



POSTUP DIAGNOSTIKY A HODNOCENÍ OCHRANNÉ ÚČINNOSTI PATINY NA MOSTECH Z PATINUJÍCÍCH OCELÍ

ověřená technologie

31. prosince 2025

Tato ověřená technologie je dílčím výsledkem řešení projektu CK03000125 Inovativní diagnostické metody hodnocení pro bezpečnost a trvanlivost mostů z patinující oceli v programu Doprava 2020+ podporovaného Technologickou agenturou ČR.

ČVUT v Praze, Kloknerův ústav:

doc. Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.
doc. Ing. Jana Marková, Ph.D.
Ing. Petr Pokorný, Ph.D.

SVÚOM s.r.o.:

Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.
Ing. Miroslav Vacek

	České vysoké učení technické v Praze Kloknerův ústav Šolínova 7 166 08 Praha 6		SVÚOM s.r.o. U Měšťanského pivovaru 934/4 170 00 Praha 7
---	--	--	--

Obsah

1. OBECNĚ	3
1.1. Úvod a motivace	3
1.2. Rozsah platnosti a použití.....	3
2. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZVOJ OCHRANNÉ PATINY	4
3. DIAGNOSTIKA	6
3.1. Metody	6
3.2. Vyhodnocení pro vybrané metody.....	8
4. HODNOCENÍ.....	14
5. PODROBNÉ HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI.....	16
5.1. Predikce korozních úbytků	16
5.2. Hodnocení spolehlivosti	17
6. OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ SPOLEHLIVOSTI	19
PŘÍLOHA A Další uplatnění patinujících ocelí v mostním inženýrství	20
Železniční mosty.....	20
Lávky pro pěší	20
PŘÍLOHA B Metody diagnostiky pro předběžný průzkum.....	21
PŘÍLOHA C Metody diagnostiky pro podrobný průzkum	25
LITERATURA	28
Normativní dokumenty.....	28
Odborná literatura.....	28

1. OBECNĚ

1.1. Úvod a motivace

Ověřená technologie uvádí postup pro rozhodování o diagnostice a hodnocení stavu patiny a vlivu degradace na spolehlivost existujících mostů z patinujících ocelí. Je v souladu a doplňuje TP 42 a TP 197, ČSN 73 6221, ČSN EN ISO 9223 a ČSN EN ISO 9224.

Oproti uhlíkovým ocelím probíhá rozvoj koroze u nízkolegovaných ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi (patinujících ocelí) odlišným způsobem, což je potřebné zohlednit při plánování a provádění diagnostiky, vyhodnocení získaných výsledků s ohledem na požadovanou spolehlivost a případném návrhu opatření pro zajištění spolehlivosti mostu.

Ověřená technologie (dále jen „technologie“) doplňuje a aktualizuje ustanovení normativních dokumentů (TP a ČSN) s ohledem na nově zavedené nebo zaváděné mezinárodní normativní dokumenty a výsledky výzkumu včetně dlouhodobých měření na mostech v ČR v různých prostředích. Zohledňují se nové poznatky o vlivu klimatické změny.

1.2. Rozsah platnosti a použití

Ověřená technologie navazuje a doplňuje TP 42 a TP 197. Je určena pro použití společně s ČSN 73 6221, ČSN ISO 13822, ČSN EN ISO 9223, ČSN EN ISO 9224 a dalšími souvisejícími normami ČSN, ČSN EN a ČSN ISO pro diagnostiku a hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí v podmínkách ČR.

Technologie se zaměřuje na diagnostiku a hodnocení silničních mostů. Lze ji přiměřeně použít pro diagnostiku a hodnocení železničních mostů a lávek; viz doplňující poznámky v příloze A.

Poznámka: Technologie je zaměřena na diagnostiku a hodnocení existujících mostů, při aplikacích zaměřených na budovy a stožáry mohou být potřebné doplňující informace.

2. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZVOJ OCHRANNÉ PATINY

Faktory ovlivňující rozvoj ochranné patiny zahrnují:

- expozici (podrobněji kapitola 4)
 - korozní agresivitu prostředí (viz ČSN EN ISO 9223) – makroklimatické podmínky závislé především na teplotě a relativní vlhkosti (době ovlhčení – time of wetness ToW), na depozici chloridů Cl^- (při použití rozmrazovacích solí výrazně ovlivněné množstvím sněhových srážek a počtem mrazových dní) a na koncentraci látek obsahujících síru (zastoupených SO_2) a dusičnanů NO_x ,
 - mikroklima konstrukce – zvýšené depozice chloridů v podmínkách tunelového efektu (oddíl 4.1), zvláštní podmínky např. v okolí lokálních zdrojů znečištění, v místech s vodní plochou a hustou vegetací, vše s vlivem tvaru a orientace konstrukce na depoziční rychlosti, expozici vůči solárnímu záření a proudění větru,
- konstrukční detaily – při nevhodných detailech může (obvykle lokálně) docházet k nepříznivému vývoji patiny i při příznivých expozičních podmínkách, toto platí například pro:
 - místa s trvalou vlhkostí a/nebo usazováním nečistot například na dolních pásnicích,
 - široké nezakryté otevřené zrcadlo mezi dvěma souběžnými mosty,
 - místa, kde odkapávající voda smáčí povrch oceli (např. z římsy nebo v místě ukončení mostní konstrukce),
 - místa se zpožděním denního cyklu ohřívání – ochlazování na masivních částech ocelové konstrukce („OK“) oproti okolní atmosféře (srážení vzdušné vlhkosti na prochlazeném povrchu v teplé části cyklu),
 - vyloučeno by mělo být použití pozinkovaných šroubů z uhlíkové oceli,
- typ patinující oceli (ovlivňující především vývoj korozních úbytků v čase),
- program údržby – nedostatek údržby (odvodnění, mostní závěry) může vést k zatékání, hromadění nečistot nebo k rozvoji vegetace na povrchu patinující oceli; nevhodná údržba (například nevhodné nátěry) pak může zamezit rozvoji patiny nebo mohou být nadbytečně nákladné a/ nebo mít negativní vliv na životní prostředí.

Podrobné informace o vhodných a nevhodných detailech jsou uvedeny v několika směrnících, například v [1], [2], [3], viz také [4]. Příklady mostů z patinujících ocelí jsou uvedeny v tab. 2-1.

Poznámka: Mimo rozsah této technologie je problematika galvanické koroze.

Tab. 2-1. Příklady mostů z patinujících ocelí.

Typ mostu/ překonávaná překážka	Dálnice, silnice 1. tř.	Ostatní silnice	Vodní plocha	Železniční trať, terénní nerovnosti
Trámový				
Komorový				
Příhradový				

3. DIAGNOSTIKA

3.1. Metody

Měření korozních úbytků s využitím korozních kupónů je základní metodou pro ověření rozvoje patiny s ohledem na makro- a mikroklimatické podmínky. ISO 19691 specifikuje metodu z hlediska tvaru, umístění a instalace kupónů na mostech a následného vyhodnocení.

Směrnice FHWA [7] formuluje minimální požadavky na odběr vzorků na jednom mostě. Vzorky se odebírají alespoň na 12 místech. Zvolí se alespoň dva různé průřezy:

- u mostu přes pozemní komunikaci je průřez P1 nad krajnicí vozovky a druhý P2 nad jízdním pruhem,
- pokud most překračuje vícepruhovou komunikaci, P2 je nad jízdním pruhem pro nákladní dopravu (levý pruh),
- u mostu přes vodní tok nebo vodní plochu je P1 nad vegetací (pokud je to možné) nebo půdou, případně v blízkosti opěry, P2 je nad odhadnutým středem vodního toku.

U průřezů P1 a P2 se odeberou vzorky alespoň z jednoho vnějšího a jednoho vnitřního nosníku. Pokud most překračuje pozemní komunikaci, zvolí se nosníky na straně mostu směrem k přijíždějícím vozidlům. Na vnějším i vnitřním nosníku se v P1 a P2 odeberou vzorky alespoň na třech místech (celkem tedy minimálně 12 vzorků na jednom mostě) – tato tři místa jsou:

- horní povrch dolní pásnice na obou stranách stěny nosníku a
- povrch stěny směřující k provozu (pokud je to relevantní) přibližně v jedné třetině výšky nad dolní pásnicí.

Měření se provádějí alespoň pro 3 různá expoziční období a celková délka expozice by měla být delší než 3 roky.

