

ZNALECKÝ ÚSTAV

**STAVEXIS**

S.R.O.

Stavebně expertizní, znalecká a poradenská kancelář

---

**STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM  
ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE VÝLEVNÉHO OBJEKTU  
RYBNÍKU BIDELEC**

---

**ZPRÁVA ČÍSLO:**

Objednatel:

**Sweco Hydroprojekt a.s.**

**Divize Morava**

**Pracoviště Olomouc**

**Tovární 42a**

Vypracovali:

**Doc.Ing. Jiří Brožovský, CSc.**

**Ing. Zdeněk Šnirch, Ph.D.**

**Ing. Tomáš Jarolím**

V Brně dne 21.8.2017

**Ing. Roman Kepák**

vedoucí sekce diagnostika staveb

**Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc. MBA.**

vedoucí znaleckého ústavu

## OBSAH

---

1. ÚVOD .....	3
3. METODIKA STAVEBNĚ TECHNICKÉHO PRŮZKUMU.....	4
3.1. ROZSAH PORUŠENÍ POVRCHOVÉ VRSTVY BETONU,A KOROZE VÝZTUŽE .....	4
3.2. PEVNOST BETONU V TLAKU .....	4
3.3. TLOUŠŤKA KRYCÍ BETONOVÉ VRSTVY .....	5
3.4. HLOUBKA KARBONATACE BETONU FENOLFTALEINOVÝM TESTEM .....	5
3.5. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU .....	5
3.6. FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝ ROZBOR BETONU .....	5
3.6.1. PRINCIPY DEGRADACE BETONU .....	5
3.6.2. METODIKA ZKOUŠEK .....	7
3.6.3. CHEMICKÝ ROZBOR.....	7
3.6.4. RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA .....	7
3.6.5. DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA .....	8
3.6.6. STANOVENÍ HODNOTY PH .....	8
3.7. FOTODOKUMENTACE .....	8
4. VÝSLEDKY PRŮZKUMU A ZKOUŠEK .....	9
4.1. PEVNOST BETONU V TLAKU .....	9
4.2. HLOUBKA KARBONATACE BETONU FENOLFTALEINOVÝM TESTEM .....	10
4.3. TLOUŠŤKA KRYCÍ BETONOVÉ VRSTVY .....	10
4.4. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU .....	10
4.5. ROZSAH PORUŠENÍ OBJEKTU.....	11
4.6. MÍRA DEGRADACE BETONU .....	15
5. SOUHRN VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU .....	17
5.1. PEVNOST BETONU V TLAKU .....	17
5.2. HLOUBKA KARBONATECE A TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY BETONU NAD VÝZTUŽÍ.....	17
5.3. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU .....	17
5.4. DRUH CEMENTU A DEGRADACE BETONU.....	17
5.5. PORUCHY KONSTRUKCE .....	17
5.6. DOPORUČENÍ .....	17

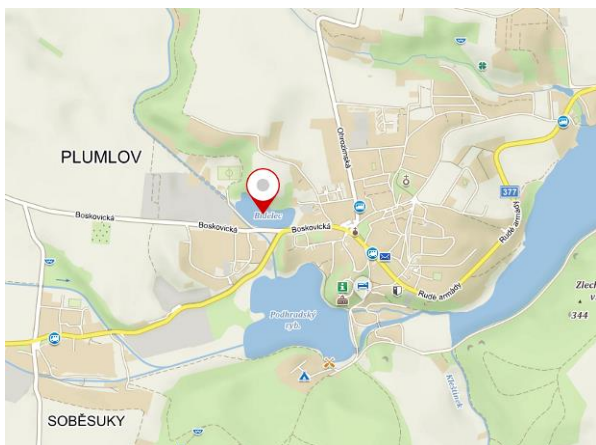
# 1. ÚVOD

Na základě objednávky společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. provedl znalecký ústav Stavexis s.r.o. Brno stavebně technický průzkum (dále jako STP) železobetonové konstrukce výlevného objektu rybníku Bidelec.

