Restaurátorský průzkum nátěrových systémů ocelové konstrukce Hlavního nádraží Praha

Restoration investigation of paint systems of steel structure of Main railway Prague

Geiplová H.¹, Mindoš L.¹, Mrázek J.¹, Majtás D.², Macová P.², Pokorný P.³

¹ SVÚOM s.r.o.

² ÚTAM/CET

³ ČVUT v Praze - Kloknerův ústav

E-mail: geiplova@svuom.cz

Príspevek navazuje na článok popisujúci stav ocelovej konštrukcie hlavného nádražia v Prahe pred restaurovaním v r. 2015 [1]. V tomto príspevku je uvedený průzkum stavu protikoroziní ochrany nátěrovým systémem a popsán postup restaurování. Na odebraných vzorcích nátěrového systému byla provedena stratigrafie, FTIR a XRF analýza. S ohledem k zjištění přítomnosti základního nátěru obsahujícího Pb pigment, byla zvolena technologie tryskání vodou, která umožnila minimalizovat nebezpečné odpady.

The paper follows the paper describing the condition of wrought iron structure of main railway station [1]. In this paper the investigation of condition of paint system corrosion surface treatment is given and the restoration procedure is described. The withdrawal samples of paint systems were analysed by stratigraphy, FTIR and XRF analysis. Due to identification of Pb pigment presence in primer the water jet technology was chosen which minimised the danger waste formation.

ÚVOD

Hlavní nádraží v Praze je v provozu od 14. prosince 1871. Nová hlavní budova v secesním slohu byla postavena v letech 1901-1909 spolu s obloukovou nýtovanou konstrukcí ze svářkové oceli v secesním stylu (Obr. 1) [2, 3]. Během 110 let nebyla provedena žádná zásadní rekonstrukce nebo oprava této konstrukce s výjimkou obnovy nátěrového systému na částech konstrukce provedenou v 80. letech minulého století [1]. Restaurování ocelové konstrukce proběhlo v letech 2015-2017. Příspěvek popisuje hodnocení nátěrového systému a postup jeho obnovy.

Hodnocení nátěrového systému

Vrchní vrstva nátěru v matném šedém odstínu byla silně kontaminována prachem z lokomotiv (saze), úsadami ptačích exkrementů, atd..

Tloušťka povlaků byla měřena nedestruktivní magnetickou metodou podle normy ČSN EN ISO 2808. Naměřené hodnoty vykazovaly velký rozptyl na jednotlivých plochách, ale na většině ploch sloupů byla tloušťka

nátěru cca 200 µm. V úzkých spojích, dekorativně tvarovaných prvcích, apod., byla tloušťka nátěru až 800-1000 µm, což znamená, že vrstvy byly přetírány přes sebe bez odstranění předcházejících vrstev.

Povrch byl bez významného korozního napadení nebo pouze s lokálním prokorodováním stupně R_i1 (0,01%) hodnoceno podle normy ČSN EN ISO 4628-3 (Obr. 1). Lokálně byly ve vrstvě nátěrového systému zjištěny praskliny. Vrchní vrstva nátěru byla zkřídovaná.

Během stárnutí mnohavrstevných nátěrových povlaků dochází ke vzniku vnitřního pnutí v povlaku, které je ovlivněno počtem vrstev, celkovou tloušťkou suché vrstvy (DFT), generickým typem nátěru a podmínkami expozice. Není doporučováno přetírat stávající nátěrový systém s celkovou DFT ≥ 800 µm, protože vnitřní pnutí ve „starém“ nátěru může způsobit odlupování celého systému. Zásadní vlastností stávajícího systému je jeho přilnavost. Přilnavost nátěrového systému na plochách s průměrnou tloušťkou byla ověřena křížovým řezem podle normy ASTM D 3359 s výsledkem stupeň 3A (Obr. 2). Spodní vrstvy vykazují vyšší přilnavost než vrchní vrstvy.

