Důležité je rovněž zaměření 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. U železničních mostů s kolejovým ložem je důležité zjištění skutečné tloušťky kolejového lože, zvláště pak u mostů s koleji v oblouku.



Obr. 5 Ultrazvukový tloušťkoměr TM280

5. Vizuální průzkum konstrukce

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.

5.1. 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 výpočetním modelem nebo se zkouškou již dříve na mostě provedenou. Doporučení k provádění těchto zkoušek lze nalézt v Metodickém pokynu [7].

5.2. 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.

5.3. 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.

5.4. 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.

5.5. 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.

5.6. 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.)

5.7. 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 trhlina 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 a ocelovým žlabům pro kolejové lože železničních mostů. 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.

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.



Obr. 6 Zjištění únavové trhliny vznikem koroze v jinak celistvém nátěru, vlevo po odstranění nátěru

5.8. 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.

5.9. Rizikové styčníky

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 styčnicků 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 zjistitelné vizuální prohlídkou. Proto je nutno sledovat související indikátory, jako je koroze v místě spoje, deformace přílozek, 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.

5.10. 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 trámových mostů nadjezdů nebo svislice, diagonály příhradových trámových mostů s dolní mostovkou nebo svislé výztuhy stěny plnostěnných trámových 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.)

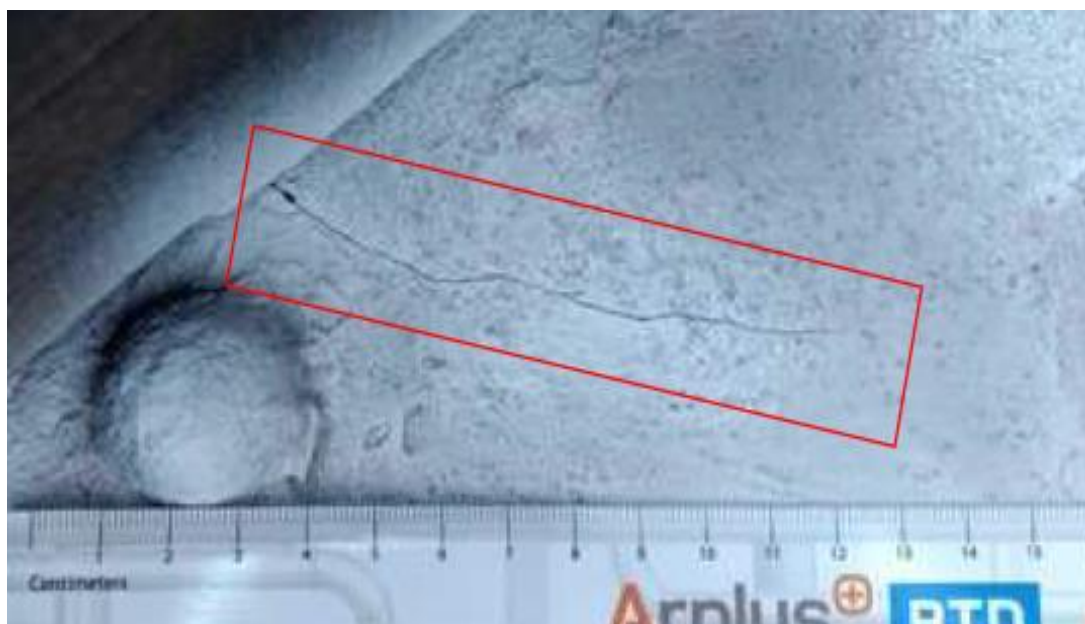
6. Provádění degradačního průzkumu

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 trhlín.

- 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 styčniců, 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 styčniců 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.



Obr. 7 Únavová trhlina na mostě pod Vyšehradem

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. 1 Přehled použití NDT metod

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

| | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|----|-----|
| RT – radiografické zkoušení | Ne | Ano | Ano | Ano | Ne | Ne |
| AE – metody akustické emise | Ne | Ano | Ne | | Ne | Ano |

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:

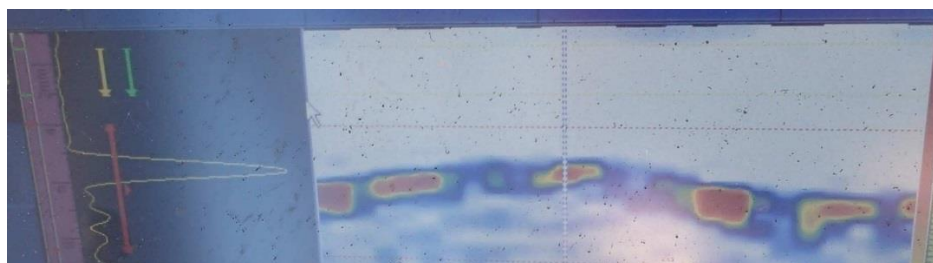
- **Lokální korozní oslabení** – dílčí lokální oslabení prvku, které je svým rozsahem několikanásobně menší než hodnocený prvek či jeho část (pásnice, stěna atd.). Jedná se například o korozní důlek, prokorodování části průřezu prvku atd. Lokální oslabení je významným koncentrátorem napětí a může být 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:

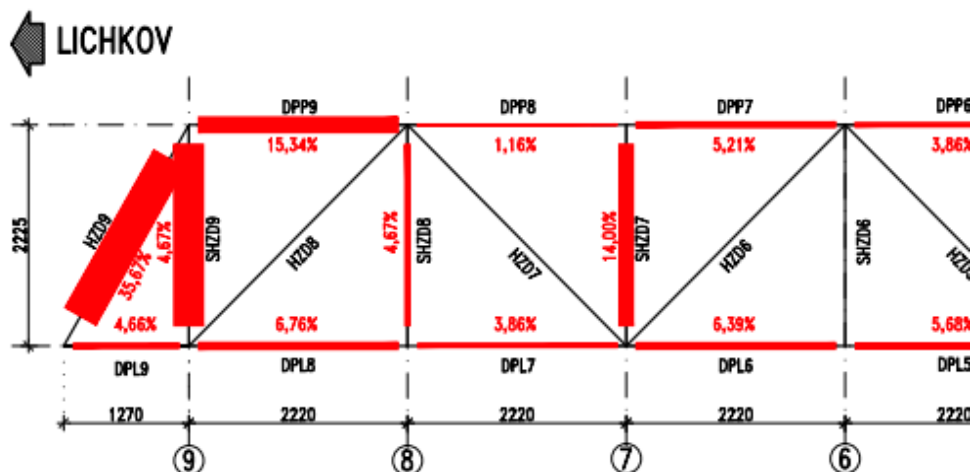
- **Analýza pokladů** konstrukce, sestavení osového schématu konstrukce s definováním jejich průřezů, rozdělení konstrukce na dílčí pruty (příhradové mosty) nebo části s konstantním průřezem definované délky (například úsek mezi příčníky u plnostěnného trámu), jednoznačné označení prvků.
- **Příprava 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 vysokozdvíhací 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, štěrbinová korozí). Korozní oslabení se měří pomocí posuvného měřítka za pomoci příložné lišty, nepřístupné části (plechy na stranách štěrbinové korozí), duté profily, rozsáhlé plochy atd.) se měří ultrazvukovým tloušťkoměrem. Při měření ultrazvukovým tloušťkoměrem je nutno důkladně odstranit vrstvu korozí 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. 8 Prokorodování a odpovídající snímek pořízený metodou Phased Array



Obr. 9 Příklad zakreslení korozního poškození

Tab. 2 Doporučená forma karty prvku pro průzkum korozního oslabení

PRŮZKUM KOROZNÍHO OSLABENÍ OK
 PRVEK : DOLNÍ PÁS -
 SCHÉMA KONSTRUKCE

MOST V KMTÚ
 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: | | |

8. Zkoušky materiálových vlastností

8.1. Obecná doporučení

- (1) Před průzkumem zaměřeným na stanovení materiálových vlastností se provede prohlídka a ověření dokumentace mostního objektu.
- (2) Homogenita materiálu se ověří alespoň nedestruktivními zkouškami.
- (3) 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.
- (4) 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 oceli pro mezní stavy únosnosti kromě únavy podle ČSN 73 0038, tabulka 7.1. 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 γ_{Mi} stanoveného podle oddílu 7.6.

