



*Výzkum, vývoj a inovace v oboru materiály, koroze,
protikorozní ochrana a povrchové úpravy materiálů*

170 00 Praha 7 - Holešovice, U
Měšťanského pivovaru 934/4
www.svuom.cz

Korozní průzkum ČOV Modřice

Výzkumná zpráva 1075/13/2022

Zadavatel: VA TECH WABAG Brno s.r.o..
Železná 492/16
619 00 Brno

Zpracoval: Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.
Ing. Daniel Dobiáš, Ph.D. – externí spolupráce

Počet listů: 14

V Praze dne 8.8.2022

Výsledky hodnocení a zkoušek se vztahují pouze ke zkoušenému vzorku (materiálu, výrobku, prostředí, povrchové úpravy, apod.). Bez písemného souhlasu zpracovatele nesmí být zpráva reprodukována jinak než celá.

IČO: 25794787
DIČ: CZ25794787

KB Praha 7
č.ú. 3636530297/0100

Telefon
220801297, 220809981

E-mail
info@svuom.cz

Firma je zapsána do obchodního rejstříku vedeného Městským soudem v Praze, oddíl C, vložka 70913

Úvod

Na základě smlouvy č. N2023040 bylo ve prostorech ČOV Modřice provedeno a zpracováno do zprávy:

- místní šetření a analýzy odebraných vzorků,
- posouzení korozní agresivity pro beton a návrh vhodného materiálu,
- posouzení korozní agresivity pro kovové materiály a doporučení vhodných materiálů, resp. PKO.

Základní konstrukční materiály ČOV jsou betony a oceli (s různými povrchovými úpravami – zinkové povlaky, nátěrové systémy), materiály elektrotechnického vybavení jsou měď a stříbro.

Vzhledem k tomu, že pracovníci SVÚOM s.r.o. jsou odborníci na kovové materiály, byl pro posouzení korozní agresivity pro beton a návrh vhodného materiálu, přizván ke spolupráci odborník z ČVUT Kloknerova ústavu, Ing. Daniel Dobiáš, Ph.D..

1 Podkladové dokumenty, technické normy a předpisy

K zpracování posudku byly využity podkladové dokumenty, ustanovení a doporučení technických norem a jiných předpisů:

- ČSN EN ISO 9223 *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosféry – Klasifikace, stanovení a odhad*,
- ČSN EN ISO 12944-2 *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*,
- ČSN EN 206 + A2 *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*,
- ČSN 03 8375 *Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi*,
- ČSN EN 60721-3-3 *Klasifikace podmínek prostředí - Část 3: Klasifikace skupin parametrů prostředí a jejich stupňů přísnosti – Oddíl 3: Stacionární použití na místech chráněných proti povětrnostním vlivům*
- ČSN IEC 654-4 *Provozní podmínky pro měřicí a řídicí zařízení průmyslových procesů. Část 4: Vlivy koroze a eroze*
- ČSN EN 10088-1 *Korozivzdorné oceli - Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí*
- ČSN EN 1993-1-4 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-4: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro korozivzdorné oceli*
- ČSN EN 12502-4 *Ochrana kovových materiálů proti korozi - Návod na stanovení pravděpodobnosti koroze v soustavách pro distribuci a skladování vody - Část 4: Faktory ovlivňující korozivzdorné oceli*
- AQUATIS, Kalové hospodářství ČOV Brno – Modřice, změna DUR, souhrnná technická zpráva, 09/2021,

2 Specifikace prostředí a technologie

Čistírna odpadních vod Brno – Modřice se nachází asi 10 km jižně od města Brna v okrese Brno – venkov. Čistírna odpadních vod v Modřicích slouží k čištění dešťových i splaškových odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok nejen města Brna, ale i okolních sídelních útvarů.