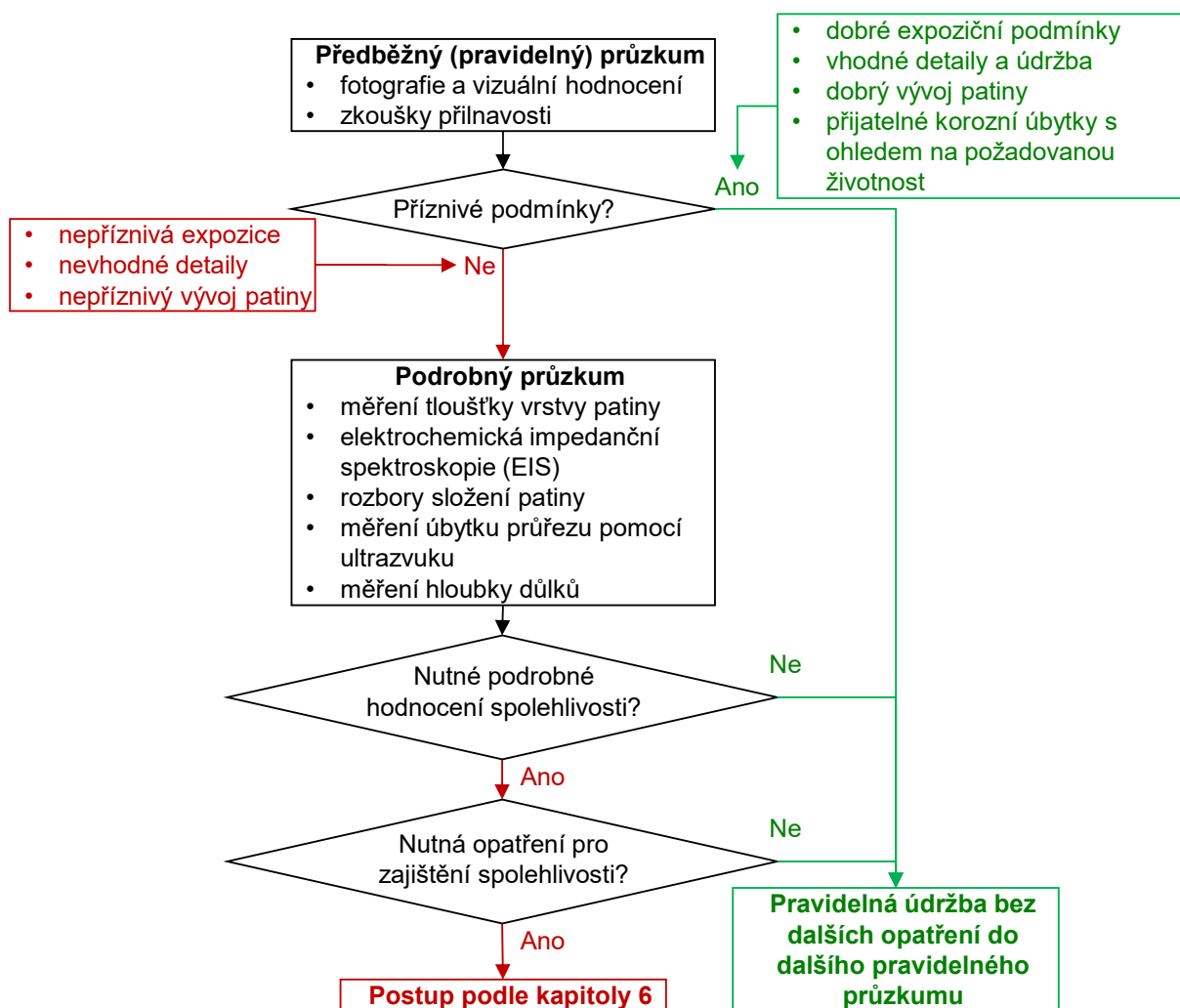
Poznámka: Typické celkové doby expozice korozních kuponů jsou 5 až 10 let. Tvorba ochranné patiny závisí na korozní agresivitě prostředí; pro méně agresivní prostředí jsou vhodnější spíše delší celkové doby expozice.

Vždy se ověří, zda nepříznivé vlivy jako zatékání nebo usazování nečistot nezpůsobují lokálně vyšší korozní úbytky – viz konstrukční detaily v kapitole 2. Měřené korozní úbytky se hodnotí podle oddílu 3.2 (zjednodušené hodnocení), nebo podle kapitoly 5 (podrobné hodnocení).

Podle evropské směrnice ECCS [1] jsou prohlídky mostů z patinujících ocelí obdobné prohlídkám mostů z uhlíkových ocelí. Ověří se:

- výskyt trvale mokrých míst na konstrukci – znečištění patinující oceli usazeninami, graffiti apod., lokální zadržování vody,
- funkčnost odvodnění a oblastí okolo mostních závěrů,
- svary a šroubové spoje,
- kontaktní plochy mezi ocelí a jinými materiály,
- výskyt únavových trhlin.

Především pro situace, kdy se korozní úbytky neměří na kuponech, ukazuje obr. 3-1 doporučené postupy pro průzkumy mostů z patinujících ocelí v závislosti na expozičních podmínkách ovlivněných makro- a mikroklimatickými podmínkami a pozorovaným rozvojem patiny.



Obr. 3-1. Doporučené postupy pro průzkumy mostů z patinujících ocelí.

U patinujících ocelí je potřebné kontrolovat vývoj ochranné vrstvy. V souladu s ISO NWIP [5] by metody hodnocení stavu patiny měly být nedestruktivní. V rámci předběžného (pravidelného) průzkumu se hodnotí stav patiny na základě:

- fotografií a vizuálního hodnocení včetně lokálních změn vzhledu,
- zkoušek přilnavosti vrstvy korozních produktů/patiny (otisky).

Podrobněji viz příloha B.

V rámci podrobného průzkumu se podle konkrétních podmínek aplikují:

- měření tloušťky vrstvy patiny,
- měření ochranných vlastností patiny metodou elektrochemické impedanční spektroskopie (EIS),
- chemické analýzy patiny (fázová a prvková analýza),
- měření zbytkové tloušťky průřezu pomocí ultrazvuku,
- měření hloubky důlků (v odůvodněných případech).

Podrobněji viz příloha C.

3.2. Vyhodnocení pro vybrané metody

Po vytvoření ochranné patiny následuje ustálený rozvoj koroze rychlostí 5 - 6 $\mu\text{m}/\text{rok}$. Doby stabilizace je přibližně dosaženo, pokud je pokles korozní rychlosti nižší než 10 % za rok.

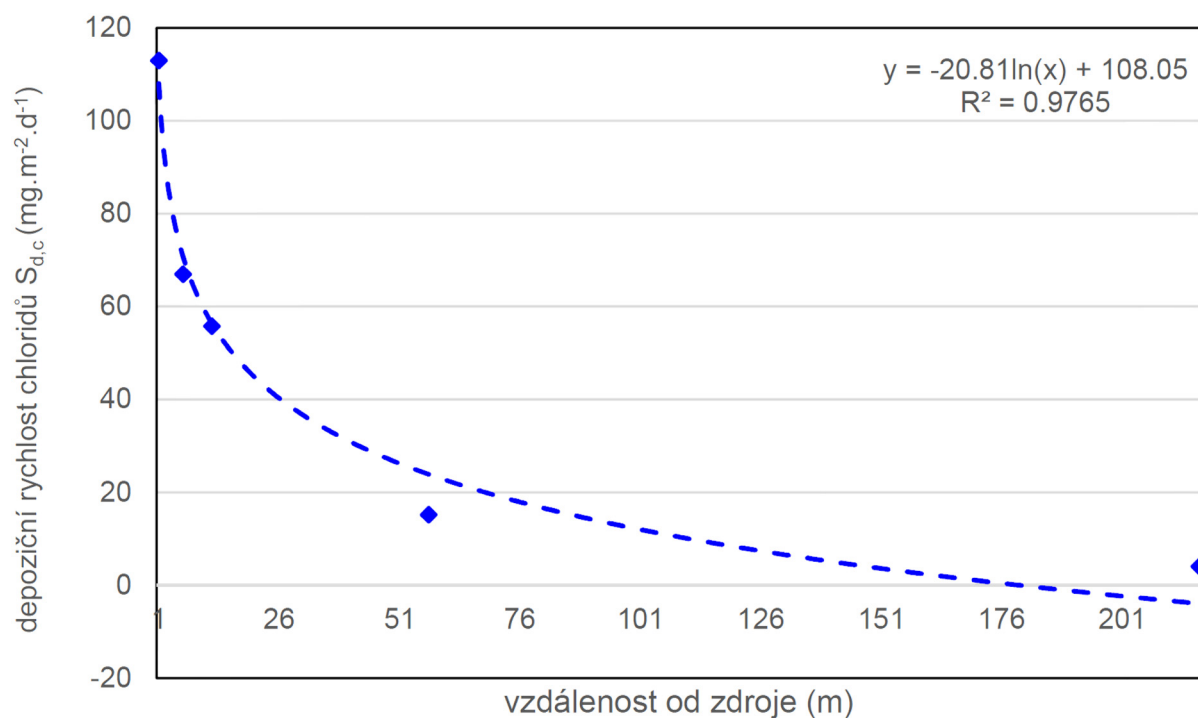
Tab. 3-1 uvádí odhad korozních rychlostí v závislosti na depozici chloridů podle ISO 19691 a orientační hodnocení.

Tab. 3-1. Odhad korozních rychlostí v závislosti na depozici chloridů a orientační hodnocení.

Denní depozice chloridů (mg/ m ² /den)*	Odhad korozní rychlosti na exponovaném povrchu ($\mu\text{m}/\text{rok}$)		Orientační hodnocení	Příklady
	První rok	ustálená		
< 30	5-15	< 2-3	zanedbatelná koroze	povrchy s nižší depozicí chloridů, např. svislé nebo spodní povrchy
30-150	20-40	5	nízká korozní rychlost	povrchy se zvýšenou depozicí chloridů, např. horní povrch dolní pásnice
150-600	30-60	10	doporučuje se podrobný průzkum a podrobné hodnocení	povrchy ovlivněné zatékáním
> 600**	> 60	20	podrobný průzkum a podrobné hodnocení, může být potřebné provést opatření pro zajištění spolehlivosti	-

*Pro měření metodou mokré svíce. Hodnoty měřené metodou suché desky je potřeba upravit podle ČSN EN ISO 9225. **Měřením nebylo v ČR zjištěno.

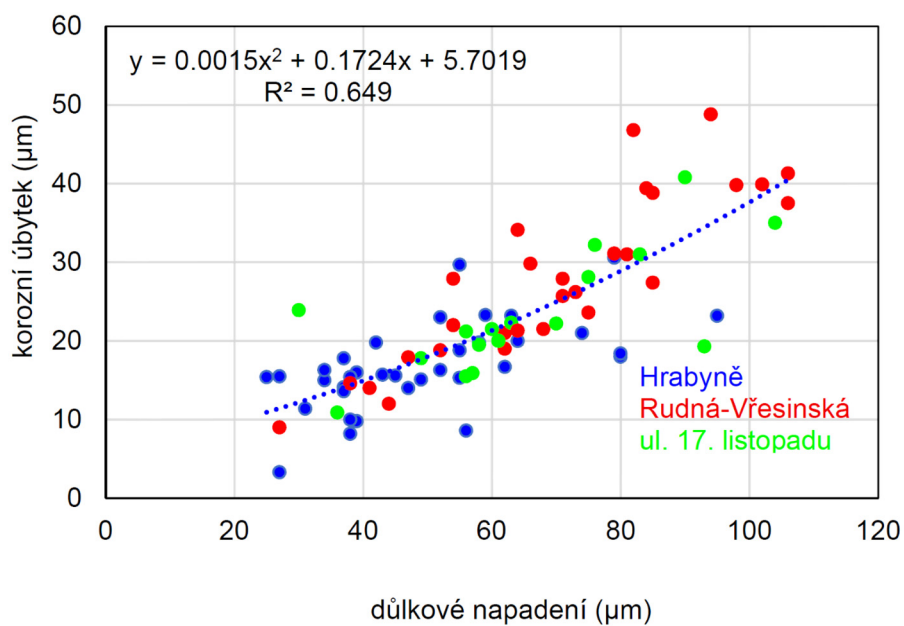
Obr. 3-2 ukazuje závislost depozice chloridů (roční průměrná hodnota) na vzdálenosti od zdroje v horizontálním směru – pozemní komunikace s aplikací posypových solí.



