

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

KLOKNERŮV ÚSTAV

Šolínova 7, 166 08 Praha 6 – Dejvice

**Expertní zpráva č.
1900J377**

Datum vydání zprávy

2. prosince 2019

Oddělení KÚ

Oddělení stavebních materiálů
tel. +420 224 353 537

Objednatel: Labe aréna, z.s.
Nábřežní 835/2
411 08 Štětí

Expertní zpráva:

**Zhodnocení stávajícího stavu stavby a životnosti kovových
komponent veslařského bazénu ve Štětí z pohledu
korozního inženýrství**

Vypracoval:

Ing. Petr Pokorný, Ph.D.

Spolupráce:

Odpovědný řešitel:

Ing. Petr Pokorný, Ph.D.

Vedoucí oddělení:

Ing. Lukáš Balík, Ph.D.

Ředitel KÚ:

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

Výtisk číslo:

1 2 3 4

Rozdělovník:

Objednatel: 3x

Archiv KÚ: 1x

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
v Praze
Kloknerův ústav
166 08 Praha 6, Šolínova 7 (1)

ANOTACE

Tato expertní zpráva zhodnocuje aktuální stav použitých kovových komponent nedostavěného veslařského bazénu v Labe aréně ve Štětí zejména z pohledu korozního inženýrství. Dále bude výpočtovými modely shrnuta životnost jednotlivých použitých kovových komponent za předpokládaných parametrů provozu. Na základě těchto cílů byl realizován v oblasti staveniště korozní průzkum, byly odebrány vzorky k potřebným chemickým analýzám a dále zjištěny detailní informace nezbytné k provedení výpočtů.

Klíčová slova: koroze ve vodách, korozivzdorná ocel, povlak žárového zinku, proudění, GD-OES, životnost, svary

OBSAH

1. Předmět expertní zprávy.....	5
2. Podklady a literatura.....	5
3. Vizuální korozní průzkum.....	7
4. Ověření mikroelementárního složení oceli spojovacího materiálu.....	17
5. Měření tloušťky povlaku žárového zinku.....	18
6. Chemická analýza cirkulující vody.....	19
7. Výpočtové modely pro zhodnocení životnosti kovových materiálů.....	20
8. Závěry.....	25
9. Poznámka.....	25

1. Předmět expertní zprávy

Tato expertní zpráva je vypracována na základě objednávky společnosti Labe aréna, z.s. v zastoupení panem Michalem Kurfirstem.

Expertní zpráva na základě vlastního korozního průzkumu, detailních chemických analýz a poskytnutí doplňujících informací zhodnocuje aktuální stav jednotlivých kovových komponent na staveništi veslařského bazénu v prostorách Labe arény ve Štětí z pohledu korozního inženýrství. Dále na základě poskytnutých a získaných informací zhodnocuje životnost kovových komponent za předpokládaných parametrů provozu veslařského bazénu.

V rámci analýz a souvisejících prací bylo provedeno:

- vizuální korozní průzkum na místě stanoviště a zajištění potřebných informací (uspořádání), měření tloušťky povlaku žárového zinku na válcových profilech (objímky)
- analýza odebraného vzorku vody ze studny a spojovacího materiálu (šroubový spoj)
- realizace výpočtových modelů pro predikci životnosti kovových komponent za předpokládaných parametrů provozu veslařského bazénu

2. Podklady a literatura

- [1] D. Vojtěch, Materiály a jejich mezní stavy, VŠCHT Praha, Praha 2010.
- [2] Ch. Leygraf, T. Graepel, Atmospheric Corrosion, (first edition) Electrochemical society series, Stockholm, 2009.
- [3] R. Bartoníček a kol. Koroze a protikorozní ochrana kovů, Academia – nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1966.
- [4] K. Kreislová, P. Strzyž, MPO-FRT11/560 – Optimalizace výrobních a provozních podmínek žárově zinkovaných trubek pro systémy vnitřního rozvodu, SVÚOM a AČSZ, Praha 2011.
- [5] D. Landolt, Corrosion and surface chemistry of metals, Epfl Press, Lausanne 2007
- [6] P. Cutler, Stainless steels and drinking water around the world, (research report), Birmingham 2003.
- [7] H. Eriksson, A. Hirnová, Příručka žárového zinkování, AČSZ, Praha 2007.

- [8] J. Pollert a kol. Projekt Labe arena (Návrh geometrie a optimalizace proudění), ČVUT – Fakulta Stavební, Praha 2015.
- [9] C.H. Housecroft, A. G. Sharpe: Anorganická chemie, VŠCHT Praha, Praha 2014.
- [10] A. Muck, Základy strukturní anorganické chemie, Academia, Praha 2006.
- [11] P. Atkins, P. de Julio, Fyzikální chemie, VŠCHT Praha, Praha 2013.
- [12] M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solutions, 2nd ed; National Association of Corrosion Engineers-Cebelcor:Houston, Texas, 1974.
- [13] V. Krejčík, Povrchová úprava kovů I, SNTL, Praha 1987.
- [14] M. Černý, Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů; SNTL, Praha 1984.
- [15] P. Fremunt et al., Konstrukční oceli, CERM, Brno 1996.
- [16] F. F. Berg, Korrosionsschaubilder – Corrosion diagrams (Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure) VDI-Verlag GMBH Düsseldorf (2nd), Düsseldorf 1969.
- [17] D. Vojtěch, Kovové materiály, skripta VŠCHT Praha, Praha 2006.
- [18] B. Kratochvíl, V. Švorčík, D. Vojtěch, Úvod do studia materiálů, skripta VŠCHT Praha, Praha 2005.
- [19] R. Winston Revie, Uhlig's Corrosion Handbook (third edition), Wiley, London 2011.
- [20] R. Bartoníček, Volba materiálu a protikoroze ochrana v chemickém průmyslu, SNTL, Praha 1980.
- [21] J. Janovec, K. Macek, P. Zuna, Fyzikální metalurgie, skripta ČVUT v Praze (FS), Praha 2008
- [22] J. Pluhař, Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu, SNTL, Praha 1987.
- [23] J. Fiala, V. Mentl, P. Šutta, Struktura a vlastnosti materiálu, Academia, Praha 2003.
- [24] J. R. Davis, Stainless steels-ASM Speciality Handbook, ASM International, Ohio, 1999.
- [25] M. Hluchý, J. Kolouch, Strojírenská technologie -1. Nauka o materiálu, Scientia, Praha 1998.
- [26] M. Hluchý, O. Modráček, R. Paňák, Strojírenská technologie -1. (2. díl), Metalografie a tepelné zpracování, Scientia, Praha 1999.
- [27] M. Hluchý, J. Kolouch, R. Paňák, Strojírenská technologie 2. (1. díl), Polotovary a jejich technologičnost, Scientia, Praha 1998.
- [28] M. Hluchý, M. Haněk, Strojírenská technologie 2. (2. díl), Koroze, základy obrábění, výrobní postupy, Scientia, Praha 1998.