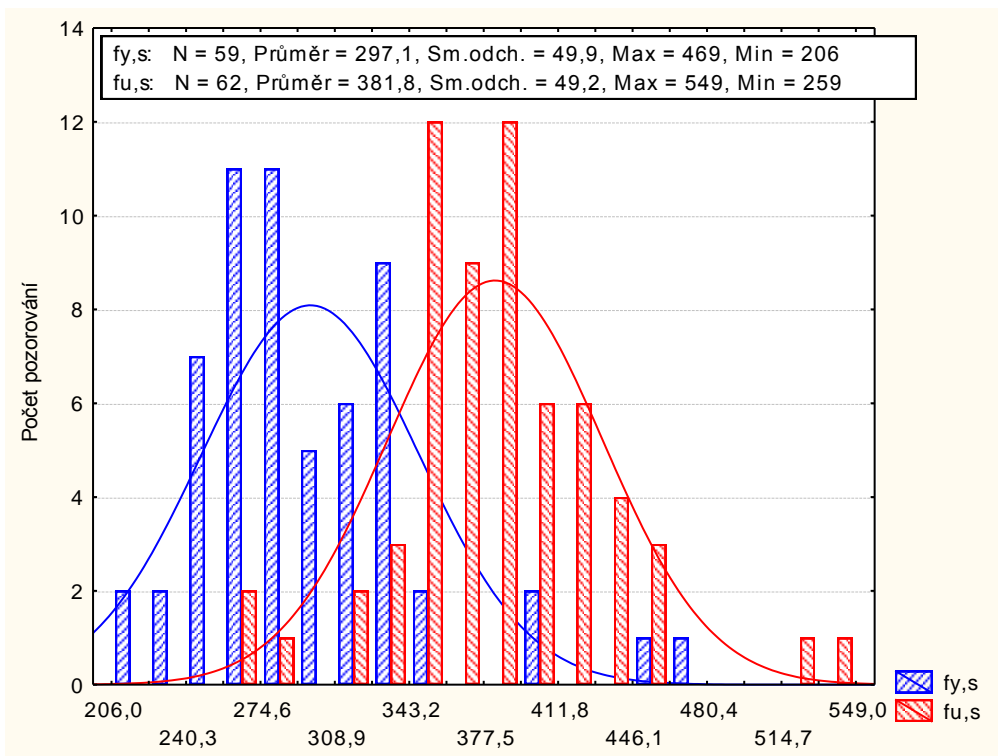
Tab. 3 Vlastnosti ocelí dle ČSN 73 0038

| Rok výroby | Materiál pevnostní třídy | Dovolené namáhání σ_{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- | 37 (S235) | 140 | 230 | 360 | ČSN 1232 |

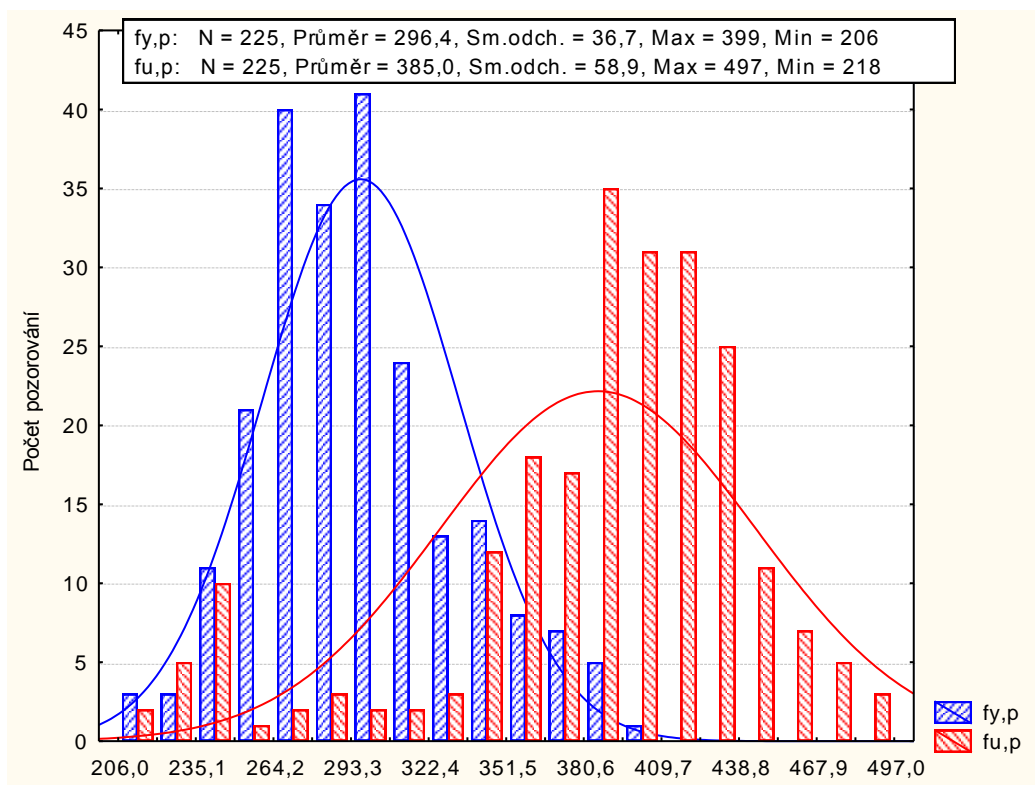
| | | | | | | |
|--------------|-----------|----------------------------|-----|-----|-----|--|
| 1950 | 52 (S355) | | 195 | 335 | 490 | |
| 1951-1968 | 37 (S235) | tloušťka $t \leq 25$ mm | 140 | 230 | 360 | Směrnice pro navrhování mostů, |
| | | > 25 | 130 | 210 | 340 | ČSN 73 6202 |
| | 52 (S355) | ≤ 16 | 210 | 360 | 510 | ČSN 73 6204 |
| | | > 17 | 200 | 340 | 490 | |
| 1969-1985 | 37 (S235) | ≤ 25 | | 235 | 360 | ČSN 73 6205 ČSN ISO 13822 ČSN 73 0038 ČSN EN 10025-2, 3 |
| | | > 25 | | 215 | 360 | |
| | 52 (S355) | ≤ 50 | | 355 | 510 | |
| 1986-1998 | 37 (S235) | ≤ 25 | | 235 | 360 | |
| | | > 25 | | 215 | 360 | |
| | 52 (S355) | ≤ 25 | | 355 | 510 | |
| | | > 25 | | 335 | 470 | |
| Po roku 1998 | S235 | ≤ 40 | | 235 | 360 | |
| | S235 | $40 < t \leq 80$ | | 215 | 360 | |
| | S275 | ≤ 40 | | 275 | 430 | |
| | S275 | $40 < t \leq 80$ | | 255 | 410 | |
| | S355 | ≤ 40 | | 355 | 510 | |
| | S355 | $40 < t \leq 80$ | | 335 | 470 | |
| | S460 | ≤ 40 | | 460 | 550 | |
| | S460 | $40 < t \leq 80$ | | 430 | 550 | |

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 svárkovou 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.

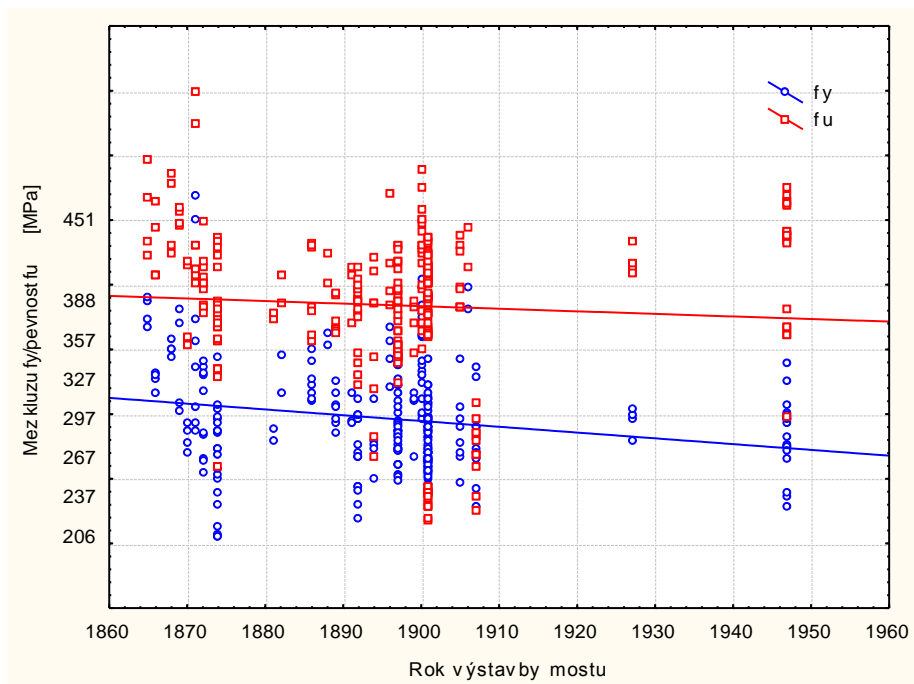
Závislost meze kluzu a meze pevnosti na roku výstavby mostu (obr. 8) ukazuje, že ani u jedné veličiny nelze prokázat jednoznačný časový trend. Poznamenejme, že výsledky jsou ovlivněny i zahrnutím několika vzorků velmi kvalitních či málo kvalitních ocelí.