Obr. 3-2. Depozice chloridů v závislosti na vzdálenosti od zdroje (roční průměrná hodnota).

V případě významné důlkové koroze se doporučuje podrobné hodnocení, např. mobilní mikroskopy, metoda otisků.

Obr. 3-3 ukazuje závislost mezi hloubkou korozních důlků a korozním úbytkem.



Obr. 3-3. Závislost mezi hloubkou důlků a korozním úbytkem.

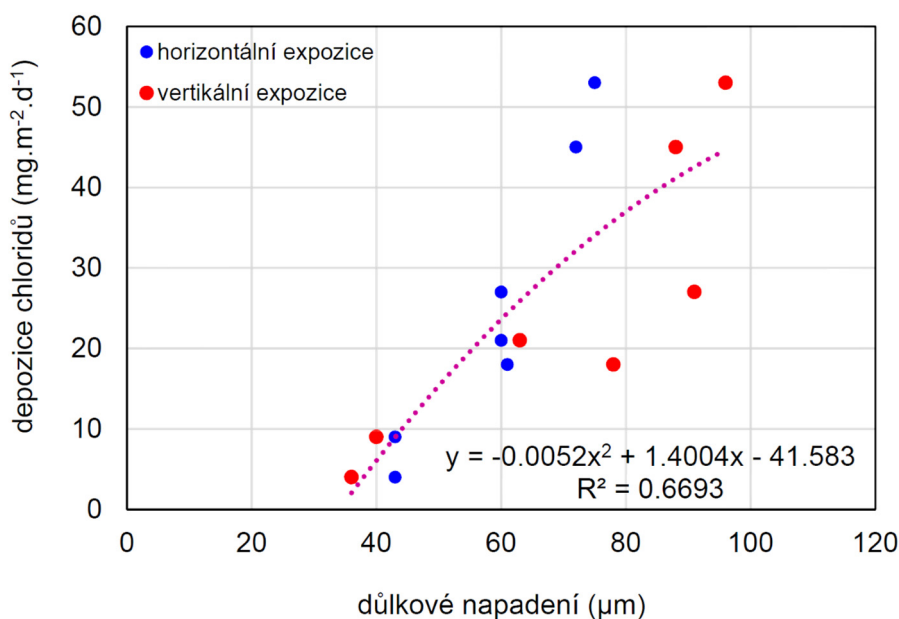
Vztah mezi hloubkou důlků, d_{pit} , a korozním úbytkem, d_{kor} , lze odhadnout ze vztahů (vše v μm):

$$d_{\text{kor}} = 0,0015d_{\text{pit}}^2 + 0,17d_{\text{pit}} + 5,7$$

$$d_{\text{pit}} = 2,72d_{\text{kor}} - 1,33$$

(3-1)

Obr. 3-4 ukazuje významnou závislost mezi hloubkou důlků a depozicí chloridů pro horizontální a vertikální expozici.



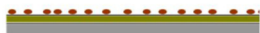
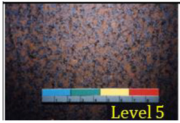
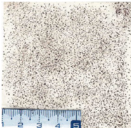
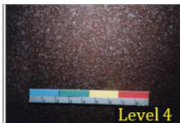
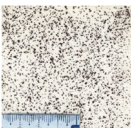
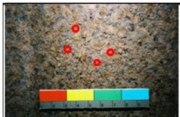
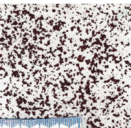
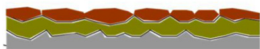
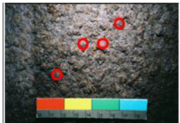
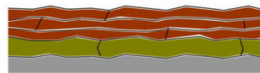
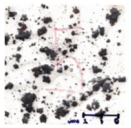
Obr. 3-4. Závislost mezi hloubkou důlků a depozicí chloridů pro horizontální (modré tečky) a vertikální expozici (červené tečky).

Patinu lze klasifikovat do následujících kategorií:

- jemnozrná – má jemnozrný charakter,
- šupinkovitá – připomíná rybí šupiny, v atmosférickém prostředí s koncentracemi chloridových nebo síranových iontů se často tvoří shluky korozních důlků (hnízda),
- laminární – zasahuje do velké tloušťky a snadno se odlupuje ve vrstvách, laminární patina se často tvoří v atmosférickém prostředí, kde povrch zcela nevysychá, například v prostředích s vysokou vlhkostí nebo u neustále smáčených povrchů, např. u ložisek, kouty, apod.

V souladu s ISO NWIP [5] se vzhled patiny se klasifikuje do pěti úrovní podle tab. 3-2. Obdobnou klasifikaci doporučuje také manuál AASHTO [8], podrobněji viz také [9].

Tab. 3-2. Charakteristika patiny podle vzhledu a klasifikačních kritérií.

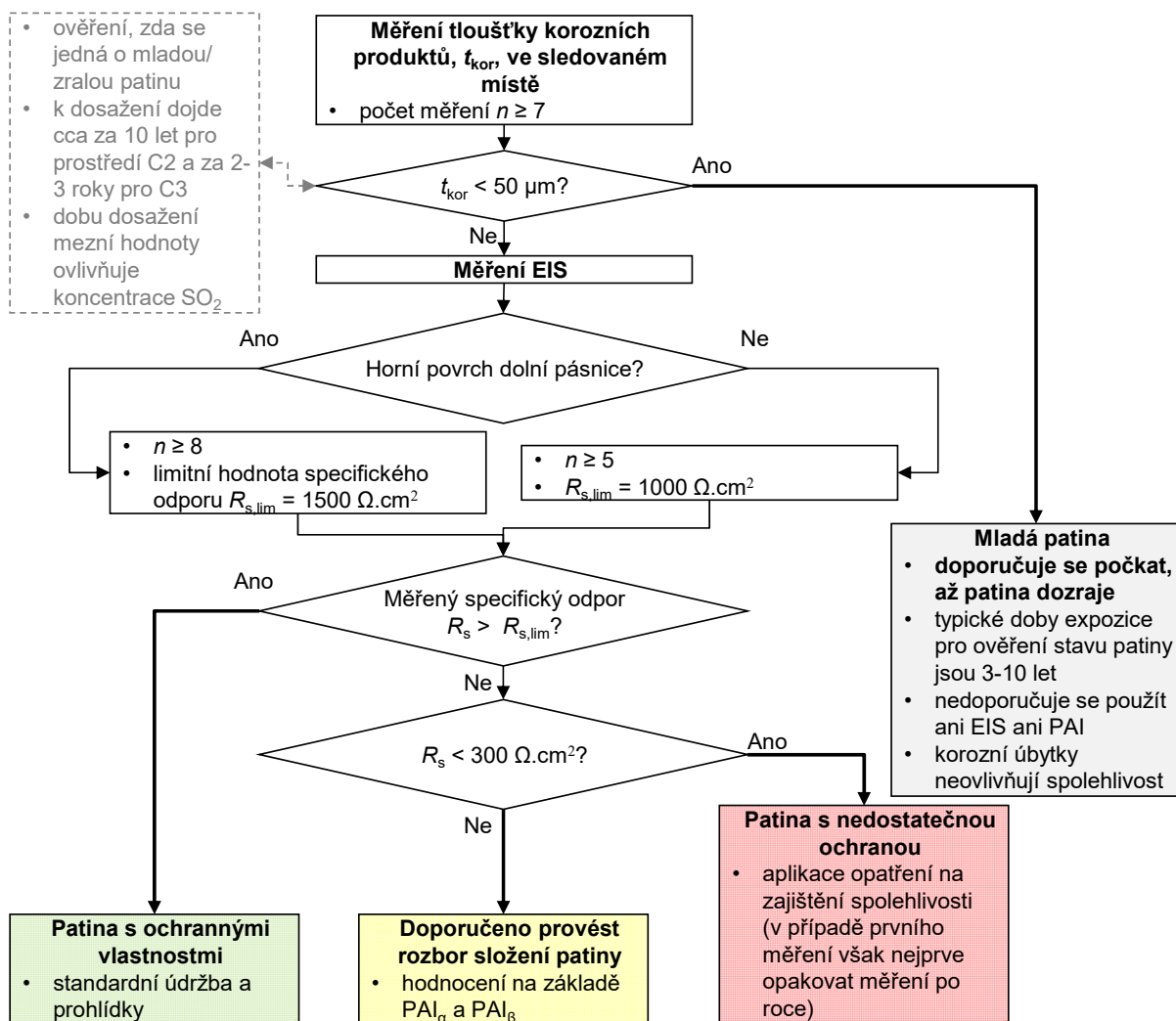
Úroveň	Opatření	Charakteristický příčný řez patinou	Vzhled a velikost zrn	Tloušťka vrstvy korozních produktů	Příklady – vzhled	Příklady – zkouška přilnavosti
5	bez zásahu do příští prohlídky		- hustá, soudržná, světle hnědá - hustě rozložené malé částice	< 200 µm	 	
4			- hustá, soudržná, tmavě hnědá - šupinky do 1 mm	200-400 µm	 	
3			- nerovnoměrná - 1-5 mm	200-400 µm	 	
2	nutno provést detailní hodnocení a posoudit nutnost opatření		- výrazná nepravidelnost, olupující se vrstva ve tvaru rybích šupin - 5-10 mm	400-800 µm	 	
1	nutná oprava nebo zesílení		- odpadávající šupiny - větší než 10 mm	> 800 µm	 	

Tab. 3-3 uvádí kritéria pro hodnocení na základě rozboru složení zralé patiny (s tloušťkou korozních produktů přesahujících 50 μm) a elektrochemické impedanční spektroskopie (viz přílohu C). Hodnotu specifického odporu R_s se doporučuje pro sledované místo stanovit na základě alespoň pěti měření, u horního povrchu dolní pásnice pak alespoň na základě osmi měření. V případě vyšších nejistot (obvykle při měření in situ v obtížných podmínkách – vibrace mostu nebo měření na vlhkém povrchu) se doporučuje hodnotu R_s stanovit z průměrné hodnoty odečtením směrodatné odchylky. Viz také obr. 3-5.

