



ČVUT
KÚ

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
K L O K N E R Ů V Ú S T A V
Šolínova 7, 166 08 Praha 6 – Dejvice

Datum:
27. ledna 2026

Oddělení KÚ
spolehlivosti konstrukcí
tel. +420 224 353 850

Technická dokumentace a manuál
Softwarové rozhraní pro rychlý přenos a analýzu dat z funkčního vzorku

Vypracovali:

Ing. Nikola Prodanović
Doc. Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.

Schválili:

Doc. Ing. Jana Marková, Ph.D.,
spoluřešitelka projektu CK03000125
Ing. Petr Pokorný, Ph.D.,
autor funkčního vzorku CK03000125-V4
Doc. Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.,
zástupce ředitele KÚ pro vědu, výzkum a doktorské studium

Výtisk číslo:

1

Rozdělovník:

1x elektronicky
webové stránky
projektu:
www.atmofix.cz

OBSAH

	Stránka
1 Úvod	2
2 Uživatelský manuál.....	5
2.1 Otevření a uložení souboru.....	5
2.2 Algoritmus	5
2.3 Zadání výsledků měření.....	6
2.4 Vyhodnocení měření.....	9
3 Analýza funkčních požadavků.....	9
4 Technická dokumentace.....	9
5 Programátorská dokumentace	10
6 Popis ověření funkčnosti software.....	10
7 Odkaz na software	10
8 Seznam literatury.....	10
8.1 Normy	10
8.2 Odborná literatura.....	10
PŘÍLOHA A – Zdrojový kód.....	11

Technická dokumentace a manuál:
Softwarové rozhraní pro rychlý přenos a analýzu dat z funkčního vzorku
CK03000125-V5

Tento software 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.

1 Úvod

V souladu se schváleným projektem CK03000125 bylo softwarové rozhraní zpracované v MS Excel. Software umožňuje rychlý přenos a analýzu dat z funkčního vzorku CK03000125-V4 < www.atmofix.cz > se zaměřením na snadné a rychlé vyhodnocení hodnot specifického odporu vůči difúzi iontů vrstvou korozních produktů pro rychlé zhodnocení stavu protikorozní ochrany. Software na základě naměřených dat umožňuje zhodnocení stupně protikorozní ochrany poskytované patinou na různých místech ocelových mostů s různými expozičními podmínkami.

Software usnadňuje vyhodnocování komplexních dat z měření elektrochemické impedanční spektroskopie (EIS) s použitím sestavy cely a analyzátoru (funkční vzorek CK03000125-V4) s aplikačním cílem rychlého vyhodnocení odporu vůči difúzi iontů a okamžité ověření úrovně ochranného účinku vytvořené patiny.

Ověření softwaru proběhlo společně s ověřením technologie CK03000125-V3 a analyzátoru CK03000125-V4 na rozsáhlém experimentálním programu zahrnujícím detailní výsledky pro šest mostů, pro které byl analyzován stav patiny a úroveň korozního napadení. Obrázky ukazují příklady hodnocených konstrukcí a exponovaných míst.



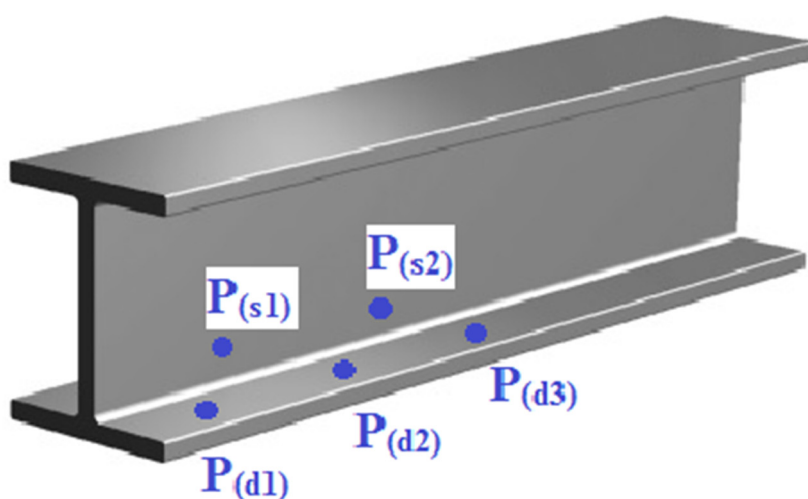
Pohledy na OK jednoho z hodnocených mostů



