

MIKROBIÁLNÍ SMYČKA – DLOUHODOBÝ TEST PRO EPRI

MICROBIAL LOOP – LONG-TERM TEST FOR EPRI

Dalibor Kárník, Alena Kobzová, Martin Krondřák a Helena Suchanová

ÚJV Řež, a. s.

Abstrakt

Mikrobiální nízkotlaká smyčka je experimentální zařízení umožňující dlouhodobé korozní testy konstrukčních materiálů v prostředí chladicích vod s možností biologického oživení. V posledních dvou letech proběhl dlouhodobý test pro EPRI zaměřený na korozi kovových materiálů v prostředí slané a sladké vody ovlivněné rychlostí proudění či bez proudění ve slepých ramenech zakopaných potrubí. Výsledky testů jsou jedním ze vstupů do další verze BPWorks, který se používá pro predikci kritických míst zakopaných potrubí.

Microbial low pressure loop is an experimental device that allows long-term corrosion testing of construction materials in a cooling water environment with the potential for biological recovery. In the last two years, a long-term EPRI test was conducted for the corrosion of metallic materials in salt and fresh water environments affected by flow velocity or without flowing in the death legs of buried pipes. The test results are one of the inputs to the next version of BPWorks, which is used to predict critical locations of buried pipelines.

1. Úvod

Potrubní systémy, ve kterých proudí surová, nebo jen minimálně upravená voda, jsou ohroženy korozi a vznikem tuberkul (korozních puchýřů). Tuberkuly mohou částečně nebo úplně bránit toku média, podporovat podnánosovou a štěrbinovou korozi, zvyšovat tření a náročnost čerpání vody apod. Tuberkuly mohou vznikat buď pomocí mikrobů, kdy mikroby uchycené na stěně zachytávají železo a další minerály z hlavního proudu, nebo obecnou korozi, kdy jsou korozní produkty zachyceny na stěně potrubí. Mezi materiály potrubí, o kterých je známo, že jsou ohroženy korozi, patří uhlíková ocel, litina a slitiny mědi. Nejvíce ohrožené jsou slepé části potrubí a části s přerušovaným nebo pomalým tokem.

Dosavadní znalosti faktorů, které ovlivňují tvorbu a růst tuberkul jsou stále poměrně omezené. Mezi významné faktory patří složení vody proudící potrubím, rychlost proudění, množství rozpuštěného kyslíku, teplota, materiál potrubí, orientace slepé části potrubí a promíchávání. Lepší znalost těchto faktorů by mohla vést k lepšímu určování a kontrole kritických míst v potrubí (včetně zdokonalení modelování v BPWorks). Cílem tohoto projektu je provést testy vedoucí k lepšímu porozumění vzniku tuberkul obecnou korozi (bez přítomnosti mikrobů) a z výsledků určit, kde je největší pravděpodobnost jejich výskytu a jak jejich vzniku nejlépe předcházet.

2. Experimentální zařízení

2.1. Testované materiály

Základním materiálem byla zvolena uhlíková ocel C15E o složení uvedeném v tabulce 1. Vzorky tohoto složení byly určeny pro hodnocení koroze na přímém potrubí, na slepých T-kusech potrubního systému a na přímém potrubí s různou rychlostí toku média. V menším rozsahu byly do zkoušky zařazeny materiály šedá litina EN-GJL-250, slitina Cu-Ni 70/30 (C-71500 ASTM B-151) a slitina Cu-Ni 90/10 (C-70600 ASTM B-151). Tyto tři materiály byly instalovány pouze na přímé části potrubí a při základní rychlosti toku média (1 m/s).

2.2. Zkušební zařízení

Pro expozici byla zvolena dvoukruhová vodní smyčka o objemu 2 x 750 l média s možností regulace průtoku a teploty (Obr. 1). Konstrukčním materiálem okruhů a zásobníků

nádrží je polypropylen. Zkušební sekce s instalovanými vzorky byly zkonstruovány z PMMA. Rychlost v základním potrubním systému smyčky a T-kusů o světlosti 100 mm byla zvolena 1 m/s. Pro studium korozních procesů při vyšší rychlosti proudění byly do okruhů instalovány rovné sekce o menší světlosti (60 mm pro rychlost proudění 2,8 m/s a 40 mm pro rychlost proudění 6,3 m/s). Slepá ramena byla zkonstruována v délkách 400 a 900 mm a s různou orientací (svisle nahoru, svisle dolů a vodorovně).