Tab. 3-3. Hodnocení na základě rozboru složení zralé patiny a elektrochemické impedanční spektroskopie

Metoda	Patina s ochrannými vlastnostmi	Částečná ochrana	Nedostatečná ochrana
Rozbor složení patiny	$\text{PAI}_\alpha > 1^*$	$\text{PAI}_\alpha < 1$ $\text{PAI}_\beta > 0,5$	$\text{PAI}_\alpha < 1$ $\text{PAI}_\beta < 0,5$
Elektrochemická impedanční spektroskopie EIS	naměřený specifický odpor $R_s > \text{limitní hodnota } R_{s,\text{lim}}^{**}$	***	$< 300 \Omega \cdot \text{cm}^2$
Orientační hodnota ustálené korozní rychlosti	$< 10 \mu\text{m/rok}$	$\sim 10 \mu\text{m/rok}$	$> 10 \mu\text{m/rok}$

*PAI – Protective Ability Index. ** $R_{s,\text{lim}} = 1500 \Omega \cdot \text{cm}^2$ pro horizontální exponované plochy jako horní povrch dolní pásnice, pro další místa $R_{s,\text{lim}} = 1000 \Omega \cdot \text{cm}^2$. Pro dolní povrch horní pásnice lze orientačně uvažovat $R_{s,\text{lim}} = 1000 \Omega \cdot \text{cm}^2$, tuto hodnotu je však potřeba potvrdit dalšími měření in situ. ***Pokud $300 \Omega \cdot \text{cm}^2 < R_s < R_{s,\text{lim}}$, doporučuje se provést rozbor složení patiny a hodnocení na základě PAI. Pilotní analýzy naznačují, že přibližně pro $300 \leq R_s \leq 600 \Omega \cdot \text{cm}^2$ lze očekávat patinu s ochrannými vlastnostmi nebo částečnou ochranu, zatímco pro $1000 \leq R_s \leq 1500 \Omega \cdot \text{cm}^2$ se pro exponované horizontální povrchy očekává nedostatečná nebo pouze částečná ochrana. Pro $600 \leq R_s \leq 1000 \Omega \cdot \text{cm}^2$ je potřebné provést hodnocení na základě PAI.



Obr. 3-5. Algoritmus hodnocení na základě stavu patiny s využitím metody EIS a rozboru složení patiny.

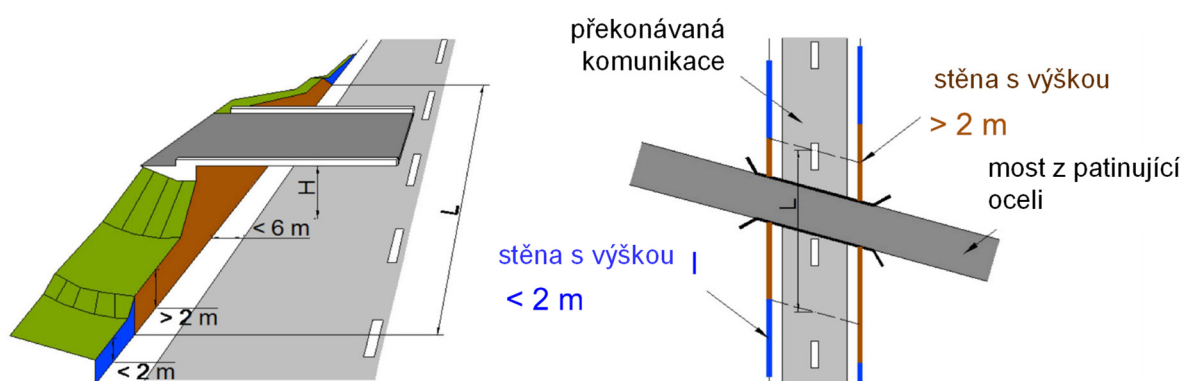
4. HODNOCENÍ

S ohledem na rozvoj patiny na mostních konstrukcích se odliší příznivá a nepříznivá prostředí. Podle evropské směrnice ECCS [1] a Ministerstva dopravy USA – FHWA [7] lze nepříznivé mikroklimatické podmínky orientačně určit podle tab. 4-1. V případě pochybností se doporučuje měřit depozici chloridů dostatečně dlouhou dobu (obvykle 1-3 roky) podle ČSN EN ISO 9225.

Pokud není zajištěna minimální světlá výška, dochází u nadjezdů nad pozemními komunikacemi s použitím posypových solí ke vzniku tunelového efektu:

$$H_{\min} = \min(4,3 \text{ m} + L / 25; 7,5 \text{ m}) \quad (4-1)$$

Minimální výška $H_{\min}$ závisí na délce L – délce opěrné zdi nebo protihlukové stěny vyšší než 2 m umístěné ve vzdálenosti menší než 6 m od okraje komunikace (obr. 4-1).



Obr. 4-1. Délka L pro použití ve vztahu (4-1).

Pokud je mikroklima nepříznivé, provádí se pravidelně podrobný průzkum (oddíl 3.1) a podrobné hodnocení (kapitola 5).

Při příznivých mikroklimatických podmínkách je obvykle dostatečné provádět předběžný (pravidelný) průzkum podle oddílu 3.1.

Tab. 4-1. Nepříznivé mikroklimatické podmínky.

Kritérium	Depozice chloridů		Trvale vlhké podmínky	Další vlivy*
	velmi vysoký provoz na PK pod mostem	střední provoz pod mostem v oblastech s vyšším použitím rozmrazovacích solí		
Roční průměr denních intenzit dopravy na PK pod mostem**	≥ 25 000	≥ 10 000 a při vzniku tunelového efektu podle rovnice (4-1) a obr. 4-1	- povrchy méně než 3 m nad stálou hladinou nebo pomalu tekoucím tokem nebo méně než 2,5 m nad tekoucí vodou*** - trvale pod vodou - v kontaktu se dřevem - v kontaktu se zeminou - hustá vegetace	- zvláštní pozornost je potřebné věnovat mostům s nevhodnými detaily podle kapitoly 2 - vysoce agresivní prostředí, např. s koncentrací SO₂ ≥ 30 mg/m³ (není pro ČR relevantní)

*Mosty přes železniční tratě mají obvykle příznivé podmínky. V případě možnosti vzniku bludných proudů je potřebné most vhodným způsobem izolovat. **Viz například webové stránky ŘSD a informace o celostátním sčítání dopravy. ***Malé říčky, potoky a další malé vodní plochy mají obvykle malý vliv na vlhkost povrchu OK.

5. PODROBNÉ HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI

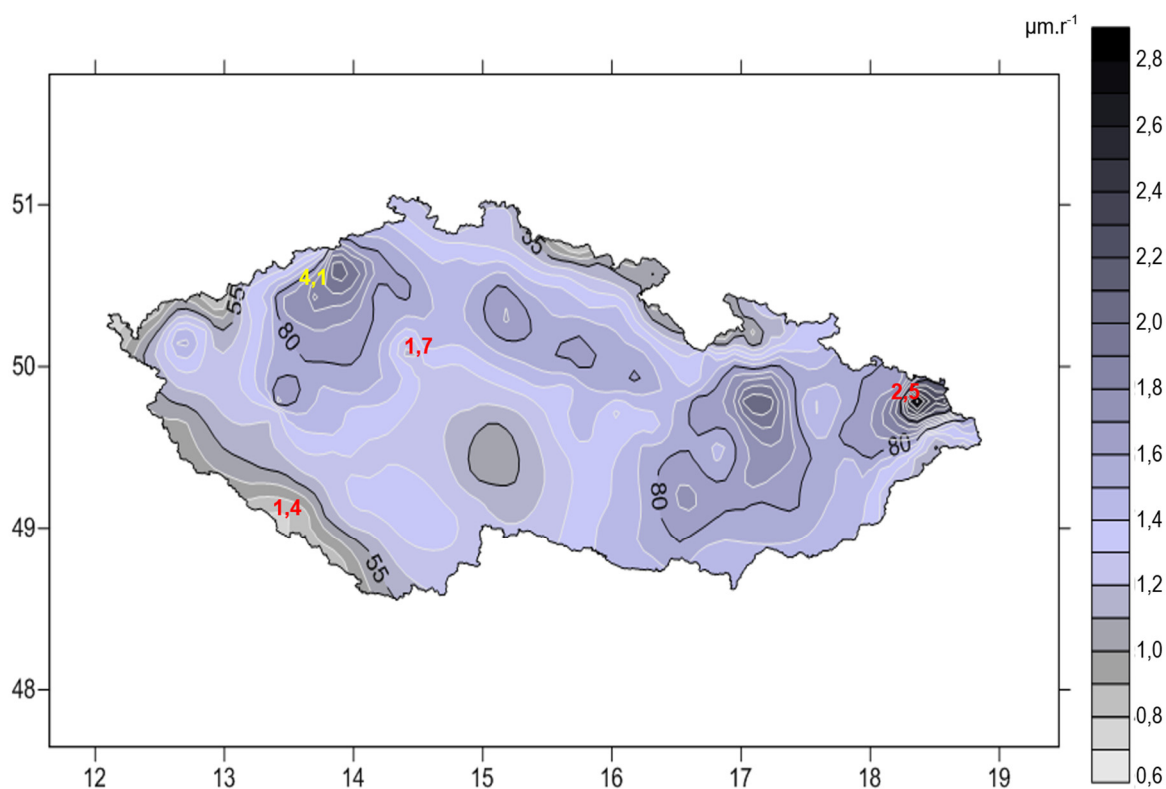
5.1. Predikce korozních úbytků

Podrobné hodnocení se opírá o predikci korozních úbytků s využitím výsledků měření podle kapitoly 3:

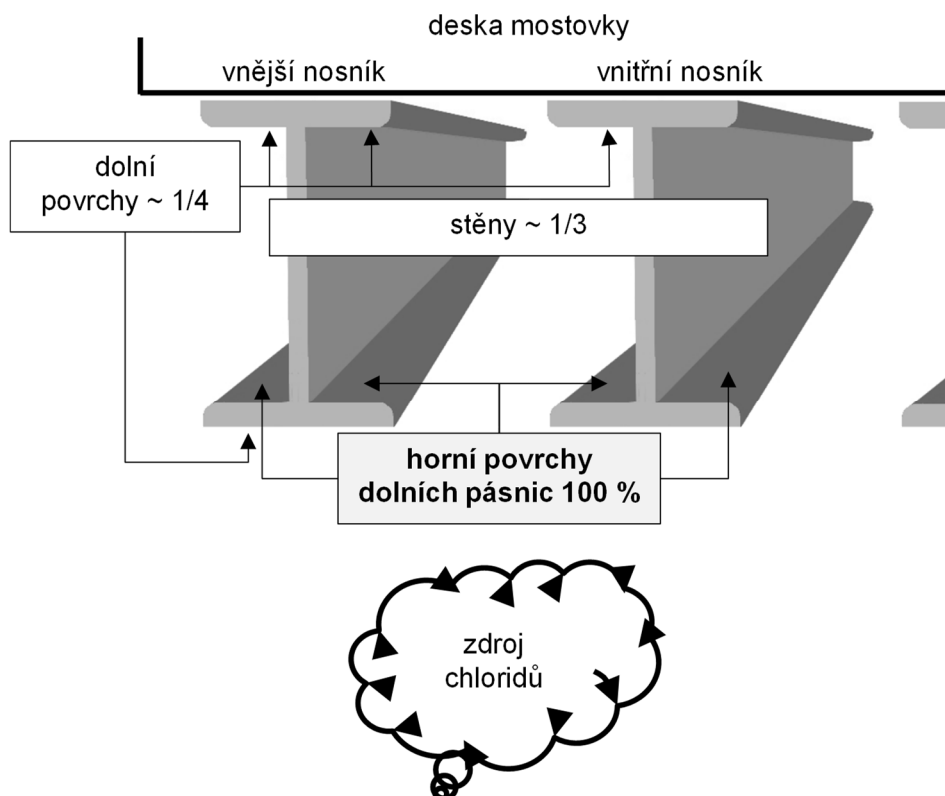
$$D = r_{\text{corr}} t^b \quad (5-1)$$

kde D značí korozní úbytek (μm), r_{corr} je korozní rychlost po prvním roce expozice ($\mu\text{m}/\text{rok}$), t je doba expozice v letech a b je regresní exponent. Kromě mikroklimatických podmínek závisí korozní rychlost r_{corr} především na korozní agresivitě prostředí, zatímco regresní exponent b závisí na složení patinující oceli [10, 11].

V případě nedostatku měření na konkrétním mostě lze odhadnout dlouhodobé korozní úbytky podle obr. 5-1, který znázorňuje mapu dlouhodobých korozních úbytků po 50 let expozice v tzv. pozadovém prostředí. Pro typické polohy mostní ocelové konstrukce je nutné zahrnout vliv uspořádání pro jednotlivé plochy. Příklad měření korozních úbytků po 10 letech expozice je uveden na obr. 5-2. Nezakryté zrcadlo (kapitola 2) zvyšuje depozice chloridů a korozní úbytky rostou přibližně 1,5-2násobně. Také u stěn v místech nad horním povrchem dolní pásnice jsou pozorovány dvojnásobné korozní úbytky oproti místům v prostředku výšky stěny.



Obr. 5-1. Mapa dlouhodobých korozních úbytků po 50 let expozice.



Obr. 5-2. Ukázka poměrů mezi korozními úbytky po 10 letech expozice v závislosti na uspořádání mostu (relativně k horním povrchům dolních pásnic).

Poznámka: Mapa ČR korozních úbytků patinujících ocelí vychází z údajů z roku 2020. Korozní rychlost patinujících ocelí se snižovala se snižujícím se znečištěním atmosférického prostředí oxidem siřičitým SO₂. Na < www.atmofix.cz > jsou uvedeny mapy vypracované na základě údajů z let 1990, 2000 a 2023.

5.2. Hodnocení spolehlivosti

Pro detailní hodnocení spolehlivosti se doporučuje použít pravděpodobnostní postupy podle ČSN EN 1990, ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038. Pravděpodobnostní model pro korozní úbytek podle vztahu (5-1) se doporučuje stanovit z měření na mostě s přihlédnutím k lokálním podmínkám, například se zohledněním odlišných depozičních rychlostí na horním povrchu spodní pásnice a stěny ocelového nosníku. Uváží se statistická nejistota s ohledem na omezený počet dat.

Pro předběžné hodnocení je možné odhadnout korozní úbytky z následujícího vztahu:

$$D \approx \theta r_{\text{corr}} t^b \quad (5-2)$$

s orientačními hodnotami podle tab. 5-1. Symbol θ označuje modelovou nejistotu. Podrobněji viz [10, 11].

Tab. 5-1. Indikativní statistické charakteristiky základních veličin pro stanovení celkového korozního úbytku D pro vybrané stupně agresivity prostředí a různé typy patinujících ocelí (referenční hodnoty pro uhlíkovou ocel vyznačeny červeně).

Stupeň korozní agresivity prostředí	Modelová nejistota $\theta_{r_{corr}}$		Korozní rychlost r_{corr}		Exponent b	
	průměr	variační koeficient	průměr ($\mu\text{m/rok}$)	variační koeficient	průměr	variační koeficient
C2	1	10 % (12,5 %)	20	27,5 %	*	25 %
C3			35	15 %		35 %
C4			65			50 %

*CORTEN A 0,32; Atmofix 52A 0,39; CORTEN B 0,45; uhlíková ocel 0,56.

Stupeň korozní agresivity prostředí se klasifikuje podle ČSN EN ISO 9223.

Při hodnocení existujících mostů z patinujících ocelí lze orientačně uvažovat:

- v prostředí C2 jsou korozní úbytky zpravidla zanedbatelné, toto prostředí je tzv. požadové pro ČR mimo bezprostředního okolí pozemních komunikací s použitím rozmrazovacích solí,
- podmínky v prostředí C3 přibližně odpovídají nepříznivým podmínkám podle kapitoly 2 a v předběžném posouzení je možné uvažovat následující:
 - pro masivnější prvky (přibližně s výškou nad 0,5 m) jsou přijatelné úbytky pro oboustranně exponovaný povrch do 200 μm pro každý povrch,
 - pro subtilní prvky s výškou přibližně 100 mm (například prvky příhradových konstrukcí) jsou přijatelné úbytky do 100 μm pro každý povrch,
 s tím, že hodnoty je možné zvětšit o případný návrhový přírůstek,
- v podmínkách ČR se výjimečně v nejnepříznivějších případech může vyskytnout prostředí C4 – v těchto situacích se doporučuje provést podrobné hodnocení [12, 13].

6. OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ SPOLEHLIVOSTI

Mosty z patinujících ocelí mají nižší náklady na údržby oproti mostům z uhlíkových ocelí, ale přesto je potřebné uvažovat s pravidelnou údržbou, především pro životnosti přesahující 50 let. Podle doporučení směrnic ECCS [1] a FHWA [2] zahrnuje údržba mostů z patinujících ocelí následující:

- zamezení zatékání na a do konstrukce, kumulaci vody a zamezení usazování nečistot:
 - údržba a opravy odvodnění (včetně mostních závěrů a revizních lávek), překrytí plechem ploch ostřikovaných vodou, odkapávací desky na spodních pásnicích komorových a I-nosníků atd.,
 - kontrola a případné utěsnění dilatací,
 - broušení zapuštěných svarů,
- kontrola a čištění styčnicků a spojů,
- pravidelné odstraňování nedostatečně přilnavých korozních vrstev oplachováním povrchu patinující oceli po zimním období, například v dubnu (pozor – je potřebný obezřetný postup, nesmí se odstranit přilnavá patina s ochrannou funkcí!), obvykle v intervalu 1-2 roky, oplachování se obvykle zaměřuje na desku mostovky, odvodňovací systém, spoje a ložiska, alternativně lze využít čištění vzduchem nebo vysavačem.
- odstranění nadměrné vegetace z okolí mostu.

Vhodný postup se volí vždy s ohledem na výsledky prohlídek a průzkumů.

Pokud podrobný průzkum a podrobné hodnocení potvrdí nutnost provedení opatření na zajištění spolehlivosti mostu, rozliší se:

- lokální problémy, kde je obvykle dostatečné opravit příčinu poruchy, očistit patinu a provést kontrolu po dvou letech;
pokud nedojde ke zlepšení, provede se lokální aplikace nátěru (viz dole),
- celoplošně špatný vývoj patiny: při pozorování nadměrných úbytků se provede otryskání a nátěr celé konstrukce, dále se provádí údržba jako u mostů z uhlíkových ocelí; rozhodnutí o tomto postupu se doporučuje přijmout na základě pozorování nejdříve po 10 letech provozu konstrukce.

Podle evropské směrnice [1] je natírání povrchu celé konstrukce z patinující oceli obvykle neodůvodněné. U mostů s nepříznivými mikroklimatickými podmínkami a méně vhodnými konstrukčními detaily mohou podmínky bránit vytvoření ochranné patiny (zejména ve spojení s vysokou expozicí chloridů). Například u horních ploch spodních pásnic u mostních závěrů může být vhodné použít lokálně ochranné nátěrové systémy. Doporučuje se zvážit aplikaci nátěrů až po vyčerpání výše uvedených opatření a návrh materiálu a technologie konzultovat se specialistou. Klíčová je příprava povrchu patinující oceli před aplikací nátěru.

Pokud nadměrné korozní úbytky vedou k nepřijatelnému snížení spolehlivosti konstrukce, postupuje se podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038.