3. Vizuální korozní průzkum na místě staveniště (objekt veslařského bazénu)

Korozní průzkum zabudovaných ocelových komponent rozestavěného veslařského bazénu areálu Labearény ve Štětí byl realizován 17. 9. v dopoledních hodinách. Vlastní zastřešený objekt nedokončeného veslařského bazénu (**Obr. 1.** a **Obr. 2.**) byl zpřístupněn panem Michalem Kurfirstem.

Úvodní část korozního průzkumu zahrnovala studium uspořádání, provedení a volbu jednotlivých kovových materiálů v podpovrchové části nedokončeného veslařského bazénu (**Obr. 3.**). Nejdříve byly detailně studovány objímky (**Obr. 4.**) s vyústěním do prostory lokalizace vodních čerpadel. Je zřejmé, že zabudované objímky jsou z uhlíkové (tj. nelegované oceli), které byly povlakovány žárovým zinkováním (ponor – HDG). Z vizuální kontroly je zřejmé (detail viz **Obr. 5.** a **Obr. 6.**), že vnější vrstva povlaku je tvořená fází η – tj. tuhým roztokem železa v zinku (zřejmý je tzv. zinkový květ). Na povrchu povlaku se ovšem objevuje strupovitost. Plášť z korozivzdorné oceli je ukotven k čelní betonové stěně (obsahuje zabudované objímky) šroubovými spoji (dva pro každou sloupcovou osu). Plášť nedoléhá k čelní stěně dostatečně a tedy lokálně mezi čelní betonovou stěnou a pláštěm je otevřený prostor s odhaleným betonem čelní stěny (**Obr. 5.** a **Obr. 6.**). Z tohoto pohledu je případný galvanický člunek mezi vlastním pláštěm (korozivzdorná ocel) a povrchem objímky (žárově zinkovaná uhlíková ocel) inaktivní (malý dosah člunku).



Obr. 1. Pohled do prostor realizace rozestavěného veslařského bazénu



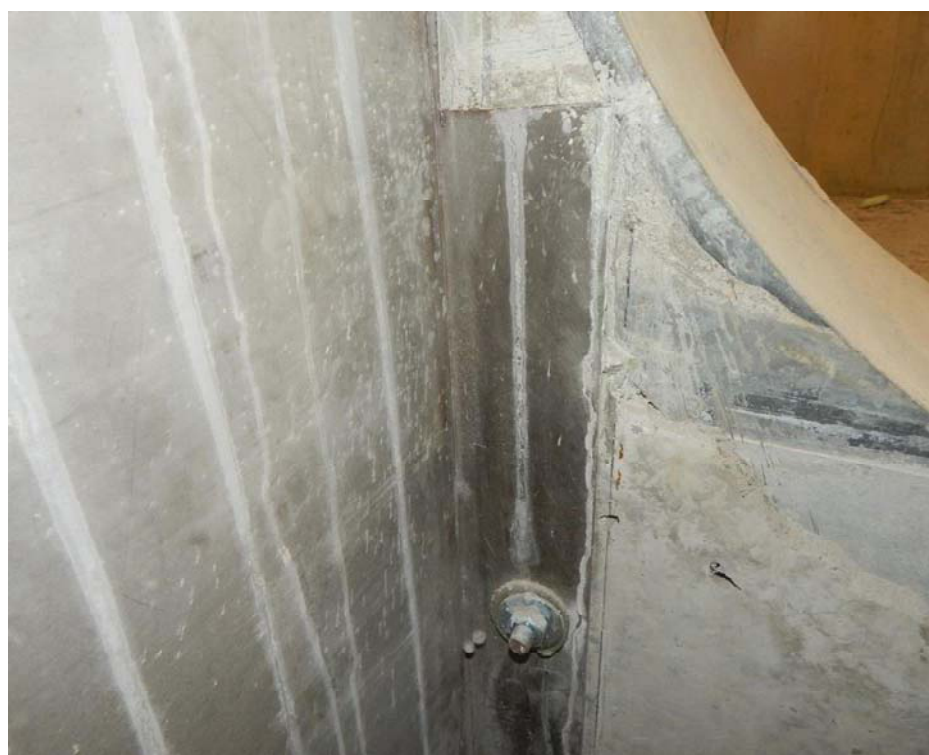
Obr. 2. Detailní pohled do podpovrchové části kanálu veslařského bazénu