Na dvou paralelních vodních smyčkách byly provedeny dva experimenty. První probíhal v prostředí modelové sladké vody při teplotách 40 °C (okruh A) a 15 °C (okruh B) a druhý v prostředí modelové slané vody při teplotách 40 °C (okruh A) a 15 °C (okruh B). Složení modelových prostředí je uvedeno v tabulce 2. Obsah rozpuštěného kyslíku byl ponechán rovnovážný se vzduchem.

Celková plánovaná doba expozice jednoho experimentu byla zvolena 84 dní, přičemž vzorky pro analýzu korozního poškození byly odebírány vždy po 14 dnech.

3. Průběh experimentu a výsledky

3.1. Hodnocení průběhu experimentu

Teplota byla regulována od teplotních snímačů (odporové platinové teploměry) umístěných v zásobních nádržích a byla udržována s přesností ± 1 °C. V případě potřeby byly okruhy chlazeny přes výměník instalovaný v průtočné zásobní nádrži každého z okruhů. Jako zdroj tepla pro ohřev média na 40 °C byl většinou dostatečný hydrodynamický ohřev od chodu cirkulačních čerpadel.

V průběhu expozice byl periodicky měřen obsah rozpuštěného kyslíku optickou sondou WTW (FDO 70x IQ F). Podle očekávání byly zjištěny hodnoty blízké rovnovážným a s nevýznamným rozptylem hodnot (40 °C 6,13 - 6,33 ppm; 15 °C 9,34 - 9,67 ppm). V zaslepených T-kusech nebyla měření prováděna.

V průběhu měření obsahu rozpuštěného kyslíku v korozním médiu byl kontrolován vnitřní povrch víka zásobní nádrže a byl zjištěn vysoký stupeň oživení – na povrchu byla hmatem zjištěna slizká vrstva biofilmu. V nádrži s teplotou 40 °C byla vrstva biofilmu zjištěna prakticky okamžitě (48 hodin po startu experimentu), u nádrže s teplotou 15 °C byla při prvním měření vrstva subjektivně slabší, při dalších měřeních (po 10 dnech provozu) byla situace v obou nádržích subjektivně shodná.

3.2. Hodnocení korozních zkoušek na přímém potrubí

U uhlíkové oceli je jednoznačně zřetelná orientace korozních vrstev ve směru proudění pro mořskou vodu již od 2,8 m/s a pro sladkou vodu při 15 °C od 6,3 m/s a při 40 °C od 2,8 m/s. Korozní úbytky a korozní rychlosti vykazují s dobou experimentu mírný pokles, ukazující na nezanedbatelný ochranný účinek korozní vrstvy. Tento efekt je výraznější v případě sladké vody, u mořské vody při 40 °C je efekt potlačen a korozní rychlost má při vysoké rychlosti proudění s časem dokonce rostoucí tendenci.

Největší korozní napadení ve sladké vodě bylo zjištěno u šedé litiny a v mořské vodě u uhlíkové oceli. Koroze šedé litiny probíhala relativně rovnoměrně po celém exponovaném povrchu, a to i v prostředí mořské vody. U uhlíkové oceli byla koroze méně rovnoměrná. Korozní rychlosti šedé litiny i uhlíkové oceli v mořské vodě při 40 °C dosahovaly velmi vysokých hodnot a nebyl zde patrný ochranný vliv vzniklé korozní vrstvy.