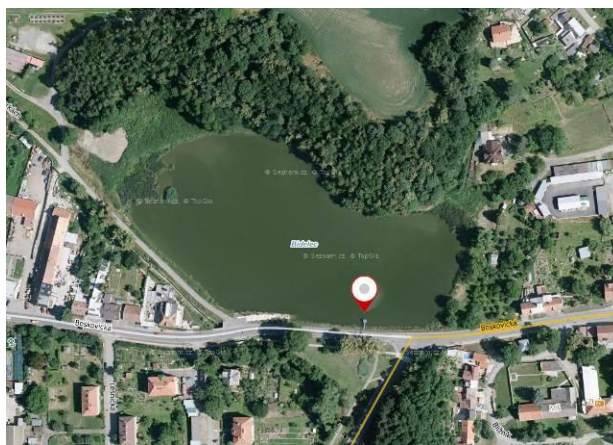
Stavebně technické průzkum byl proveden za účelem zjištění stavebně technického stavu konstrukce. STP byl proveden v červnu 2017.

Rozsah provedeného průzkumu je následující:

- |   |       |
|---|-------|
| • Odběr jádrových vývrtů – stanovení pevnost betonu v tlaku | 5 ks  |
| • Stanovení hloubky karbonatace betonu                      | 10    |
| • Stanovení tloušťky krycí vrstvy betonu nad výztuží        | 10 ks |
| • Stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev              | 3 ks  |
| • Fyzikálně-chemický rozbor betonu                          | 2 ks  |
| • Dokumentace a popis poruch                                | 1 ks  |



Lokalizace rybníku.



Lokalizace výlevného objektu.

### 3. METODIKA STAVEBNĚ TECHNICKÉHO PRŮZKUMU

#### 3.1. ROZSAH PORUŠENÍ POVRCHOVÉ VRSTVY BETONU, A KOROZE VÝZTUŽE

Zjišťuje se vizuálně, akustickým trasováním a v sondách, na celé ploše povrchu vyšetřovaných částí konstrukcí. Podstata akustického trasování spočívá ve zjišťování lokalit s narušenou povrchovou vrstvou betonu. Po vyšetřované ploše se přejíždí trasovačem na konci opatřeným ocelovou koulí o průměru cca 45 mm. V místě narušení je při trasování zvuk dutý. Touto metodou lze identifikovat poškozená místa o minimální ploše 0.05 m<sup>2</sup>. V případě pochybnosti o hloubce narušení byla tato ověřena odsekáním porušené vrstvy betonu pláště.

#### 3.2. PEVNOST BETONU V TLAKU

**Pevnost betonu v tlaku** byla na válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrtů odebraných z konstrukce. **Jádrové vývrty** – jádrové vývrty byly odebrány a připravena z nich válcová zkušební tělesa postupem dle ČSN EN 12504-1.

- **Počet vývrtů** - pro destruktivní zkoušky pevnosti v tlaku bylo odebráno celkem 5 vývrtů
- **Pevnost v tlaku** – Průměr vývrtů byl cca 50 mm. Z vývrtů byla zaříznutím a zabroušením čel připravena válcová zkušební tělesa. Rozměry válcových zkušebních těles jsou v souladu s ustanovením ČSN EN 12390-1, ČSN EN 13791.

Na válcových zkušebních tělesech byla zjišťována pevnost v tlaku postupem dle ČSN EN 12504-1 a ČSN EN 12390-3. Před zkouškou pevnosti byla stanovena objemová hmotnost betonu postupem dle ČSN EN 12390-7.

##### **a) Pevnost v tlaku na válcových zkušebních tělesech s $L/d=1,0$ :**

- pevnost v tlaku na válcovém zkušebním tělese s  $d=100\text{mm}$  a  $L/d = 1,0$ , která odpovídá pevnosti v tlaku ze zkoušky krychle o hraně 150mm;
- pevnost v tlaku na válcovém zkušebním tělese s  $d=50; 75\text{mm}$  s  $L/d = 1,0$ , aby odpovídala pevnosti v tlaku ze zkoušky krychle o hraně 150mm se koriguje převodním součinitelem  $k_d$  (*převodní součinitel zohledňující průměr zkušebního tělesa*) hodnoty, kterého jsou převzaty z odborné literatury Rybický, R.: Schäden und Mängeln an Baukonstruktionen. Verlag - Düsseldorf, 1976. (*převodní součinitel zohledňující průměr zkušebního tělesa*).