Obr. 10 Histogramy a odpovídající hustoty pravděpodobnosti meze kluzu a pevnosti zkoušených ocelí - svářková ocel.

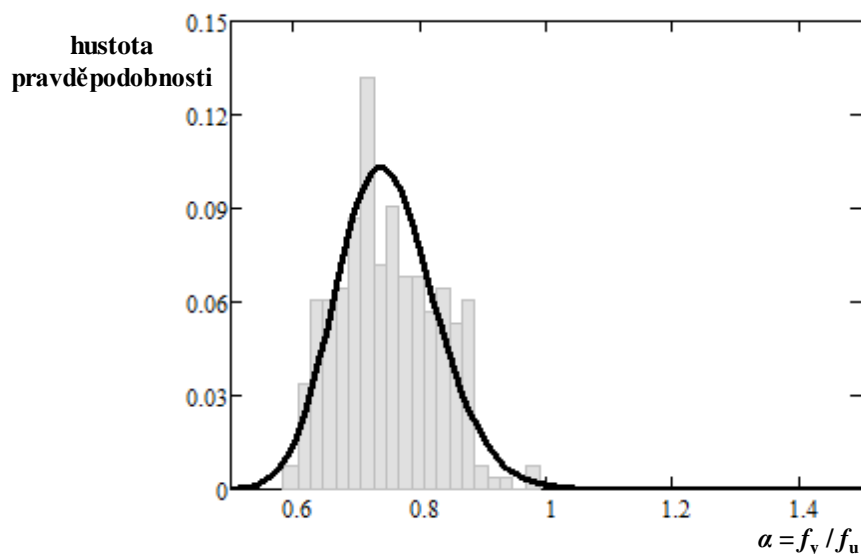


Obr. 11 Histogramy a odpovídající hustoty pravděpodobnosti meze kluzu a pevnosti zkoušených ocelí - plávková ocel.



Obr. 12 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. 9 ukazuje histogram a odpovídající hustotu pravděpodobnosti součinitele $\alpha = f_y / f_u$ zkoušených ocelí.



Obr. 13 Histogram a odpovídající hustota pravděpodobnosti součinitele α zkoušených ocelí z období 1865-1947

Součinitel α 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 (viz oddíl 7.4) 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.

8.2. 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 ustanoveními² 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.)³. 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.

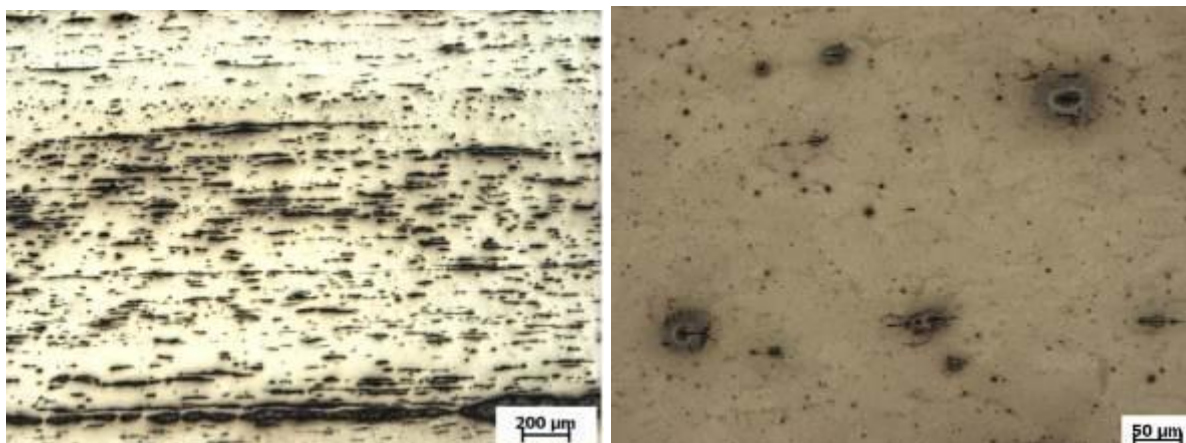
Na každém typu prvku se obvykle provedou následující zkoušky:

- 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. 10),
- zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 148-1 (20°C, -20°C), a to především u svařovaných konstrukcí.

U zkoušky tahem a rázem v ohybu se doporučuje provedení alespoň 3 zkušebních těles v místě odběru a minimálně 5 zkušebních těles na typu prvku, pokud to umožňuje dostupná velikost plochy pro odběr vzorku.

² §14, zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění

³ Podrobněji viz ČSN 73 0038, Příloha B Doplňující informace k zásadám hodnocení, k průzkumu a k návrhu opatření pro památkově chráněné objekty



Obr. 14 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).

8.3. 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. 11), 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. 15 Tvrdoměr typu KT-C se sondou typu G

Pro měření je důležité, aby byla odstraněna vrchní zkorodovaná vrstva oceli a nátěrové vrstvy (obr. 12). 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.



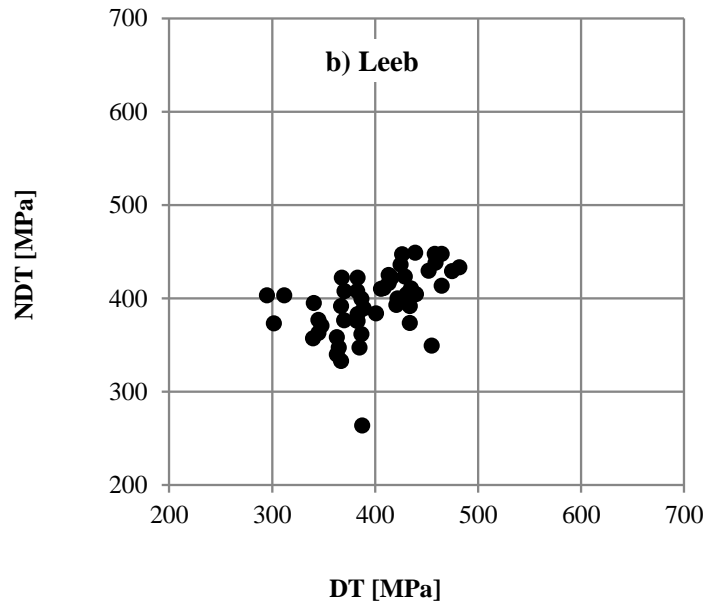
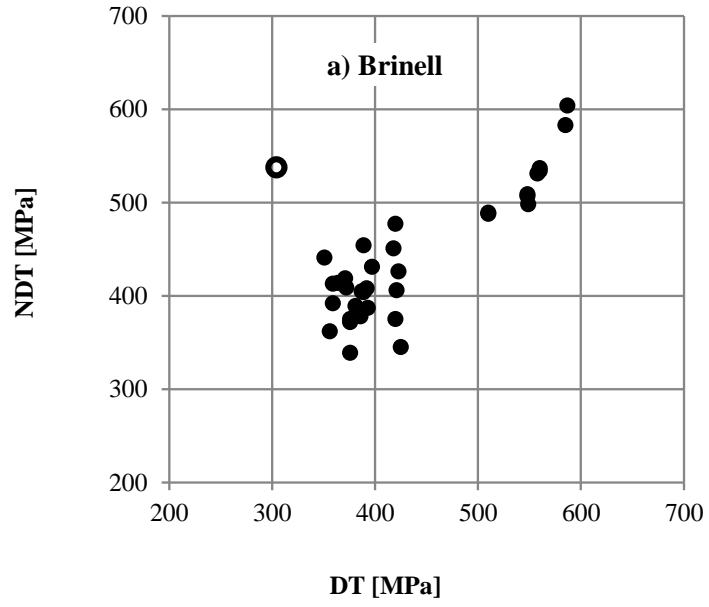
Obr. 16 Zkušební místo

