

Technická dokumentace a protokol

o ověření a následném uplatnění technologie č. DG18P02OVV033-2021-1

„Technologie oprav protikorozi ochrany historických ocelových konstrukcí s využitím kombinovaných povlaků“

Původ technologie:

Navržená technologie je výsledkem výzkumných aktivit projektu DG18P02OVV033 Metody pro zajištění udržitelnosti ocelových mostních konstrukcí industriálního kulturního dědictví, řešeného v rámci programu NAKI II pro Ministerstvo kultury ČR.

Popis technologie obecně:

Ověřená technologie „Technologie oprav protikorozi ochrany historických ocelových konstrukcí s využitím kombinovaných povlaků“ má za cíl zajistit vhodnou protikorozi ochranu menších ocelových částí jako jsou demontovatelné prvky zábradlí a dekorativní části historických a technických památek. Cílem bylo aplikovat takovou protikorozi ochranu, která poskytne ochranu i na velice exponovaných a mechanicky namáhaných částech zábradlí ocelové mostní konstrukce, kde by mohlo docházet k rychlému koroznímu napadení a ztrátě životnosti PKO. Protikorozi ochrana tak bude zaručovat požadovanou životnost (více než 25 let) v korozním prostředí C4 (korozní agresivita atmosféry).

Oprava protikorozi ochrany ocelových konstrukcí

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

Na ocelových konstrukcích se mohou vyskytovat různé vady a poškození. Mezi tyto vady lze obecně zahrnout korozní napadení, mechanické poškození, nevhodný návrh ocelové konstrukce, vady PKO, vandalismus a další. Koncepce protikorozi ochrany musí obsahovat: materiál a jeho ochranu pro danou technologii, údaje o ztrátách materiálu a jeho sledování při provozu zařízení. K tomu se přidává i provozní spolehlivost, životnost, protipožární odolnost a hospodárnost řešení. Celá tato část je důležitá a rozhoduje často o úspěchu celé investice na opravu. Ve stádiu návrhu opravy projektu by se měla k zajištění odpovídající životnosti konstrukce věnovat zvláštní péče.

Základem návrhu oprav PKO je reálné hodnocení vad a příčin jejich vzniku, které je ve většině případech výsledkem běžné nebo hlavní prohlídky ocelové konstrukce. Při přípravě návrhu technologického předpisu (TP) na opravu PKO, se vychází vždy ze základních údajů ocelové konstrukce (materiál, stávající PKO, stav prostředí, konstrukce atd.) a vhodnosti použití případné technologie opravy pro vybraný typ (lokální oprava, částečná oprava, obnova celého systému PKO). Při návrhu technologického předpisu je nutné stanovit vhodné dílčí technologické procesy, které povedou k zajištění požadované životnosti PKO. Nejdůležitějším procesem je technologie předúprav povrchu. Vždy je zapotřebí předupravit povrch, tak aby následný technologický proces (nátěrová hmota, žárový nástřik, žárové pokovení) mělo dostatečnou přilnavost k původnímu povrchu a zamezilo se vzniku následných vad protikorozi

ochrany. Pro návrh technologických předpisů je možné vycházet z předpisu ŘSD TKP 19 B a C nebo předpisů Správy železnic.

Oprava zábradlí památkově chráněného Čechova mostu

Čechův most je nejkratší z mostů vedoucích přes Vltavu v Praze. Je pokračováním dnešní Pařížské ulice a propojuje Dvořákovo nábřeží na staroměstské straně s nábřežím Edvarda Beneše na letenské straně. Most je 169 m dlouhý a 16 m široký, slouží pro tramvaje, silniční dopravu a pro chodce. Most z období secese byl uveden do provozu v roce 1908. Most má bohatou výzdobu a je chráněnou technickou památkou. Na jeho návrhu se podíleli Ing. Jiří Soukup, František Mencl a Václav Trča, na architektonickém ztvárnění prof. Jan Koula. Po uvedení mostu do provozu v roce 1908 dostal jméno Most Svatopluka Čecha. V letech 1940 až 1945, v období okupace, byl přejmenován na Mendelův most. Od roku 1945 nese jméno Čechův most.



Obr. 1 Historická fotografie Čechova mostu

Počáteční stav protikorozní ochrany zábradlí Čechova mostu.