##### **b) Pevnost v tlaku na válcových zkušebních tělesech s $L/d \in \{1; 2\}$ :**

Pevnost v tlaku na válcovém zkušebním tělese s  $L/d \in \{1; 2\}$  se přepočítá na pevnost v tlaku, která odpovídá pevnosti v tlaku ze zkoušky krychle o hraně 150mm s využitím převodních součinitelů z ČSN EN 12390-1 (*převodní součinitel pro štíhlost zkušebního tělesa; převodní součinitel pro přepočet válcové pevnosti na krychelnou*) a s využitím převodního součinitele z odborné literatury Rybický, R.: Schäden und Mängeln an Baukonstruktionen. Verlag - Düsseldorf, 1976 (*převodní součinitel zohledňující průměr zkušebního tělesa*).

**c) Pevnost v tlaku na válcových zkušebních tělesech s  $L/d < 1$ :**

Pevnost v tlaku na válcovém zkušebním tělese s  $L/d < 1$  se přepočítá na pevnost v tlaku, která odpovídá pevnosti v tlaku ze zkoušky krychle o hraně 150mm s využitím převodních součinitelů z odborné literatury Rybický, R.: Schäden und Mängeln an Baukonstruktionen. Verlag - Düsseldorf, 1976 (*převodní součinitel zohledňující průměr zkušebního tělesa; převodní součinitel pro štíhlost zkušebního tělesa*).

### **3.3. TLOUŠŤKA KRYCÍ BETONOVÉ VRSTVY**

Stanovuje se přímým měřením v sondách do vyšetřované konstrukce nebo s využitím elektromagnetické sondy podle ČSN 73 2011.

### **3.4. HLOUBKA KARBONATACE BETONU FENOLFTALEINOVÝM TESTEM**

Hloubka karbonatce betonu  $h_{\text{karb}}$  byla zjišťována pomocí vrtačky, kdy byly roztok fenolftaleinu nanášen na vyvrtaný betonový prach. hloubka karbonatce byla zjišťována pomocí hloubkoměru s přesností 1 mm.

### **3.5. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU**

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu  $R_t$  byla zjišťována přímo na konstrukcích pomocí zkušebního přístroje DYNA typ Z16 a kruhových terčů o průměru 50 mm. Pro zkoušku byl beton před nalepením zkušebního terče obroušen do hloubky cca 1 mm či 5-10mm a kolem terče oříznut průměrně do hloubky 25 mm. Po vytvrzení použitého lepidla byl zkušební terč odtrhnut za pomoci zkušebního přístroje DYNA typ Z16 při zaznamenání příslušné síly potřebné pro provedení zkoušky.

### **3.6. FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝ ROZBOR BETONU**

Pro posouzení míry degradace betonu stěn a stropu předmětné jímky byly z těchto konstrukcí odebrány vzorky, které byly podrobeny fyzikálně chemickým stanovením umožňujícím analyzovat strukturu betonu a pregnantně tak posoudit stav betonu a míru jeho korozního narušení.

#### **3.6.1. Principy degradace betonu**

Hodnocen byl stav betonu stěn tedy betonu, který byl při provozu pod i nad hladinou vody. Beton patří mezi materiály, jejichž matrice je tvořena hydratačními produkty cementu patří mezi látky silně bazické. Jsou-li tyto materiály vystaveny působení látek s nízkou hodnotou pH dochází v podstatě k neutralizačním reakcím, které mohou být příčinou poklesu užitných parametrů konstrukce.

Vzhledem k podmínkám, ve kterých jsou hodnocené materiály exploatovány lze předpokládat, že jedním z dominantních agresivních médií, které na ně působí je plyný oxid uhličitý. Degradace betonu v důsledku působení plynného oxidu uhličitého se nazývá karbonatace.