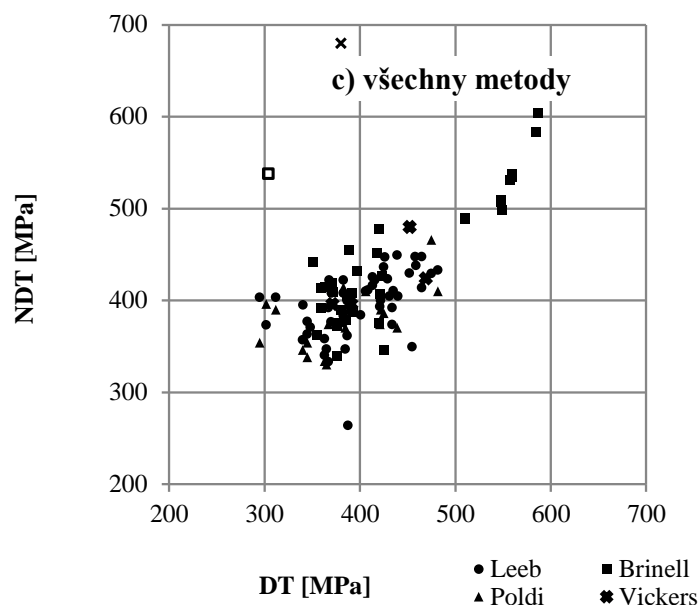
Měřená místa se volí průběžně na celé konstrukci, na všech charakteristických prvcích a v místech odběru vzorků pro tahové zkoušky pro kalibraci NDT výsledků na základě výsledků tahových zkoušek.

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

$$f_u = 1,93H_L - 244 \text{ [MPa]} \quad (7-1)$$

Obr. 13 ukazuje porovnání výsledků NDT zkoušek s tahovými zkouškami (NDT vs. DT): a) metoda podle Brinella, b) podle Leebea a c) pro všechny tvrdoměrné metody, pro které byly dostupné výsledky (odlehlá pozorování jsou vyznačena). NDT měření proběhla in situ (kolmo ke vzorku pro tahovou zkoušku).





Obr. 17 Porovnání výsledků NDT zkoušek s tahovými zkouškami (DT): a) metoda podle Brinella, b) Leeba a c) všechny tvrdoměrné metody, pro které byly dostupné výsledky (odlehlá pozorování jsou vyznačena).

Tab. 5 Statistické charakteristiky nejistoty měření ε tvrdoměrných zkoušek

| Metoda | Rozsah souboru n | Průměr μ_ε | Variační koeficient V_ε |
|----------|--------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 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 ε 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).

8.4. 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 této metodiky. 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 v oddíle 7.6 uvažuje i možnost hodnocení na základě nekalibrovaných NDT zkoušek.

8.5. 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.

8.6. Aktualizace dílčího součinitele materiálu

Podle ČSN 73 0038 lze dílčí součinitel γ_M (odolnost konstrukce) vyjádřit vztahem:

$$\gamma_M = \exp(-1,645V_m) / \exp(-\alpha_R \beta V_R) \quad (7-2)$$

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

Je možné volit odlišné hodnoty indexu β 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.

Vztah (7-2) 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 (7-2) uvážit průměr modelové nejistoty:

$$\gamma_M = \exp(-1,645V_m) / [\mu_R \exp(-\alpha_R \beta V_R)] \quad (7-3)$$

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) podle oddílu 7.4 určí V_R z následujícího vztahu:

$$V_R = \sqrt{(V_m^2 + V_{geo}^2 + V_{\theta R}^2)} \quad (7-4)$$

Informativní hodnoty variačních koeficientů, průměrů modelových nejistot a dílčích součinitelů materiálu pro mosty z oceli a litiny jsou uvedeny v tab. 6 [Lenner a kol., 2020].

V případě *postupu 1* se hodnota V_m 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. 6. V případě pochybností se doporučuje uvážit V_m podle tab. 6.

Pokud nejsou k dispozici podrobnější údaje, uváží se hodnoty V_{geo} a $V_{\theta R}$ se v obvyklých případech uváží podle tab. 6.

Tab. 6 Informativní hodnoty variačních koeficientů, průměrů modelových nejistot a dílčích součinitelů materiálu pro konstrukční ocel a litinu

| Materiál | V_m | V_{geo} | $\mu_{\theta R}$ | $V_{\theta R}$ | γ_M pro $\beta = 3,8$ – orientačně podle (7-3) |
|------------------|---------|--|--|----------------|---|
| 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 $V_{\theta R} \approx 15$ %.

Z tab. 6 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 (7-4) 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 (7-4) zohlednit nejistoty v převodním součiniteli α (oddíl 7.1).

Vztah (7-4) je proto pro *postup 3* potřebné rozšířit:

$$V_R = \sqrt{(V_m^2 + V_{geo}^2 + V_{\theta R}^2 + V_{dod}^2)} \quad (7-5)$$

kde dodatečný variační koeficient lze uvážit jako:

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

Hodnota V_m se uváží vyšší z hodnot V_m stanovených z ND zkoušek a podle tab. 6. Pokud nejsou k dispozici podrobnější údaje, uváží se hodnoty V_{geo} a $V_{\theta R}$ se v obvyklých případech uváží podle tab. 6.

Zohlednění V_{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*).

9. Požadavky na korozní průzkum PKO a jeho specifika

V rámci degradačního průzkumu se provádí průzkum konstrukce se zaměřením na vady a poruchy protikorozní ochrany – PKO. Požadavky na diagnostický průzkum a funkci protikorozní ochrany (ochranného povlakového systému – OPS) lze nalézt v metodickém pokynu ministerstva dopravy 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 |
|--|---|---|
| Odrhová zkouška | Ano | Ano |
| Mřížková zkouška | Doplněk odtrhové zkoušky | Doplněk odtrhové zkoušky |
| Křížový řez | Doplněk odtrhové zkoušky | Doplněk odtrhové zkoušky |
| Ověření skladby OPS | V případě pochybností o původní skladbě PKO | V případě pochybností o původní skladbě PKO |
| Průměrná tloušťka OPS | Ano | Ano |
| Rentgenová spektrometrie | V případě pochybností o původní skladbě PKO | V případě pochybností o původní skladbě PKO |
| Znečištění a zasolení diagnostikovaných ploch | V případě pochybností o výskytu solí | V případě pochybností o výskytu solí |
| Mechanická nebo jiná poškození | 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.

9.1. 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

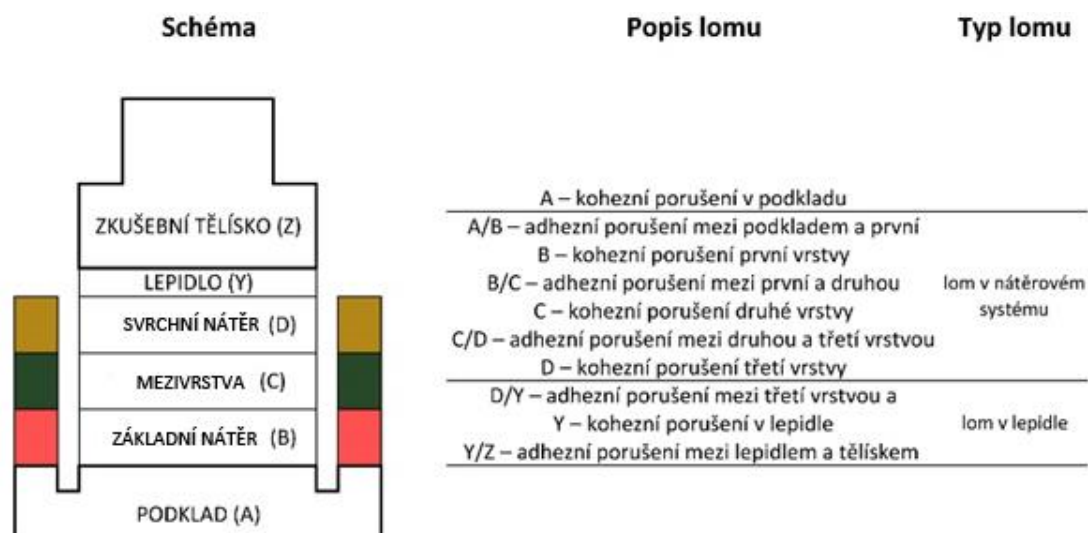
Zkouška přilnavosti OPS se provádí dle ČSN EN ISO 4624 a ČSN EN ISO 16276-1. Mřížková zkouška a křížový řez se provádí dle ČSN EN ISO 2409 a ČSN EN ISO 16276-2.