V rámci provedeného místního šetření, bylo zjištěno, že zábradlí je vystaveno působení nepříznivého korozního prostředí. Toto prostředí lze dle ČSN ISO EN 12944 charakterizovat jako prostředí C4 - významná atmosférická korozní zátěž (v zimním období dokonce působení posypových materiálů). Dále bylo zjištěno velké množství nedostatků ovlivňujících ochranné vlastnosti PKO a životnost ocelové konstrukce. Jedná se především o následující závady, defekty a nedostatky:

- Korozní napadení patek sloupků a tím nevratná degradace materiálů u některých sloupků.
- Podkorodování a prokorodování nátěrového systému – nevhodná a neúčinná stávající PKO.
- Mechanické poškození PKO – způsobená provozem či vandalismem.
- Nehomogenní nátěrový systém.
- Štěrbinová koroze u nýtovaných prvků ocelového zábradlí. Na konstrukci působí dynamické zatížení ocelových prvků a tímto vlivem dochází v konstrukčních spojích k praskání stávající PKO a následnému koroznímu napadení základního materiálu.
- Galvanické korozní napadení důvodem nevhodného spojení rozdílných materiálů.
- V neposlední řadě zanedbaná údržba konstrukce, nečistoty na vrchních plochách nosné konstrukce

- Nerovnoměrný nátěrový systém u PKO zábradlí.
- Korozní napadení patek a svarových spojů zábradlí.

Na dílčích prvcích zábradlí Čechova mostu byla v minulosti provedena protikorozní ochrana se základní nátěrovou hmotou na bázi olova a několika vrstev nátěrových systémem, který již neplnil svoji požadovanou protikorozní funkci a došlo tak k nevratnému koroznímu poškození některých částí a tím ke ztrátě životnosti a funkčnosti PKO. Z tohoto důvodu byla zahájena oprava zábradlí s celkovou obnovou protikorozní ochrany.





Obr. 2 Současný stav protikorozní ochrany zábradlí Čechova mostu

Návrh protikorozní ochrany zábradlí

V rámci protikorozní ochrany byla původně navržena a otestována obnova PKO vícevrstevným nátěrovým systémem se základní nátěrovou hmotou na bázi Zn. Jelikož se však jedná o kované nýtované zábradlí s existencí velkého množství štěrbin, které lze jen těžko povrchově ochránit, došlo na zkušebních segmentech již po roce expozice v daném prostředí ke koroznímu napadení a tím ztrátě životnosti zvoleného systému PKO.

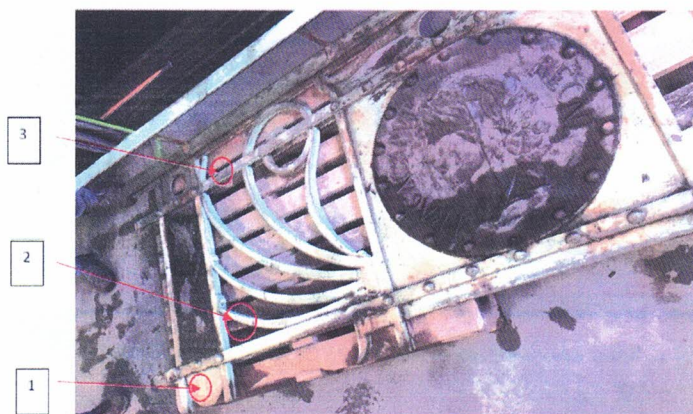
Z tohoto důvodu a na základě zjištěných skutečností bylo doporučeno zkusit na dílčích segmentech aplikovat protikorozní systém s využitím žárového zinkování ponorem. Kombinace žárově zinkovaného povlaku, který bude zabezpečovat protikorozní ochranu bariérovým a především katodickým principem při případném poškození PKO a následným vícevrstevným nátěrovým systémem (duplexním systémem).

Navržený typ protikorozní ochrany zábradlí Čechova mostu: žárové zinkování ponorem + ONS 93 (dle S5/4 registrační číslo ONS 007/2020)

1.	Žárové zinkování ponorem	100 μm
2.	Základní nátěr PPG SigmaFast 278 – odstín krémová	160 μm
3.	Vrchní nátěr PPG SigmaFast 210 HS - odstín RAL 7044	<u>80 μm</u>
	Ceklová NDFT	340 μm

Ověření vhodnosti protikorozní ochrany zábradlí

Pro vhodnost základního materiálu k žárovému zinkování ponorem bylo provedeno stanovení materiálového složení. Z vybraného segmentu zábradlí Čechova mostu byly vytipovány a odebrány tři vzorky dílčích prvků. Místa odebraných vzorků jsou zobrazeny na obr. 3