Proces karbonatce lze u betonů na bázi portlandského cementu dle prof. M. Matouška rozdělit do čtyř navazujících etap. Zařazení betonu do etapy karbonatce se realizuje dle výpočtu stupně karbonatce a stupně modifikační přeměny. Tyto se určí postupem uvedeným v dalším textu.

Stupeň karbonatce  $^{\circ}K$  se určí výpočtem z obsahu CaO zjištěného chemickým rozбором a z obsahu CaO vázaného na jemnozrný a hrubozrný  $\text{CaCO}_3$  stanoveným derivatografickým rozбором.

Obsah zkarbonatovaného  $\text{CaO}_{\text{karb}}$  se vypočítá ze vztahu:

$$\text{CaO}_{\text{karb}} = 1,273 \cdot (\text{CO}_{2j} + \text{CO}_{2h}) \quad [\%]$$

kde:

$\text{CaO}_{\text{karb}}$  je obsah zkarbonatovaného  $\text{CaO}$  [%]

$\text{CO}_{2j}$  je obsah  $\text{CO}_2$  vázaného na jemnozrnný  $\text{CaCO}_3$  [%]

$\text{CO}_{2h}$  je obsah  $\text{CO}_2$  vázaného na hrubozrnný  $\text{CaCO}_3$  [%]

### Stupeň karbonatace

Stupeň karbonatace se vypočítá ze vztahu:

$$^0K = \frac{\text{CaO}_{\text{karb}}}{\text{CaO}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$\text{CaO}$  - obsah  $\text{CaO}$  zjištěný chemickým rozбором [%]

### Stupeň modifikační přeměny

Stupeň modifikační přeměny  $^0\text{MP}$  se určí výpočtem z obsahu  $\text{CO}_2$  vázaného na jemnozrnný a hrubozrnný  $\text{CaCO}_3$  dle vztahu:

$$^0\text{MP} = \frac{\text{CO}_{2h}}{\text{CO}_{2j}} \quad [-]$$

V první etapě karbonatace je oxidem uhličitým atakován především hydroxid vápenatý, popř. jeho roztokem v mezizrnném prostoru na nerozpustný uhličitán vápenatý, který krystalizuje převážně ve formě kalcitu. Vznikajícími krystalky jsou přitom částečně zaplňovány póry v materiálu. V důsledku těchto procesů dochází ke zvyšování hutnosti matrice, což může mít za následek zlepšení některých vlastností betonu či malty.

Ve druhé etapě karbonatace dochází zejména k interakcím mezi oxidem uhličitým a kalciumhydrosilikáty, přičemž produktem těchto reakcí jsou různé modifikace uhličitánu vápenatého, které vznikají společně s amorfním gelem kyseliny křemičité a zůstávají přitom v pseudomorfózách po hydratačních zplodinách maltovin, příp. jako velmi jemnozrnné krystalické novotvary uhličitánu vápenatého. Vlastnosti betonu se příliš nemění, mechanické vlastnosti pak kolísají kolem původních hodnot.

Ve třetí etapě karbonatace dochází k překrystalování dříve vzniklých uhličitánových novotvarů, a to z mezizrnného roztoku. Přitom vznikají velmi početné a poměrně velmi rozměrné, proti dřívějším útvarům až desetkrát větší krystaly kalcitu a aragonitu. Současně mohou přitom méně stálé modifikace uhličitánu vápenatého vlivem vlhkosti a déle trvající karbonatace přecházet na modifikace stálejší. Mechanické vlastnosti se betonu se postupně zhoršují.

Čtvrtá etapa karbonatace je charakterizována téměř stoprocentním stupněm karbonatace, při němž hrubé krystaly aragonitu a zejména kalcitu prostupují celou strukturu cementového tmelu, což je v krajním případě spojeno se ztrátou jeho soudržnosti a pevnosti.

### 3.6.2. Metodika zkoušek

Vzorky pro účely fyzikálně chemických analýz byly připravovány z jádrových vývrtů po destruktivním stanovení pevnosti betonu v tlaku.

Vzorky byly připravovány tak, aby bylo možno posoudit kvalitu betonu resp. míru degradace betonu v závislosti na vzdálenosti od povrchu hodnocené konstrukce. (tzn. stanovit hloubku narušení betonu).