Vybraná místa odběru vzorků



Měření metodou EIS



Lokalizace jednotlivých bodů měření EIS řádového specifického odporu R_p vrstvy patiny –
vnější část mostu1

lokality	označení vzorku/plochy	expozice (roky)	korozní rychlost ($\mu\text{m.r}^{-1}$)	vizuální hodnocení patiny	tloušťka vrstvy patiny (μm)	PA indexy	EIS řádový specifický odpor ($\Omega\cdot\text{cm}^2$)
mostní konstrukce	M6 P2 - stěna	49	-		301	$\alpha - 1,29$ $\beta - 0,21$	803
	M6 P4 - HPDP	49	-		348	$\alpha - 1,20$ $\beta - 0,70$	414
	M6 P7 - stěna	49	-		353	$\alpha - 1,15$ $\beta - 0,42$	933
	M6 P9 - HPDP	49	-		384	$\alpha - 0,66$ $\beta - 0,93$	582
	M6 P11 - stěna	49	-		354	$\alpha - 0,89$ $\beta - 0,56$	895
	M6 P13 - HPDP	49	-		501	$\alpha - 0,65$ $\beta - 0,85$	653
	M6 P21 - stěna	49	-		220	$\alpha - 3,01$	897
	M6 P22 - HPDP	49	-		319	$\alpha - 0,90$ $\beta - 0,83$	505
	M7 P2 nosník	10	7,8'		313	$\alpha - 0,68$ $\beta - 0,85$	733
	M7 P4 HPDP	10	16,8'		1222	$\alpha - 0,41$ $\beta - 0,94$	341
	M7 P5 HPDP	10	3,5'		208	$\alpha - 1,12$ $\beta - 0,78$	927
	M7 P7 HPDP	10	17,6'		304	$\alpha - 0,34$ $\beta - 0,95$	674
	M7 P11 HPDP	10	7,5'		287	$\alpha - 0,26$ $\beta - 0,87$	509

Porovnání měření EIS s dalšími sledovanými parametry

V kapitole 2 navazuje ukázka, která nemá návaznost na konstrukce použité při ověření!

Klíčová slova: analýza dat; difúze iontů; elektrochemická impedanční spektroskopie EIS; expoziční podmínky; korozní produkty; MS Excel; ocelové mosty; patina; protikorozní ochrana; specifický odpor

2 Uživatelský manuál

2.1 Otevření a uložení souboru

Povolení maker: je potřebné postupně zvolit:

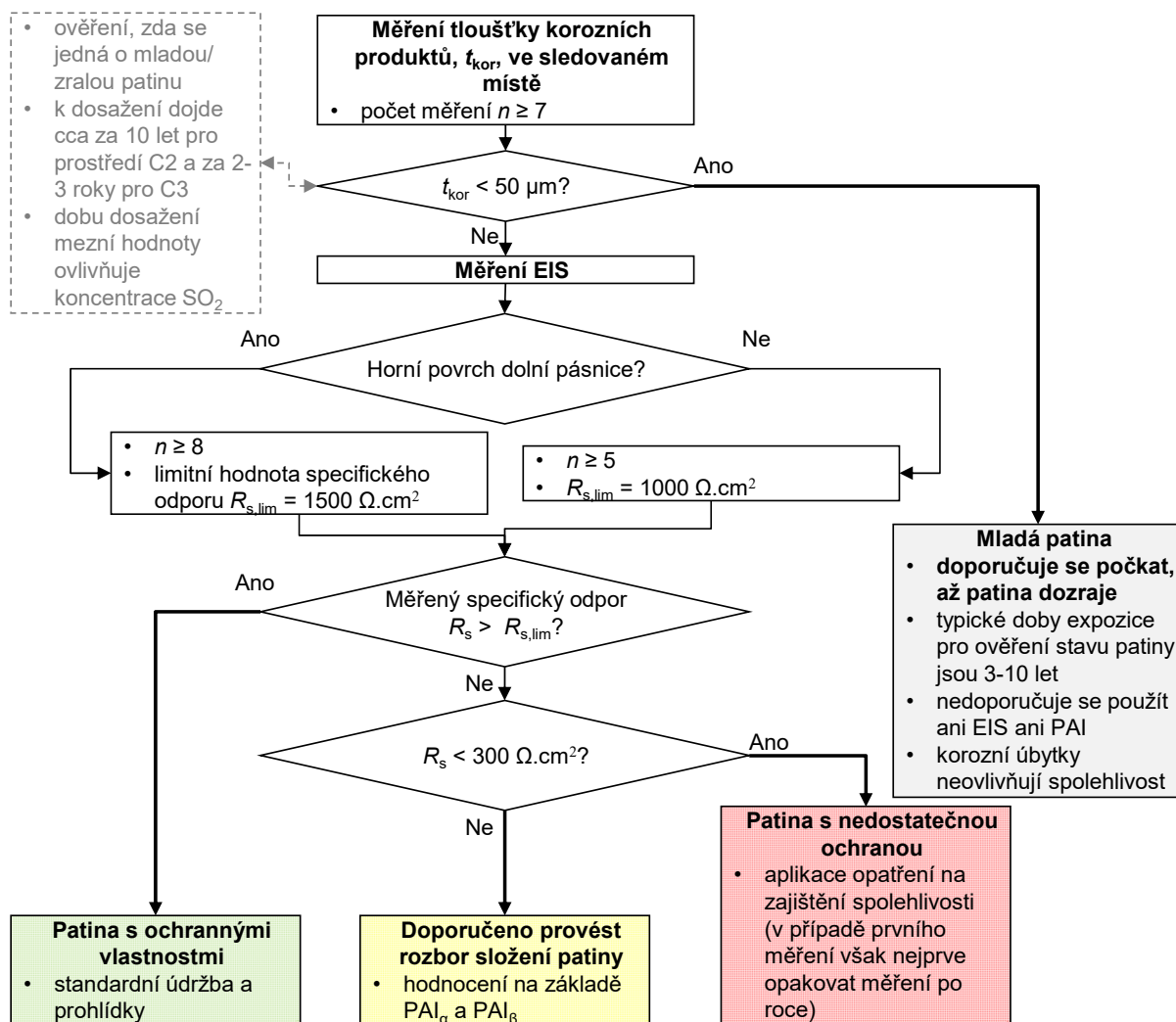
Soubor → Možnosti → Centrum zabezpečení →
→ Nastavení Centra zabezpečení → Nastavení maker

a zvolit možnost "Povolit všechna makra".

Ukládání: soubor je nutné uložit jako *.xlsm (sešit aplikace Excel s podporou maker), aby zůstaly zachovány analytické funkce.

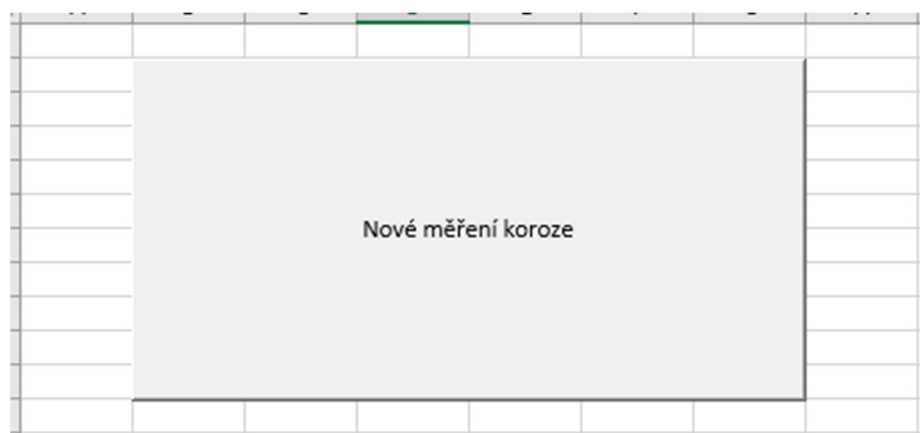
2.2 Algoritmus

Hodnocení stavu patiny na základě měření metodou EIS se opírá o následující algoritmus:

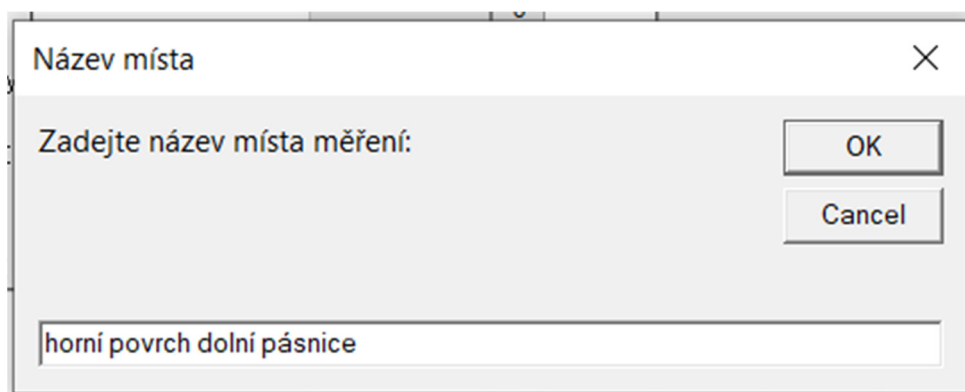


2.3 Zadání výsledků měření

V úvodu analýzy se zadají naměřené tloušťky patiny kliknutím na okno:

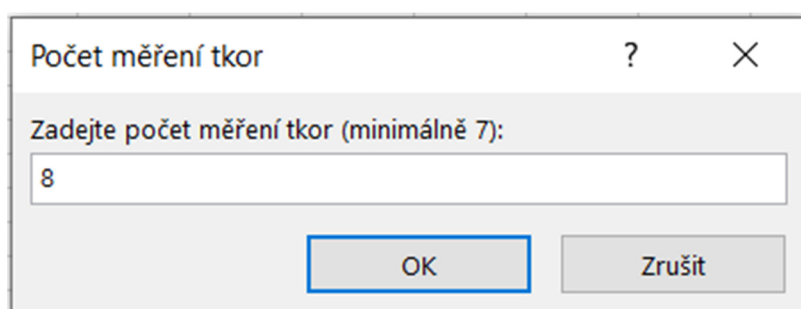


Nejprve se zadá název místa1:



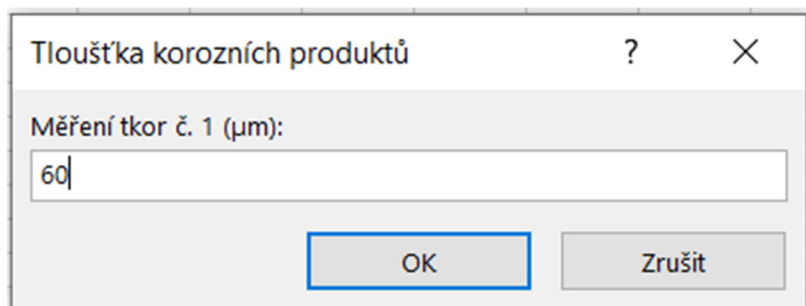
Dialog box s titulkem "Název místa". Vnitřní text: "Zadejte název místa měření:". Textové pole obsahuje "horní povrch dolní pásnice". Vpravo jsou tlačítka "OK" a "Cancel".