Prostory, pro které je proveden odhad korozní agresivity, zahrnuje celé nově budované **kalové hospodářství**, kromě zahuštění primárního kalu. Umístění nových objektů je navrženo na volné plochy v areálu ČOV – Obrázek 1. Tyto volné plochy vznikly při rekonstrukci ČOV v letech 2001 až 2004 demolicí původních objektů biologické linky čištění odpadních vod – Obrázek 2.

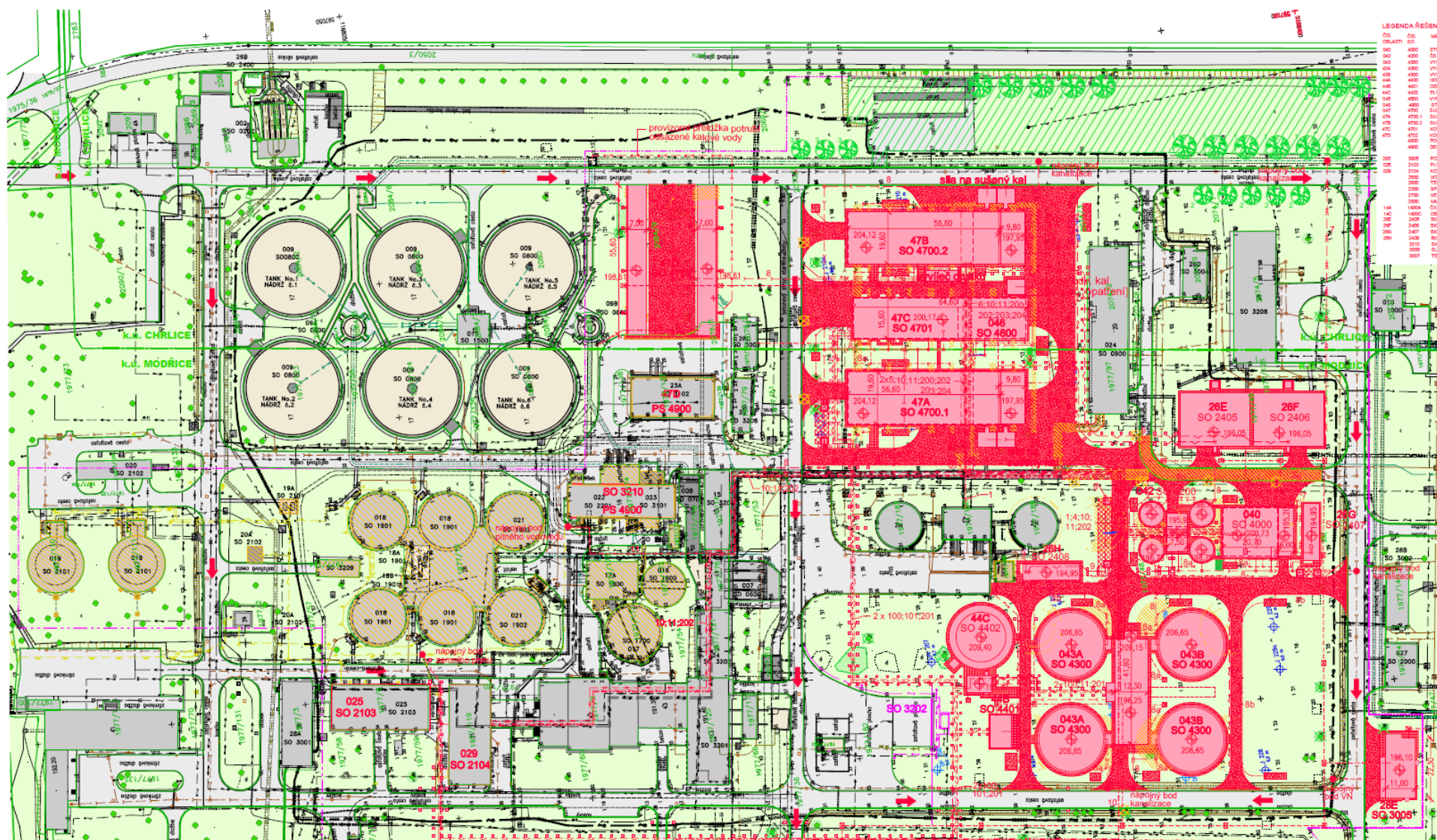
Zachycený primární kal v usazovacích nádržích bude čerpán do dvojice gravitačních zahušťovacích nádrží, kde dojde k odsazení kalové vody. Sedimentovaný kal u dna nádrže bude čerpán na separátor pevných částic, kde dojde ke zbavení primárního zahuštěného kalu hrubých nečistot. Zahuštěný primární kal bude zahuštěn na 5% koncentrace sušiny v kalu. Po meziakumulaci vyčištěného zahuštěného primárního kalu v jímce bude zahuštěný primární kal čerpán do směsné nádrže kalu. Odsazená kalová voda bude čerpána přes akumulační jímku zpět do procesu čištění. Zahuštěný směsný kal bude akumulován po dobu 20 dnů ve čtveřici vyhnívacích nádrží. Obsah nádrží bude udržován o konstantní teplotě cca 38°C pomocí tepelných výměníků voda/kal osazených na okruhu recirkulace každé vyhnívací nádrže.

