

HODNOCENÍ KOROZE SKENOVACÍ TECHNIKOU

**Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D., Prof. Ing. Alexander Grünwald, CSc.,
Ing. Marek Slaviček, Ph.D.**

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Fakulta stavební,
ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
katerina.slavickova@fsv.cvut.cz, grunwald@fsv.cvut.cz, slavicek@fsv.cvut.cz

Úvod

Příspěvek se zabývá vyhodnocováním koroze ocelových destiček umístěných v surové vodě, ve vodě po čiření a filtraci a v upravené vodě. Koroze byla sledována podle předem stanoveného časového harmonogramu ve třech korozních smyčkách na úpravně vody. Každá smyčka byla vybavena plastovými držáky, do nichž se upevňovaly zkušební ocelové destičky, jejichž výměna se prováděla v 35 a 70 denních intervalech. Kromě vyhodnocení korozních rychlostí, které probíhá již od roku 2004, byla vytvořena metodika vyhodnocení koroze pomocí skenování a výpočtu procenta zasažení plochy korozí v programu Matlab. Byl vytvořen algoritmus, který umožňuje rozlišit z obrázku naskenovaného kuponu plochu nezkorodovanou od plochy zkorodované a odlišit plochy zasažené plošnou korozí od ploch zasažených korozí bodovou.

Pro zjištění rychlosti koroze a posouzení potřebnosti protikorozních opatření se v praxi používá norma TNV 75 71 21 „Požadavky na jakost vody dopravované potrubím“ [1]. Vyhodnocení korozních rychlostí v surové, přefiltrované a upravené vodě na úpravně vody na základě prvních sedmi sérií korozních testů bylo spolu s metodikou korozních testů publikováno a uvedeno ve výzkumné zprávě [2, 3].

Pojmem smíšená koroze se rozumí součet plošné a bodové koroze a vyjadřuje se v m^2 nebo v procentech z celkové plochy kuponu. Pro vyhodnocení rychlosti smíšené koroze bylo zapotřebí nejdříve určit procenta zkorodovaných ploch jednotlivých kuponů, a to zvlášť procenta plošné koroze a zvlášť procenta bodové koroze z celé plochy kuponu. Proto bylo nutné použít program, který by poměrně rychle, jednoduše a efektivně dokázal určit tyto parametry. Rozhodli jsme se pro program Matlab, ve kterém lze vytvořit řadu algoritmů, je univerzální, dokáže namodelovat velké množství dat a dokáže integrovat matematické výpočty a vizualizace.

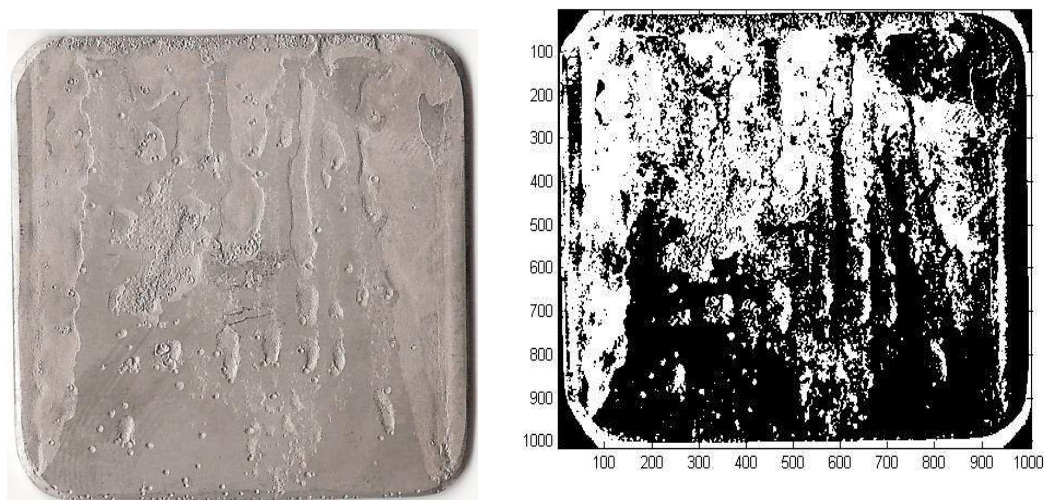
Postup a princip skenování kuponů

Před samotným vyhodnocením ploch zasažených korozí bylo zapotřebí z kuponů odstranit vrstvu inkrustů roztokem kyseliny chlorovodíkové s přísadkou inhibitoru koroze, kupony opláchnout, vysušit a poté jejich povrch převést do elektronické podoby, potřebné pro následné zpracování Matlabem.