Zadá se počet měření na místě1 (počet měření $n \geq 7$):



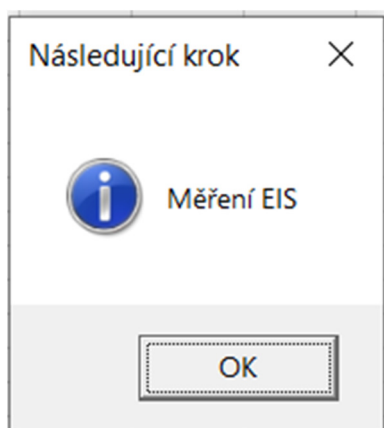
Dialog box s titulkem "Počet měření tkor". Vnitřní text: "Zadejte počet měření tkor (minimálně 7):". Textové pole obsahuje "8". Vpravo jsou tlačítka "OK" a "Zrušit".

a postupně se zadají naměřené tloušťky v mm na místě1:



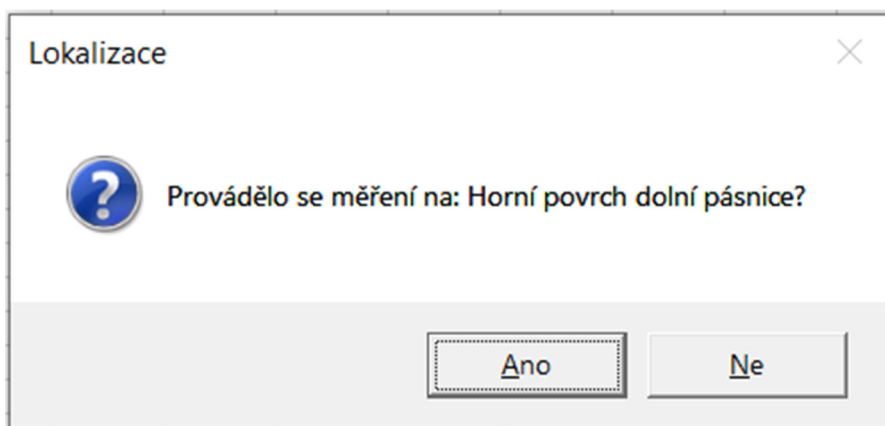
Dialog box s titulkem "Tloušťka korozních produktů". Vnitřní text: "Měření tkor č. 1 (μm):". Textové pole obsahuje "60". Vpravo jsou tlačítka "OK" a "Zrušit".

Proběhne formální ověření překlepů a zda byly zadány numerické hodnoty:

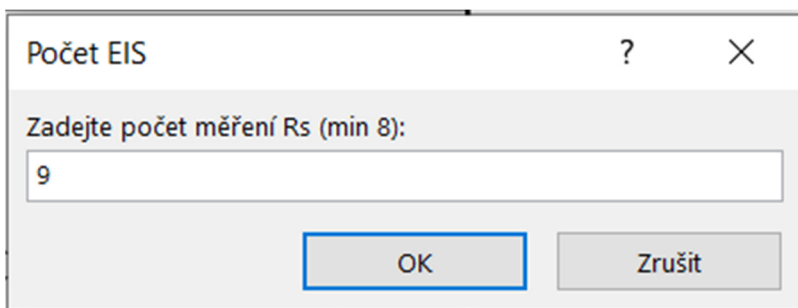


Dialog box s titulkem "Následující krok". Vnitřní text: "Měření EIS". Vpravo je tlačítko "OK".

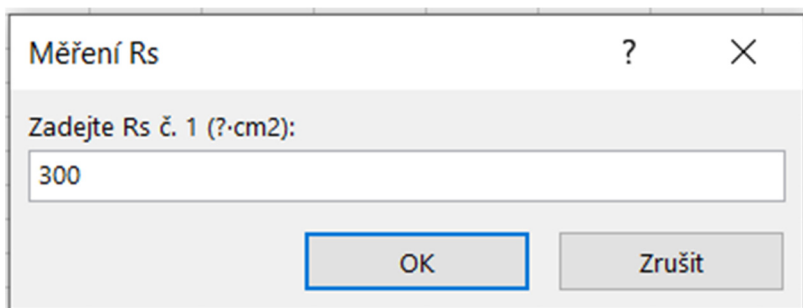
Dále proběhne kontrola, zda byla měření EIS provedena na místě1:



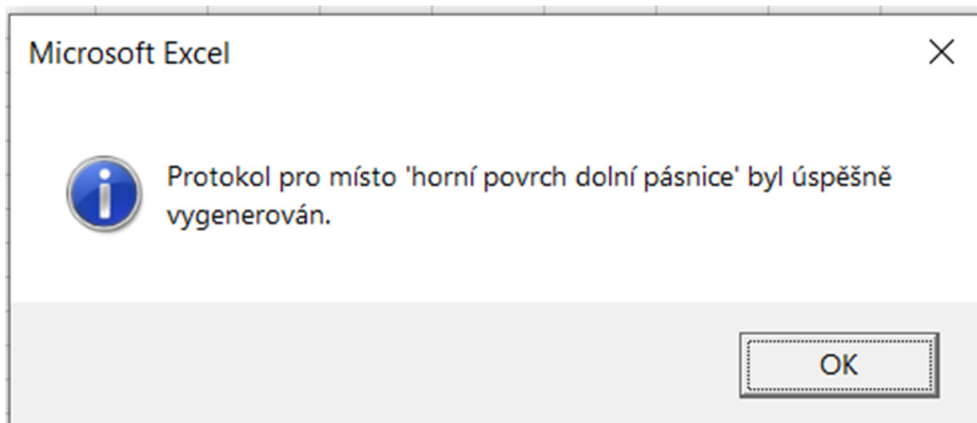
Zadá se počet měření specifického odporu:



a jednotlivá měření specifického odporu R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$):



Proběhne kontrola překlepů – ověření, zda byly zadány numerické hodnoty:



Na zvláštní list se následně vygenerují zadané vstupy a vyhodnocení:

horní povrch dolní pásnice				Patina s nedostatečnou ochranou							
Průměr měření tloušťky korozních produktů	62.5	[μm]		60	65	60	70	50	55	60	80
Měřený specifický odpor	305.3576	[?·cm2]		300	350	400	350	300	350	400	350

Obdobně se postupuje pro další analyzovaná místa.

2.4 Vyhodnocení měření

Na zvláštním listě se následně vygenerují všechny protokoly:

horní povrch dolní pásnice				Patina s nedostatečnou ochranou							
Průměr měření tloušťky korozních produktů	62.5	[μm]		60	65	60	70	50	55	60	80
Měřený specifický odpor	305.3576	[?·cm2]		300	350	400	350	300	350	400	350
dolní povrch horní pásnice				Mladá patina							
Průměr měření tloušťky korozních produktů	22.14286	[μm]		20	25	20	25	20	25	20	
dolní povrch dolní pásnice				Patina s ochrannými vlastnostmi							
Průměr měření tloušťky korozních produktů	57.85714	[μm]		50	60	60	60	65	50	60	
Měřený specifický odpor	1526.304	[?·cm2]		1600	1650	1700	1560	1650	1700	1500	1500
stěna nosníku				Doporučeno provést rozbor složení patiny							
Průměr měření tloušťky korozních produktů	54.28571	[μm]		50	55	60	55	60	50	50	
Měřený specifický odpor	746.5478	[?·cm2]		800	850	800	750	800	850	700	850

Z ukázky vyplývá, že měření EIS vedou k následujícím závěrům:

- horní povrch dolní pásnice: patina poskytuje prokazatelně **nedostatečnou ochranu** a může být potřebné učinit opatření pro zajištění spolehlivosti,
- dolní povrch horní pásnice: jedná se **mladou (nevyzrálou) patinu** – doporučuje se opakovat analýzu v odstupu 3-10 let podle expozičních podmínek; podrobněji viz ověřená technologie „*Postup diagnostiky a hodnocení ochranné účinnosti patiny na mostech z patinujících ocelí*“,
- dolní povrch dolní pásnice: patina poskytuje prokazatelně **dostatečnou ochranu**,
- stěna nosníku: doporučuje se provést **rozbor složení patiny**.