Odrhová 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 nástřik kovu – metalizace (B),
- penetrace – základní nátěr (C),
- vrchní krycí nátěr (D).



Obr. 18 Popis charakteru lomu a značení jednotlivých vrstev PKO

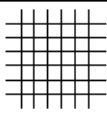
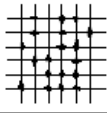
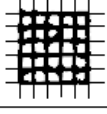
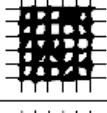
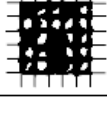
Za vyhovující pro následnou opravu PKO při využití stávajícího OPS lze považovat systémy, kde průměrná hodnota přilnavosti systému v posuzované oblasti je $\geq 2,5$ MPa a vyhodnocení křížového řezu nebo mřížkové zkoušky je do stupně (klasifikace) 2. Pro hodnocení přilnavosti navíc platí, že jednotlivé 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 μm . 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 μm | 1 mm rozestup pro tvrdý podklad, |
| pro tloušťku nátěru od 0-60 μm | 2 mm rozestup pro měkký podklad, |
| pro tloušťku nátěru od 60-120 μm | 2 mm rozestup pro měkký a tvrdý podklad, |
| pro tloušťku nátěru od 121-250 μm | 3 mm rozestup pro měkký a tvrdý podklad. |

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

| Klasifikace | Popis | Vzhled povrchu plochy s mřížkou, na které se vyskytlo odlupování ^a (Příklad pro šest rovnoběžných řezů) ^a |
|-------------|---|--|
| 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. | - |

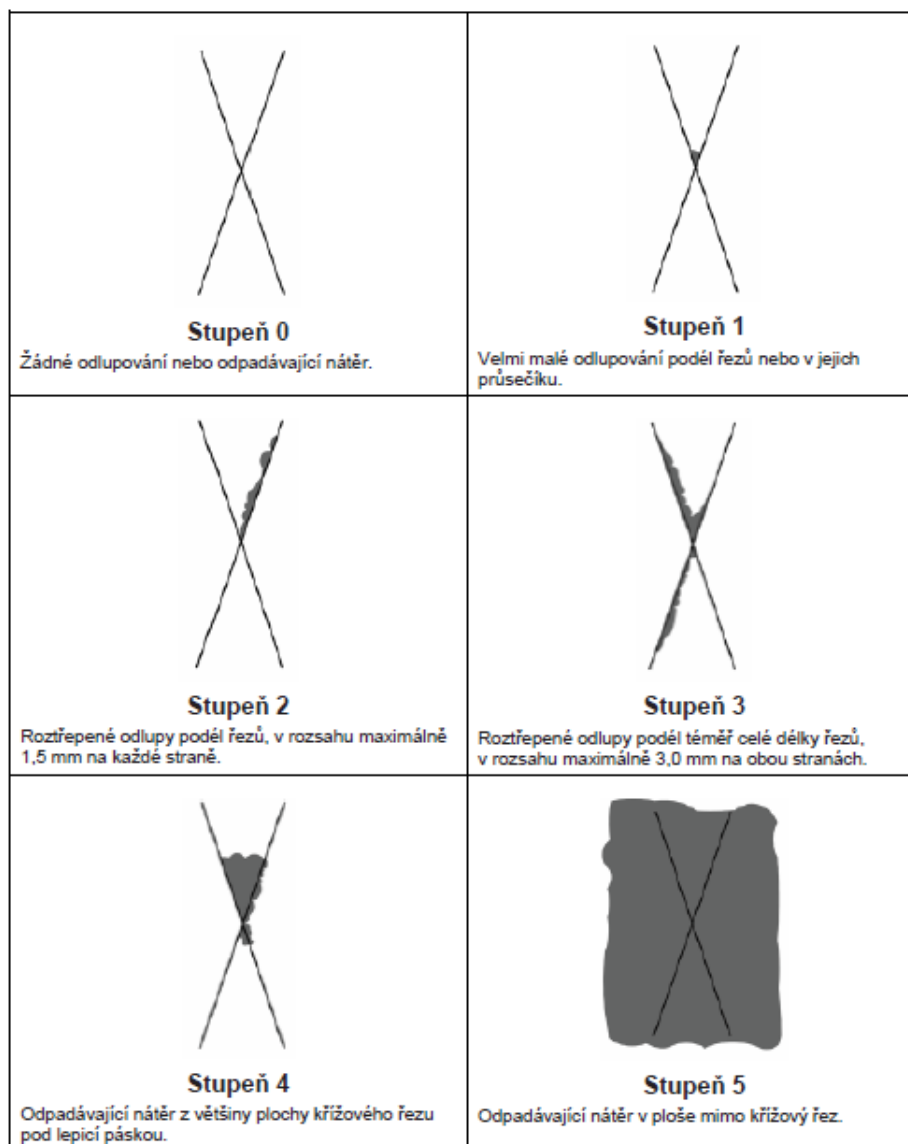
^a Obrázky znázorňují příklady mřížek v rámci jednotlivých klasifikačních stupňů. Uvedené procentuální podíly jsou založeny na vizuálním dojmu z obrázků a při digitálním zpracování obrazu nemusí být nutně dosaženy stejné podíly.

Obr. 19 Vyhodnocení mřížkové zkoušky podle ČSN EN ISO 2409:2013

Křížový řez

Destruktivní stanovení přilnavosti povlaků nátěrových hmot, které vykazují střední hodnotu tloušťky větší než 250 μm . Řezy jsou provedeny pomocí ručního řezného 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.



Obr. 20 Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2:2008

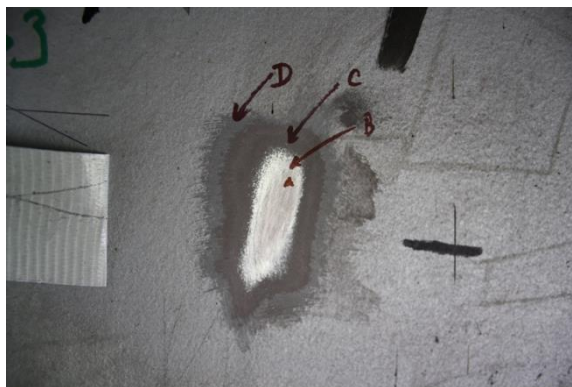
9.1.1. Ověření skladby OPS

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 změří půdorysná šířka klínového řezu v μm 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. 21 Ukázka destruktivního měření tloušťky a stanovení skladby OPS - základní nátěr 170 μm , mezivrstva 220 μm a vrchní nátěr 80 μm (vlevo); mikrosnímek měřeného řezu (vpravo)

Druhým způsobem stanovení skladby PKO je zhotovení odstupňovaných výbrusů OPS



Obr. 22 Skladba OPS výbrusem

9.2. Nedestruktivní zkoušky

9.2.1. 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.

9.2.2. Nedestruktivní měření tloušťky OPS

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

9.3. 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).

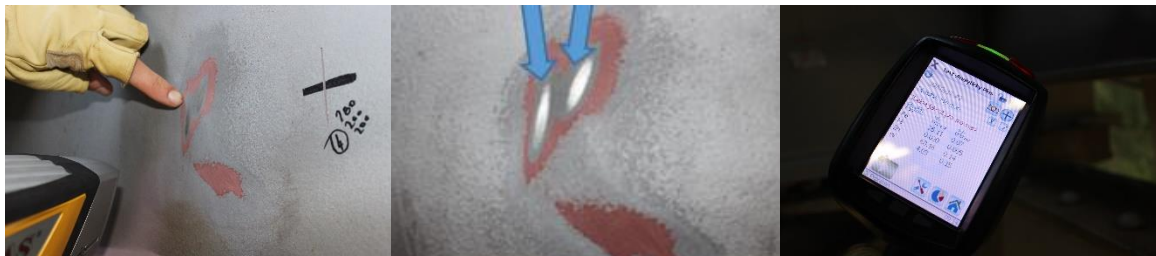
Zkoušky na přítomnost PCB v nátěrech by se měly provádět vždy u systémů, které byly aplikovány před rokem 1986, kdy bylo dle dostupných podkladů možno ještě tyto materiály legálně na území Československa použít. Po tomto roce by se již neměly tyto látky v barvách nacházet.

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.

9.3.1. 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. 23 Chemická analýza - místo chemické analýzy povlaku (vlevo), tmavě šedý Zn základní nátěr (uprostřed), výsledek chemické analýzy – 68,16% Zn (vpravo).



Obr. 24 Chemická analýza - výsledek chemické analýzy – 89,58% Pb.