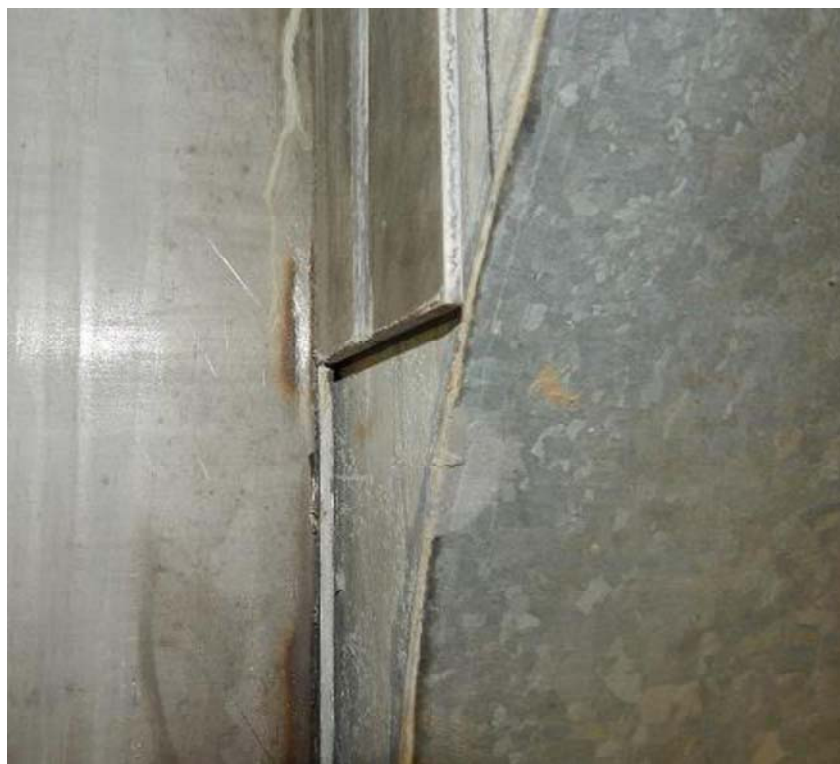
Obr. 3. Podpovrchová část veslařského bazénu (kanál)



Obr. 4. Pohled na žárově zinkované objímky vyústění podpovrchového kanálu veslařského bazénu do lokalizace vodních čerpadel



Obr. 5. Detail spojení pláště podpovrchového kanálu veslařského bazénu s povrchem objímky



Obr. 6. Další z detailů napojení pláště podpovrchového veslařského bazénu s povrchem objímky



Obr. 7. Spojovací materiál z žárově zinkované oceli – znečištění betonem (spojení pláště s čelní betonovou deskou)



Obr. 8. Spojovací materiál z žárově zinkované oceli – znečištění betonem způsobilo odkorodování povlaku (spojení pláště s čelní betonovou deskou)

Kotvící spojovací materiál popsaný výše (závitová tyč, matka i podložka) je opět z žárově zinkované uhlíkové (tj. nelegované) oceli (žárově zinkováno odstředěním). Vzniklý galvanický člunek (tj. jeho negativní činnost – zvýšení korozní rychlosti povlaku žárového zinku) je

v tomto případě možná, pokud vlivem proudění (vliv především abrazivní formy korozního poškození) bude docházet k pravidelné depasivaci povrchu korozivzdorné oceli. Dále je potřeba poznamenat, že povrch některého ze spojovacích materiálů byl významně znečištěn betonem (viz detail **Obr. 8.**). Alkalický výluh betonu způsobil odkorodování buď vrchní vrstvy žárového zinku (až na intermetalické fáze Fe-Zn) nebo povlaku v celé jeho tloušťce až na podkladovou ocel.

Materiál vnitřního pláště kanálu je evidentně z chromové korozivzdorné oceli AISI 304 (viz **Obr. 9.**). Protože má tato ocel magnetické vlastnosti (základní zrno je α -ferit), lze její přítomnost potvrdit přiložením permanentního magnetu (základem chrom-niklové (odolnější varianta) korozivzdorné oceli je austenit, která magnetické vlastnosti postrádá).

V průběhu korozního průzkumu bylo zjištěno, že vytvořené koutové svary (svařování jednotlivých plechů vnitřního pláště) jsou ve většině případů vadné v celé svojí vytvořené délce. Na rubovém (vnitřním povrchu pláště) jsou zřejmé průvary (**Obr. 10.**).



Obr. 9. Značení materiálu pláště z korozivzdorné oceli AISI 304 (důkaz – magnetické vlastnosti α -feritu ověřený permanentním magnetem)

Jednotlivé vady koutových svarů zahrnují – otřepy, vrypy, neplynulý přechod svaru, zápal, kuličky a dokonce póry v jejich vedení, či nespojitá místa (**Obr. 11. – Obr. 14.**). V mnoha případech je zřejmé, že nedošlo ke kompletnímu svaření spojovaných plechů pláště (**Obr. 11.**). Většina povrchu svarů je silně zoxidována (oxidy železa, karbidy chromu) a nejsou tedy

plně odolné vůči proudící vodě. Oxidická vrstva (směsné struktury) brání jejich pasivaci a tedy jejich korozní poškození v proudící vodě bude významně větší než je tomu u zbytku pláště. Není znám obsah uhlíku ve svarovém materiálu (případně obsah stabilizačních prvků), proto nelze vyloučit tvorbu mezikrystalové koroze svaru. Jednotlivé otřepy svarů se mohou vlivem proudící vody uvolnit a významně poškodit listy rotorů jednotlivých vodních čerpadel.