Termínem skenování neboli snímání se označuje proces převodu textů, obrázků či jiných předloh do elektronického formátu vhodného pro počítačové zpracování. Každý kupon byl skenován ze dvou stran a byly k němu vytvořeny dva obrázky. Obrázek přední strany kuponu s vyraženým číslem byl označen číslem kuponu a písmenem *a*, obrázek druhé strany číslem kuponu a písmenem *b* (např. 50a, 50b).

Princip fungování Matlabu

Hlavním úkolem bylo vytvořit algoritmus, který by umožnil rozlišit z obrázku naskenovaného kuponu plochu nezkorodovanou od plochy zkorodované, a také odlišit plochy zasažené plošnou korozi od ploch zasažených bodovou korozi. Matlab zpracovával každou stranu kuponu samostatně. Prvním krokem po načtení obrázku byl převod naskenovaného obrázku v milionech barev do 256 odstínů šedi, z nichž se následně určila prahová hodnota úrovně jasu. Tato hodnota se stanovila jako průměr všech hodnot jasu v celém obrázku. Hodnotám menším než byla spočtená prahová hodnota program přiřadil číslo 0 a hodnotám větším než hodnota prahová přiřadil číslo 1. Číslo 1 odpovídalo barvě černé, která představovala nezkorodovanou plochu, naopak číslo 0 odpovídalo bílé barvě, která představovala plochu zkorodovanou (vše je patrné na obr.1).