PŘÍLOHA A Další uplatnění patinujících ocelí v mostním inženýrství

Železniční mosty

Ačkoli podle směrnice Amerického institutu pro ocelové konstrukce [6] působí většina mostů z patinujících ocelí jako dálniční mosty, patinující ocel je ideální volbou pro železniční mosty díky nízkým nárokům na údržbu. V ČR bylo postaveno několik železničních mostů z patinující oceli. Ve srovnání s dálničními mosty se železniční mosty často nacházejí v příznivějších prostředích než podobné dálniční mosty. Jedním z důvodů je to, že na železniční mosty se obvykle nepoužívají rozmrazovací prostředky.

Pokud železniční most překonává pozemní komunikaci, je třeba při návrhu zohlednit zvýšené koncentrace chloridů v důsledku provozu a použití rozmrazovacích solí na překonávané komunikaci. Druhým důvodem je, že železniční mosty jsou obvykle užší než dálniční mosty. To zlepšuje proudění vzduchu kolem konstrukčních prvků a minimalizuje nepříznivé jevy související s tunelovým efektem.

Lávky pro pěší

Patinující ocel může být také ideální volbou pro lávky pro pěší. Podobně jako železniční mosty se lávky pro pěší často nacházejí v méně agresivním prostředí než dálniční mosty v důsledku omezeného používání rozmrazovacích prostředků.

V agresivnějších prostředích je potřebné lávky z patinujících ocelí navrhnout tak, aby se zabránilo nadměrnému rozvoji koroze. Běžné typy propustných mostovek používaných na lávkách pro pěší (například dřevěné mostovky) by se v agresivních prostředích neměly používat, aby se zabránilo zatékání na spodní části nosné konstrukce.

Prvky z dutých profilů, které se běžně používají pro lávky pro pěší, mají být navrženy tak, aby se zabránilo vnikání chloridů a vlhkosti do vnitřního prostoru profilu [6].

PŘÍLOHA B Metody diagnostiky pro předběžný průzkum

Hodnocení na základě fotografií a vizuálního hodnocení. Pořídí se širokoúhlé fotografie celé konstrukce a detaily všech významných nosných prvků. Na fotografiích se zachytí expozici konstrukce vůči okolí. Zdokumentuje se stav detailů včetně spojů (svary, šroubové spoje, kouty, prostor pod ložisky). Pořídí se detailní fotografie v typických oblastech konstrukce o rozměru cca 150 x 100 mm a barevném měřítku (obr. B-1). Identifikují se a zdokumentují místa s lokalizovanou nepříznivou vrstvou korozních produktů a defekty.



Obr. B-1. Ukázka detailní fotografie.

Barva a textura patiny se v průběhu provozu konstrukce mění. Vzhled patiny se liší v závislosti na korozním prostředí, geometrii konstrukce, orientaci vzhledem ke světovým stranám, vlivu zastřešení atd. V mírném korozním prostředí vykazuje vrstva korozních produktů/rez s vysokou ochrannou vlastností (tj. ochranná patina) jemnozrný vzhled. Mezi vzhledové znaky patří celkový tón, rovnoměrnost, struktura, tloušťka, velikost a prostorové rozložení barvy vrstvy korozních produktů – tabulka 1. Barva může sloužit jako výchozí diagnostický nástroj pro posouzení ochranných schopností vrstvy korozních produktů. Zpočátku oranžovohnědá, jak se patina vyvíjí do jednotné charakteristické tmavě hnědé s odstíny do fialova.

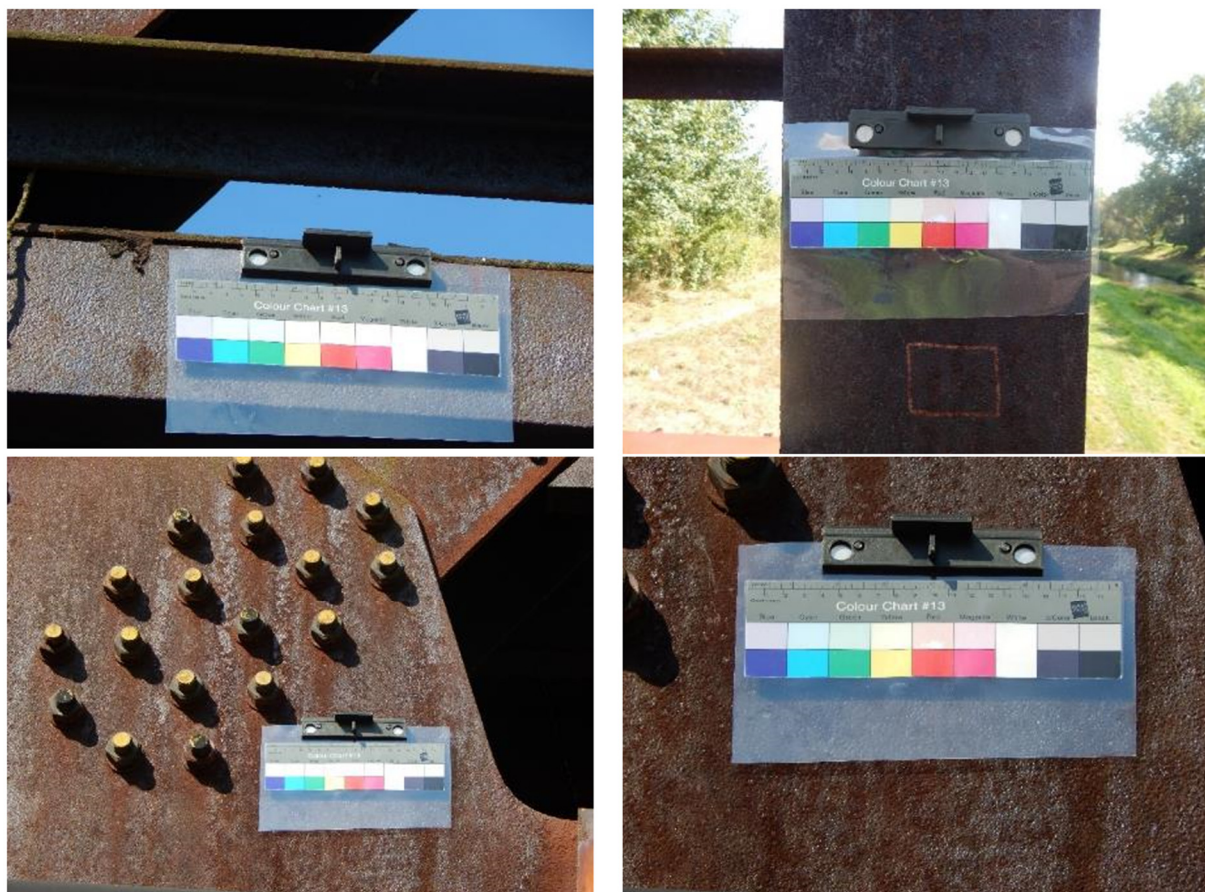
Zrnitost korozních produktů se objevuje v podobě periodických vlnovek o průměru od méně než 1 mm do několika cm, které lze pozorovat nezářádným okem. Při pozorování se povrch osvětluje světly z jedné nebo obou stran pod úhlem 30° až 45° k pozorovanému povrchu oceli. To umožní snadnější posouzení, protože zvlnění vrstvy korozních produktů bude zřetelné. Tato metoda je účinná zejména v místech, kde není dostatek světla, jako jsou vnitřní části konstrukce apod. Pokud se při fotografování používá stroboskopické světlo, mělo by být nastaveno ve vzdálenosti od závěrky a fotografie by měla být pořízena tak, aby světlo osvětlovalo objekt pod úhlem 30° až 45°.

Při vizuálním hodnocení je potřebné zajistit vhodné osvětlení povrchu. Např. ČSN EN ISO 17637 pro kontrolu svarů uvádí minimální požadavek 350 lx a doporučuje 500 lx. Tyto požadavky splňují běžné ruční svítelníky. Zároveň je potřebné zajistit, aby nedošlo k oslňování světlem.

Pro ocelové konstrukce („OK“) s povrchovou úpravou nátěrovými povlaky byl v normě ČSN EN ISO 12944-1 definován termín kontrolní plocha (*sample area*): plocha, na které jsou zkoušeny vlastnosti nově naneseného povlaku (slouží ke kontrole a ověření technologie aplikace povlaků PKO).

Kontrolní plochy jsou vymezeny a označeny na OK, současně jsou uvedeny v dokumentaci skutečného provedení z montáže OK. Kontrolní plochy by měly zahrnovat část stěny, dolní a horní pásnice a svařované spoje. Jejich plocha se stanovuje podle velikosti (rozměrů) a provedení OK – přesný počet není určen, ale na základě výsledků provedených hodnocení dlouhodobě exponovaných mostních konstrukcí lze doporučit minimálně 3 (stěna nosníku, horní plocha dolní pásnice, dolní plocha horní pásnice), ale spíše 9 ploch (výše uvedené plochy na vnější ploše OK – nosníku vystaveném působení mikroklimatu, dále na vnitřních plochách OK – nosníku a příčniku).

Pro vizuální porovnání patiny s barevným standardem lze využít šablonu na obr. B-2. Držák šablony na obr. B-2 umožňuje výměnu etalonů. Pro ochranu před poškozením je barevný standard zalaminován.



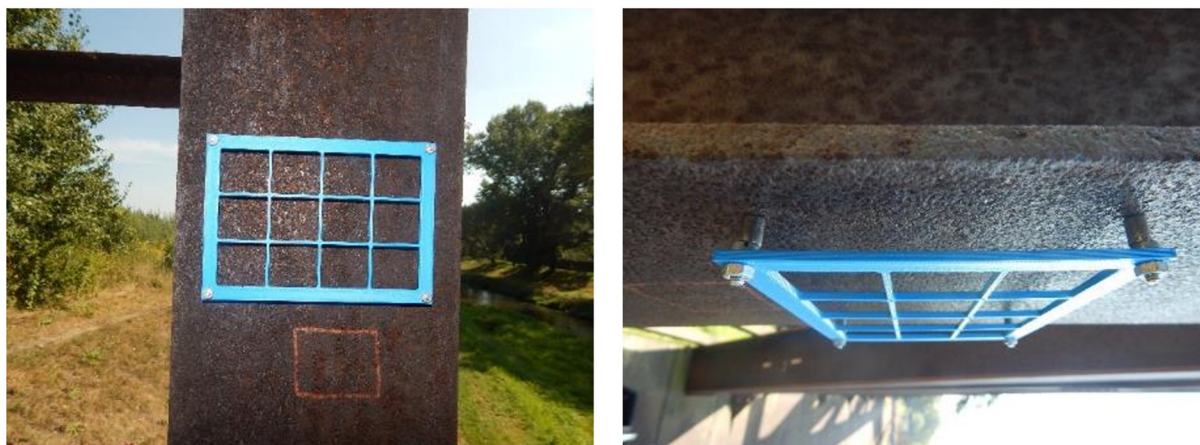
Obr. B-2. Ukázka použití šablony pro vizuální porovnání patiny s barevným standardem.