Nové objekty kalového hospodářství tvoří:

- objekt zahuštění přebytečného kalu – zahušťovací odstředivky, flokulační stanice, 3 jímky, nádrže směsného kalu s odtokovým a vypouštěcím potrubím, rozvodna a strojovna vzduchotechniky,
- čerpací stanice směsného kalu (2 kruhové železobetonové zastropené nádrže uprostřed se strojovnou) s odtokovým a vypouštěcím potrubím,
- vyhnívací nádrže (4 kruhové železobetonové nádrže uprostřed se strojovnou) s odtokovým a vypouštěcím potrubím - nádrže budou intenzivně míchány pomocí externě umístěných míchacích sestav,
- vyrovnávací nádrže (2 kruhové nádrže uprostřed se strojovnou) s odtokovým a vypouštěcím potrubím,
- odvodnění kalu,
- kotelna pro sušení kalu,
- objekt sušení kalu (2 samostatně stojící objekty),
- plynojem na kalový plyn,
- kontejnerové stání (2 samostatně stojící objekty),
- podružné trafostanice,
- 4 biofiltry s postřikovacím zařízením a aktivní náplní – odpadní vzduch ze sušení kalu bude po proprání v pračce vzduchu umístěné v objektech sušení kalu vypouštěn přes biofiltry ovzduší,
- spojovací potrubí,
- instalační kolektory, skříňové rozvaděče, zásuvkové skříně a vypínače stavební elektroinstalace, optické datové segmenty atd.

Místnosti rozvoden, které jsou umístěny v nadzemním podlaží budou klimatizovány.

Vnitřní prostory objektu zahuštění přebytečného kalu, objektu zahuštění primárního kalu, objektu strojního odvodnění vyhnílého kalu a z objektů zahušťovacích nádrží budou nuceně odvětrávány a vzduch bude zbaven zápachu v dezodorizačních biofiltrech.



Obrázek 1: Areál ČOV s nově projektovanými objekty



Obrázek 2: Areál ČOV Modřice určený k výstavbě nových objektů

Pro volbu materiálů a predikci jejich životnosti je nutné vycházet z několika faktorů:

- korozní agresivity prostředí, tj. technického údaje, který kvantifikuje předpokládanou korozní rychlost kovu v daném prostředí,
- korozního mechanismu jednotlivých kovových materiálů, především jejich náchylnost k lokálním formám korozního napadení v důsledku konstrukčního řešení nebo specifického znečištění v daném prostředí.

V prostředí ČOV se vyskytují dva základní typy prostředí, kterým jsou materiály vystaveny:

- atmosférické prostředí – rozhodující parametry jsou teplota, vlhkost, znečištění (H_2S),
- vodné prostředí – rozhodující parametry jsou teplota, pH, obsah solí (chloridy, sírany).