a)

b)

c)

d)

Obr. 1. Degradace nátěrového systému – prokorodování (a, b), praskliny (c) a křídování (d)
Fig. 1. Degradation of paint system: creep (a,b), cracks (c) and chalking (d)

a)

b)

Obr. 2. Přílnavost nátěrového systému – výztuha (a) a nosník (b)
Fig. 2. Adhesion of paint system – reinforcement (a) and girder (b)

Analýza nátěrového povlaku

Předběžné hodnocení bylo zaměřeno na analýzu aplikovaného nátěrového systému a stanovení původního barevného řešení ocelové konstrukce. Bohužel nejsou k dispozici historické fotografie nebo zprávy dokumentující původní barevné schéma. Postup průzkumu vycházel z mechanického odběru vzorků nátěrových systémů spolu s odběrem několika nepřilnavých vzorků nátěrů z ploch, kde byl předpoklad zachování i původních vrstev nátěrů, a zhotovení příčných řezů.

Stratigrafie nátěrového systému

Vzhledem k době expozice ocelové konstrukce lze předpokládat, že do současné doby byla minimálně dvakrát provedena obnova nátěrového systému, pravděpodobně v letech 1940-1945 a následně po cca 30-35 letech, tj. v letech 1970-1975. Existuje pouze informace o obnově nátěrového systému provedené v r. 1988 jako 3 vrstvý systém po otryskání povrchu (ústní informace SVÚOM). Tato renovace nezahrnovala celou konstrukci haly, ale pouze část sloupů nástupišť. Další obnova nátěru se týkala části střešní konstrukce v r. 2014, kdy bylo provizorně opraveno zatékání srážek do haly.

Tab. 1. Identifikace vrstev nátěrového povlaku / Identification of paint system layers

Vzorek	Vrstva	Barva	Tloušťka (μm)
1	1	šedá	40
	2	oranžová	64
	3	šedá	26
	4	žlutá	124
	5	šedá s listkovým pigmentem	244
	6	šedá	40
	7	šedá s pigmentem	83
	8	šedá	38
	9	šedá s pigmentem	nesouvislá
	celkem	–	1247
2	1	oranžová	73
	2	stříbrná	55
	3	světle šedá	119
	4	šedá	177
	5	oranžová	121
	6	šedá	153
	7	oranžová	324
	8	šedá s listkovým pigmentem	115
	9	šedá s pigmentem	53
	10	šedá	56
	celkem	–	1246

Vzorky byly odebrány z takových ploch, které nebyly přístupné pro otryskání bez demontáže konstrukce střechy a které byly relativně dobře chráněny před degradací působením prostředí, takže bylo možné předpokládat, že se na těchto plochách zachoval původní nátěrový systém (Obr. 3). Morfologie vzorků byla hodnocena na příčných řezech na optickém mikroskopu ZEISS NEOPHOT 32 (Obr. 4).

Na vzorcích bylo zjištěno 9 až 11 různých vrstev nátěrových povlaků, v mnoha případech pouze ve zlomcích – Tabulka 1. Mnoho vzorků, především z horních ploch konstrukce, vykazovalo přítomnost vrstvy v tmavě zeleném odstínu aplikovaném na šedou podkladovou vrstvu. V některých vrstvách nátěrů jsou přítomny lesklé částice pigmentu železité slidy; dokonce i ve vrstvách aplikovaných na červeně-oranžovou vrstvu, tj. v mezivrstvách. Světle šedá vrstva nátěru je pravděpodobně původní vrchní nátěr. U každého z opravných nátěrů lze identifikovat a/nebo oddělit tenkou vrstvou černých prášných úsad (původní prášný spad, saze) a použití základního nátěru se suříkovým pigmentem.

