



KÚ
100 LET
KLOKNEROVA
ÚSTAVU ČVUT
V PRAZE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

K L O K N E R Ů V Ú S T A V

Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice

Expertní zpráva č. 2100 J 041	Datum vydání zprávy 20. dubna 2021	Oddělení KÚ Experimentální tel. +420 224 353 537
Objednatel: Mürabell s.r.o. kancelář Hydroka s.r.o. Nad Rázkem 15 143 00 Praha 4 - Modřany		
Expertní zpráva: STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM BETONOVÉ ZDI LEVOBŘEŽNÍHO NÁHONU A KAŠNY Č. 3 malá vodní elektrárna Locket, jez v ř.km 191,125		
Vypracoval:	Ing. Milan Rydval, Ph.D.	
Spolupráce:		
Odpovědný řešitel:	Ing. Milan Rydval, Ph.D.	
Vedoucí oddělení:	Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.	
Ředitel KÚ:	Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.	
Výtisk číslo: 1 2 3 4 5	Rozdělovník: Objednatel: 4x Archiv KÚ: 1x	

Zpráva může být reprodukována pouze jako celek. Části zprávy mohou být reprodukovány, publikovány nebo jinak použity pouze na základě písemného souhlasu ředitele Kloknerova ústavu.

ANOTACE

Zpráva uvádí výsledky stavebně technického průzkumu betonové zdi náhonu a kašny č. 3 v rámci malé vodní elektrárny v Lokti, jehož cílem bylo stanovení materiálových parametrů betonu levobřežní zdi náhonu a stěn kašny.

Zprávu zpracovali pracovníci ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, který je zapsán v seznamu ústavů kvalifikovaných pro znaleckou činnost dle ustanovení §21 odst. 3, zákona č. 36/1967 Sb. a vyhlášky č. 37/1967 Sb., ve znění pozdějších předpisů, uveřejněném v Ústředním věstníku ČR, ročník 2004, částka 2, ze dne 14.10.2004, přílohy ke sdělení Ministerstva spravedlnosti ze dne 13.7.2004, č.j. 228/203–Zn.

Laboratoř Kloknerova ústavu ČVUT v Praze je akreditovaná českým institutem pro akreditaci, o.p.s. (ČIA) podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. Předmětem akreditace je **zkoušení mechanicko-fyzikální a reologických vlastností stavebních materiálů, statické a dynamické zkoušky stavebních konstrukcí, součástí a prvků včetně vyšetřování dynamických účinků na konstrukce**. Platnost osvědčení do 11. 5. 2023.

Klíčová slova: Schmidtův tvrdoměr, pevnost v tlaku, beton, chemická analýza, ettringit



Obr. 1: Celkový pohled na řešenou část levobřežní betonové stěny náhonu malé vodní elektrárny v Lokti

OBSAH:

1. ÚVOD	4
2. PODKLADY	5
3. POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	6
4. POUŽITÉ METODY A POSTUPY	6
4.1 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA	6
4.2 ODBĚR JÁDROVÝCH VÝVRTŮ Z KONSTRUKCE	6
4.3 NASÁKAVOST BETONU	6
4.4 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY PEVNOSTI BETONU V TLAKU	7
4.5 RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA – XRD	8
4.6 NEDESTRUKTIVNÍ STANOVENÍ PEVNOSTI BETONU V TLAKU	9
5. VÝSLEDKY STAVEBNĚ TECHNICKÉHO PRŮZKUMU	9
5.1 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA	9
5.2 BETON	10
5.2.1 Odběr jádrových vývrtů, struktura betonu vývrtů	10
5.2.1.1 Rentgenová difrakční analýza (XRD)	11
5.2.1.2 Problematika síranové koroze betonu	14
5.2.2 Nasákavost betonu, objemová hmotnost betonu zjištěná hydrostaticky	19
5.2.3 Pevnost betonu v tlaku	20
6. ZÁVĚR	22
7. SEZNAM PŘÍLOH	22

1. ÚVOD

Na základě objednávky ze dne 29. 01. 2021 mezi společností Mürabell, s.r.o. se sídlem Hořejší 116, 267 03 Hudlice zastoupené Ing. Milane Müllerem a Kloknerovo ústavem ČVUT v Praze (interní číslo 2100 J 041) provedli pracovníci KÚ stavebně technický průzkum části betonové konstrukce levobřežního náhonu a stěn kašny č. 3 malé vodní elektrárny v Lokti.

Cílem prací bylo stanovení materiálových parametrů betonu a poskytnout podklad pro další projekční práce.

Rozsah provedených prací byl stanoven v cenové nabídce ze dne 28. prosince 2020 a odsouhlasen v rámci objednávky ze dne 29. ledna. 2021.

Veškeré práce in-situ proběhly 3. března 2021, ostatní práce proběhly v březnu až dubnu 2020.

V rámci akce provedli pracovníci KÚ následující práce:

- i. Vizuální prohlídka konstrukce,
- ii. odběr jádrových vývrtů Ø 100 mm pro následné zkoušky,
- iii. stanovení nasákavosti betonu,
- iv. destruktivní stanovení pevnosti betonu v tlaku na vývrtech,
- v. rentgenová difrakční analýza betonu,
- vi. nedestruktivní stanovení pevnosti betonu v tlaku,
- vii. fotografická dokumentace,
- viii. vyhodnocení výsledků provedených zkoušek a sepsání zprávy.