3 Posouzení korozní agresivity pro beton a návrh vhodného materiálu

Dne 21.6.2022 byla provedena prohlídka stávajícího stavu betonových konstrukcí kalového hospodářství ČOV Brno – Modřice. Při prohlídce bylo shledáno, že budovy a nádrže jsou kryté, kal je dopravován v uzavřeném potrubí a nedochází tedy ke styku kapalného prostředí s betonovou konstrukcí.

Při vizuální prohlídce betonových konstrukcí ve stávajících objektech v areálu ČOV, které jsou cca 40 - 50 let staré, nebyla odhalena degradace betonu, a to ani v místech se zaznamenaným zápachem sulfanu H_2S . Beton byl porušen pouze v jedné budově (Obrázek 3), kde dle sdělení provozovatele ČOV došlo k havárii a úniku vlhkosti v této budově.



Obrázek 3: Degradace povrchové vrstvy betonu v místě zvýšené vlhkosti stávající ČOV

Pro korozi betonové konstrukce je rozhodující vlhkost prostředí. Pokud je beton v suchém prostředí, tak ani agresivní látky rozptýlené ve vzduchu nejsou pro betonovou konstrukci nebezpečné. Tou agresivní látkou v případě kalového hospodářství ČOV je např. sulfan (H_2S), který byl na mnoha místech ČOV cítit (jedná se o typické znečištění vyskytující se v ČOV z odpadní vody, kalu, apod.). V suchém prostředí ke korozi betonu nedochází, ale jakmile dojde např. ke srážení vlhkosti na betonových površích (Obrázek 3 ze stávajícího kolektoru), může dojít za přítomnosti sirovodíku k jeho rozpouštění v kondenzované vodě a následně vlivem bakterií oxidujících anorganické sírné látky je oxidován na kyselinou sírovou, kdy dochází k významnému snížení pH a tedy k rozpouštění cementového tmelu.

Z provedených rozborů, zpráva AQUATIS, vyplývá, že podzemní voda z hlediska chemického působení vody na beton v zájmovém prostoru vykazuje slabě agresivní chemické prostředí XA1.



Obrázek 4: Srážení vlhkosti na betonovém trámu ve stávajícím kolektoru

V normě ČSN EN 206 + A2 jsou pro chemické působení na beton stanoveny 3 stupně prostředí podle koncentrace agresivních látek na beton a hodnoty pH:

- pro betonové konstrukce kalového hospodářství, kde není předpoklad úniku agresivních plynů (např. H_2S), je navržen beton pro stupeň chemického prostředí **XA1**,
- v místech, kde je předpoklad úniku nebo tvorby sirovodíku (H_2S) a není předpoklad, že by se v těchto místech vyskytovala zvýšená vlhkost, je navržen beton pro stupeň agresivního prostředí **XA2** bez nutnosti použití síranovzdorného cementu,
- v těch částech betonové konstrukce, kde je předpoklad úniku nebo tvorby sirovodíku (H_2S) a je zvýšené riziko kondenzace vlhkosti, je navržen beton pro stupeň agresivního prostředí **XA3**. V těchto místech a v místech s větším rizikem provozních problémů (např. únik kapalného prostředí) je doporučena aplikace sekundární ochrany betonu v podobě ochranného nátěru.

Alternativou k výše uvedenému řešení pro betony pro stupeň XA3, kde je zvýšené riziko úniku a tvorby sirovodíku a zvýšené riziko kondenzace vlhkosti, je použít beton pro stupeň agresivního prostředí **XA1** s nutností **aplikace sekundární ochrany** betonu v podobě ochranného nátěru odolávajícímu velmi nízkému pH.