3 Analýza funkčních požadavků

- operační systém: Windows 10 a vyšší
- verze MS Excel: Professional 2019 a vyšší, s podporou maker

4 Technická dokumentace

Software je navržený na základě MS Excel s podporou maker, která umožňují automatizovat analýzu a vyhodnocení měření tloušťek korozních produktů a hodnot specifického odporu pomocí kódu Visual Basic for Applications (VBA) s využitím karty Vývojář MS Excel.

- formát souboru: *.xlsm
- datové struktury: prostý text, desetinná čárka/ tečka podle nastavení aplikace
- formát výstupu: formátovaný text

5 Programátorská dokumentace

Zdrojový kód VBA-projektu je uveden v příloze.

6 Popis ověření funkčnosti software

V rámci ověřování byl software otestován z hlediska:

- uživatelského (chybové kontroly z hlediska překlepů),
- technického: různé situace při vyhodnocení měření metodou EIS,
- funkčnosti v různých verzích operačního systému (Windows 10 – 32bitová a 64bitová verze, Windows 11) a verzí MS Office (verze 2019, 2021, 2024 a 365).

7 Odkaz na software

Software je volně dostupný na stránkách projektu CK03000125: < www.atmofix.cz >

8 Seznam literatury

8.1 Normy

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

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

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

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

8.2 Odborná literatura

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

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

AASHTO. *Manual for Bridge Element Inspection*, 2nd ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2019

Kreislová, K.; Vlachová, M.; Pišková, A.; Fialová, P.; Pokorný, P. a kol. *Changes in development of protective patina on weathering steel*, METAL-Conference Proceedings. Ostrava: Tanger Ltd., 2024

Ito S.; Kihira H.; Mzrata 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

PŘÍLOHA A – Zdrojový kód

Sub MereniKorozeProtokol_Final()

Dim nazevMista As String

Dim pocetMereni As Integer, pocetEIS As Integer, minEIS As Integer

Dim hodnota As Double, suma As Double, prumer As Double, stdev As Double,
vyslednaHodnota As Double

Dim i As Integer, radekStart As Long, posledniRadekBloku As Long

Dim wsData As Worksheet

Dim odpovedEIS As VbMsgBoxResult

Dim poleHodnot() As Double

Dim barvaVysledku As Long

Set wsData = ThisWorkbook.Sheets("List2")

' 1. Získání názvu místa

nazevMista = InputBox("Zadejte název místa měření:", "Název místa")

If nazevMista = "" Then Exit Sub

' 2. Získání počtu měření tkor (min 7)

Do

pocetMereni = Application.InputBox("Zadejte počet měření tkor (minimálně 7):", "Počet
měření tkor", Type:=1)

If pocetMereni <= 0 Then Exit Sub

If pocetMereni < 7 Then MsgBox "Musí být alespoň 7 měření!", vbExclamation

Loop While pocetMereni < 7

' --- VYHLEDÁNÍ ŘÁDKU ---

radekStart = wsData.Cells(wsData.Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