Korozní odolnost obou typů měděných slitin byla výrazně vyšší, ve sladké vodě byly korozní úbytky blízké nule. V mořské vodě se v obou případech korozní rychlost pohybovala pod hranicí 0,15 mm/rok. U těchto slitin bylo patrné korozní poškození mechanismem důlkové koroze. Výrazné bylo zejména u materiálu Cu-Ni 90/10 při 40 °C, méně při 15 °C, u materiálu Cu-Ni 70/30 jsou důlky po expozici při 15 °C.

Pro zjištění vlivu obvodové orientace korozních vzorků na rychlost koroze byly instalovány v přímých úsecích smyčky vzorky po obvodu potrubí. Tyto vzorky byly vyjmuty a analyzovány na konci experimentu. Ze získaných dat nelze potvrdit ani vyvrátit předpokládanou vyšší korozní rychlost u vzorků v dolní poloze a vzorků ve směru vně okruhu.

3.3. Hodnocení korozních zkoušek na zaslepených T-kusech

Faktorem, který významně ovlivňuje korozní děje v zaslepených T-kusech, je změna teploty a s ní spojený obsah rozpuštěného kyslíku v dlouhých, a to především vertikálně orientovaných T-kusech, kde dochází ke stratifikaci na základě hustot.

Průběh korozních rychlostí v lokalitě zaslepeného T-kusu ve sladké vodě má klesající charakter jak při teplotě 15 °C, tak při 40 °C. Tvořící se korozní produkty mají částečně ochranný charakter a v počátečních fázích korozního procesu korozi zpomalují. Výsledné hodnoty korozních rychlostí v jednotlivých typech T-kusů se pro teplotu 15 °C liší jen málo, typickou je hodnota kolem 0,12 mm/rok. V případě média o teplotě 40 °C je výsledný rozptyl větší, mezi 0,06 a 0,15 mm/rok. Nejnižší korozní rychlost byla zaznamenána u dlouhého T-kusu s orientací dolů, kde lze předpokládat nejnižší teplotu. Ve všech případech není patrný příliš významný rozdíl mezi dlouhými a krátkými T-kusy.

Průběh korozních rychlostí v lokalitě zaslepeného T-kusu v mořské vodě má při teplotě 15°C klesající charakter podobně jako ve vodě sladké. I hodnota korozní rychlosti je ve většině lokalit podobná. Zřetelně odchylený je průběh korozní rychlosti v lokalitě dlouhého T-kusu s orientací vzhůru, kde je hodnota korozní rychlosti téměř dvojnásobná. Lze předpokládat, že důvodem je vyšší teplota média vlivem gravitační stratifikace.

V případě mořské vody s teplotou 40 °C jsou nejvyšší korozní úbytky u krátkých T-kusů. Důvodem je opět vyšší teplota oproti dlouhým T-kusům, kde jsou větší tepelné ztráty.

4. Diskuze

Získané experimentální výsledky jsou ovlivněny z pohledu korozních procesů velmi krátkou dobou expozice. Modelování reálných podmínek na laboratorním zařízení poloprovozní velikosti s omezeným objemem modelového pracovního média je velmi komplikované zvláště v případě významné účasti mikrobiologicky ovlivněných korozních procesů. Přesto jsou v získaných výsledcích zřejmé jisté trendy, které lze považovat za natolik obecné, že jejich uplatnění lze očekávat i v reálných provozních podmínkách.

Relativně malý objem a částečně uzavřený systém experimentální vodní smyčky limituje délku korozních experimentů – v průběhu času dochází k selektivnímu růstu pouze některých mikroorganismů a ke vzniku prostředí z mikrobiologického pohledu výrazně odlišného od provozních okruhů, kde je mikrobiologické oživení do značné míry stabilní (s pochopitelnými sezonními výkyvy).

5. Závěr

- Okruhy k monitorování koroze instalované na skutečných chladicích okruzích musí umožňovat uchovávání vzorků po dobu delší než jeden rok.
- Chování ve slepých T-kusech je odlišné od hlavního toku. Závisí také na orientaci.
- Rychlost koroze ovlivňuje koncentrace rozpuštěného kyslíku, která závisí na teplotě.
- Slaná voda je agresivnější než sladká voda.
- Odolnost proti korozi testovaných materiálů je podle očekávání.