Analýza nátěrového systému

Vzhled spodních vrstev nátěrového systému patrně na ocelové konstrukci a také stratigrafie příčných řezů vrstev nátěrů ukázala vrstvu s oranžovo-červeným zbarvením charakteristickým pro základní nátěry obsahující jako pigment suřík (Obr. 4 a 5). Protikorozi ochrana zajišťovaná průmyslovými nátěry byla původně založena na používání sloučenin kovů (např., chromátů, sloučenin olova), které působily jako inhibitory koroze. Prakticky celé 19. století až do 70. let 20. století byly základní nátěry na bázi suříkového pigmentu obecně používány na ochranu ocelových konstrukcí proti atmosférické korozi. Suřík je oxid olovnatý-olovičitý $Pb^{II}_2Pb^{IV}O_4$ označovaný také jako červené olovo. Původní základní suříkové nátěry obsahovaly cca 20-30 % suříku + další pigmenty a plniva jako např. oxid železitý, kalcit, kaolinit, atd. Pojivem byl olej (např. svařený lněný olej) nebo později roztoky alkydových pryskyřic.

Vzorky odebrané z konstrukce byly analyzovány FTIR spektrometrem NICOLET iS5 metodou ATR s jednodrazovým diamantovým krystalem. Protože nátěrový systém tvoří mnoho vrstev, analýza byla prováděna pokud možno na každé vrstvě samostatně. Na Obrázku 5 jsou příklady FTIR spekter.

Spektrum šedé vrstvy (modrá linie na Obr. 5a) vykazuje typický absorpční pás pro titanovou bělobou – rutil (cca 470 cm^{-1}) a organickou sloučeninu. Přítomnost rutilu byla potvrzena mikro-Ramanovou spektroskopií. Pro lepší identifikaci organické složky bylo proměřeno FTIR spektrum odpařeného acetonového extraktu této vrstvy. Z červené i modré linie na Obr. 5a je patrné, že v oblasti nad 850 cm^{-1} jsou pásy v obou spektrech identické (v extraktu pochopitelně intenzivnější), pod tímto vlnočtem je spektrum šedé vrstvy ovlivněno vysokým obsahem titanové běloby. Porovnáním se spek-

a)

b)

Obr. 3. Příklady vzorků nátěrového systému – výztuha na střeše (a) a nosník nad nástupiště (b)

Fig. 3. Examples of paint system – ceiling reinforcement (a) and girder above platform (b)

a)

b)

c)

d)

Obr. 4. Příklady stratigrafie nátěrového systému – výztuha na střeše (a, b) a nosník nad nástupiště (c, d)

Fig. 4. Examples of paint system cross section – ceiling reinforcement (a, b) and girder above platform (c, d)

ry v knihovně SVÚOM, s.r.o. bylo prokázáno, že obě spektra vykazují absorpční pásy epoxidové NH na bázi bisfenolu. Bisfenolu odpovídají pásy aromatického jádra (dublet při cca 1605 cm^{-1} a „overtones“ nad 3000 cm^{-1}). Další pásy odpovídají epoxidové NH (dublety cca 1510 a 1455, resp. 1245 a 1182 cm^{-1}), v extraktu potom navíc ještě pásy cca 838 a cca 700 cm^{-1} .

FTIR spektrum červeno-hnědé vrstvy (prakticky shodné jak na povrchu, tak po osmirkování šedé vrstvy) je uvedeno na Obrázku 5b. Organická složka materiálu vykazuje absorpční pásy, které odpovídají

rostlinnému oleji (např. lněnému – cca 2922, 2852, 1740, 1653, 1415, 1160 a 720 cm^{-1}). Ve spektru jsou přítomny s ohledem k obsahu síry a vysokému obsahu olova a železa především piky typické pro sírany těchto prvků (nejintenzivnější pás spektra 1070, resp. slabé cca 988 a 600 cm^{-1}). Pigment v této vrstvě byl stanoven mikro-Ramanovou spektroskopií jako suřík Pb_3O_4 . S oxidy železa a s železem samotným reaguje za vzniku nerozpustných olovnatých železnatých a železitých, což je podstatou antikorozivního účinku základních nátěrových hmot obsahujících suřík na oceli.