Obr. 10. Stopy průvarů po vrchním svařování profilů na dolní straně pláště ve stropní části



Obr. 11. Zaznačení příkladů vadně provedeného koutového svaru (růžový obdélník – nesvařená oblast pláště; červený obdélník – oblast vadně provedeného svaru, tj. neplynulý přechod s vrypy a rýhami; kruh – oblast vadně provedeného svaru – rozsáhlý zápal)



Obr. 12. Další příklad vadně provedeného koutového svaru v plášti – neplynulý přechod svaru, vrypy, zápal, kuličky podél vedení svaru i přímo na povrchu svaru



Obr. 13. Další příklad vadně provedeného koutového svaru v plášti – neplynulý přechod svaru, vrypy, zápal a póry ve svaru



Obr. 14. Zobrazení evidentních pórů v koutovém svaru v plášti veslařského bazénu

V rámci korozního průzkumu byly zjištěny skutečnosti, které svojí podstatou již nepatří do oblasti korozního inženýrství, ale mají návaznost na životnost použitých kovových komponent (v podstatě stavebně-technický průzkum), proto zde budou dále zveřejněny. Byly detekována místa (podlaha kanálu) s odhaleným podkladovým betonem (nespojitosť – **Obr. 15. a Obr. 16.**). Tato místa musí být zacelena zavařením plátem z korozivzdorné oceli,



Obr. 15. Příklad nespojitosti na povrchu pláště veslařského bazénu s odhaleným podkladovým betonem - I



Obr. 16. Příklad nespojivosti na povrchu pláště veslařského bazénu s odhaleným podkladovým betonem - II

protože by se do vody bazénu postupně uvolňovalo kamenivo z betonu a zvyšovalo by její abrazivní účinek pro exponované kovové materiály. Byly detekovány další nespojivosti, a to v betonových stěnách, které byly zcela nevhodně vyplněny polyuretanovou pěnou (**Obr. 17.** – **Obr. 19.**). Tyto místo je nutno rovněž vhodně uzavřít.



Obr. 17. Lokalizace dutiny v přechodu betonových profilů s dutinou vyplněnou polyuretanovou pěnou



Obr. 18. Další příklad dutiny v betonové boční zdi vyplněné polyuretanovou pěnou



Obr. 19. Orientační zobrazení hloubky dutiny z **Obr. 17**.



Obr. 20. Zobrazení otevřené rýhy pro uložení boku pláště z korozivzdorné oceli

Dále byla detekována místa s otevřenou rýhou uložení boku pláště z korozivzdorné oceli (**Obr. 20.**). Rovněž tato místa je nezbytné vhodně uzavřít z obdobných důvodů popsaných výše.

4. Ověření mikroelementárního složení oceli spojovacího materiálu

Z nezabudovaných profilů korozivzdorné oceli AISI 304 (značení na profilech) byl odebrán spojovací materiál (šroub, matky a vložky), který byl poskytnut k mikroelementární analýze složení oceli a její kategorizaci. Byly zvoleny dvě techniky (analyzována byla segmentovaná hlava šroubu) a jejich výsledky vzájemně porovnány – SEM/EDS (elektronová mikroskopie s energiově disperzní spektroskopií) a GD-OES (optická emisní spektroskopie buzená doutnavým výbojem).



Obr. 21. Poskytnutý vzorek spojovacího materiálu k chemické analýze složení

Výsledky obou analýz jsou shrnuty v **Tab. 1.** Ocel spojovacího materiálu svým mikroelementárním složením odpovídá korozivzdorné oceli AISI 304.

Spojovací materiál je vyroben z korozivzdorné oceli, která svým mikroelementárním složením odpovídá složení pláště veslařského bazénu. Při použití tohoto spojovacího materiálu nedojde k tvorbě galvanického článku v případě, že s ním bude spojován kovový materiál z oceli AISI 304 a nebo AISI 304 L, nebo AISI 316 L.

Tab. 1. Výsledky analýzy SEM/EDS a GD-OES mikroelementárního složení oceli z hlavy šroubu

SEM/EDS		GD-OES	
prvek	zastoupení [hm. %]	prvek	zastoupení [hm. %]
C	-	C	0,05
Si	-	Si	0,62
Cr	19,2	Cr	18,75
Ni	8,8	Ni	8,21
Mn	1,1	Mn	1,24
Mo	0	Mo	0

5. Měření tloušťky povlaku žárového zinku na válcových profilech objímek

Pro ověření životnosti jednotlivých kovových komponent bylo nezbytné rovněž u jednotlivých objímek (i těch nezabudovaných – **Obr. 22.**) zhodnotit kvalitu vyloučeného povlaku žárového zinku (HDG). Na povrchu povlaku se obdobně jako u zabudovaných objímek (kapitola 3) objevuje strupovitost, lokálně jsou zřejmé větší výrony žárového zinku a absence tzv. zinkového květu, tedy přítomnost intermetalické fáze ζ (Fe-Zn) jako vnější vrstvy povlaku. V tomto případě lze očekávat, že po žárovém zinku došlo k lokální eliminaci tekuté vrstvy čistého zinku.