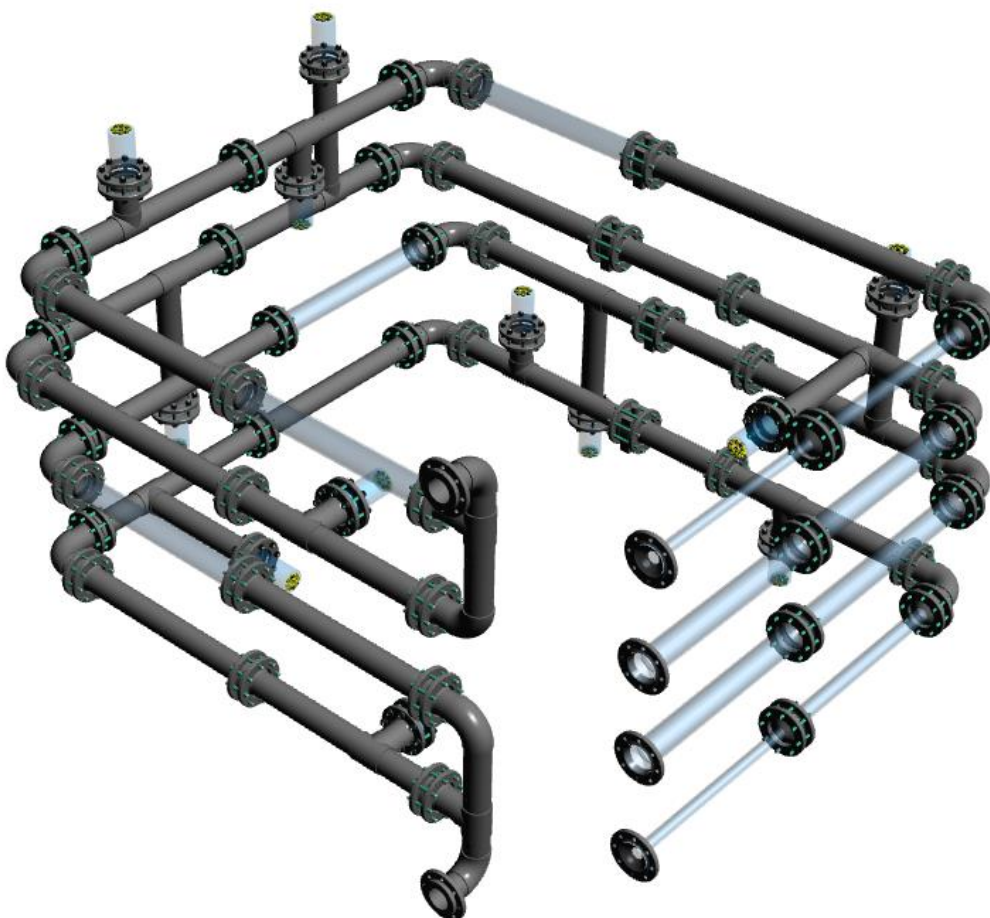
Tabulky a obrázky

Tabulka 1 Složení uhlíkové oceli C15E

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,12-0,19	0,35-0,65	0,15-0,40	max 0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,040	max 0,040

Tabulka 2 Složení modelových prostředí přírodní a mořské vody v porovnání s limity

Prvek/ Obsah (mg/l)	Cl-	Na+	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	pH (1)	Vodivos t (μ S/cm)	Celk. tvrd.	Ca tvrd.	Mg tvrd.	Celk Alkal
Modelová sladká voda	11,7	52	12	127,6	40	7,00	489	150	100	50	110
Limity EPRI	5- 1000	-	-	5-200	-	6,5- 8,5	150- 2000	5-300	3- 200	2-100	2-350
Modelová mořská voda	19357	326	158, 4	904	168	7,70	50300	1080	420	660	720
Limity EPRI	>2500	-	-	50- 1000	-	7-8,5	>4000	50- 2000	30- 800	20- 1200	20- 800



Obr. 1 Schéma dvou autonomních okruhů vodní smyčky