If radekStart < 2 Then

radekStart = 2

Else

radekStart = radekStart + 3

End If

```
' Zápis názvu místa a sloučení A-D
wsData.Cells(radekStart, 1).Value = nazevMista
wsData.Range(wsData.Cells(radekStart, 1), wsData.Cells(radekStart, 4)).Merge

' 3. Zadávání a zápis hodnot tkor
suma = 0
For i = 1 To pocetMereni
    hodnota = Application.InputBox("Měření tkor č. " & i & " (μm):", "Tloušťka korozních
produktů", Type:=1)
    suma = suma + hodnota
    wsData.Cells(radekStart + 1, 6 + i).Value = hodnota
Next i

prumer = suma / pocetMereni
wsData.Cells(radekStart + 1, 2).Value = "Průměr měření tloušťky korozních produktů"
wsData.Cells(radekStart + 1, 3).Value = prumer
wsData.Cells(radekStart + 1, 4).Value = "[μm]"

posledniRadekBloku = radekStart + 1

' 4. Vyhodnocení tkor / EIS
Dim textVysledek As String
If prumer < 50 Then
    textVysledek = "Mladá patina"
    barvaVysledku = xlNone ' Bílá
Else
    ' --- SEKCE EIS ---
    MsgBox "Měření EIS", vbInformation, "Následující krok"
    odpovedEIS = MsgBox("Provádělo se měření na: Horní povrch dolní pásnice?", vbYesNo
+ vbQuestion, "Lokalizace")

    If odpovedEIS = vbYes Then minEIS = 8 Else minEIS = 5

    Do
        pocetEIS = Application.InputBox("Zadejte počet měření Rs (min " & minEIS & "):",
"Počet EIS", Type:=1)
```

```
If pocetEIS <= 0 Then Exit Sub
If pocetEIS < minEIS Then MsgBox "Nedostatečný počet měření!", vbExclamation
Loop While pocetEIS < minEIS

ReDim poleHodnot(1 To pocetEIS)
suma = 0

For i = 1 To pocetEIS
    hodnota = Application.InputBox("Zadejte Rs č. " & i & " (?·cm2):", "Měření Rs",
Type:=1)
    poleHodnot(i) = hodnota
    suma = suma + hodnota
    wsData.Cells(radekStart + 2, 6 + i).Value = hodnota
Next i

stdev = WorksheetFunction.StDev_S(poleHodnot)
vyslednaHodnota = (suma / pocetEIS) - stdev

wsData.Cells(radekStart + 2, 2).Value = "Měřený specifický odpor"
wsData.Cells(radekStart + 2, 3).Value = vyslednaHodnota
wsData.Cells(radekStart + 2, 4).Value = "[?·cm2]"
posledniRadekBloku = radekStart + 2

Dim limitVysoky As Double
If odpovedEIS = vbYes Then limitVysoky = 1500 Else limitVysoky = 1000

If vyslednaHodnota > limitVysoky Then
    textVysledek = "Patina s ochrannými vlastnostmi"
    barvaVysledku = vbGreen
ElseIf vyslednaHodnota > 400 Then
    textVysledek = "Doporučeno provést rozbor složení patiny"
    barvaVysledku = vbYellow
Else
    textVysledek = "Patina s nedostatečnou ochranou"
    barvaVysledku = vbRed
```

End If

End If

' --- ZÁPIS VÝSLEDKU A SLOUČENÍ E-J ---

With wsData.Cells(radekStart, 5)

.Value = textVysledek

wsData.Range(wsData.Cells(radekStart, 5), wsData.Cells(radekStart, 10)).Merge

End With

' --- FORMÁTOVÁNÍ CELÉHO BLOKU ---

' Určení maximálního sloupce pro ohraničení a vybarvení

Dim maxSloupec As Long

maxSloupec = 10 ' Minimálně po sloupec J

Dim tempMax As Long

tempMax = wsData.Cells(radekStart + 1, wsData.Columns.Count).End(xlToLeft).Column

If tempMax > maxSloupec Then maxSloupec = tempMax

tempMax = wsData.Cells(radekStart + 2, wsData.Columns.Count).End(xlToLeft).Column

If tempMax > maxSloupec Then maxSloupec = tempMax

' 1. Celkové ohraničení a zarovnání na střed

With wsData.Range(wsData.Cells(radekStart, 1), wsData.Cells(posledniRadekBloku, maxSloupec))

.HorizontalAlignment = xlCenter

.VerticalAlignment = xlCenter

.Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium

.Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium

.Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium

.Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

.Borders(xlInsideVertical).Weight = xlThin

.Borders(xlInsideHorizontal).Weight = xlThin

End With

' 2. Vybarvení celého prvního řádku (Záhlaví bloku)

With wsData.Range(wsData.Cells(radekStart, 1), wsData.Cells(radekStart, maxSloupec))

.Interior.Color = barvaVysledku

.Font.Bold = True

End With

MsgBox "Protokol pro místo '" & nazezMista & "' byl úspěšně vygenerován.", vbInformation
End Sub