2. PODKLADY

- [1] ČSN EN 12504-1 (73 1303) – Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku, říjen 2009.
- [2] ČSN 73 1316 – Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlínivosti betonu (norma zrušena).
- [3] ČSN EN 12504-1 (73 1303) – Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku, říjen 2019.
- [4] ČSN EN 12390-7 (73 1302) – Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu, srpen 2020.
- [5] ČSN EN 12390-3 (73 1302) – Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, květen 2020.
- [6] ČSN EN 12390-3 (73 1302) – Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, říjen 2009.
- [7] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty, leden 2016.
- [8] ČSN EN 13791 (73 1303) – Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a prefabrikovaných betonových dílcích, únor 2020.
- [9] ČSN EN 206+A1 (73 2403) – Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, květen 2018.
- [10] ČSN 73 1373 – Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu, říjen 2011.
- [11] ČSN 73 2011 – Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí, červen 2012.
- [12] ČSN 73 0038 – Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení, listopad 2019.
- [13] Harrison, W., H.: Sulphate resistance of buried concrete. Building Research Establishment Report, 1992.
- [14] Brown, P., W.: An evaluation of the sulfate resistance of cements. Cement and Concrete Research, 11, 1981, pp. 719-727.
- [15] Al-Amoudi, O., S., B., Maslehuddin, M., Saadi, M., M.: Effect of magnesium sulfate and sodium sulfate on the durability performance of plain and blended cements. ACI Materials Journal, 92, No. 1, 1995, pp. 15-24.
- [16] Neville, A.: The confused world of sulfate attack on concrete. Cement and Concrete Research, 34, 2004, pp. 1275-1296.
- [17] ČSN 73 1325 – Stanovení mrazuvzdornosti betonu zkrácenými zkouškami (norma zrušena).
- [18] Drochytka, R.: Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III, 2012.

3. POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

- | | |
|--|---------------------------------|
| ➤ Měřičské pásmo 5m, Assist | - metrologické číslo P 01 009 M |
| ➤ Posuvné měřítko 150 mm | - metrologické číslo P 01 328 M |
| ➤ Teploměr, vlhkoměr | - metrologické číslo P 10 019 M |
| ➤ Elektronické váhy Kern 572-57 | - metrologické číslo P 04 004 M |
| ➤ Zkušební stroj VEB EDZ 1000 kN | - metrologické číslo S 12 012 M |
| ➤ Sušárna Binder | - metrologické číslo P 10 013 M |
| ➤ Jádrová vrtací sestava Weka + jádrové korunky Ø 100 mm | |

4. POUŽITÉ METODY A POSTUPY

4.1 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA

Vizuální prohlídka, i když ji nelze upřít subjektivnost, je jedním z nejdůležitějších postupů, neboť jen tento postup umožňuje odhalit nedostatky (trhliny, kaverny, šterková hnízda apod.) prakticky v celé zkoumané ploše konstrukce. Vizuální prohlídka byla zaměřena na betonový povrch levobřežní zdi náhonu a stěn kašny č. 3 malé vodní elektrárny v Lokti.

4.2 ODBĚR JÁDROVÝCH VÝVRTŮ Z KONSTRUKCE

Pro účely fyzikálně mechanických zkoušek (nasákavost, pevnost betonu v tlaku) a za účelem vizuálního zhodnocení kvality betonu bylo odebráno celkem 5 jádrových vývrtů Ø 100 mm ze zdiva náhonu a 2 jádrové vývrty Ø 100 mm ze zdiva kašny č. 3. Jádrové vývrty byly rovnoměrně rozmístěny po konstrukci levobřežní zdi náhonu a stěn kašny č. 3. Odběr jádrových vývrtů byl proveden dle ČSN EN 12504-1 [1,3] pomocí jádrové vrtačky Weka.

4.3 NASÁKAVOST BETONU

Principem zkoušky nasákavosti betonu dle ČSN 73 1316 [2] je zjištění množství vody, která vyplní kapiláry a otevřené póry ve struktuře betonu. Nasákavost betonu má nepříznivý vliv na kvalitu a mrazuvzdornost betonu. Nasákavost betonu je vypočtena dle následujícího vztahu:

$$N_i = \frac{m_n - m_s}{m_s} * 100$$

N_i nasákavost betonu [%]

m_n hmotnost vzorku nasáklého vodou do stálé hmotnosti [g]

m_s hmotnost vysušeného vzorku [g]

Vzorky vzniklé řezáním jádrových vývrtů se uloží do nádoby s vodou tak, aby měly co nejmenší výšku. Nádoba musí být nejméně o 5 cm vyšší než vložené vzorky. Do nádoby se naleje voda tak, aby zkoušené vzorky byly omočeny na výšku 3 cm. Každou hodinu se přilévá voda rovnoměrně tak, aby po třech hodinách byla hladina vody asi 1 cm nad povrchem vzorků. Hladina vody se po celou dobu nasakování vzorků udržuje ve výši asi 1 cm nad povrchem vzorků. Teplota vody v nádobě je $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Zkušební vzorky se sytí do stavu, ve kterém již nepřijímají vodu, obvykle 5 dní. Syčení vzorků je skončeno, jestliže během posledních 24 hodin nepřibýly na hmotnosti měřitelnou hodnotu. Zkušební vzorky se před vážením opatrně otřou tak, aby povrch betonu byl rovnoměrně vlhký. Zaznamenaná se hmotnost nasyceného vzorku m_n .