V dalším textu jsou vzorky betonu označovány stejným symbolem jako vývrt či sonda, z které byly připraveny (tzn. písmenem V ).

Vzorky betonu byly podrobeny fyzikálně chemickým stanovením, jejichž výsledky umožňují pregnančně stanovit míru koroze betonu v důsledku působení agresivních látek obsažených ve vodě. Vzorky betonu byly podrobeny těmto analýzám:

- Chemickému rozboru,
- Rentgenové difrakční analýze (RTG),
- Diferenční termické analýze (DTA),
- Stanovení pH betonu ve výluhu.

Podrobný postup stanovení kvality resp. míry degradace betonu byl proveden podle metodického postupu VUT FAST, č.30-33/1 a dle metodiky Matoušek, Drochytka: "Stanovení atmosférické koroze betonu" uvedené v publikaci obou autorů "Atmosférická koroze betonů", IKAS Praha, 1998, která podává přehled o mikrostruktuře daného materiálu.

### 3.6.3. Chemický rozbor

Chemickým rozbohem byl v odebraných vzorcích betonu zjišťován v souladu s ustanovením ČSN 72 0100 "Základní postup rozboru silikátů. Všeobecná ustanovení" a souvisejících ČSN resp. ČSN EN obsah těchto složek:

- Nerozpustný zbytek
- Oxid vápenatý CaO
- Sířany
- Chloridy
- Oxid manganatý

### 3.6.4. Rentgenová difrakční analýza

Vyjma chemického složení významnou roli při hodnocení stavu resp. míry korozního narušení betonu hraje též jeho stanovení mineralogické složení. Toto stanovení lze realizovat rentgenovou difrakční analýzou. Difrakční metody strukturální analýzy jsou založeny na interferenci rentgenového záření a vycházejí z toho, že se v pevné, krystalické, látce nacházejí vzájemně rovnoběžné roviny, které jsou od sebe vzdáleny o tzv. mezimřížkovou vzdálenost ( $d$ ). Na těchto rovinách dochází k interferenci (zesílení) rentgenova záření. Interference záření krystalovou mřížkou se projeví nárůstem jeho intenzity. Každá krystalická látka obsahuje mnoho

různých rovin o mezimřížkových vzdálenostech  $d$ , na kterých vzrostou hodnoty intenzit záření. Tyto hodnoty jsou charakteristické pro každou krystalickou látku. Identifikace přítomných krystalických fází se provádí porovnáním hodnot  $d$  a  $I$ , odečtených z difraktogramu s hodnotami v uvedených v knihovnách (databázích) jednotlivých minerálů.

Ve struktuře betonu lze RTG analýzou identifikovat například fáze vznikající hydratací cementu (např. portlandit, kalciumhydrosilikátové fáze, ettringit, monosulfát apod.), fáze vznikající jejich následnou karbonatací (zejména klacit, aragonit, vaterit) a minerály pocházející z kameniva (zejména křemen, živce atd.) V případě, že je beton degradován působením agresivních látek z vnějšího prostředí, lze v jeho struktuře prokázat přítomnost produktů korozních reakcí probíhajících mezi cementovou maticí a agresivní látkou (např. sekundární ettringit, sádrovec, Friedlova sůl apod.).

### **3.6.5. Diferenční termická analýza**

Diferenční termická analýza (DTA analýza) je dynamická, tepelně analytická metoda. Je založena na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným materiálem a inertním standardem (u moderních přístrojů je tento standard virtuální) současně zahřívány v peci. Tepelné zbarvení reakcí, ke kterým ve vzorku při zahřívání dochází, se projeví maximy a minimy v exotermní a endotermní oblasti. Současně je sledována změna hmotnosti doprovázející jednotlivé reakce. Výstupem analýzy je pak stanovení obsahu jednotlivých složek v hodnoceném betonu. DTA analýza se tedy zpravidla využívá jako doplněk RTG analýzy právě pro přesnější kvantifikaci obsahu jednotlivých složek cementové matrice. Zásadní význam mají poznatky získané DTA analýzou například při hodnocení míry karbonatace betonu apod.