4 Posouzení korozní agresivity pro kovové materiály a návrh vhodného materiálu

Při místním šetření bylo sledováno i materiálové složení technologie (Obrázky 5 - 7):

- základní nosné konstrukce technologických zařízení, kabelových lávek apod. jsou provedeny z oceli s povlakem žárového zinku, pouze výjimečně z oceli s nátěrovým povlakem,
- potrubí a zařízení jsou převážně z korozivzdorné oceli (bez specifikace),
- elektrotechnické vybavení – skříně jsou z oceli s nátěrovým povlakem, vlastní vybavení – měď, ocel se zinkovým povlakem.

4.1 Atmosférické prostředí

V prostředí podzemních kolektorů je dlouhodobě vysoká vlhkost ovzduší, dochází ke kondenzaci a skapávání vody na všechny materiály.

Při místním šetření byl odebrán vzorek tohoto kondenzátu (Obrázek 8) a byla stanovena jeho hodnota pH (vzhledem k objemu vzorku nebylo možné provést další analýzy). Hodnota pH byla 7,62.



Obrázek 8: Vzorek kondenzátu

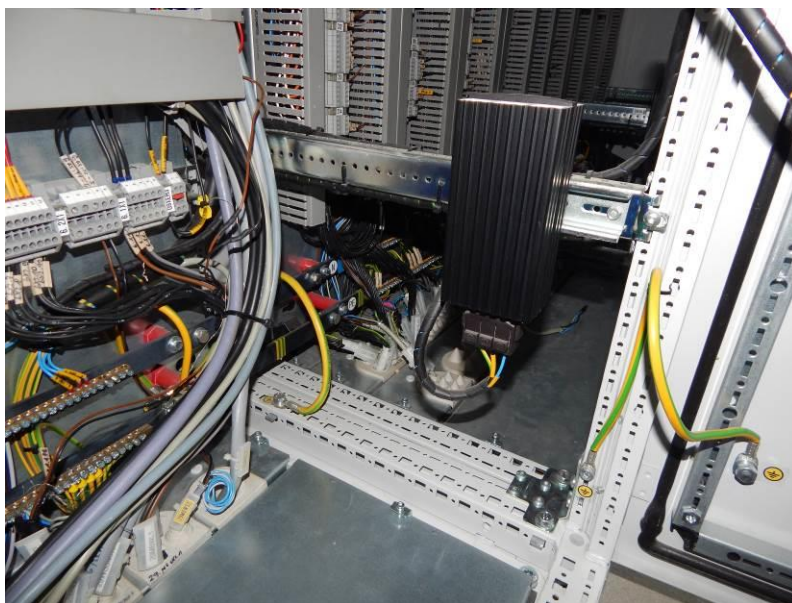
Vysoká vlhkost má negativní vliv na zinkové povlaky – na stávajících konstrukcích jsou tyto povlaky pokryty různě tenkou/objemnou vrstvou bílých korozních produktů zinku, lokálně jsou tyto povlaky zkorodovány a vzniká korozní napadení podkladové oceli. Pro odvození korozní agresivity těchto prostředí lze použít výsledky zkoušek provedených v obdobných prostředích (podzemní kolektory, podzemní prostory ÚV Želivka), kde není žádné výrazné znečištění ovzduší – prostředí 1 – viz Tabulka 1.



Obrázek 5: Příklady materiálové skladby nosných konstrukcí



Obrázek 6: Korozi-vzdorná ocel



korozní napadení měděné sběrnice

Obrázek 7: Příklad elektrotechnického vybavení

Prostředí 2 je typické pro prostředí ČOV, kde nejsou otevřené hladiny odpadní vody, ale ovzduší je znečištěno sulfanem (H_2S). Orientační měření tohoto znečištění v prostředích ČOV ukázala výrazné hodinové rozdíly s průměrnou hodnotou $425 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a maximální hodnotou $1275 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Prostředí 3 zahrnuje prostory s nádržemi otevřenou hladinou odpadní vody, kde se vyskytuje jak vysoká vlhkost, tak vysoká úroveň znečištění sulfanem (H_2S). Pravděpodobně tomuto prostředí odpovídají všechny nádrže (vyrovnávací, vyhnívací, sedimentační).