Obr. 3. Místa odebraných vzorků pro stanovení složení materiálu

Z materiálové analýzy bylo zjištěno, že vzorky 2 a 3 dle svého složení jsou vhodné pro žárové zinkování ponorem. Vzorek 1 dle zjištěného materiálového složení není vhodný pro žárové zinkování ponorem. Důvodem je jeho nevhodný obsah křemíku v základním materiálu. Obsah Si ve vzorku 1 je dle provedeného měření 0,086%, což odpovídá Sandelinově oblasti, kdy materiály s obsahem Si 0,04 až 0,14% dosahují nerovnoměrných a tlustých povlaků. I přes zjištění, že některé prvky segmentu zábradlí nejsou vhodné k žárovému zinkování ponorem, bylo rozhodnuto o provedení zkušebního zinkování na dvou segmentech zábradlí. Aby bylo možné segmenty žárově pozinkovat muselo dojít k odstranění původních nátěrových hmot. Toto odstranění v první fázi bylo provedeno tryskáním pomocí ostrohranného tryskacího prostředku. Na obr. 4. je znázorněn otryskaný povrch se zbytky původní nátěrové hmoty.

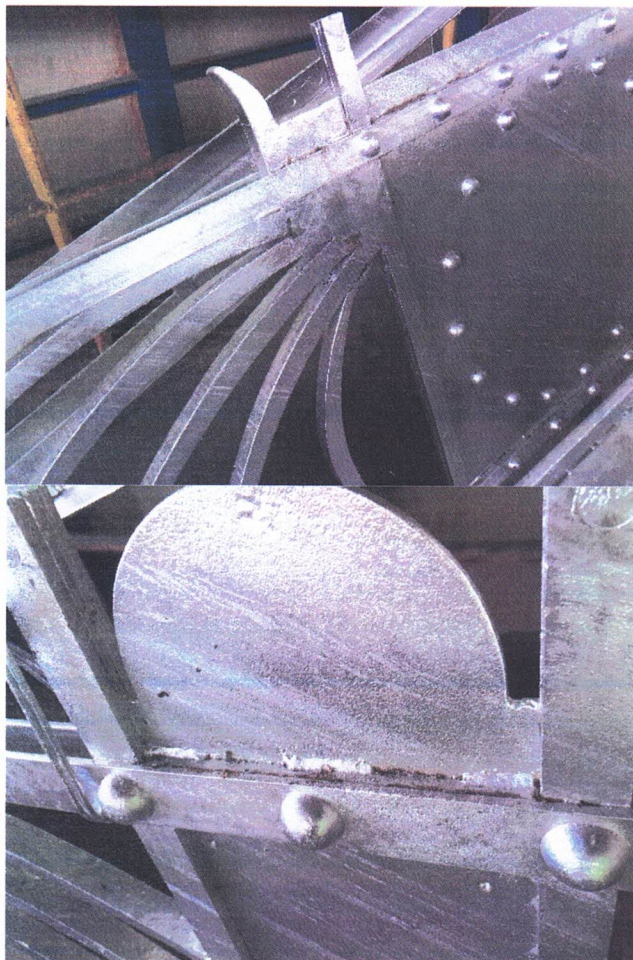


Obr. 4 Předúprava povrchu tryskáním před aplikaci žárového zinku ponorem

Žárové zinkování a ověření vhodnosti aplikace žárového pokovení na segmentech zábradlí Čechova mostu bylo provedeno v žárové zinkovně SIGNUM Bezručice s.r.o. Po aplikaci žárového pokovení v místech mezi přeplátovanými materiály a v těžko dostupných částech (šterbinách a vnitřních koutech), kde nedošlo ke 100% očištění a zůstávala tam původní nátěrová hmota, došlo k výskytu nežádoucích vad vzniklých při žárovém zinkování ponorem

(nepokovených míst a výskytu nesoudržného povlaku žárového zinku v místech se spálenou nátěrovou hmotou).

Pro ověření 100% očištění povrchu, bylo nutné provést na jednom segmentu zábradlí dodatečné odzinkování a tím odstranění zbylé spálené nátěrové hmoty. Na obr. 5 je žárově zinkované zábradlí s vadami po spálené nátěrové hmotě a na obr. 6. je žárově zinkované zábradlí bez vad po spálené nátěrové hmotě.



Obr. 5 Žárově zinkované zábradlí s vadami po spálené nátěrové hmotě



Obr. 6 Žárově zinkované zábradlí bez vad po spálené nátěrové hmotě

Z důvodu nutnosti 100% očištění a odstranění původních nátěrových hmot bylo přistoupeno ve druhé fázi ke kvalitnějšímu čištění segmentů zábradlí. Kombinaci termického odlakování s následným tryskáním na čistotu povrchu Sa 3. Tato předúprava byla provedena ve firmě ATOMO PROJEKT s.r.o. Takto předupravený povrch již vyhovoval pro žárové zinkování ponorem bez četného výskytu vad viz obr. 7.