### **3.6.6. Stanovení hodnoty pH**

Přesně určené množství odebraného vzorku se ponechá vyluhovat v alikvotním množství destilované vody danou dobu. V roztoku výluhu se pomocí pH-metru stanoví hodnota pH.

## **3.7. FOTODOKUMENTACE**

Z posuzovaných míst, detailů charakteristických poškození byla pořizována fotodokumentace.

## 4. VÝSLEDKY PRŮZKUMU A ZKOUŠEK

### 4.1. PEVNOST BETONU V TLAKU

Výsledky destruktivního zkoušení pevnosti betonu v tlaku jsou uvedeny v tabulce č.1.

Tabulka č. 1: Výsledky destruktivního zkoušení pevnosti betonu v tlaku.

Označ. vývrtu	d	L	L/d	F	D	$f_{c,cy}^0$	$f_{c,cy}^1$	$f_{c,cy}$	$f_{c,cu}$
	[mm]	[mm]	[-]	[kN]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
V1/1	47,6	51,7	1,086	17,0	2150	9,6	8,4	8,0	10,1
V1/2	47,6	50,9	1,069	24,5	2240	13,8	12,0	11,5	14,4
V2/1	47,7	47,6	1,0	25,5	2050	14,3	-	13,7	13,7
V2/2	47,7	49,9	1,0	19,0	2240	10,6	-	10,2	10,2
V3	Kompletní rozpad celého vrtu = pevnost 0 Mpa (foto 21 a 22)								
V4/1	47,8	52,5	1,098	18,5	2190	10,3	9,1	8,7	10,9
V4/2	47,8	46,5	1,0	33,5	2130	18,7	-	17,9	17,9
V5/1	47,9	50,2	1,0	16,0	1960	8,9	-	8,5	8,5
V5/2	47,7	46,9	1,0	24,5	2200	13,7	-	13,2	13,2

Použité symboly:

$L$	délka vývrtu
$d$	průměr válcového zkušební tělesa
$L/d$	štíhlost válcového zkušební tělesa
$D$	objemová hmotnost betonu v době zkoušení
$F$	síla při porušení
$f_{c,cy}^0$	válcová pevnost na tělese s $d = 50\text{mm}$ ; $100\text{ mm}$ a $L/d \in \{1,1\}$ resp. s $L/d=1,0$
$f_{c,cy}^1$	válcová pevnost na tělese s $d = 50\text{mm}$ ; a $L/d=2$ ; $f_{c,cy}^1 = f_{c,cy}^0 \cdot \kappa_{lc,cyl}$
$f_{c,cy}$	válcová pevnost na která odpovídá pevnosti v tlaku na vývrtu $d = 100\text{ mm}$ a $L/d=1$ resp. $L/d=2$ ; $f_{c,cy} = f_{c,cy}^1 \cdot k_d$
$f_{c,cu}$	krychelná pevnost betonu na krychli s délkou hrany $150\text{mm}$ ;
$f_{c,cu}$	pevnost v tlaku na vývrtu $d=100\text{mm}$ a $L/d = 1,0$ , která odpovídá pevnosti v tlaku ze zkoušky krychle o hraně $150\text{mm}$

## 4.2 HLOUBKA KARBONATACE BETONU FENOLFTALEINOVÝM TESTEM

Výsledky stanovení hloubky karbonatce betonu v sondách jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 2:

Vyšetřovaná část stavby	Počet měření	Hloubka karbonatce betonu $h_{kar}$		
		průměrná [mm]	minimální [mm]	maximální [mm]
Stěny nad hladinou	5	55	15	80
Stěny v úrovni hladiny	5	6	5	10
Stěny pod hladinou	5	6	5	10

## 4.3. TLOUŠŤKA KRYCÍ BETONOVÉ VRSTVY

Hodnoty tloušťky krycí betonové vrstvy nad výztužnou ocelí jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 3:

Vyšetřovaná část stavby	Počet měření	Tloušťka krycí vrstvy betonu $t_b$		
		průměrná [mm]	minimální [mm]	maximální [mm]
Stěny nad hladinou	5	Nad 100 mm či beton bez výztužné oceli		
Stěny v úrovni hladiny	5			
Stěny pod hladinou	5			