Dále jsou vzorky váženy hydrostaticky pod vodou m_h a následně jsou vzorky sušeny v sušárně Binder, metrologické číslo P 10 013 M, s nuceným oběhem vzduchu při teplotě $105 - 110^{\circ}\text{C}$ do okamžiku ustálení hmotnosti vysušeného vzorku m_s . Na základě výsledků vážení lze stanovit objemovou hmotnost betonu dle vztahu:

$$\rho_h = \frac{m_n}{m_n - m_h}$$

ρ_h	objemová hmotnost z hydrostatického vážení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
m_n	hmotnost vzorku nasáklého vodou do stálé hmotnosti [g]
m_h	hmotnost nasyceného vzorku hydrostatickým vážením [g]

4.4 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY PEVNOSTI BETONU V TLAKU

Pro účely destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku bylo z betonových konstrukcí odebráno celkem sedm jádrových vývrtů Ø 100 mm. Odběr jádrových vývrtů byl proveden dle ČSN EN 12504-1 [1,3]. V laboratoři byly vývrty zaříznuty a tlačné plochy zkušebních vzorků byly zabroušeny na stacionární brusce Form+Test. Takto připravené zkušební vzorky byly uloženy v laboratorním prostředí na vzduchu do doby dosažení ustáleného vlhkostního stavu. Poté byly vzorky změřeny a zváženy, aby bylo možno stanovit objemovou hmotnost betonu dle ČSN EN 12390-7 [4]. Takto připravené vzorky byly zkoušeny dle ČSN EN 12390-3 [5] v zatěžovacím stroji WPM 1000 kN, metrologické číslo S 12 012 M.

Pevnosti betonu v tlaku zjištěné na vývrtech $f_{c, \text{core}}$ je nutné převést na válcové pevnosti betonu v tlaku $f_{c, \text{is, cyl}}$, které odpovídají pevnostem betonu na válci základních rozměrů, tj. válci Ø 150 mm se štíhlostním poměrem $\lambda = 2$ dle vztahu:

$$f_{c, \text{is, cyl}} = f_{c, \text{core}} \cdot K_{\lambda} \cdot K_d$$

κ_λ je opravný součinitel štíhlosti dle ČSN EN 12390-3, Z1 [6] v závislosti na štíhlostním poměru $\lambda = h / d$ (kde h je výška vývrtu a d je \varnothing vývrtu); pro $1 < \lambda < 2$,
 κ_d převodní součinitel v závislosti na průměru vývrtu dle TKP 18 [7]

Válcové pevnosti betonu v tlaku $f_{c, is, cyl}$, které odpovídají pevnostem betonu na válcích základních rozměrů, se následně převedou na krychelné pevnosti $f_{c, is, cube}$, které odpovídají pevnostem betonu na krychlích základních rozměrů dle vztahu:

$$f_{c, is, cube} = f_{c, is, cyl} \cdot \kappa_{cyl, cube}$$

$\kappa_{cyl, cube}$ převodní součinitel pevnosti betonu na válcích základních rozměrů na krychelné pevnosti betonu na krychlích základních rozměrů dle ČSN EN 12390-3, Z1 [6]

Při provádění zkoušek vývrtů je nutné sledovat i způsob porušení vzorků, tj. aby skutečně došlo k porušení tlakem a nikoli smykem či příčným tahem. Nesprávně porušená tělesa vykazují obvykle velmi nízké pevnosti a takové výsledky se vyřazují z vyhodnocení.

Posouzení krychelné, resp. válcové charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci $f_{ck, is, cube}$ resp. $f_{ck, is, cyl}$ zkoušením vývrtů bylo provedeno dle ČSN EN 13791 [8] a pevnostní třída betonu byla stanovena dle ČSN EN 206+A1 [9].

4.5 RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA – XRD

Rentgenová difrakční analýza (XRD) je základní metodou k určování struktury pevných látek. Každá krystalická látka má jedinečný difraktogram, podle kterého ji lze identifikovat. Princip metody je založen na interakci rentgenového záření s elektrony atomů v pružném (bezfotonovém) rozptylu. Díky pravidelnému periodickému uspořádání atomů v krystalické fázi dochází po rozptylu a následné interferenci rentgenového záření ke vzniku difrakčních maxim, jejichž poloha, intenzita a tvar závisí na druhu atomů a dokonalosti jejich uspořádání v 3D prostoru. Studium tohoto difrakčního obrazce pak umožňuje zpětně studovat krystalické složení vzorku a jeho mikrostrukturu.

Vzorky pro XRD analýzu byly podrceny na velikost zrn cca 1 až 2 mm, ze vzorků byla vybrána zrna kameniva v co největší míře. Takto upravený vzorek byl kvarterizován, výsledný vzorek o hmotnosti 30 g byl rozmělněn v achátovém třecím mlýnku na velikost zrn pod 0,063 mm. Takto upravený vzorek byl podroben rentgenové difrakční analýze na přístroji XRD Empyrean, který využívá ovládací software Data Collector.