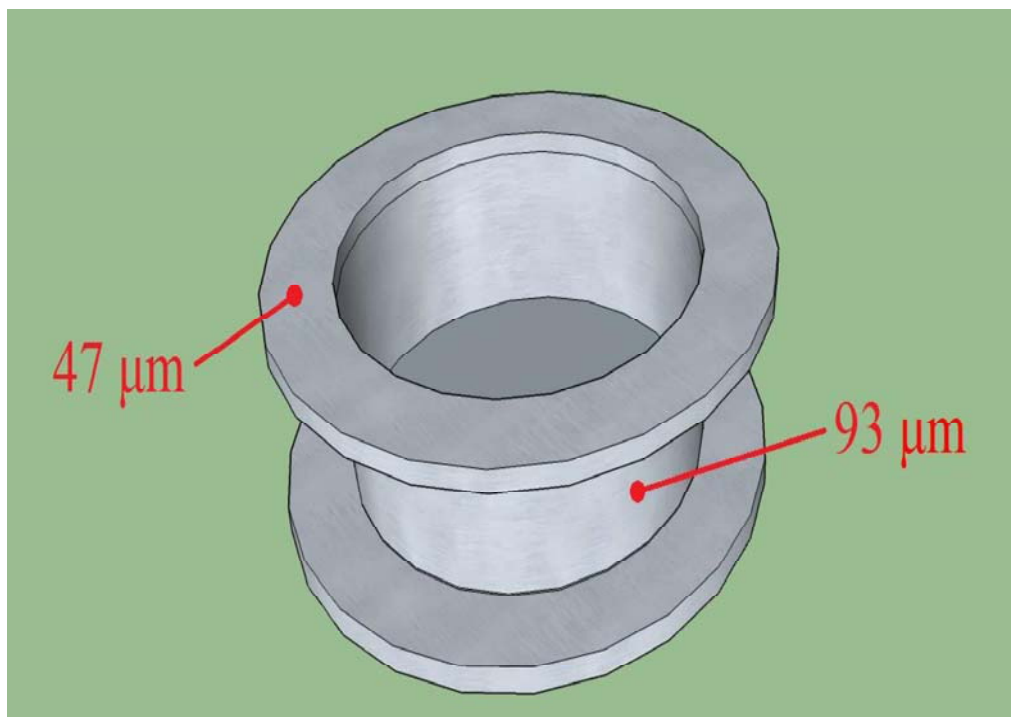
Obr. 22. Lokalizace objímek z žárově zinkované oceli na staveništi veslařského bazénu

Měření tloušťky povlaku probíhalo magneticko-indukční metodou a výsledky shrnuje **Tab. 2.** a **Obr. 23.** Měření probíhalo na plášti válce objímky (tlustší ocelový podklad) a lemech objímky (tenčí ocelový podklad). Tloušťka povlaku žárového zinku souvisí úměrně s tloušťkou oceli podkladu. Měření probíhalo rovnoměrně na dvou nezabudovaných objímkách.

Nejnižší naměřená tloušťka povlaku žárového zinku byla 23 μm na lemu a 61 μm na plášti.

Tab. 2. Výsledky měření tloušťky povlaku žárového zinku na objímkách

lokalita	počet měření	průměr
plášť	10	93 μm
lem	10	47 μm



Obr. 23. Zakreslení průměrných naměřených tloušťek žárového zinku na modelu objímky (metoda magneticko-indukční)

6. Chemická analýza cirkulační vody ze studny pro veslařský bazén

V den provedení korozního průzkumu veslařského bazénu byly odebrány vzorky vody s potenciálním použitím ve veslařském bazénu (odběr ze studny, 1,5 l). Voda byla detailně analyzována s ohledem na základní parametry obecné a anorganické chemie. Výsledky analýzy shrnuje **Tab. 3**. U vzorku nebyla zkoumána mikrobiální aktivita.

Z výsledků je zřejmé, že použitá voda má relativně vysokou tvrdost a relativně vysokou konduktivitu. Zvýšený je obsah síranů a především dusičnanů – což poukazuje na činnost mikroorganismů v podpovrchové vodě. Obsah chloridových aniontů byl stanoven na hodnotu 37,6 mg/l (37,6 ppm).

Výpočet tvrdosti vody (TV – mmol/l) z poskytnutých dat ukazuje rovnice 1

$$TV \text{ (mmol/l)} = \sum Ca + Mg = 5,6 \text{ (velmi tvrdá voda)} \quad (\text{rovnice 1})$$

Tab. 3. Souhrnné výsledky analýzy složení poskytnuté vody (MH = mezná hodnota; DH = doporučená hodnota; NMH = nejvyšší mezná hodnota)

ukazatel	stanoveno	č. 70/2018 Sb.
pH	6,7	6,5 – 9,5 (MH)
konduktivita (mS/m)	123	125 (MH)
KNK _{4,5} (mmol/l)	5,7	neuvedeno
Σ Ca+Mg (mmol/l)	5,6	2,0 – 3,5 (DH)
vápník (mg/l)	204	30 (MH) 40-80 (DH)
hořčík (mg/l)	12,2	10 (MH) 20-30 (DH)
železo (mg/l)	<0,02	0,2 (MH) ¹⁾
mangan (mg/l)	<0,01	0,05 (MH) ²⁾
CHSK _{Mn} (mg/l)	0,7	3,0 (MH)
amonné ionty (mg/l)	<0,02	0,5 (MH)
dusitany (mg/l)	<0,01	0,5 (NMH)
dusičnany (mg/l)	86,7	50 (NMH)
chloridy (mg/l)	37,6	100 (MH) ³⁾
sírany (mg/l)	213	250 (MH)

Uvedené výsledky budou dále použity pro výpočtové modely (viz kapitola 7).

7. Výpočtové modely pro zhodnocení životnosti kovových komponent

Pro vlastní výpočet korozní rychlosti (v_k) obou použitých materiálů (tj. korozivzdorné oceli AISI 304 a zároveň zinkované nelegované oceli) byl využit součtový vztah zahrnující ustálenou korozní rychlost v proudící vodě ($v_{k;s}$) a vliv abrazivního korozního poškození ($v_{k;a}$) dle rovnice 2:

$$v_k = v_{k;s} + v_{k;a} \quad (\text{rovnice 2})$$

Nejdříve je věnována pozornost ustálené korozní rychlosti ($v_{k;s}$) obou materiálů, která je závislá pouze na chemickém složení a rozpuštěném kyslíku (pro katodický korozní děj). Anoxické podmínky korozního poškození lze vyloučit, naopak kvůli cirkulaci vody, lze očekávat zvýšený obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě.