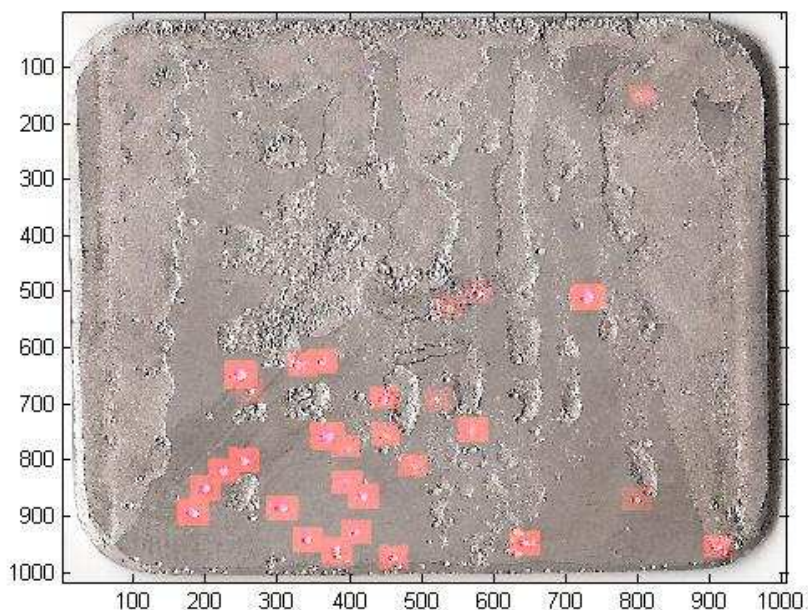


Obr. 1. Převod naskenovaného obrázku do obrázku ve 256 odstínech šedi

Procento plochy zasažené korozi vyjadřuje součet všech bodů s hodnotou 0. Tato plocha odpovídala jak plošné tak i bodové korozi. Hlavním problémem bylo vytvoření algoritmu pro výpočet bodové koroze. Bodová koroze se určila tak, že se nejdříve vytvořila matice o velikosti 40 x 40 pixelů. V tomto čtverci se následně vytvořily dvě kružnice. Jedna o poloměru 3, druhá o poloměru 19 pixelů. První kružnice se celým svým obsahem musela vejít do bodu, který představoval bodovou korozi. Druhá kružnice o větším poloměru naopak nesměla do korozního bodu zasahovat, ale musela jej celý obsáhnout spolu s kružnicí menší. Až program dokončil vyhledávání ve čtverci 40 x 40 pixelů, posunul se o 40 pixelů dále a postupoval stejným způsobem až prohledávání celého obrázku dokončil. Nalezené korozní body byly pro názornost viditelně označeny červenou barvou. (obr.2).

Všechny naskenované obrázky měly průměrnou velikost 1000 x 1010 pixelů. Průměrná hodnota byla stanovena jako aritmetický průměr velikostí všech obrázků vydělena počtem všech obrázků. Důvodem tohoto výpočtu byla rozdílná velikost jednotlivých kuponů, zejména neúplná rovnoběžnost dvou protilehlých stran. Dalším důvodem bylo nepřesné uložení destiček na skleněnou plochu skeneru a rovněž nepřesné oříznutí jednotlivých obrázků. Tyto drobné nepřesnosti byly vyvolány lidským faktorem. Ovšem

rozměrové rozdíly jednotlivých kuponů byly v řádu jednotek pixelů, což znamená, že byly prakticky zcela zanedbatelné.

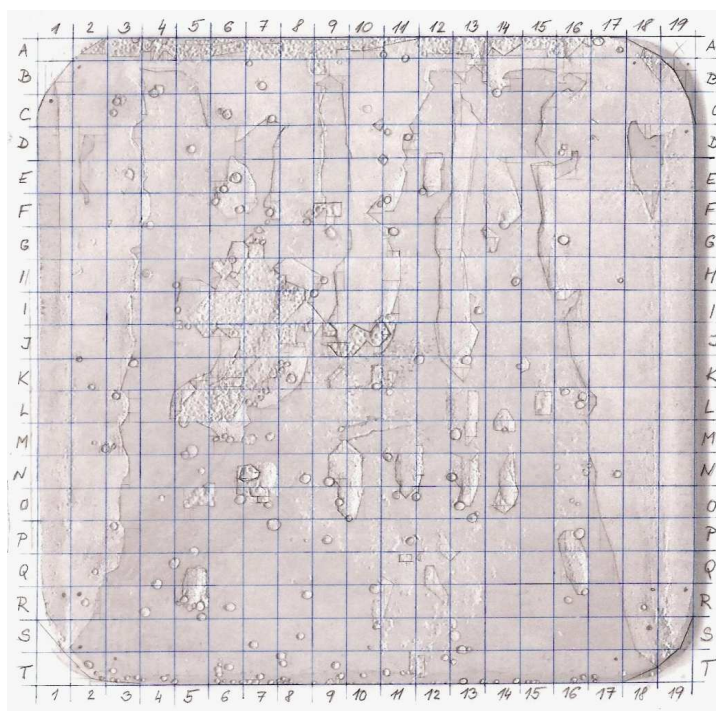


Obr. 2. Výsledný obrázek s označenými body, které odpovídají bodové korozi

Výsledky zkorodovaných ploch byly určeny procentuálně. Procentuální zasažení plošnou korozí se opravilo tím způsobem, že se od vypočítané zkorodované plochy v procentech odečetla procenta bodové koroze.

Kontrola výsledků získaných Matlabem

Pro kontrolu výsledků, které byly získány Matlabem, byl proveden ruční výpočet. Porovnávaly se výsledky koroze 7 korozních kuponů, každý z nich ze dvou stran.