4.6 NEDESTRUKTIVNÍ STANOVENÍ PEVNOSTI BETONU V TLAKU

Pro nedestruktivní stanovení pevnosti betonu v tlaku byla použita tvrdoměrná metoda Schmidtova tvrdoměru (typu N-34, metrologické číslo S 12 020 M). Zkoušky, včetně jejich vyhodnocení, byly provedeny v souladu s ČSN 73 1373 [10] a ČSN 73 0038 [12].

Metoda je založena na principu pružného rázu dvou těles. Při zkoušce krychelné pevnosti betonu v tlaku Schmidtovým tvrdoměrem se zjišťuje velikost odrazu α úderného ocelového beranu vyvolaného pružinou od ocelového razníku opřené o povrch betonu. Měřeným parametrem je tedy velikost odrazu a zachycená ukazatelem na stupnici umístěné na pouzdru tvrdoměru.

Velikost odrazu α je závislá na pružnosti a tvrdosti betonu. Naměřené hodnoty odrazu α se převedou dle obecného kalibračního vztahu uvedeného v ČSN 73 1373 [10] na krychelnou pevnost betonu v tlaku s nezaručenou přesností f_{be} , která se násobí součiniteli α_t a α_w zohledňujícími stáří a vlhkost betonu.

Zpracování výsledků pro stanovení charakteristické krychelné pevnosti betonu v tlaku $f_{ck, cube}$ bylo provedeno dle ČSN 73 0038 [12] a pevnostní třída betonu byla stanovena dle ČSN EN 206+A1 [9].

5. VÝSLEDKY STAVEBNĚ TECHNICKÉHO PRŮZKUMU

Rozsah provedených prací byl stanoven v cenové nabídce ze dne 28. prosince 2020 a odsouhlasen v rámci objednávky ze dne 29. ledna 2021. Poloha odběru jádrových vývrtů a jednotlivých zkoušek byla zvolena při místním šetření Ing. Milanem Rydvalem, Ph.D. (Kloknerův ústav). Otvory vzniklé jádrovým vrtáním byly zapraveny sanační PCC hmotou Premix SAN B-R2. Veškeré práce in-situ proběhly 3. března 2021.

5.1 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA

Vizuální prohlídka byla zaměřena na povrch betonové levobřežní zdi náhonu malé vodní elektrárny v Lokti a zdi kašny č. 3. Levobřežní zeď náhonu je po délce rozdělena cca na třetiny. Vzhledem k množství vody v kašně, byly práce zaměřeny pouze na krajní stěny kašny (bez čelní stěny proti stavidlu). V rámci vizuální prohlídky byly pořízeny fotografie, které mapují reálný stav konstrukce v době provádění prací in-situ. Tyto fotografie jsou uvedeny a popsány v Příloze 1.

Na základě vizuální prohlídky lze konstatovat:

- Na návodní straně je ve výšce cca 1,7 m nad dnem náhonu je patrné rozhraní mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi, viz Foto 1 až 6, Příloha 1.
 - a) Nad touto hranicí byly provedeny 4 nedestruktivní zkoušky pevnosti betonu v tlaku.

- b) Z odebraných jádrových vývrtů byla připravena zkušební tělesa, kde **část těles byla zkoušena v plně nasyceném stavu a část těles byla zkoušena ve stavu vysušeném.**
- V levé části zdi (směrem ke kašně č. 3) patrný náběh v patě stěny. Do tohoto náběhu byl proveden jádrový vývrt č. 5.
- a) V ploše náběhu patrná místa s degradovanou (odpadlou) vrstvou betonu, viz Foto 7 až 9, Příloha 1.
- Pod hlavou stěny je patrná hloubková degradace povrchové vrstvy betonu, viz Foto 10 a 11, Příloha 1.
- a) Další degradace povrchových vrstev betonu je patrná na Foto 12 až 14, 16 a 17, Příloha 1.
- b) Dle Foto 10 a 11, v Příloze 1, a čela vývrtů č. 2 a 5 lze předpokládat historické provedení stěrky na části zdi náhonu.
- c) Pod horní hranou jsou patrné vápenné výluhy, které lze přisoudit vyluhování pojiva z betonu, detail viz Foto 12.
- Na pravé a střední části levobřežní stěny náhonu jsou patrné otisky prkenného bednění od výšky cca 0,6 až 1,0 m, viz Foto 2, 3, 6 a 12, Příloha 1. Ostatní
- Kromě výše uvedených degradačních procesů **nebyly na zdi náhonu zaznamenány žádné významné poruchy či poškození trhlinami.**
- Na stěnách kašny patrné oblasti za stavidlem s degradovanou / odpadlou povrchovou vrstvou betonu, viz Foto 19 a 20, 22 až 25, Příloha 1.
- V místě přelivné hrany za stavidlem patrná chybějící betonová část hrany, viz Foto 21, Příloha 1.
- Vodící ocelové lišty stavidla jsou zasaženy korozí různé intenzity, viz Foto 22, Příloha 1.