Obsah chloridových aniontů v rozpuštěné vodě (37,6 ppm Cl⁻) nebude významně lokalizovat korozní poškození zinkového povlaku. Rovnoměrné (uniformní) korozní poškození zinku lze očekávat v rozsahu 10 – 25 μm/r (viz literární detail **Obr. 24.** a **Obr. 25.**). Toto jsou ovšem údaje pro střední obsah kyslíku (obsah vápenatých kationtů do 1,2 mmol/l a vodivost do 500 μS/cm). Pro výpočet reálnější hodnoty lze použít korelačních koeficientů použitých pro

součin maximální hodnoty korozní rychlosti ($25 \mu\text{m/r}$). Prvním korelačním koeficientem je koeficient syčení vody kyslíkem $\varphi_{\text{p;O}}$ a procentuální vliv plošného zastoupení externí intermetalické fáze FeZn_{13} na povrchu $S_{\text{Fe/Zn}}$ (tj. fáze ζ – méně korozně odolné). Dále bylo nezbytné stanovit průměrnou rychlost proudění v oblasti objímek (žárově zinkovaná nelegovaná ocel). Toto bylo provedeno na základě **Obr. 26.** – stanovená hodnota je přibližně $3,023 \text{ m/s}$. Rovněž pro tuto hodnotu byl stanoven vliv faktoru proudění na korozní rychlost povlaku zinku (omezení tvorby přilnavých korozních produktů zinku – především Zn(OH)_2 – adherent) – $V_{\text{c;S}}$.

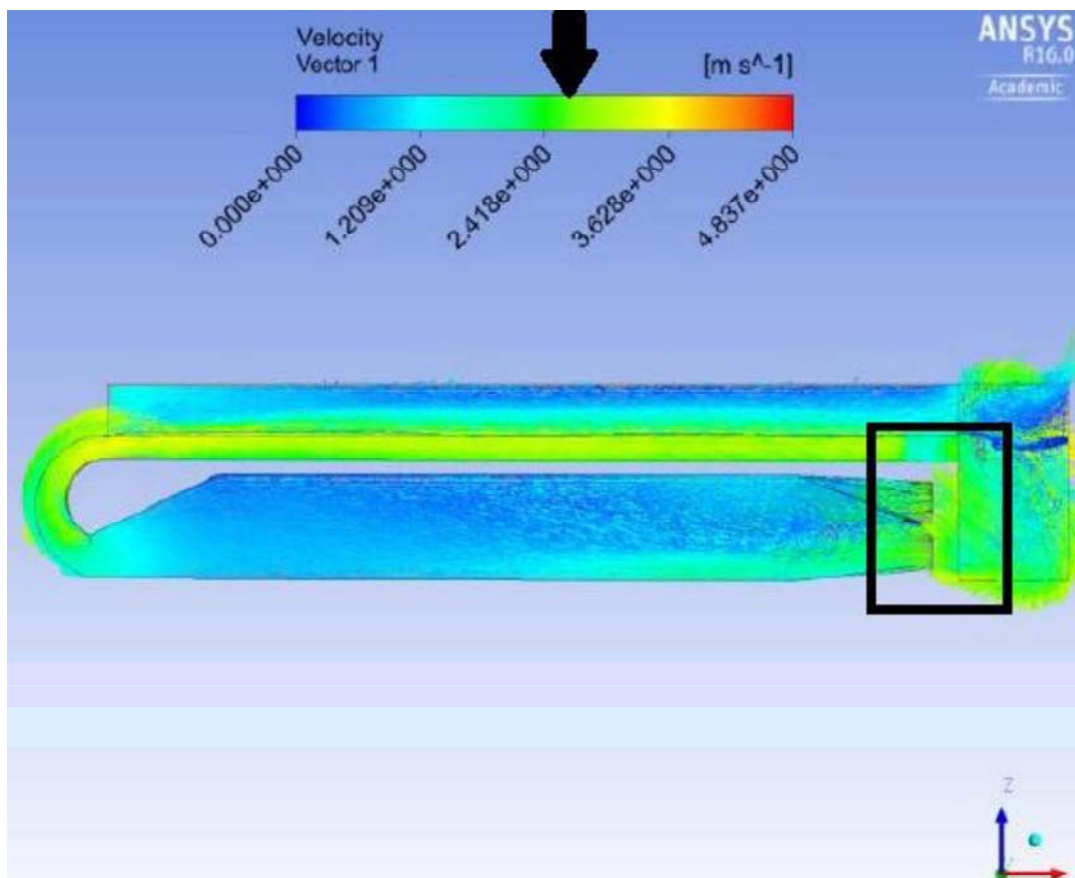
ochranné vrstvy obsahující zásaditý uhličitán zinečnatý a uhličitany hořečnaté a vápenaté. Ve vodovodní vodě i říčních vodách se pohybuje koroze kolem $25 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ve znečištěných říčních a chladicích, kyselých rašelinistních i přehradních vodách je vyšší ($40 - 80 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$). Povlaky nanesené galvanicky, metalizací i žárově z roztaženého kovu korodují obdobně jako homogenní zinek a za studena jsou ve většině

Obr. 24. Literární detail o korozi zinku a zinkových povlaků v říční vodě [3]



materiál	typ koroze	Složení vody		
		obsah Ca^{2+} do 1,2 mmol.l ⁻¹ vodivost do 500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	obsah Ca^{2+} od 1,2 do 2,5 mmol.l ⁻¹ vodivost od 500 do 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	obsah Ca^{2+} od 2,5 do 4 mmol.l ⁻¹ vodivost od 1000 do 1500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$
zinek	rovnoměrná	10 - 25	10 - 25	10 - 25
	důlková	50 - 100	50 - 100	50 - 100
žárový ponorový zinkový povlak	rovnoměrná	10 - 25	10 - 25	10 - 25
	důlková	< 2	< 25	25 - 50