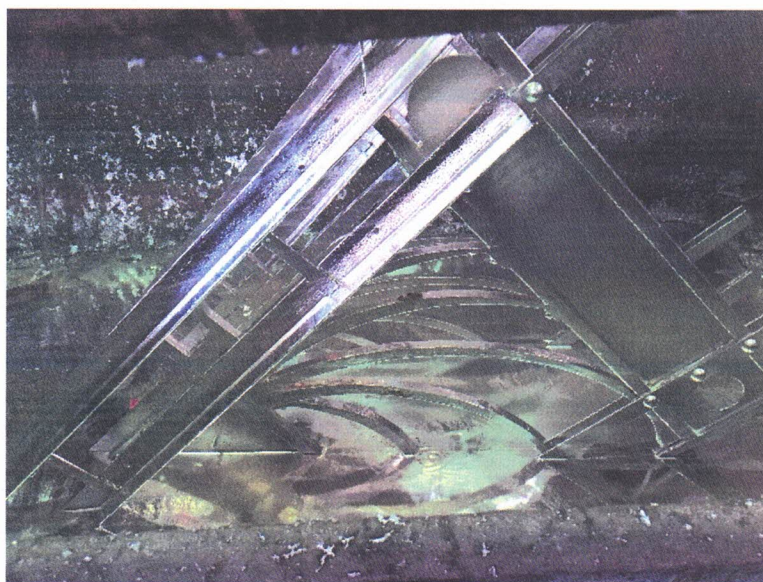
Obr. 7 Předúprava povrchu tryskáním před aplikaci žárového zinku ponorem – čistota povrchu Sa 3

Technologický předpis protikorozní ochrany segmentů zábradlí Čechova mostu.

1. Kontrola stavu povrchu OK zábradlí (kontrola kovářských prací, povrch musí být bez okují, rozstřiku, svary přebroušeny bez trhlin, hrany zaobleny na $R = \text{min. } 2 \text{ mm}$, zbytky barev nutno odstranit mechanicky, kontrola povrchu po odstranění původních nátěrových hmot a vzniklého korozního napadení - po termickém odlakování a následném tryskáním na čistotu povrchu Sa 3).
2. Žárové zinkování ponorem v souladu s ČSN EN ISO 1461, EN ISO 14713-1, EN ISO 14713-2 (Ocelovou konstrukci zábradlí odmořit a žárově pozinkovat ponorem)



Obr. 8 Moření před aplikaci žárového zinku ponorem



Obr. 9 Ukázka aplikace žárového zinkování ponorem

Nepřípustné vady žárově zinkovaného povlaku: nedostatečná tloušťka povlaku, nespojitá místa povlaku, nečistoty povlaku (popel, zbytky tavidla apod.), vady z podkladu oceli v povlaku (šupiny, vady svarů apod.). Vadou není lesk nebo mat povrchu povlaku nebo bílá rez, v nýtovaných spojích se připouští lehké zbytky původních barev.

3. Před aplikací nátěrových hmot je nutné z povrchu žárového zinku odstranit hrubé nečistoty, mastnoty, olej vhodným odmašťovacím přípravkem a následně provést lehké abrazivní otryskání povrchu (sweeping) tak, aby se odstranila bílá rez z povrchu a současně aby se umožnilo ukotvení nátěru. Sweeping provést nekovovým tryskacím médiem – korund, frakce 0,2 – 0,5 mm, tlak 2,5 bar, tryska průměru 8 mm, vzdálenost trysky od povrchu cca 400 až 500 mm, úhel 30-60 °C s předpokládaným úbytkem zinku max. 5-10 μm – zbytkovou tloušťku povlaku žárového zinku nutno po

sweepingu zkontrolovat nedestruktivním měřením v souladu s normou ČSN EN ISO 2178. Kontrolu drsnosti lze orientačně provést v souladu s Rugotestem No.3, stupeň BN-9a.

4. Před nanesením základní vrstvy u systémů PKO se provede kontrola klimatických podmínek. Kontrola klimatických podmínek k provádění PKO musí být v souladu s ČSN ISO 8502-4. Teplota konstrukce musí být minimálně o +3°C vyšší než teplota rosného bodu. Minimální teplota vzduchu při aplikaci PKO musí být +5°C. Maximální přípustná relativní vlhkost vzduchu při aplikaci PKO je 75%.