a)

b)

Obr. 5. Příklady FTIR analýzy vzorků nátěrového systému – vrchní šedý nátěr (a), červeno-hnědá vrstva (b)

Fig. 5. Examples of FTIR analysis of paint system – grey top coat (a), red-brown layer (b)

XRF analýza ukázala přítomnost prvků pigmentů a plniv vzorků nátěrů – suřík (Pb_3O_4), zinec (ZnO , resp. $(\text{Zn}, \text{Mn}^{II})\text{O}$), baryt (BaSO_4) a anglesit (PbSO_4). Další analýza vzorku byla provedena AAS metodou, která stanovila 43 hmot. % Pb – tím byly potvrzeny prvotní předpoklady.

Základní nátěry se suříkovým pigmentem jsou účinné a netoxické v případě povlaků na konstrukci, ale stávají se toxickými a nebezpečnými pokud se dostanou do životního prostředí při obvyklých postupech obnovy nátěrového systému. Vzhledem k těmto zdravotním rizikům byly od r. 1970 tyto nátěrové hmoty zakázány; ale stále je lze nalézt na mnoha ocelových konstrukcích a jsou nebezpečné pro pracovníky provádějící renovaci nátěrových systémů těchto konstrukcí [4]. Proto je prvním úkolem předběžného průzkumu vždy analýza nátěrového systému a identifikace použitých nátěrových povlaků. Dalším úkolem je navržení vhodné technologie k odstranění takovýchto vrstev.

Technologie restaurování ocelové konstrukce

Plechové a segmenty s nejintenzivnějším korozním napadením, především na prvních sloupech nejvíce vystavených působení vnějšího prostředí, byly vyměněny. Protože se svárkové železo již nevyrábí v komerčním množství, byla použita uhlíková konstrukční ocel. Vyměněné prvky byly navařeny na původní plechy. Nové výztuhy příhradové konstrukce byly šroubovány šrouby s půlkulatou hlavou, aby bylo dosaženo vzhledu co nejbližšího původním nýtům (Obr. 6).

Přetírání, obvyklý postup aplikace nátěrových povlaků na stávající nátěrové systémy pro dosažení delší životnosti, je ekonomicky mnohem méně náročné než obnova celého nátěrového systému. Navýšením tloušťky nově aplikovaných opravných nátěrů mohou vznikat

významná rizika – především možnosti praskání, odlupu a delaminace celého nátěrového systému, včetně nově aplikovaného, čímž by došlo ke snížení životnosti celé protikorozi ochrany.

V případě odstraňování základních nátěrů obsahujících suříkový pigment jsou nutná speciální opatření. Běžné technologie abrazivního tryskání sice mohou zahrnovat i metody pro zachytávání vznikajících odpadů, ale v tomto případě vzniká nebezpečný odpad, přičemž náklady na jeho odstranění jsou velmi vysoké. Proto byl stávající nátěrový systém na ocelové konstrukci odstraněn tryskáním vysokotlakovou vodou na stupeň čistoty Wa2 podle normy ISO 8501-4. Na konstrukci bylo použito vysokotlaké (nebo ultra-vysokotlaké) tryskání vodou s použitím rotační trysky pro zvýšení účinnosti tryskání. Tato technologie umožnila odstranění starých degradovaných nepřilnavých vrstev nátěru a zachování pevně přilnavé cca 15-30 μm silné zbytkové vrstvy základního nátěru s obsahem suříku na ocelovém povrchu. Při kolmém směru trysky na povrch oceli vznikly kruhové stopy na povrchu konstrukce, ale při tryskání pod úhlem 45° byl získán povrch bez těchto stop (Obr. 7). Na některých plochách byl odstraněn celý nátěrový systém včetně vrstvy korozních produktů.