Tabulka 1 – Korozní agresivita prostředí ČOV podle ČSN EN ISO 9223

materiál	umístění		
	prostředí 1	prostředí 2	prostředí 3
uhlíková ocel	C1	C2	C3
zinek	C1	C2	C3
měď	C1	C4	>> CX

V případě použití konstrukční oceli je nutné zvolit takový způsob protikoroze ochrany, který bude odpovídat požadované životnosti a stupni korozní agresivity – viz Tabulka 1. Vhodný typ nátěru lze určit podle doporučení uvedených v ČSN EN ISO 12944-5.

Životnost obvykle používaných povlaků žárového zinku s tloušťkou min $75 \mu\text{m}$ je v typových prostředích ČOV 1 a 2 dostatečná. Pro prostředí 3 je vhodné použít kombinovaný způsob PKO, tj. kombinace zinkového povlaku s nátěrovým systémem. Nátěrový systém lze zvolit podle ČSN E ISO 12944-5 podle požadované životnosti.

Materiálem, který je nejvíce korozně ovlivněn prostředím ČOV je měď a stříbrné povlaky pro elektrotechnické vybavení. Korozní úbytky nejsou příliš vysoké, ale na povrchu těchto kovů vznikají velmi objemné vrstvy korozních produktů, které velmi negativně ovlivňují elektrické vlastnosti povrchu. Dochází často ke ztrátě funkčnosti. V návrhu projektu je uvažováno s maximálním možným omezením vlivu znečištění sulfanem z provozních prostředí (vnější vstupy do rozvodných zařízení, nucená ventilace apod.). Přesně bude možné příznivý vliv těchto opatření posoudit až během zkušebního provozu. Lze doporučit aplikaci speciálních konzervačních povlaků na tyto materiály, který neovlivňuje elektrické vlastnosti. Ověření tohoto prostředku v prostředí ČOV probíhá.

Při místním šetření bylo zjištěno, že některé povrchy jsou pokryty úsadami kalů z odpadní vody, kdy při havárii došlo ke kontaminaci povrchu – Obrázek 9. Vzorek úsad byl převeden do vodného výluhu a byly v něm stanoveny chloridy ($3,3 \text{ mg/g}$) a sírany ($5,5 \text{ mg/g}$) – tyto hodnoty jsou z hlediska korozního napadení nízké. Kromě toho má povrch tohoto zařízení vyšší teplotu a riziko korozního napadení je velmi nízké.



Obrázek 9: Vzorek úsad na zařízení

4.2 Vodné prostředí

Nejčastějším materiálem používaným pro potrubí a podobná zařízení v technologiích ČOV je austenitická korozivzdorná ocel 1.4301 (X5CrNi18-10). Pravděpodobně je použita i na stávajícím zařízení a potrubí na ČOV Modřice.

Údaje o korozní rychlosti korozivzdorné oceli typu 1.4301 (AISI 304) ve vybraných sekcích zařízení ČOV jsou prakticky stejné a pohybují se do 0,004 mm/r rovnoměrného korozního úbytku do hodnoty pH 4 s rizikem výskytu štěrbinové nebo důlkové koroze. Nejvyšší korozní úbytky byly zjištěny pro prostory:

- vtok odpadních vod,
- vakuový filtr kalů,
- usazovací nádrž s dávkováním chloridu železitého.

Na vnitřní povrch potrubí z korozivzdorné oceli v ČOV působí celá řada negativních faktorů, které snižují jeho korozní odolnost. Prostředí obsahující H_2S vede ke snížení schopnosti povrchu korozivzdorné oceli k pasivaci, ale jinak nezvyšuje jejich korozní napadení. Velký význam má koncentrace chloridů. Korozivzdorná ocel 1.4301 je doporučována pro vodné prostředí s maximálním obsahem chloridů 200 mg.l^{-1} , bez vlivu dalších korozních stimulátorů jako jsou např. bakterie vyvolávající MIC. V prostředí obsahujícím bakterie vyvolávající MIC je kritická hodnota koncentrace chloridů již 100 mg.l^{-1} .