9.4. 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. 25 Přítomnost chloridů z vozovky a následné podkorodování a delaminace OPS ocelových prvků

9.5. 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. 26 Ptačí trus a degradace OPS ocelových prvků

10. Literatura

10.1. Normy

- ČSN ISO 13822 (73 0038) Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení
- ČSN EN 1990 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty.
- ČSN ISO 2394 (73 0031) Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí

10.2. Literatura

- [1] ČSN EN ISO 17638 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou metodou práškovou a ČSN EN ISO 23278 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou - Stupně přípustnosti .
- [2] Bates, W.: Historical Structural Steelwork Handbook. British Constructional Steelwork Association, Ascot: 1984.
- [3] Sutherland, R.J.M. (ed.): Structural Iron, 1750-1850: Studies in the History of Civil Engineering. Volume 9. Ashgate Variorum, Aldershot: 1997.
- [4] Thorne, R. (ed.): Structural Iron and Steel, 1850-1900: Studies in the History of Civil Engineering. Volume 10. Ashgate Variorum, Aldershot: 2000.
- [5] Tilly, G.: Conservation of Bridges. Spon Press, London: 2000.
- [6] R. Lenner, P. Ryjáček, M. Sýkora: Resistance Models for Semi-Probabilistic Assessment of Historic Steel Bridges (under review). In Proc. IABSE Symposium – Synergy of Culture and Civil Engineering – History and Challenges, 20-22 May 2020, Wrocław, Poland. Zürich: IABSE, p. 8, 2020
- [7] Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů, SŽDC, 2019.

11. Příloha 1 – nedestruktivní metody diagnostiky

11.1. MT – magnetická zkouška

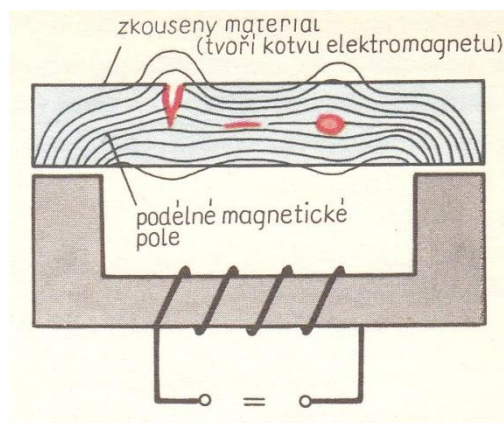
MT– magnetická zkouška, umožňuje zjišťovat povrchové nebo těsně podpovrchové (max. asi 2 - 3 mm) vady. Metoda je založena na zjišťování rozptylu magnetického toku, který vznikne ve zmagnetovaném feromagnetickém materiálu v místě nečelistvosti (trhlin) nebo náhlé změny magnetických vlastností (struska). Její výhodou je plošná detekce v rozsahu nanesení magnetického prášku a rychlé provádění i bez odstranění nátěrů. Je ale nezbytné odstranění hrubých korozních produktů.

Vystupující siločáry lze zviditelnit jemným železným prachem, který může být rozptýlený ve vhodné kapalíně (např. petrolej) – tzv. polévací zkouška, nebo se aplikuje suchý.

V místě, kde vycházejí siločáry z povrchu zkoušeného prvku, dojde k ulpění železného prachu a tím ke zviditelnění vady. V neporušených místech železný prach neulpí a steče dolů. V místě vzniklého rozptylového pole je prášek přitahován a vytváří zřetelnou stopu, která je obrysem vady. Pro lepší kontrast a zvýšení citlivosti metody se natírá zkoušený povrch bílou barvou nebo se železný prach značkuje fluoreskující barvou, která po osvětlení ultrafialovým světlem intenzivně září.

U prvků s austenitickými oblastmi se musí počítat s výskytem nepravých indikací na rozhraní mezi feromagnetickým a nemagnetickým materiálem, stejně tak ke vzniku nepravých indikací dochází, když je zmagnetizovaný materiál poškrábaný. V těchto případech se musí použít jiné metody.

Zkoušený předmět magnetizujeme buď průchodem elektrického proudu (stejnoseměrného nebo střídavého – využívá se jeho magnetického účinku), potom se jedná o tzv. magnetování proudové, nebo elektromagnetem ve tvaru C (zkoušený předmět se vkládá mezi dva póly magnetu), tzv. magnetování pólové. Směr průchodu proudu nebo směr magnetických siločar by měl být pokud možno orientován kolmo na rovinu předpokládané vady, tehdy je metoda nejúčinnější. Proto se v praxi magnetuje nejméně ve dvou na sebe kolmých směrech, aby se odhalily pokud možno všechny případné vady.



Obr. 27 Princip magnetické zkoušky a indikace příčných vad, podélnou vadu nelze v tomto uspořádání detekovat

Výhodou magnetické zkoušky je rychlost, malé náklady na zařízení, snadná obsluha a schopnost odhalit i podpovrchové vady. Nevýhodou je práce se špinavou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu, obtížná zjistitelnost malých a oblých vad. Obtížný je také záznam výsledku zkoušky.

Provádění magnetických zkoušek se řídí normami ČSN EN ISO 17638 a ČSN EN ISO 23278.

11.2. ET – vířivé proudy.

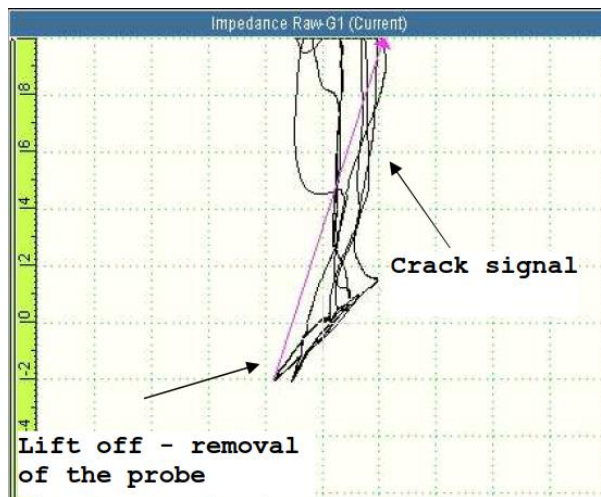
Metoda spočívá v umístění sondy v blízkosti zkoumaného ocelového povrchu, kterou prochází elektrický proud. Vlivem elektromagnetické indukce dojde k vytvoření tzv. vířivých proudů, tekoucích po kruhové dráze. Tento proud je úměrný vodivosti oceli. Pokud se sonda umístí nad trhlinu či jinou nehomogenitu, tak dojde k narušení vířivého proudu. Toto narušení lze zaznamenat a odvodit následně velikost trhliny. Výhodou je, že není nutný kontakt mezi sondou a materiálem, zkoušku lze provádět i bez odstranění PKO. Nevýhodou je omezení detekce na cca 4 mm pod povrchem.

Pro ocelové mosty je hlavní uplatnění pro detekci trhlin v materiálu, nicméně tuto techniku lze využít i pro jiné účely. V tab. 8 je zobrazen souhrn výhod a nevýhod této metody.

Při detekci vad, orientovaných kolmo ke směru posunu sondy, je možné rozpoznání vad pouze větších než cca 0,5 mm. Kontrola svarů pomocí metody vířivých proudů je normována dle ČSN EN 1711:2000.

| Výhody | Omezení |
|--|--|
| Okamžitý výsledek | Lze použít pouze pro vodivé materiály |
| Není nutný kontakt mezi materiálem a sondou | Větší požadavky na zkušenost a vyhodnocování |
| Přenosné vybavení, lehké a levné | Nerovnosti povrchu ovlivňují výsledek |
| Lze provádět i přes PKO, nicméně může tím dojít k ovlivnění výsledků | Potřeba důsledné kalibrace před zkouškou |
| Minimální požadavky na přípravu povrchu. | Omezená hloubka detekce trhlin |

Tab. 8 Zhodnocení výhod a nevýhod techniky vířivých proudů



Obr. 28 Fatigue crack during the ET inspection (RTD QUALITY SERVICES s.r.o.)