5.2 BETON

5.2.1 Odběr jádrových vývrtů, struktura betonu vývrtů

Pro účely fyzikálně mechanických zkoušek (nasákavost a pevnost betonu v tlaku, mrazuvzdornost, přídržnost) a za účelem vizuálního zhodnocení kvality betonu byly odebrány celkem 4 jádrové vývrty ze zdiva náhonu, jeden vývrt z náběhu (paty zdi náhonu) a dva vývrty ze zdiva kašny č. 3. Odběr jádrových vývrtů byl proveden dle ČSN EN 12504-1 [1] pomocí jádrové vrtačky Weka. Vrtání levobřežní stěny náhonu bylo vždy ukončeno při navrtání kamenné části zdi – délka vývrtu odpovídá tloušťce betonové stěny v místě provedení vývrtu.

Dle informací od objednatele je zdivo náhonu dvojího stáří, kdy do novodobější vyztužené části konstrukce byly provedeny vývrty 1 a 3 a do původní nevyztužené části konstrukce byly provedeny vývrty 2, 4 a 5. Vývrty 6 a 7 byly provedeny do zdiva kašny.

Na základě provedení odběru jádrových vývrtů lze konstatovat:

- Lokálně došlo k zachycení výztuže u vývrtů č. 1, 2 a 3.
- Čela vývrtů č. 2, 5, 6 a 7 jsou tvořena jemnozrnnou sanační vrstvou proměnné tloušťky 10 až 32 mm.
- **Stěna náhonu** má v pravé a střední části (u stavidla) tloušťku cca 530 až 545 mm (viz vývrty 1 až 3), v levé části (u kašny č. 3) má tl. min 985 mm (viz vývrt 4).
- Do náběhu v patě stěny byl proveden vývrt č. 5 svírající se dnem náhonu úhel cca 40°. Tímto vývrtem nebylo možno zjistit hloubku založení stěny.
- **Beton je hutný až pórovitý** s větším počtem pórů do 8 mm a lokálním výskytem dutin a kaveren s max. velikostí 45 mm (viz vývrt č. 7).
- Beton obsahuje **vyvážený podíl drobného a hrubého** těženého **kameniva** s lokálním výskytem oblastí s převažujícím hrubým kamenivem nad kamenivem drobným.
 - a) Ve vývrtech zaznamenán i **lokální výskyt drceného kameniva** s maximální velikostí zrn $D_{\max} = 25 \text{ mm}$ (vývrt č. 1).
 - b) **Maximální hrubé těžené kamenivo** má rozměr zrn $D_{\max} = 125 \text{ mm}$ (vývrt č. 4).
- Na zlomech a v kavernách některých vývrtů byly **zaznamenány bílé výluhy**, které byly podrobeny XRD analýze – viz kapitoly 4.5 a 5.2.1.1.
- **Poloha odběru jádrových vývrtů** je zachycena **na Foto 1 až Foto 4 v Příloze 2**, popis struktury betonu pláště odebraných vývrtů je uveden v tab. 1 a zachycen na Foto 5 až Foto 8 v Příloze 2.

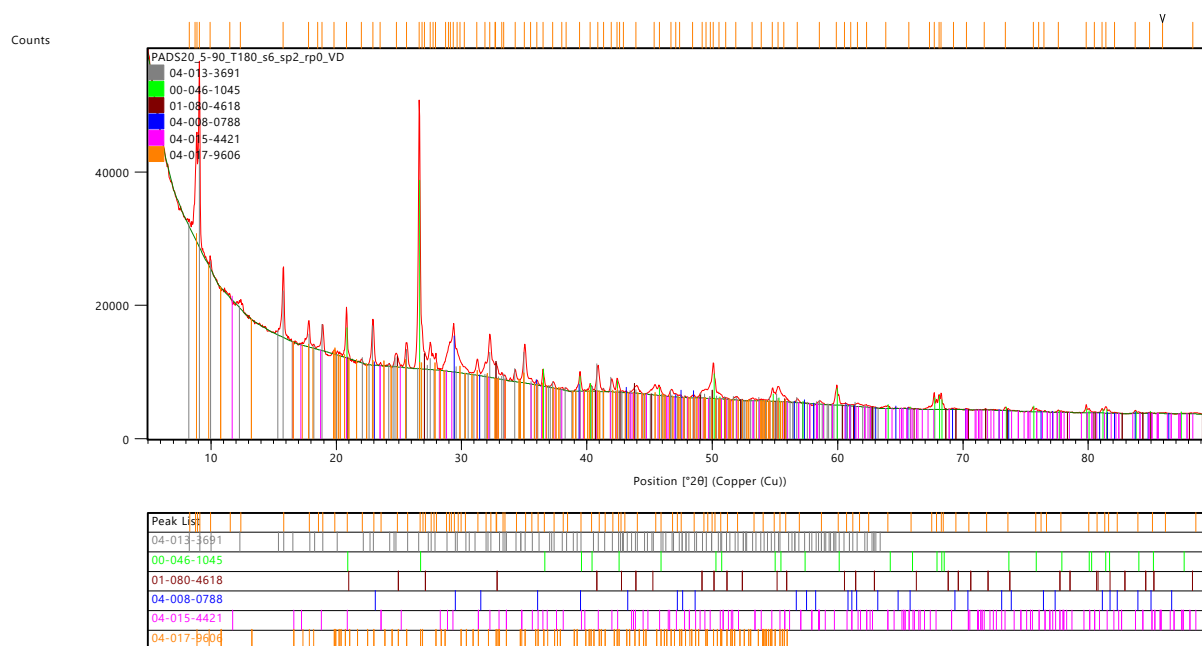
5.2.1.1 Rentgenová difrakční analýza (XRD)