Obr. 25. Literární detail o korozi zinku a zinkových povlaků ve studené vodě o koncentraci vápníku 1,2 mmol/l [4]



Obr. 26. Rozdělení rychlostí proudící vody ve veslařském bazénu – označení oblasti objímek [8]

Výsledky jednotlivých zvolených korelačních koeficientů shrnuje **Tab. 4.**

Tab. 4. Volba korelačních koeficientů pro stanovení ustálené korozní rychlosti žárově zinkovaného povlaku (ponorová technologie) v proudící vodě (bez abrazivního činitele)

korelační koeficient	název	zvolená hodnota	poznámka
$\varphi_{p;o}$	koeficient sycení vody kyslíkem	0,80	významněji syceno (významná cirkulace)
S_{Fe-Zn}	koeficient plošného zastoupení fáze Fe/Zn	0,90	významněji zastoupeno (viz kapitola 5)
$V_{c;S}$	vliv faktoru proudění	1,00	pro uvedenou průměrnou rychlost 3,023 m/s

Výpočet ustálené korozní rychlosti zinkového povlaku (HDG) lze stanovit dle rovnice 3

$$v_{k;s}(HDG) = \varphi_{p;o} \cdot S_{Fe-Zn} \cdot V_{c;s} = 18 \mu\text{m/r} \quad (\text{rovnice 3})$$

Podíl abrazivního korozního poškození na $v_{k;a}$ lze stanovit s použitím rovnice 4

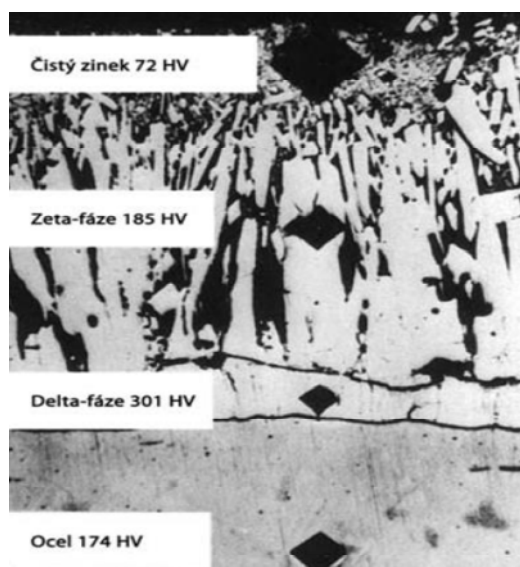
$$v_{k;a}(HDG) = \frac{dV_{k;a}}{dt} = K_e \cdot N_p \cdot m_p \cdot \frac{v_p^2}{2H} \quad (\text{rovnice 4})$$

Přičemž byla použita data poskytnutá zadavatelem.

Vysvětlení jednotlivých použitých proměnných shrnuje **Tab. 5**.

Tab. 5. Popis použitých proměnných z rovnice 4 (pro povlak žárového zinku)

proměnná	název	hodnota	poznámka
K_e	abrazivní koeficient	0,3	hloubka vniku menší než 1/2
N_p	tok částic měrnou plochou	20 s^{-1}	tok částic je velmi malý
m_p	hmotnost částice	$0,0014 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	průměrná velikost částic 1 mm – údaje poskytnuté zadavatelem
v_p	průměrná rychlost částic	$3,023 \text{ m/s}$	jedná se o průměrnou rychlost částic (údaj zahrnuje vliv teploty)
H	tvrdost	$173,7 \text{ HV}$	poměr mezi Fe-Zn a čistým zinek, tj $0,9 \cdot 185 + 0,1 \cdot 72$ (viz Obr. 27 .)



Obr. 27. Porovnání průměrných tvrdostí (dle Vickerse) jednotlivých fází povlaku žárového zinku a ocelového podkladu (uhlíková, tj. nelegovaná ocel)

Po dosazení a přepočítání na korozní rychlost v $\mu\text{m/rok}$ je hodnota nižší než $0,01 \mu\text{m/rok}$. Proto lze shrnout, že v_k (HDG) je $18 \mu\text{m/rok}$.

V případě pláště z korozivzdorné oceli lze postupovat obdobně (nebudou hodnoceny svary), tedy $v_{k,ss}$ (korozivzdorná ocel – SS) lze převzít opět z literárního detailu (viz **Tab. 6.**) a hodnota ustálené korozní rychlosti bude nižší než $0,01 \mu\text{m/rok}$.

Tab. 6. Vliv obsahu chloridových aniontů a rychlosti proudění na korozní odolnost korozivzdorných ocelí (převzato a skombinováno z [5, 6])

korozivzdorná ocel	kritický obsah chloridových aniontů (ppm)	kritická průměrná rychlost proudění (m/s)	korozní rychlost v případě podkročení obou hodnot ($\mu\text{m/r}$)
AISI 304	100	10	$<0,01$
AISI 316 L	300	10	$<0,01$

Abrazivní příspěvek $v_{k,a}$ pro korozivzdornou ocel AISI 304 lze opět vyjádřit s přispěním rovnice 4. Tabulka použitých proměnných je v tomto případě uvedena pod **Tab. 7.**

Tab. 7. Popis použitých proměnných z rovnice 4 (pro korozivzdornou ocel)

proměnná	název	hodnota	poznámka
K_e	abrazivní koeficient	0,3	hloubka vniku menší než 1/2
N_p	tok částic měrnou plochou	1 s^{-1}	tok částic je velmi malý
m_p	hmotnost částice	$0,0014 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	průměrná velikost částic 1 mm – údaje poskytnuté zadavatelem
v_p	průměrná rychlost částic	1,021 m/s	jedná se o průměrnou rychlost částic (údaj zahrnuje vliv teploty)
H	tvrdost	230,5 HV	Převzato jako průměrná hodnota [15]

Po dosazení a přepočítání na korozní rychlost v $\mu\text{m/rok}$ je hodnota nižší než $0,01 \mu\text{m/rok}$. Proto lze opět shrnout, že v_k (SS) je $\leq 0,01 \mu\text{m/rok}$.