Obr. 3. Ukázka ručního výpočtu zkorodovaných ploch kuponu č.16

Ruční výpočet byl proveden tak, že se zvětšil obrázek naskenovaného kuponu na velikost formátu papíru A4. Po vytištění byl na obrázek přiložen pauzovací papír s vytvořeným rastrem. Tím byl celý obrázek rozdělen na jednotlivé čtverečky o velikosti 10 x 10 mm a zbylé obdélníky. V každém poli se označily a určily velikosti nezkorodované a zkorodované plochy včetně plošné a bodové koroze. Tyto hodnoty byly následně použity k procentuálnímu vyjádření zkorodovaných a nezkorodovaných ploch celého obrázku.

Ukázka srovnání ručního výpočtu s výsledky z Matlabu je uvedena v následující tabulce včetně obrázků obou stran kuponu.

Tabulka 1. Porovnání ručního výpočtu s výsledky z Matlabu pro kupon 16

	16a		ručně	Matlab	rozdíl [%]
	koroze	Plošná [%]	39,28	42,98	8,61
		bodová [%]	0,67	0,48	28,36
	zkorodováno [%]	celkem	39,95	43,46	8,08
	nezkorodováno [%]	celkem	60,05	56,54	5,85
	16b		ručně	Matlab	rozdíl [%]
	koroze	plošná [%]	39,63	43,11	8,07
		bodová [%]	2,87	0,75	73,87
	zkorodováno [%]	celkem	42,50	43,86	3,10
	nezkorodováno [%]	celkem	57,50	56,14	2,37

Z výsledků je zřejmé, že plocha plošné koroze vypočítaná Matlabem je vyšší než plocha spočítaná ručně. Je to způsobeno tím, že menší zkorodované plošky, které jsou pokládány za bodovou korozi, Matlab započítal do koroze plošné. Ve všech případech procenta zkorodovaných ploch spočítaná Matlabem jsou vyšší než výsledky ručního výpočtu, procentuální rozdíl však ve většině případů nepřesahuje deset procent. Větší procentuální rozdíl byl způsoben zejména barevnými skvrnami na plochách kuponů, které se projevily ve výpočtu prahové hodnoty jasu a tudíž v celkovém procentuálním výsledku. Celkově lze říci, že výsledky dané vyhodnocením Matlabem jsou použitelné a proti ručnímu postupu daleko rychleji dosažitelné. Odpadá zde i subjektivní názor zpracovatele.

Výsledky výpočtu zkorodovaných ploch programem Matlab

V tabulce 2 je v prvním sloupci uvedeno datum provedení korozního testu, dále doba expozice ve dnech a typ vody, ve které byly kupony umístěny (S – surová, F – filtrovaná, U – upravená). Každý kupon byl vyhodnocen ze dvou stran (přední strana - a, zadní strana - b). Pro každou stranu byla spočítána plocha zasažená plošnou korozí (P) a plocha zasažená bodovou korozí (B) v procentech. Pro omezený rozsah příspěvku je v tabulce uvedena pouze ukázka hodnocení korozních kuponů pro obě doby expozice 35 a 70 dnů.

Tabulka 2 Vyhodnocení plochy zasažené korozi

Datum	Exp.	voda	241a		241b		242a		242b	
11.7.2006 - 19.09.06	70	S	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			53,02	0,12	44,94	0,09	50,89	0,05	44,98	0,04
			243a		243b		244a		244b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			49,74	0,25	44,13	0,12	50,56	0,09	54,53	0,29
Datum	Exp.	voda	249a		249b		250a		250a	
11.7.2006 - 19.09.06	70	F	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			53,43	0,02	53,51	0,01	57,67	0	51,88	0,01
			251a		251a		252a		252b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			63,04	0,01	58,05	0,09	59,87	0,06	58,88	0
Datum	Exp.	voda	257a		257b		258a		258b	
11.7.2006 - 19.09.06	70	U	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			46,39	0,12	39,05	0,83	41,57	0,31	39,8	0,2
			259a		259b		260a		260b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			48,93	0,23	54,94	0,04	46,11	0,84	52,38	0,29
Datum	Exp.	voda	269a		269b		270a		270b	
19.9.2006 - 24.10.06	35	S	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			47,68	0,06	45,27	0,26	45,47	0,03	46,77	0,16
			271a		271b		272a		272b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			45,53	0,03	46,61	0,03	53,29	0,02	47,37	0,12
Datum	Exp.	voda	285a		285b		286a		286b	
19.9.2006 - 24.10.06	35	F	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			39,1	0,63	40,65	0,12	34,8	0,14	36,83	0,06
			287a		287b		288a		288b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			43,35	0,22	36,31	0,52	43,66	0,09	44,06	0,06
Datum	Exp.	voda	281a		281b		282a		282b	
19.9.2006 - 24.10.06	35	U	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			35,62	0,06	38,07	0,32	33,02	0,25	30,07	0,03
			283a		283b		284a		284b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			36,01	0,11	34,38	0,04	33,42	0,15	28,22	0,42