Za účelem zjištění mineralogického (krystalického) složení bílých vykrystalizovaných výluhů ve vzorcích betonu (viz obr. 2) odebraných z levobřežní zdi náhonu a zdiva kašny č. 3 MVE v Lokti byla provedena rentgenová difrakční analýza (XRD) na vzorcích po zkouškách pevnosti betonu v tlaku.



Obr. 2: Bílé vykrystalizované výluhy v pórech vzorku betonu

Z části vývrtů byly opatrně seškrábány vzorky bílých krystalků z více míst. Jelikož se jednalo o velmi malou vrstvu, byl vzorek kontaminován i jemnými částicemi z betonu. Tento vzorek bílých krystalků byl podroben rentgenové difrakční analýze. Rentgenový práškový difraktogram (viz obr. 3) byl měřen na přístroji PANalytical X'PertPRO (PANalytical B.V., Almelo, NL). Bylo použito CuK_{α} záření (napětí 40 kV, proud 30 mA). Rozsah měření byl 5 až 90 stupňů 2theta s krokem 0,039 stupně a dobou načítání 175 sec/krok.



Obr. 3: Rentgenový práškový difraktogram vzorku bílých vykrystalizovaných výluhů

Seznam fází:

Ref.Code	Score	Compound Name	Mineral Name	Chem. Formula	SemiQuant[%]
04-013-3691	43	Calcium Aluminum Sulfate Hydroxide Hydrate	Ettringite, syn	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}(\text{H}_2\text{O})_{26}$	35
00-046-1045	29	Silicon Oxide	Quartz, syn	SiO_2	32
01-080-4618	31	Calcium Carbonate	Vaterite, syn	CaCO_3	8
04-008-0788	29	Calcium Carbonate	Calcite, syn	CaCO_3	7
04-015-4421	6	Calcium Sulfate Hydrate	Gypsum	$\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$	<1
04-017-9606	31	Potassium Aluminum Silicate Hydroxide	Muscovite-2M1	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	19

Z uvedeného difraktogramu je zřejmé, že hlavní složkou v předmětném vzorku je ettringit, křemen a muskovit pocházející z kameniva a uhličitán vápenatý ve dvou krystalických formách, a to ve formě kalcitu a vateritu.

Jelikož se jedná o konstrukci smáčenou vodou, domníváme se, že vyluhované sírany, pocházející z cementu, za přístupu vody reagovali s kalciumalumináty za vzniku ettringitu, jehož krystaly mají v pórovitém (mezerovitém) prostoru betonu možnost vytvářet jehlicovité krystaly. Z výluhů z betonu docházelo v pórech rovněž k vykrystalizování uhličitánu vápenatého (kalcit, vaterit).

Na základě výsledků XRD analýzy lze konstatovat:

- V betonu byly zjištěny krystalické produkty chemických degradačních reakcí typické pro síranovou korozi, **tj. ettringit**. V tomto případě jsou tyto produkty zpravidla makroskopicky identifikovatelné pouhým okem jako bílá krystalická hmota jehlicovitého charakteru ve struktuře betonu. Nutno zmínit, že ne všechna bílá hmota ve struktuře betonu musí být produktem těchto reakcí.
- **Působením vody a vlhkosti**, která snadno migruje pórovitou strukturou betonu, vznikají zředěné roztoky síranů (rozpuštěním složek sádrovce) a jejich reakcí s aluminátovými složkami cementu **dochází k tvorbě ettringitu. Tento proces lze označit za vnitřní síranovou korozi betonu** (zdroj síranů je uvnitř betonu; detailněji viz kap. 5.2.1.2). Dotace síranů z vnějšího prostředí, tj. z podzemí, případně říční vody **nebyl zjišťován**.