Komunální odpadní vody obvykle obsahují cca 0,1 hmot. % organických látek, chloridy ($100 - 200 \text{ mg.l}^{-1}$) a sulfidy ($0,1 - 0,7 \text{ mg.l}^{-1}$). Obsah chloridů se během zpracování odpadních vod nesnižuje. V Tabulce 2 je uvedeno průměrné složení provozní vody z několika ČOV včetně obsahu bakterií způsobujících vznik mikrobiálně indukovaného korozního napadení (MIC).

Tabulka 2 – Analýza provozní vody ČOV

ČOV	koncentrace (mg.l ⁻¹)		BART testy (cfu/ml)	
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SRB	IRS
Praha	110	125	1 400	35 000
Všetaty	133	150	500 000	570 000
Ivančice	133	150	115 000	570 000

V užitkové vodě v ČOV Modřice jsou koncentrace chloridů a síranů v r. 2022:

- chloridy v průměru 152 mg/l, maximum 204 mg/l;
- sírany v průměru 136 mg/l, maximum 187 mg/l.

Tyto hodnoty jsou blízké hodnotám zjištěným v jiných ČOV. Obsah korozně agresivních bakterií nebyl sledován. V kalové vodě bude obsah aniont obdobný.

V řadě ČOV byly zjištěny problémy s touto korozivzdornou ocelí způsobené lokálním korozním napadením – důlkovou korozí, štěrbinovou korozí, korozí pod úsadami, mikrobiálně indukovanou korozí. Všechny tyto lokální korozní mechanismy vedou ke vzniku důlků a následně k prokorodování stěny potrubí. V řadě případů došlo ke koroznímu napadení v důsledku špatného postupu svařování.

Obecně platí, že odolnost korozivzdorných ocelí proti lokálním typům korozního napadení, např. důlková koroze vyvolaná chloridy, MIC, je daná hodnotou PREN, který se vypočte ze skutečného chemického složení oceli, resp. legujících prvků. Pro austenitické oceli třídy 300 je hodnota $PREN = \%Cr + 3,3 \%Mo$, tj. pro korozivzdornou ocel 1.4301 $PREN = 19$. Ani použití korozivzdorné oceli vyšší jakosti, obvykle 1.4403 (AISI 316) bylo z korozního hlediska dostatečné ($PREN = 22$). Pro prostředí s rizikem MIC je doporučována hodnota $PREN > 40$.

Aby se předešlo všem výše uvedeným problémům, je vhodné i vzhledem k obsahu chloridů v užitkové vodě, použít výše legovanou korozivzdornou ocel, a i při použití korozivzdorné oceli 1.4301 dodržet celou řadu pravidel pro zpracování tohoto materiálu (svařování v inertní atmosféře – lépe dusík než argon, odstranění tepelně ovlivněných ploch okolo svaru omořením, přepasivování celého potrubí po dokončení montáže, vhodné konstrukční řešení minimalizující počet svarů atd.).

Korozním problémům lze předejít použitím potrubí z polymerních materiálů.

Závěr

Provozní objekty a technologie nově budovaného kalového hospodářství zahrnují celou řadu provozních podmínek a korozní agresivita jednotlivých mikroklimat těchto provozů bude daná konkrétními parametry.

V této zprávě byly odvozeny stupně korozní agresivity pro beton a pro základní konstrukční kovy na základě výsledků místního šetření a dlouhodobých znalostí z prostředí ČOV. Přesné korozní namáhání bude možné určit až během zkušebního provozu kalového hospodářství. Lze doporučit, aby v rámci zkušebního provozu bylo provedeno měření koncentrace sulfanu v jednotlivých objektech a popř. i stanoven stupeň korozní agresivity přímo expozicí standardních kupónů použitých kovů.