Dále před nanesením základního nátěru musí být provedena kontrola povrchu z hlediska výskytu prachových částic – množství a velikost prachových částic max. 2-2 dle ČSN EN ISO 8502-3. Při znečištění povrchu se provede odstranění nečistot průmyslovým vysavačem, případně stlačeným vzduchem – suchým, zbaveným mastných nečistot, a provede se další kontrola.

5. Do 4 hodin po otryskání se provede základní nátěr dle zvoleného systému PKO, problematická místa (nýtované části, svary, rohy a hrany) se ošetří nejdříve pásovým nátěrem. Teprve po zavaznutí tohoto nátěru se ošetří zbylé plochy (včetně již natřených problematických míst) do požadované tloušťky nátěru dle TP křížovým nástřikem. V případě nevyhovujících tloušťek nátěrových povlaků se tloušťka doplní dalším nástřikem. Před aplikací mezivrstvy i vrchního krycího nátěru se provede pásový nátěr všech problematických míst (nýtované části, svary, rohy a hrany). Po aplikaci pásových nátěrů bude následovat aplikace mezivrstev a vrchního krycího nátěru.

Nepřípustné vady nátěrového systému – nedostatečná tloušťka, nenatřená místa, vrásnění, stečeniny, puchýře, odlupování (delaminace), trhliny, krátery. Oprava vad nátěrového systému musí být provedena mechanickým přebroušením s hladkým a pozvolným přechodem do bezvadného okolního nátěru a nanesením NH pro vytvoření povlaku požadované tloušťky.

Na obr. 10 je ukázka provedení celkové protikorozní ochrany segmentu zábradlí Čechova mostu, která bude splňovat požadované vlastnosti a zaručovat dlouhou životnost ve vysoce korozně namáhaném prostředí.



Obr. 10 Aplikace celého systému protikorozní ochrany segmentu zábradlí Čechova mostu

Nátěrový systém byl zvolen ze systému schválených ochranných nátěrových systémů. Byl navržen nátěrový systém od renomovaného výrobce nátěrových hmot PPG, který dodala firma ALLGARD CZ s.r.o. Aplikaci nátěrového systému byla provedena ve firmě ANTIKOR CZ s.r.o.

Využitelnost technologie

Ověřená technologie je plně využitelná v oblastech návrhu a aplikace protikorozní ochrany demontovatelných částí ocelových konstrukcí a mostů a její využití by mělo být vyžadováno orgány památkové péče po projektantech (vždy po dohodě s korozním inženýrem). Rozsah využití by měl odpovídat památkovému významu konstrukce.

Ověřená technologie je využitelná i pro práci orgánů památkové péče, které tak získají návod pro provedení vhodné protikorozní ochrany při opravě, rekonstrukci či přestavbě památek.

Ekonomické parametry:

Hlavním ekonomickým parametrem je zvýšení životnosti protikorozní ochrany pro dané korozní prostředí, ve kterém se ocelové a mostní konstrukce nachází. S využitím ověřené technologie by se životnost protikorozní ochrany měla zvýšit minimálně o 100% na minimálně 25 let oproti běžné protikorozní ochraně, u které je životnost plánována na 5 až 10 let. S tím jsou spojené i finanční úspory.

Závěrečná ustanovení

Tento protokol osvědčuje ověření a uplatnění technologie pro účely hodnocení výsledků výzkumných organizací a hodnocení výsledků ukončených programů podle platné metodiky Rady vlády pro výzkum, vývoj a inovace (RVVI).

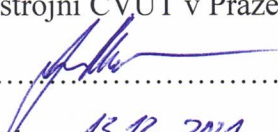
Protokol vyjadřuje zájem aplikační firmy využít ověřenou technologii pro aplikaci na dílčích segmentech Čechova mostu, nezakládá však žádné právní ani jiné povinnosti níže podepsaných stran.

Protokol je vyhotoven v 4 stejnopisech platností originálu, po jednom obdrží každá organizace a dva jsou určeny pro účel archivace.

Za kolektiv autorů technologie a za realizátora technologie

Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Fakulta strojní ČVUT v Praze

Podpis.....

V Praze dne: 13. 12. 2021.....

Ing. Jakub Svoboda

Fakulta strojní ČVUT v Praze

Podpis.....

V Praze dne: 13. 12. 2021.....

Ing. Michal Zoubek

Fakulta strojní ČVUT v Praze

Podpis.....

V Praze dne: 13. 12. 2021.....

Za aplikační firmu

Václav Vendl

ANTI-KOR CZ, s.r.o.

Podpis.....

V Praze dne: 20. 12. 2021.....