Ze získaných dat lze shrnout, že pravděpodobná životnost povlaku žárového zinku bude na lemu (viz **Obr. 23.**) objímky přibližně 2 roky a na plášti objímky 5 let. Je ovšem třeba připomenout, že i úvodní koroze intermetalických fází Fe-Zn (povlaku) může vést k popraskání celého povlaku a téměř okamžité ztrátě jeho ochranných vlastností. Naopak z poskytnutých dat je zřejmé, že korozivzdorná ocel pláště veslařského bazénu bude korodovat přijatelnou, tj.

zanedbatelnou korozní rychlostí. Tyto skutečnosti jsou uvedeny za ideálního provozu bez ohledu na možné závady v materiálech (pnutí, únava, dutiny apod.).

8. Závěry

Životnost ochranného povlaku žárového zinku na povrchu ocelových **objímek je silně omezena na 2, respektive 4 roky provozu** veslařského bazénu. Přestože byly lokálně naměřeny i nižší tloušťky povlaku, ochranný systém povlaku žárového zinku na bázi katodické ochrany zajišťuje určitou míru uniformity korozního poškození. Přesto je nutné upozornit, že s ohledem na lokální výskyt externí η -fáze (Fe-Zn), lze očekávat, že životnost povlaku nepřesáhne významně 2 roky. Naopak dle výpočtů je životnost pláště z korozivzdorné oceli neomezená po celou dobu předpokládané životnosti stavby (20 od počátku provozu) a to za předpokladu, že identifikační štítky použité korozivzdorné oceli odpovídají skutečnosti (AISI 304, respektive AISI 304 L).

Z technických detailů současného stavu konstrukce lze shrnout:

1. Současné provedení svarů pláště kanálu z korozivzdorné oceli je pro provoz veslařského bazénu zcela nepřijatelné. Vedení koutových svarů obsahuje značné množství vad (rýhy, vrypy, neplynulý přechod, ořepy, zápaly, nespojitosti, kuličky, póry) a lokálně nejsou svary průběžné vůbec (nedošlo ke spojení plechů i v metrových délkách). Svary musí být vybroušeny a doplněny, jejich neprůběžnost (nespojitosť) musí být odstraněna (lokální dovaření koutových svarů). Po provedení lze doporučit vizuální i UTG (ultrazvuk) kontrolu vedení svarů.
2. Konstrukce kanálu veslařského bazénu obsahuje místa s odhaleným povrchem betonu. Tyto místa musí být doplněna (zaplátována) plechy z korozivzdorné oceli. Při expozici těchto míst proudící vodou by došlo k velmi rychlému vyluhování betonu – za vzniku alkalických výluhů a uvolňování kameniva do vodního proudu. Tato skutečnost by zvyšovala korozní agresivitu vody.

9. Poznámka

Z dlouhodobého hlediska životnosti konstrukce veslařského bazénu jako celku je nutné doporučit odstranění objímek z uhlíkové oceli opatřené povlakem žárového zinku a jejich náhrada za objímky z korozivzdorné oceli.

Dle výpočtů vycházejících z literárních dat, nemá proudění vody na korozní poškození žárově zinkované oceli ani oceli AISI 304 L významný vliv. Lze tedy počítat, že povlak žárového zinku bude korodovat uvedenou korozní rychlostí $r_{kor} = 18 \mu\text{m/rok}$.

Je nesmírně důležité upozornit, že výpočty vztahující se na korozivzdornou ocel se nevztahují na svary této oceli. Pokud opravené a doplněné svary budou obsahovat vady (především zápal, vruby, zoxidovaný povrch) může u nich dojít k perforaci vlivem lokalizované koroze a to i v relativně krátké době od zahájení provozu veslařského bazénu. Doporučujeme detailní kontrolu svarů po realizaci stavebního díla a to ještě před jeho uvedením do provozu.

Pokud bude v rámci realizace doplňkových externích komponent veslařského bazénu zvolena korozivzdorná ocel, lze doporučit opětovné použití oceli AISI 304 L. Ovšem i v tomto případě platí, že ocel musí být řádně (tj. bez vad) svařena.

Pro realizaci veškerých komponent veslařského bazénu by bylo vhodnější použít korozivzdornou ocel AISI 316 L (odolnější než AISI 304 L). S ohledem na dlouhodobou životnost lze ale využít i ocel AISI 304 L, ovšem za předpokladu dokonalého provedení svarů (tj. bez vad) oceli a skutečnosti, že voda v bazénu nebude upravována přípravky na bázi chloru, tj. lze vyloučit navýšení koncentrace chloridových aniontů (Cl^-) ve vodě.

Provedení heterogenních svarů (mezi korozivzdornými ocelmi AISI 304 L a AISI 316 L) je možné a spoj nebude ohrožen činností galvanického článku.

Výpočty uvedené v této zprávě nezhodnocují korozní poškození s ohledem na mikrobiální korozi a možné vady v použitých materiálech.

Závěry uvedené v této zprávě byly formulovány na základě výsledků chemických analýz a výsledků vlastního korozního průzkum veslařského bazénu objektu Labe arény ve Štětí. Zpracovatel si vyhrazuje právo na korekce a doplnění závěrů, pokud budou zjištěny další podstatné skutečnosti, které nebyly při zpracování této zprávy známy nebo k dispozici.