Pro měření tloušťky vrstvy patiny a tloušťky profilu OK lze využít šablonu na obr. B-3. K upevnění na OK byly do šablon instalovány magnety zajišťující nedestruktivní trvalé nebo jen dočasné upevnění na různých površích mostní konstrukce. Šablonu (viz funkční vzorek na www.atmofix.cz) tvoří síť 12 čtverců o rozměrech 35x35 mm, které umožňují měření sondami

magnetických přístrojů (měření tloušťky vrstvy korozních produktů) a UTG přístroji (měření tloušťek profilů). Šablonu lze:

- přemísťovat, tj. dokumentovat každou polohu měření tak, aby bylo možné opakovaně v delších časových intervalech měření opakovat na stejném povrchu a zajistit reprodukovatelnost výsledků nebo
- také ponechat trvale na OK pro zajištění měření ve stejných polohách (referenční plochy).

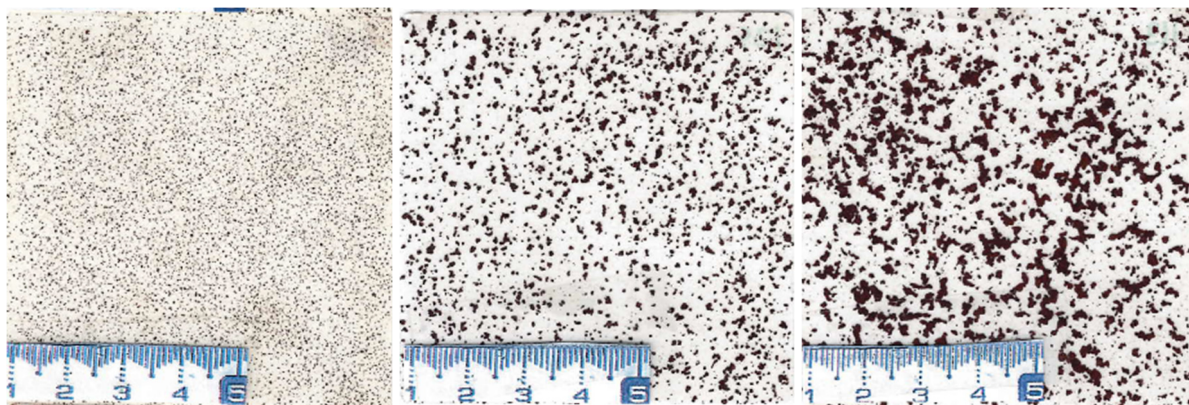
Magnety neovlivňují vývoj patiny odpovídající poloze a orientaci plochy OK.



Obr. B-3. Ukázka použití šablony pro měření tloušťky vrstvy patiny a tloušťky profilu OK.

Zkouška přilnavosti. Zkouška přilnavosti se provádí podle ASTM D3330M-04 (2018) a ISO NWIP [5]. Pro zkoušku se požaduje vizuální analýza vzorku z přilepené lepicí pásky o rozměrech přibližně 5 x 10 cm a větších (s minimální přilnavostí 160 g/cm) na povrch konstrukce z patinující oceli, povrch musí být očištěn od prашných nečistot štětcem. Vyhovují běžně dostupné pružné a průhledné pásky. Pro zajištění požadavku na rozměry vzorku se doporučuje použít pásku o šířce alespoň 40 mm.

Páska se přiloží na suchý povrch a pevně přitlačí prstem nebo se gumovým válečkem 10krát přetře – přitlačí. Poté se páska pomalu odlepí pod malým úhlem mezi páskou a ocelovým povrchem. Vzorek pásky se poté přilepí na čistý list bílého papíru, který se použije pro zpracování obrazu za účelem stanovení velikosti a rozdělení zrn, které ulpěly na pásce (obr. B-4). Pro dokumentaci je nutné zobrazit měřítko na pásce.



Obr. B-4. Zkouška přilnavosti - příklady.

Při rovnoměrném osvětlení lze vyhodnotit stav patiny porovnáním množství částic na pásce a porovnáním vzhledu patiny s referenčními standardy v tab. 3-2. Při interpretaci výsledků zkoušky přilnavosti se uvaží prostorová hustota a velikost a rozložení částic korozních produktů ve vzorku.

PŘÍLOHA C Metody diagnostiky pro podrobný průzkum

Měření tloušťky vrstvy patiny. Tloušťka patiny se měří in situ pomocí přístrojů založených na elektromagnetické indukci podle ČSN EN ISO 2178. Před měřením je třeba odstranit neadhezivní usazeniny štětcem/kartáčem. Mezi průměrnou tloušťkou patiny a úbytkem hmotnosti v důsledku koroze existuje přibližně lineární vztah. Z tloušťky patiny lze odhadnout korozní rychlost. Tato metoda umožňuje detekovat trend nerovnoměrné koroze konstrukce.

Tloušťka základního materiálu (plechu) se měří pomocí ultrazvukového přístroje (UTG). Je nutné použít sondu umožňující měření přes vrstvu nátěru, resp. vrstvu korozních produktů. Maximální tloušťka vrstvy, přes kterou lze měřit UTG přístrojem, je cca 200 μm . Před měřením je potřebné odstranit neadhezivní usazeniny štětcem/kartáčem. Poté se na povrch oceli nanese vazebný prostředek. Pro povrchy s větší tloušťkou vrstvy korozních produktů je nutné dostatečné prosycení vrstvy vazebním prostředkem. Sonda tloušťkoměru se poté pohybuje po povrchu a nejmenší naměřená hodnota se zaznamená jako odhad tloušťky plechu.

Zbytková tloušťka plechů by měla být měřena minimálně na dvou místech stejného konstrukčního prvku: na jednom místě reprezentujícím typickou situaci a na druhém místě reprezentujícím možné vyšší korozní napadení. Místo měření se zaznamená a později se porovná s nominální tloušťkou plechu podle konstrukčních výkresů v místě měření, případně s tloušťkou materiálu stanovenou v místě v rámci předchozích průzkumů. Pokud je naměřená tloušťka menší než jmenovitá tloušťka plechu, zaznamená se rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami jako odhadovaná ztráta průřezu.

Rozbory složení patiny. Ochranný charakter patin je dlouhodobě sledován parametrem Protective Ability Index (PAI). Složení vrstvy patiny se mění v závislosti na době a podmínkách expozice patinujících ocelí. Jemná zrnitost vrstvy korozních produktů je důsledkem jemnosti a stejnoměrného rozdělení lokálních korozních článků na povrchu oceli [4].

Hlavní složky korozních produktů oceli jsou goethit $\alpha\text{-FeOOH}$ (nejstabilnější fáze), akaganeit $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_8\text{Cl}_{1,35}$ ($\beta\text{-FeOOH}$), lepidokrokit $\gamma\text{-FeOOH}$, magnetit Fe_3O_4 a také amorfní a nestechiometrické sloučeniny:

1. V prvním stádiu vzniku vrstvy patiny dochází k vytvoření lepidokrokitu $\gamma\text{-FeOOH}$, který se postupně transformuje na goethit $\alpha\text{-FeOOH}$ [5]. Korozní produkty $\gamma\text{-FeOOH}$ vytvářejí jemné částice o velikosti od 1 nm, které se postupně spojují, až vytvoří vrstvu korozních produktů z částic goethitu $\alpha\text{-FeOOH}$ o velikosti až 100 μm .
2. Goethit $\alpha\text{-FeOOH}$ může přispívat k ochranným vlastnostem povrchové vrstvy, protože je více stabilní. Jestliže je přítomen ve formě malých částic, zabraňuje pronikání vody, kyslíku a chloridových iontů do spodních vrstev korozních produktů a k povrchu oceli.
3. Akaganeit $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_8\text{Cl}_{1,35}$ ($\beta\text{-FeOOH}$) je typický pro prostředí s chloridy.

Na základě porovnání poměru jednotlivých sloučenin ve vrstvě patiny byl definován Protective Ability Index PAI_α [6], který odpovídá hmotnostnímu poměru α/γ^* sloučenin korozní rychlosti (poměr $\alpha\text{-FeOOH}$ k celkové hmotnosti $\gamma\text{-FeOOH}$ a $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_8\text{Cl}_{1,35}$ ($\beta\text{-FeOOH}$) s dalšími oxidy železa). Po odběru vzorků korozních produktů/patiny z povrchu konstrukce se podíl jednotlivých fází stanoví rentgenovou difrakční analýzou (XRD).

Vzorek o hmotnosti přibližně 5 g se odebírá pro laboratorní analýzu seškrábáním z povrchu dlátem a/nebo drátěným kartáčem z korozivzdorné oceli do vzorkovače (nejvhodnější je sklo). Před odběrem vzorků se povrch očistí štětcem/kartáčem od úsad prашných nečistot (pokud jsou však zabudované do vrstvy, odeberou se i s ní). V závislosti na objemu vrstvy patiny by měla být plocha odběru vzorků přibližně 2 x 2 cm nebo 5 x 5 cm. Vzorek se odebere z celé vrstvy až po ocelový povrch. Pokud to není možné, odebere se dostatečné množství

z vyznačené plochy a přiměřeně také z okolí. Je potřebné vybrat různé povrchy reprezentující danou mostní konstrukci (horizontální, vertikální, místa nad překonávanou komunikací atd.), viz také oddíl 3.1. Každý vzorek má být označen tak, aby byl jednoznačně identifikovatelný, např. označení číslem mostu a referenčním číslem vzorku.