- **Průběh síranové koroze betonu je nezávislý na zdroji síranů a koroze probíhá stejnými fyzikálně-chemickými procesy.** Nutnou podmínkou pro vznik a průběh korozních reakcí je vždy přítomnost vody či dostatečného množství vlhkosti v betonu.
- Problematika síranové koroze betonu je podrobněji diskutována v kapitole 5.2.1.2. Síranová koroze betonu je obecně **dlouhodobý proces. Jeho dynamika závisí na mnoha faktorech a podmínkách a pro každý případ korozního napadení je rozdílná.** **Dopady síranové koroze na degradaci betonu jsou rovněž rozdílné** a jsou dány fyzikálními podmínkami prostředí, ve kterém korozní reakce probíhají.
- **Ettringit má výrazně větší molární objem než složky vstupující do reakce.** V počátečním stádiu koroze dojde zejména u **hutného betonu** k přechodnému nárůstu pevnosti vlivem vyplnění pórů těmito reakčními produkty. Po překročení určitého kritického množství však **vzniká vnitřní expanzní napětí**, v jehož důsledku dochází ke vzniku mikrotrhlin ve struktuře betonu, **ztrátě soudržnosti a pevnosti** a v konečné fázi může dojít až k úplné destrukci betonu.
- **Beton je hutný až pórovitý** (tab. 1 a tab. 2, Příloha 2.2), tzn., že v jeho struktuře **je prostor pro krystalizaci objemnějších korozních produktů**. Lokálně byly zjištěny větší makropóry do velikosti 45 mm. Mikroskopickými analýzami **nebylo zjištěno zjevné poškození mikrostruktury betonu**, tj. mikrotrhliny v cementovém tmelu.
- Jak je již zmíněno výše, síranová koroze betonu je obecně dlouhodobý proces. Jeho **dynamika závisí na mnoha faktorech, podmínkách a pro každý případ korozního napadení je rozdílná. Rovněž nejsou k dispozici žádné údaje z minulých období**, které by bylo možno porovnat s aktuálně zjištěným korozním stavem. Tyto skutečnosti **velmi znesnadňují jakoukoli dlouhodobou predikci budoucího vývoje korozního napadení**.
- Na základě výše uvedeného konstatování lze usuzovat, že **průběh síranové koroze je pomalý avšak představuje ohrožení, tj. snížení únosnosti** konstrukcí zasažených síranovou korozí v důsledku poklesu mechanických vlastností betonu. Bohužel **nelze vyloučit další postupné zhoršování situace**. Pro monitorování a realistickou predikci dalšího vývoje je nezbytné ve zvolených časových intervalech (navrhujeme cca 5 až 10 let) provádět kontrolní odběry a chemické analýzy betonu konstrukcí, které jsou síranovou korozí zasaženy.

5.2.1.2 Problematika síranové koroze betonu

Síranová koroze je hlavním představitelem **koroze III. druhu**. Je způsobována vázáním síranových iontů z agresivního roztoku některými složkami hydratovaného cementu. Nově vznikající krystalické produkty (sádrovec, ettringit) mají podstatně **větší objem** než složky vstupující do reakce. Následkem toho vzniká ve struktuře betonu **expanzní napětí**

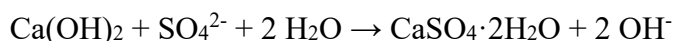
typické pro síranovou korozi. V počátečním stádiu koroze dojde k přechodnému zvýšení pevnosti betonu vlivem vyplnění pórů reakčními produkty (zvýšení hutnosti), ale po překročení určitého kritického množství vznikajících produktů se **pevnost betonu snižuje a může dojít až k jeho naprosté destrukci**.

Působení síranů na beton má za následek **negativní chemické a mikrostrukturní změny v cementovém tmelu**, které mohou vést ke zhoršení fyzikálních a mechanických vlastností (zvýší se propustnost betonu, sníží se vodonepropustnost a pevnost v tlaku i tahu).

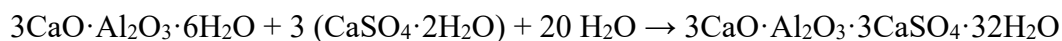
Při působení síranů na beton vznikají **produkty s vyšším molárním objemem** v porovnání s objemem reaktantů; **jedná se zejména o tyto produkty**:

- a) sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
- b) sekundární ettringit $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$,
- c) thaumasit $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ (vzniká za specifických podmínek).

- **Sádrovec** vzniká reakcí mezi hydroxidem vápenatým a rozpustnými sírany, které penetrují do pórů betonu. Reakci lze popsat rovnicí:



- **Ettringit** (nazývaný též Candlotova sůl či cementový bacil). Tvorba ettringitu a velikost vzniklých krystalů spojených s vnitřními expanzními tlaky závisí na mnoha faktorech, zejména pak na koncentraci $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v cementovém tmelu a koncentraci působících síranů. Obecně lze tuto reakci popsat rovnicí:



- **Thaumasit** vzniká kombinovaným působením síranů a uhličitánů při $\text{pH} > 10,5$ při nízkých teplotách, nejlépe okolo 5°C . Rychlost tvorby thaumasitu výrazně klesá při teplotách 15°C - 20°C a při teplotách nad 25°C jeho tvorba již není možná. Poškození betonu vlivem thaumasitu je značné, protože je spojeno s rozkladem C-S-H fází. Vznik thaumasitu lze popsat rovnicí:



Jak již bylo zmíněno výše, všechny tři produkty jsou spojeny s **nárůstem objemu ve struktuře betonu, což vyvolává značné vnitřní expanzní krystalizační tlaky, které mohou vést k jeho rozpadu**.

Zdroj síranů – vnější a vnitřní síranová koroze

V řadě literárních pramenů se síranová koroze dělí na korozi vnější a vnitřní.