## 4.4. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu je uvedena v tabulce číslo 4.

Tabulka č. 4: Výsledky stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu

Č.	Část kce	Pevnost v tahu [MPa]	Místo porušení
1	Nad vodou	1,1	Beton 5mm
2	Pod vodu	0,5	Beton 2mm
3	Úrovně hladiny	0,0	Povrch
4	Nad vodou	0,2	Beton 5mm

#### 4.5. ROZSAH PORUŠENÍ OBJEKTU

Na Základě provedeného místního šetření lze konstatovat následující skutečnosti:

- Horní hlava stěn je zcela nesoudržná a degradována do hloubky 100 mm od horní hrany (foto 1-4);
- Plocha od hlavy po úroveň hladiny je celoplošně degradována (již ztrácí soudržnost povrchových vrstev) až do hloubky 20 mm či vykazuje síť trhlin na povrchu (počátek degradace povrchu) (foto 5-8);
- V úrovni odpovídající úrovni hladiny (600 – 800 mm od hlavy) je beton zcela degradován a zcela nesoudržný až do hloubky 80 mm (foto 9-12);
- Rohy objektu jsou zcela degradovány (rozpadnutý) a zcela nesoudržné až do hloubky 100 mm (foto 10 - 16);
- Z interiéru objektu jsou viditelné výrazné trhliny ( kde dochází k průsakům) ve stěnách objektu až do hloubky 2,0 m od hlavy objektu (foto 17 -20).



Foto č. 1:



Foto č. 2:



Foto č. 3:



Foto č. 4:



Foto č. 5:



Foto č. 6:



Foto č. 7:



Foto č. 8:



Foto č. 9:



Foto č. 10:



Foto č. 11:



Foto č. 12:



Foto č. 13:



Foto č. 14:



Foto č. 15:



Foto č. 16:



Foto č. 17:



Foto č. 18:



Foto č. 19:



Foto č. 20:



Foto č. 21:



Foto č. 22:

## 4.6. MÍRA DEGRADACE BETONU

### 4.6.1. Chemická analýza

Výsledky chemické analýzy vzorků betonu jsou uvedeny v tabulce číslo 5.

Tabulka č. 5: Výsledky chemické analýzy

Označení vzorku	Nerozp. zbytek [%]	CaO [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	MnO [%]
Nad hladinou	76,05	10,3	1,88	0,89	0,102
Pod hladinou	67,26	11,9	2,10	2,10	0,147

### 4.6.2. Rentgenová difrakční analýza

Výsledky rentgenové difrakční analýzy jsou uvedeny v tabulce číslo 6.

Tabulka č. 6: Výsledky RTG analýzy

Označení vzorku	Identifikovaný minerál
Nad hladinou	Kalcit, ettringit, β křemen, živce, jílové slídy, jílové minerály
Pod hladinou	Kalcit, vaterit, aragonit, ettringit, β křemen, živce, jílové slídy

### 4.6.3. Diferenční termická analýza

Výsledky diferenční termické analýzy jsou uvedeny v tabulce číslo 7.

Tabulka č. 7: Výsledky DTA analýzy

Označení vzorku	Ztráta žiháním [%]	Uhličitán vápenatý jemnozrný [%]	Uhličitán vápenatý hrubozrný [%]	Uhličitán vápenatý celkový [%]
Nad hladinou	8,7	8,1	5,5	13,6
Pod hladinou	9,4	9,5	4,7	14,2

### 4.6.4. Stanovení pH betonu ve výluhu

Výsledky stanovení pH betonu ve výluhu jsou uvedeny v tabulce číslo 8.

Tabulka č. 8: Výsledky stanovení pH betonu ve výluhu

Označení vzorku	pH [-]
Nad hladinou	9,0
Pod hladinou	9,9

#### 4.6.5. Zařazení vzorků betonu do etapy karbonatace

Vypočtené hodnoty stupně karbonatace  $^{\circ}K$ , stupně modifikační přeměny  $^{\circ}MP$  a zařazení vzorků betonu do etapy karbonatace jsou uvedeny v tabulce 9

Tabulka č. 9: Zařazení vzorků betonu do etapy karbonatace

Označení vzorku	Stupeň karbonatace $^{\circ}K$ [%]	Stupeň modifikační přeměny $^{\circ}MP$ [-]	pH [-]	Etapa karbonatace
Nad hladinou	74,1	0,68	9,0	III.- IV.
Pod hladinou	66,8	0,49	9,9	II.