Pro odstranění struktury stávajících nátěrových povlaků bylo po otryskání vysokotlakovou vodou lokálně použito i broušení jako příprava povrchu pro aplikaci nového nátěrového systému. Zbytky nečistot po broušení byly odstraněny tlakovým vzduchem.

Volba nového nátěrového systému musí vzít v úvahu specifický stav konstrukce, především stav povrchu se zbytkovým stávajícím nátěrovým systémem a jeho složení. Nově aplikovaný nátěrový systém je trojvrstvý založený na epoxidových nátěrových hmotách s vrchním polyuretanovým nátěrem ve světle šedém odstínu (RAL 7036 platinum grey) – Obrázek 8.

a)

b)

Obr. 6. Výměna výztuh a šroubů – vnitřní povrch (a) a vnější povrch (základní nátěr) (b)

Fig. 6. Exchange of reinforcements and screws – inner surface (a) and outer surface (primer) (b)

Tento odstín je používán jako standard pro nátěry historických ocelových konstrukcí, např. v Německu, Rakousku, Nizozemí a Francii.

ZÁVĚRY

Nejvhodnější způsob protikorozní ochrany kovových objektů průmyslového dědictví je aplikace nátěrových povlaků [5-7]. Ve srovnání s aplikací na průmyslové stavby, kde jsou hlavním parametrem pro výběr především jejich ochranné vlastnosti, výběr nátěrů pro ochranu kulturního dědictví musí zahrnovat i další požadavky na nátěrový systém, jako je estetický požadavek, zachování původního barevného odstínu, lesku, apod.

Ocelová konstrukce zastřešení nástupiště Hlavního nádraží Praha byla v minulosti opakovaně přetírána nátěrovými povlaky komerčně používanými v té době.

Obr. 8. Rekonstruovaná ocelová konstrukce
Fig. 8. Steel structure after reconstruction

a)

b)

c)

d)

Obr. 7. Vliv směru tryskání k povrchu konstrukce – kolmý směr (a, b) a 45°úhel (c, d)
Fig. 7. Influence of water jetting direction – perpendicular (a,b) and 45° angle (c,d)

I proto bylo rozhodnuto, že při této rekonstrukci budou odstraněny všechny nepřílnavé vrstvy stávajících nátěrů tryskáním vysokotlakou a aplikován nový nátěrový systém pro zajištění dlouhodobé ochrany proti korozi.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován v rámci výzkumných projektů MPO CR – IP 9/2017 a MSMT CR - LO1219.

LITERATURA

1. P. Pokorný, M. Hrabánek, H. Geiplová, Restaurátorský korozní průzkum ocelové konstrukce perónní haly Hlavního nádraží v Praze, *Koroze a ochrana materiálu* **2019**, 63 (1), 1-10.
2. K. Becková, Zmizelá Praha. Nádraží a železniční tratě. Zaniklé, proměněné a ohrožené stavby, Praha, 2009.
3. M. Krejčířík, Česká nádraží, díl 1, 2., Litoměřice, 2003.
4. J. Benešová, H. Geiplová, K. Kreislová, Povrchové úpravy kovu (Kapitola 5), Konzervování a restaurování kovu. Ochrana předmětů kulturního dědictví z kovu a jejich slitin, Technické muzeum v Brně, ISBN 978-80-86413-70-9, 2011.
5. K. Kreislova, H. Geiplova, L. Mindos, Pre-restoration Study of Paint Systems of Art Nouveau Bridge Artefacts, proceedings of conference EUROCORR 2013, Estoril, Portugal, 1.-5.9.2013.
6. K. Kreislova, D. Knotkova, H. Geiplova, Atmospheric corrosion of industrial structures of cultural heritage (Chapter 8) in *Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts*, P. Dillman (Eds.), EFC serie No 65, Woodhead Publishing, 2013, ISBN 978-1-78242-154.
7. H. Geiplová, L. Mindoš, K. Kreislová, Nátěry na historických ocelových konstrukcích, *Spektra* **2015**, 15 (5), 30-33.