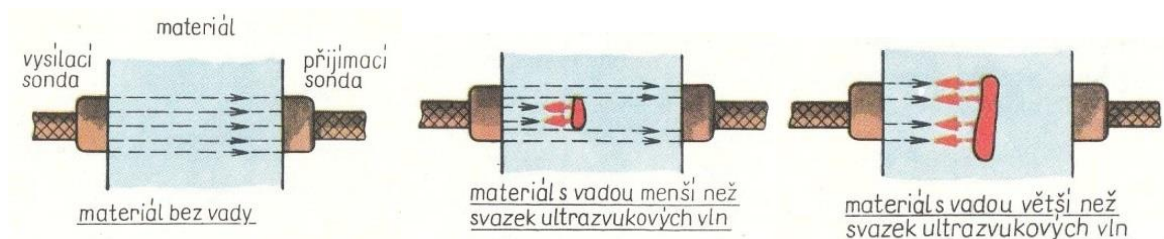
11.3. UT – ultrazvukové metody klasické

Ultrazvuková zkouška je založena na principu odrazu vlnění na rozhraní dvou prostředí, která mají odlišné vlastnosti při šíření tohoto vlnění. Mechanické vlnění (tj. střídavé stlačování a rozpínání se) se šíří celistvým prostředím určitou rychlostí, která je závislá především na druhu prostředí a na frekvenci vlnění. Pokud se náhle změní druh prostředí, změní se náhle i poměry v šíření vlnění na rozhraní dvou různých prostředí. Říkáme, že se vlnění láme nebo odráží. Dá se tedy říci, že je tato metoda založena na principu šíření akustického vlnění zkoušeným předmětem, jeho reakci na změny ve zkoušeném předmětu a následnou registraci.

Zdroje ultrazvukových impulsů jsou ultrazvukové zkušební sondy, jejichž základním prvkem je elektroakustický měnič. Tyto měniče mění elektrický signál na mechanický, nejčastěji se používají měniče piezoelektrické. Podle druhu vln, které sonda vysílá a přijímá, se dělí sondy na přímé a úhlové. Jako indikátor se používá obrazovka, na jejímž stínítku se zobrazují vysílané a přijímané impulsy. V okamžiku vysílání se na obrazovce objeví vysílací impuls (počáteční echo) a koncové echo. Mezi nimi jsou potom případná echa signalizující vadu v kontrolovaném výrobku. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce základního materiálu.

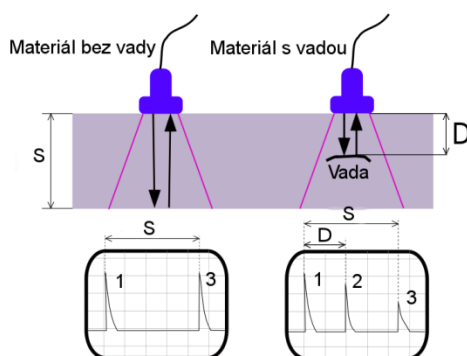
Pro měření se používá ultrazvuk s frekvencí 0,5 - 20 MHz, která je podstatně vyšší než frekvence slyšitelná lidským uchem (20 Hz - 20 kHz).

Nejjednodušší metodou zkoušení ultrazvukem je metoda průchodová. Vady v materiálu jsou překážkou, za níž se vytvoří ultrazvukový stín, tj. akustický tlak procházející ultrazvukové vlny se sníží. Na dvou protilehlých površích se souose umístí vysílací a přijímací sonda. Pokud je mezi vysílačem a přijímačem vada, akustický tlak poklesne a tím z toho lze usoudit, že v materiálu je vada. Základem metody je měření hodnoty ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Tato metoda je vhodná pro zkoušení výrobků menších tloušťek s rovnoběžnými povrchy přístupnými z obou stran. Nevýhodou je nemožnost odlišit, zda pokles akustického tlaku je v důsledku vady materiálu nebo nedokonalým akustickým navázáním. Další nevýhodou je, že se musí použít dvě oddělené ultrazvukové sondy, které musí být umístěny souose.



Obr. 29 Princip průchodové ultrazvukové zkoušky

Nejrozšířenější je metoda odrazová – impulsová. Je všestranně použitelná a poskytuje informace nejen o vadách, ale i o struktuře materiálu, rozměrech atp. Princip metody spočívá ve vysílání krátkého ultrazvukového impulsu, který se odráží od všech rozhraní (vad i povrchů), vrací se zpět do sondy a časový průběh je zobrazován na obrazovce. Generátor tedy vybudí ultrazvukovou sondu, která vysílá i přijímá ultrazvukové impulsy a je akusticky navázaná na zkoušené prostředí. Impulsy se odrážejí od vad a od povrchu materiálu a vracejí se zpět do sondy. Generátor je spouštěn synchronizátorem současně se zdrojem časové základny, která se přivádí na horizontální vychylovací destičky obrazovky. Na její vertikální vychylovací systém je připojen výstup zesilovače. Impulsová odrazová metoda dává informaci o vzdálenosti odrazové plochy podle zpoždění, s nímž se odražený impuls (echo) vrátí do sondy a o velikosti odrazové plochy podle výšky echa. Výhodou této metody je možnost vysílat i přijímat jednou sondou a lze tedy kontrolovat i výrobky přístupné pouze z jedné strany.



Obr. 30 Princip odrazové ultrazvukové zkoušky, 1 - základní echo, 2 - poruchové echo, 3 - koncové echo

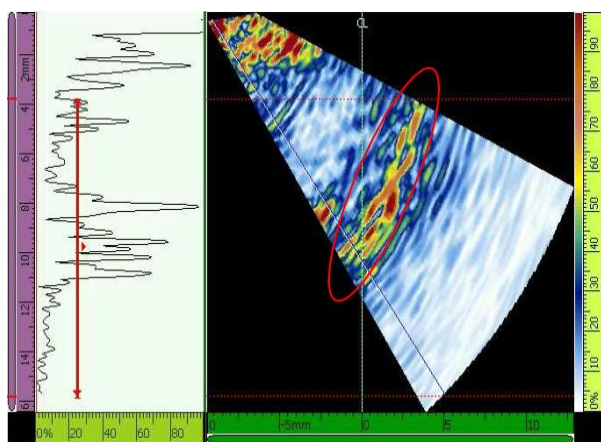
Ultrazvukem jsou dobře zjistitelné vady plošného charakteru, kdy rovina vady je přibližně kolmá na směr šíření vlnění. Obtížné jsou však zjistitelné objemové vady (bubliny, póry) a plošné vady umístěné rovnoběžně se směrem vlnění. Nelze téměř vůbec usuzovat typ vady (nelze zjistit, zda jde o bublinu, pór či trhlinu), je možné pouze určit, že se jedná o nějakou vadu a přibližně určit její velikost. Výhodou ultrazvuku je okamžitý výsledek zkoušky, nižší cena zkušebního zařízení než u prozařování a snadné zkoušení větších tloušťek (u oceli lze použít až pro tloušťky 6 metrů, tedy vysoko převyšuje běžně používané tloušťky konstrukčních prvků). Vzhledem k charakteru metody ji můžeme také používat k měření tloušťek, případně ke zjišťování úbytku tloušťky. Nejsou také potřeba žádná zvláštní a nákladná bezpečnostní opatření. Pracovník kontroly musí být zkušený, aby výsledky byly hodnověrné. Nevýhodou je obtížné až nemožné rozpoznání druhu vady a výsledky nejsou zpravidla dokumentovány (neexistuje trvalý záznam obrazu vad).

Pro zkoušení svarů ultrazvukem platí norma ČSN EN ISO 17640 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Techniky, třídy zkoušení a hodnocení, pro vyhodnocení zkoušek platí ČSN EN ISO 11666 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Stupně

přípustnosti a ČSN EN ISO 23272 Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Posouzení charakteru indikací ve svarech.

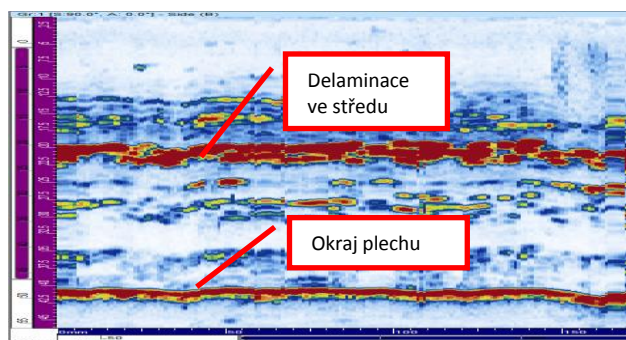
11.4. PA – Phased Array

Technologie fázového pole využívá vícenásobných ultrazvukových prvků a elektronického zpoždování pulsů k vytváření zvukových paprsků, které se dají elektronicky směřovat, vychylovat a zaostřovat a lze tak dosahovat vysokých přesností, rychlosti kontroly a provádění vícenásobných úhlových kontrol. Technologie poskytuje lepší a komplexnější a zaznamatelné výsledky a doporučuje se ji provádět místo klasické UT zkoušky. Metodu PA lze použít pro zjištění únavových trhlin a vnitřních nehomogenit. Další aplikací je korozní mapování, to se provádí z opačné strany, než je korozní poškození a je ideální pro diagnostiku štěrbinové koroze a vnitřní koroze dutých profilů.