#### 4.6.6. Závěr

Na základě výsledků provedených fyzikálně chemických analýz lze uvést následující:

- Bylo prokázáno, že beton stěn nad hladinou se nachází ve třetí až čtvrté etapě karbonatace. Ve třetí etapě karbonatace dochází k prostupnému překrystalování jemnozrnných forem uhličitanu vápenatého (vaterit, aragonit) na formy hrubozrnné (kalcit). V důsledku těchto procesů v mikrostruktuře cementové matrice již může docházet k postupnému snižování mechanických vlastností betonu. Alkalita je již hluboko pod hranicí, kdy je beton schopen účinně pasivovat výztuž vůči korozi.
- Stěny pod hladinou se nachází ve druhé etapě karbonatace. V této etapě karbonatace dochází v důsledku působení atmosférického oxidu v mikrostruktuře betonu ke vzniku jemnozrnných krystalků uhličitanu vápenatého ve formě vateritu či aragonitu. Fyzikálně mechanické vlastnosti betonu v důsledku reakcí probíhajících ve druhé etapě karbonatace dosud neklesají. Beton, který je ve druhé etapě karbonatace dosud poskytuje svým pH výztuži ochranu vůči korozi. Toto konstatování ovšem platí za předpokladu, že výztuž je chráněna dostatečně silnou krycí vrstvou, jejíž kompaktnost není narušena např. mechanickým poškozením.

## 5. SOUHRN VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU

### 5.1. PEVNOST BETONU V TLAKU

Pevnosti betonu v tlaku dosahovali u konstrukcí stěn hodnot 0,0 – 17,9 MPa. Stanovené pevnosti betonu v tlaku jsou značně variabilní, což znemožňuje jednoznačně určit pevnostní třídu betonu. Skutečnost lokálně nulové pevnosti ovšem poukazuje na havarijní stav objektu.

### 5.2. HLOUBKA KARBONATECE A TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY BETONU NAD VÝZTUŽÍ

Hloubka karbonatace stěn nad vodou dosahoval až 80 mm. U stěn pod vodou pak pouze maximálně 10 mm; Ocelová výztuž je hlouběji než 100mm pod povrchem či a to pravděpodobněji není v konstrukce vůbec.

### 5.3. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu dosovala velmi nízkých hodnot 0,0 – 1,1 MPa. Hodnota 1,1 byla dosažena na soudržném povrchu nad hladinou (pouze cca 20% z vyšetřovaného povrchu).

### 5.4. DRUH CEMENTU A DEGRADACE BETONU

Bylo jednoznačně prokázáno, že pojivo v hodnocených vzorcích betonu je na bázi portlandského cementu. Povrchové vrstvy předmětných betonových konstrukcí se nachází v II. - III. a na pokraji IV. etapy karbonatace.

### 5.5. PORUCHY KONSTRUKCE

Na konstrukci byly evidovány výrazné poruchy rozpadajícího se povrchu betonu do hloubky až 100 mm a trhliny, kterými dochází k průsakům do konstrukce. Poruchy byly evidovány až do hloubky 2,0 od hlavy objektu.

### 5.6. DOPORUČENÍ

Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že **objekt je již na konci své životnosti a funkčnosti**. Je tedy nutná oprava předmětného objektu.

Vzhledem k míře a hloubce degradace není sanace objektu posouzena jako efektivní způsob opravy. **Doporučujeme odbourání objektu do hloubky 2,0m (tedy cca 1,0 m pod hladinu) a provedení betonáže nové horní části objektu za předpokladu provedení z vodo-stavebního betonu.**

V Brně dne 21.8.2017

**Ing. Zdeněk Šnirch, Ph.D.**  
*zodpovědný zpracovatel*