Závěry

Algoritmus na hledání bodové koroze je založen na logických a jednoduchých operacích, které nehledají v obrázku žádné složité souvislosti, a díky tomu jsou poměrně rychlé. Je ale méně spolehlivý v případě menších nepravidelných zkorodovaných plošek, které jsou pokládány za bodovou korozi, ale program je řadí do koroze plošné.

Algoritmus na hledání plošné koroze funguje podstatně lépe. Jedinou nevýhodou je ovlivnění výsledků i poměrně malými barevnými skvrnami na povrchu korozních kuponů. Tyto skvrny, které jsou barevně odlišné od ostatních ploch kuponů, si Matlab díky algoritmu pro určení prahové hodnoty jasu převedl automaticky podle nastavených parametrů buď na hodnotu 0 nebo na hodnotu 1 a tím se pochopitelně odrazily v celkovém procentuálním výsledku zkorodovaných a nekorodovaných ploch.

Celkově lze říci, že vyhodnocení koroze s využitím Matlabu poskytuje použitelné výsledky, které lze proti ručnímu postupu získat mnohem rychleji a nejsou ovlivněny subjektivním názorem zpracovatele.

Větší zasažení kuponů korozí s výraznějším kolísáním hodnot bylo zjištěno jak u přefiltrované vody, tak i u surové vody. V upravené vodě po provedené stabilizaci byly zasažení korozí i hmotnostní úbytky kuponů výrazně nižší.

Po odstranění korozních produktů byla na testovacích kuponech patrná bodová koroze, plošná koroze i koroze smíšená. U surové vody se jednalo převážně o plošnou korozi, u přefiltrované vody byla často patrná silná bodová koroze po celé ploše destiček. U upravené vody se většinou vyskytovala plošná koroze s občasnou tendencí k tvorbě bodové koroze, ale v podstatně menším rozsahu než u vody filtrované.

Navrhovaný způsob umožňuje semikvantitativní hodnocení podílu plošné a bodové koroze u testovaných materiálů. Jeho přínosem je přesnější určení koroze a korozní rychlosti díky tomu, že mohou být vztaženy na korozi skutečně zasaženou plochu.

Poděkování

Výzkum byl realizován ve spolupráci s JčVaK České Budějovice. Za tuto spolupráci děkujeme a velmi si jí vážíme. Výzkum byl podpořen grantem NAZV 1G46036 a výzkumným záměrem MSM 6840770002.

Literatura

1. TNV 75 71 21 „Požadavky na jakost vody dopravované potrubím“ Mze ČR, Hydroprojekt CZ, a.s., Praha, srpen 2002
2. Grünwald, A. - Čiháková, I. - Fošumpaur, P. - Slavíčková, K. - Slavíček, M. - Šťastný, B. - Rohanová, B. – Štrausová, K.: „Inovace procesu úpravy vody a zabezpečení vysoké kvality pitné vody v distribučních sítích“ [Výzkumná zpráva projektu NAZV 1G46036]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, katedra zdravotního a ekologického inženýrství, 2007, 102 s.
3. Slavíčková, K. - Grünwald, A. - Slavíček, M. - Šťastný, B. - Štrausová, K.- Jindra, J.: Měření a hodnocení rychlosti koroze při procesu úpravy vody, sborník z konference VODA Zlín 2006, Zlín, 2006, str. 143 - 148