Obr. 31 Únavová trhlina zjištěná PA zkouškou, červeně označena poloha trhliny

Příklad lze ukázat na mostě z roku 1978, který měl být využit na nové mostní konstrukci.



Obr. 32 Delaminace plechů – příčný řez plechem – PA sken

11.5. MPM - Magnetická Paměť Materiálu

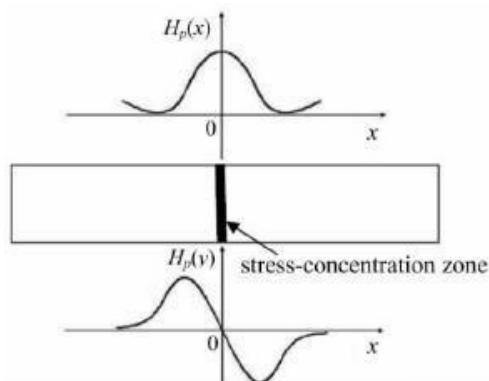
Metoda magnetické paměti kovů je nedestruktivní diagnostická metoda, která dokáže lokalizovat poruchy nebo koncentrace napětí (SCZ, Stress Concentration Zones) ve feromagnetických materiálech. Objevitelem této metody je ruský expert A. A. Dubov, který v roce 1994 představil koncept magnetické paměti materiálu, kterou následně aplikoval do vývoje nedestruktivní metody. V roce 1999 představil princip a aplikaci této NDT metody pro potrubní technologie. Metoda magnetické paměti je založena na měření a analýze intenzit vlastního magnetického pole (tzv. SMFL-Self Magnetic Flux Leakage) feromagnetických látek.

Pokud se feromagnetická látka ochladí pod tzv. Curieho teplotu (pro železo 768 °C) vytvářejí se magnetické domény během krystalizačního procesu. Magnetické domény mají tendenci se vyrovnat ve směru geomagnetického pole Země a vytváří magnetickou strukturu, kterou ovlivňují nečistoty, způsob chlazení, mřížkové defekty, vnější napětí. Magnetické siločáry proudí uvnitř homogenního feromagnetického materiálu v uzavřených smyčkách. Při vzniku mřížkových defektů nebo přítomnosti napětí v materiálu dochází k nevratným změnám doménových struktur. Mění se permeabilita materiálu, která vede ke změně intenzity vlastního magnetického pole. Tento jev zůstává i po odstranění vnějšího zatížení. V důsledku toho lze stanovit poškození feromagnetického materiálu měřením jeho povrchové distribuce SMFL. Metoda MMM je založena na fyzikálním principu nazývaném magnetomechanický efekt (magnetomechanical effect), který popisuje interakci mezi napětím a magnetismem.

Základní dva parametry popisující intenzitu magnetického pole jsou:

- tangenciální složka intenzity magnetického pole $H(x)$ [A/m], která je rovnoběžná s povrchem vzorku
- normálová složka intenzity magnetického pole $H(y)$ [A/m], která je kolmá na povrch vzorku

V zóně koncentrace napětí dosahuje tangenciální složka $H_p(x)$ maximální hodnoty. Zatímco normálová složka $H_p(y)$ přechází z kladné do záporné hodnoty, přičemž nulová hodnota odpovídá maximální hodnotě složky tangenciální.



Obr. 33 Schéma SMFL distribuce v zóně koncentrace napětí

Diagnostika metodou MMM se provádí pomocí měřícího zařízení, které se skládá z přijímacího zařízení typ a pojízdného skenovacího zařízení. Skenovací zařízení má různé konstrukční varianty. Nejčastější je použití vozičku či samostatné sondy s detekcí ujeté vzdálenosti.



Obr. 34 Příjímací zařízení TSC-7M-16



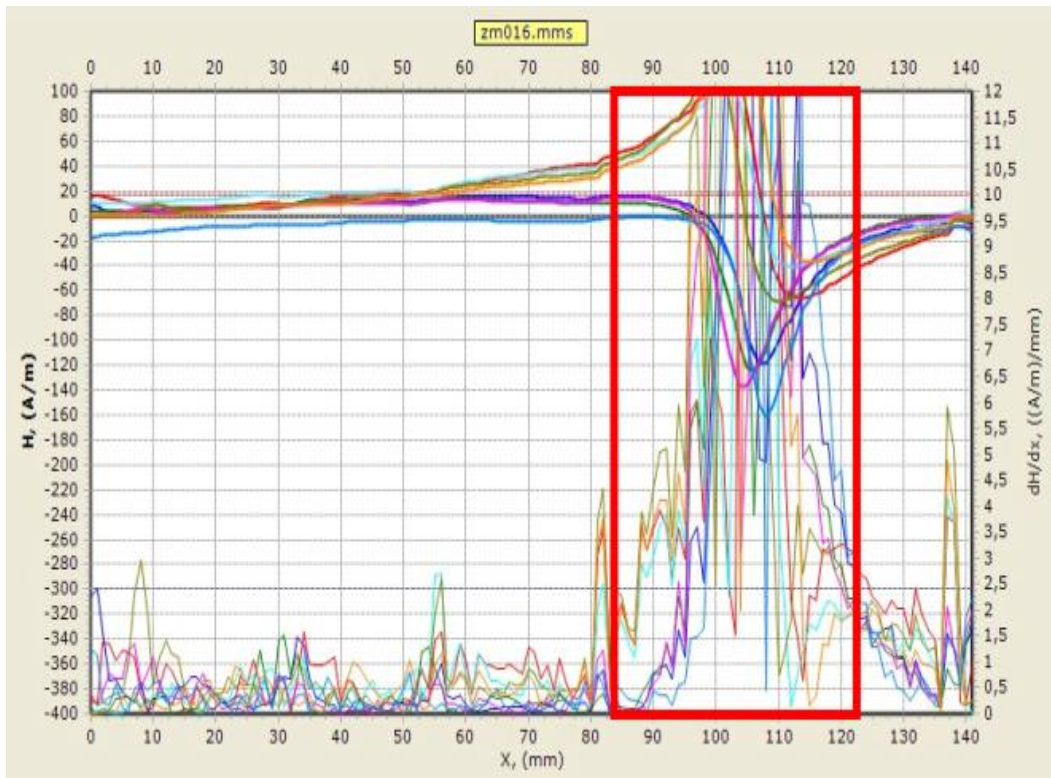
Obr. 35 Skenovací zařízení – vozíček a jednotlivá sonda

Měření je prováděno pojížděním po povrchu vyšetřovaného objektu. Aktuální měřené hodnoty jsou zobrazovány na monitoru přijímacího zařízení. Naměřené hodnoty lze uložit do paměti a následně naimportovat do počítače.

Zařízení zaznamenává tři veličiny:

- H - intenzitu magnetického pole [A/m]
- dH/dx - gradient magnetického pole [(A/m)/mm]
- Lx – měření skenované vzdálenosti [mm]

Hodnoty se následně zobrazí v přehledném grafu, kde je možné vyčíst všechny naměřené veličiny. V grafu u změny magnetického pole jsou vyznačeny 2 vodorovné úsečky. Slabá modrá udává průměrnou hodnotu změny magnetického pole. Zatímco čárkovaná červená představuje hodnotu čtyř násobku průměrné hodnoty. Hodnoty pod touto úrovní můžeme označit pouze jako šum při měření. Ostatní hodnoty překračující tuto mez lze považovat za potenciální místa SCZ.



Obr. 36 Fatigue crack during the MMM inspection, left part without the crack, right shows the crack location, seen on Figure 8 (PREDITEST s.r.o.)

Další nedestruktivní metody, jako TOFD (Time of Flight Diffraction), kapilární zkoušení (PT), jsou rovněž využitelné, ale mají méně výhod než metody uvedené výše. U metody akustické emise (AE) zatím pro ocelové mostní konstrukce není dostatek zkušeností pro praktickou aplikaci.

U plechů tloušťky nad 30 mm se při diagnostickém průzkumu doporučuje, zejména pokud slouží jako podklad pro rekonstrukci mostu, ověřit plech na přítomnost vměstků, delaminace a vnitřních nehomogenit. Pro zjištění se doporučuje provedení mapování metodou PA.