Kompaktní a ochranná patina se vytvoří po 5–10 letech střídavého ovlhčení a vysychání. Pro kontrolu rozvoje patiny se proto doporučuje stanovit PAI nejdříve po 5 letech.

PAI se stanoví ze vztahů:

$$\begin{aligned} \text{PAI}_\alpha &= \alpha / \gamma^* \\ \text{PAI}_\beta &= (\beta + s) / \gamma^* \end{aligned} \quad (\text{C-1})$$

kde α označuje hmotnost goethitu $\alpha\text{-FeOOH}$, β hmotnost akaganeitu $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_8\text{Cl}_{1.35}$ ($\beta\text{-FeOOH}$), s hmotnost magnetitu Fe_3O_4 a $\gamma^* = \gamma + \beta + s$. Hodnotící kritéria jsou uvedena v tab. 3-3.

Poznamenáme, že prvotní měření naznačují, že pro danou lokalitu hodnota PAI_α spíše roste se vzdáleností od zdroje chloridů, zatímco hodnota PAI_β spíše klesá.

Měření založená na elektrochemické impedanční spektroskopii (EIS). Mezi nevýhody hodnocení na základě PAI patří:

- nutnost provedení specializovanou laboratoří s kalibračními standardy a související časová náročnost a nákladnost,
- po odběru in-situ nutná příprava vzorku (rozemletí),
- i přes kalibrační standardy se odhaduje možná chyba ve stanovení PAI a v následném odhadu korozní rychlosti běžně 5 % a výjimečně až 10 %.

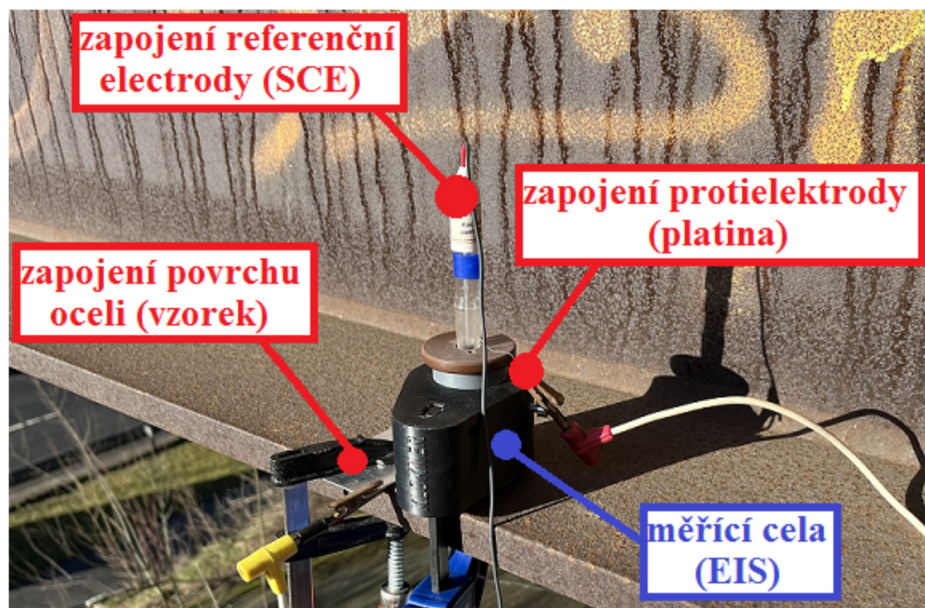
V návaznosti na rozvoj elektrochemických metod pro sledování korozního chování kovů byly rozvíjeny následující metody pro sledování vývoje ochranné patiny.

Nově byla vyvinuta metoda založená na elektrochemické impedanční spektroskopii (EIS):

- měření probíhá in-situ na vodorovných i svislých površích s okamžitým určením ochranných vlastností patiny,
- měří se přímo polarizační odpor, který indikuje korozní rychlost,
- snazší měření znamená nižší náklady a lze je v různých místech i čase snadno opakovat.

Metoda EIS je zvláště vhodná pro měření na kuponech.

Při měření se využívají nově vyvinuté horizontální a vertikální cely (obr. C-1). Se zaměřením na dolní pásnice (často kritické místo) a stojiny (obvyklé korozní úbytky) mohou být metodou EIS získány hodnoty specifického polarizačního odporu jednotlivých vrstev patiny a porovnány s naměřenými hodnotami PAI_α patiny na shodných površích.



Obr. C-1. Ukázka zapojení přitlačné cely pro měření EIS charakteristik patiny na dolní pásnici mostu.

Zkušenosti z aplikací měřící cely EIS naznačují, že hodnoty polarizačního indexu:

- jsou pro povrch stojin významně vyšší než pro horní povrch dolních pásnic, což dobře reflektuje korozní chování – na stěnách nosníků je patina stabilnější a s vyšší ochrannou účinností, tj. korozní rychlost je nízká, $\leq 3 \mu\text{m/rok}$,
- vykazují vysokou variabilitu v jednotlivých místech a vyhodnocování výsledků je potřeba provádět s obezřetností, očekává se snížení této variability s postupným vývojem měřící cely – probíhají pilotní aplikace na mostech v ČR a postupně se kalibruje vztah [14] (odvozený pro nepříznivější prostředí) pro podmínky ČR.

Měření EIS lze provádět pomocí přenosného zařízení navrženého pro monitorování in situ. V elektrochemické impedanční spektroskopii (EIS) je specifický odpor klíčovým parametrem pro ochranné vlastnosti patiny. Hodnocení se provádí podle tab. 3-3.

Měření hloubky důlků. Rozsahu důlkové koroze lze odhadnout vizuálně s nebo bez použití lupy s malým zvětšením nebo s použitím fotoaparátu (např. ČSN EN ISO 17637 specifikuje dvojnásobné až pětinasobné zvětšení). Místo výskytu důlků má být zakresleno. K měření hloubky důlků lze použít metody podle ČSN EN ISO 11463.

LITERATURA

Normativní dokumenty

ASTM D3330M-04 *Standard Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape* (v angličtině; Standardní zkušební metoda pro odolnost proti odlupování pásky), 2018

ČSN 73 0038 *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - doplňující ustanovení*, 2019

ČSN 73 6221 *Prohlídky mostů pozemních komunikací*, 2018

ČSN EN 1990 *Eurokód Zásady navrhování konstrukcí*, 2004

ČSN EN 1993-2 *Eurokód 3 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty*, 2008

ČSN EN ISO 2178 *Nemagnetické povlaky na magnetických podkladech – Měření tloušťky povlaku – Magnetická metoda*, 2017

ČSN EN ISO 9223 *Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosfér - Klasifikace, stanovení a odhad*, 2012

ČSN EN ISO 9224 *Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosfér - Směrné hodnoty pro stupně korozní agresivity*, 2012

ČSN EN ISO 9225 *Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosfér - Měření činitelů prostředí ovlivňujících korozní agresivitu atmosféry*, 2012

ČSN EN ISO 11463 *Koroze kovů a slitin – Směrnice pro hodnocení bodové koroze*, 2021

ČSN EN ISO 12944-1 *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 1: Obecné zásady*, 2018

ČSN EN ISO 17637 *Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů*, 2018

ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*, 2014

ISO 19691 *Measurement method of corrosion for weathering steel structures* (Metoda měření koroze u konstrukcí z patinujících ocelí), 2026

TP 42 *Opravy ocelových nosných konstrukcí silničních mostů*, Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 2026

TP 197 *Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí*, Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 2008

Odborná literatura

[1] ECCS AC3 Bridge Committee (Dieter Ungermann a Peter Hatke). *European Design Guide for the Use of Weathering Steel in Bridge Construction*, 2nd Edition, 2021

[2] Florida Department of Transportation. *Structures Design Guidelines. Structures manual - Volume 1*, 2018

[3] Florida Department of Transportation. *Structures Design Guidelines. Detailing manual - Volume 2*, 2016

[4] Petra Bujňáková a kol. *Praktická metodika pre inžinierske činnosti súvisiace s existujúcimi mostnými objektmi*, ENVIMOS, 2022

[5] ISO NWIP. *Evaluation methods for corrosion from the appearance of rust on weathering steel structures*, ISO TC156/WG 4, June 2025

- [6] AISI (American Institute of Steel Construction). *Uncoated Weathering Steel Reference Guide*, 2022
- [7] FHWA-HRT-23-116 (McConnell, Jennifer, et al.). *Weathering Steel Performance Data Collection*. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, 2024
- [8] AASHTO. *Manual for Bridge Element Inspection*, 2nd ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2019
- [9] Kreislová, K.; Vlachová, M.; Píšková, A.; Fialová, P.; Pokorný, P. a kol. Changes in development of protective patina on weathering steel, *METAL-Conference Proceedings*. Ostrava: Tanger Ltd., 2024
- [10] Sýkora, M.; Kreislová, K.; Marková, J.; Mlčoch, J. Pravděpodobnostní analýza koroze mostů z patinujících ocelí, *MOSTY 2023*. Brno: Sekurkon, 2023
- [11] Sýkora, M.; Kreislová, K.; Marková, J.; Mlčoch, J. Probabilistic Analysis of Corrosion Rates and Degradation of Weathering Steel Bridges, *EUROSTRUCT 2023*. Berlin: Ernst & Sohn, 2023
- [12] Marková, J.; Kreislová, K.; Pokorný, P.; Sýkora, M. Predikce korozních úbytků u mostů z patinujících ocelí a návrhové přídatky pro tloušťky stěn a pásnic založené na dlouhodobých měření v ČR. *Mosty 2025*. Ostrava: SEKURKON s.r.o., 2025
- [13] Sýkora, M.; Kreislová, K.; Marková, J. Reliability-Based Allowances of Corrosion Losses for Weathering Steel Bridges. *Steel Bridges 2024*. Berlin: Ernst & Sohn, 2024
- [14] Ito S.; Kihira H.; Mzrta T.; A New Method to Monitor In-Situ Protective Properties of Rust on Weathering Steel, *Degradation of Metals in the Atmosphere*, ASTM STP 965, 1988, pp. 366-373