- **Vnitřní síranová koroze** (zdroj síranů se nachází uvnitř betonu): Zdrojem síranů může být cement, příměsi jako např. popílek nebo struska, kamenivo, chemické příměsi nebo voda. Příkladem takové koroze je jednak „klasická“ koroze nadbytečnými sírany z cementu (ve vztahu k aluminátové fázi slínku), a také tzv. proces opožděného vzniku ettringitu (DEF; Delayed Ettringite Formation).
- **Vnější síranová koroze:** Zdroj síranů se nachází mimo beton. Sírany mohou pocházet z podzemní vody nebo zeminy; dalšími zdroji síranů jsou pevné průmyslové odpady, které jsou vystaveny srážkové nebo podzemní vodě. Příkladem jsou odpady z důlního průmyslu (škvára, rezidua olejnatých břidlic), ze spalování uhlí (zbytky po spalování, popel z roštu, popílek) a hutního průmyslu (nekvalitní struska). Přímá souvislost těchto síranů s poškozením betonu závisí na jejich koncentraci a rozpustnosti, přístupu a mobilitě kontaktní vody a podmínkách daného prostředí.

Z hlediska síranové koroze betonu mohou v některých oblastech negativně ovlivnit složení podzemních vod i **výtoky důlních vod**, jako jsou výtoky ze štol a železničních tunelů, kdy obsah síranů vzniklých oxidací sulfidické síry dosahuje velmi vysokých hodnot (až 10 000 mg/l) a uvolněná kyselina sírová snižuje hodnotu pH až na 4,0.

Zdrojem síranů mohou být i **průmyslové a zemědělské odpadní vody**. Je známo, že zemědělské odpadní vody jsou zdrojem agresivních chemikálií, přestože sírany (např. z hnojiv) nejsou nejběžnějšími ionty obsaženými v těchto vodách.

V neposlední řadě mohou sírany také pocházet z **atmosférického znečištění** a v závislosti na atmosférických podmínkách (teplota, vlhkost, vítr, atd.) mohou přispívat ke zvýšení koncentrace síranů v zeminách a podzemních vodách, a tím zvyšovat potenciální možnost síranové koroze betonových staveb.

Průběh síranové koroze betonu je nezávislý na zdroji síranů a koroze probíhá stejnými fyzikálně-chemickými procesy. Rozdíly v dopadech síranové koroze jsou dány fyzikálními podmínkami v prostředí, kde tyto reakce probíhají.

Projevy síranové koroze betonu

Typickými projevy síranové koroze betonu je drolení, delaminace, vznik trhlin, v pokročilé fázi ztráta pevnosti a soudržnosti betonu. Všechny tyto projevy jsou důsledkem chemického procesu, který není pouhým okem viditelný a který zahrnuje jevy jako je adsorpce - desorpce, rozpouštění - srážení koloidních i krystalických fází, rekrystalizace, atd.

Některé, nebo všechny zároveň, z následujících složitých fyzikálně-chemických procesů se mohou podílet na typické síranové korozi:

- Adsorpce či chemisorpce iontových součástí pórového roztoku na povrchu hydratovaných pevných látek, přítomných ve struktuře cementu. Jako specifický příklad může sloužit sorpce síranových a aluminátových iontů do C-S-H, která probíhá za určitých podmínek, a při změně podmínek může nastat jejich uvolňování. Tento mechanismus je patrně v zásadním vztahu k opožděnému vzniku ettringitu (DEF).
- Rozklad ještě nehydratovaných složek slínku. Existují důkazy, které ukazují, že průnik síranů do struktury betonu v časném stadiu může vést k jeho rozkladu či podnítit jeho rozklad, lépe řečeno dekalifikaci bezvodých křemičitanů vápenatých přítomných ve slínku. Následkem takového procesu je zvýšená pórovitost a vznik $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ nebo hydratovaných křemičitanů hořečnatých, které nemají pojivové vlastnosti nebo obou sloučenin zároveň. Za určitých podmínek železitá fáze, která se obvykle nepovažuje za součást procesu síranové koroze může být reaktivnější, což vede k uvolnění hlinitých a železitých iontů, které se dále mohou podílet na vzniku ettringitu.
- Rozklad již vytvořených produktů hydratace. Příkladem je dekalifikace $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a dokonce i rozklad C-S-H jako primárního pojiva ve struktuře cementu. Částečná nebo i celková destrukce v konečném důsledku vede ke ztrátě pojivových vlastností (soudržnosti cementového tmelu, vazby cementového tmelu s kamenivem, ztrátě pevnosti a snížení trvanlivosti betonu).
- Rozpouštění a odstranění $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z cementového tmelu. Následkem tohoto rozpouštění je vyluhování vápenných a hydroxidových iontů ze systému a z toho plynoucí možné snížení zásaditosti (pH) tmelu nebo reakce Ca^{2+} iontů se sírany, čímž vznikají potenciálně rozpínavé produkty, jako jsou ettringit a sádrovec.
- Vznik sádrovce. Jeho vznik je spojován s omezeným nárůstem objemu a stává se problémem při koncentracích síranů nad cca 3000 ppm. Jeho tvorba však spotřebovává dostupné zdroje vápníku, a proto vznik sádrovce může mít další sekundární důsledky v podpoře dalších jevů spojených se síranovou korozí.
- Vznik ettringitu. Vzhledem ke své nízké rozpustnosti může ettringit vznikat při relativně nízkých koncentracích síranů. To je důvod, proč vznik vnitřních expanzních tlaků způsobených ettringitem převládá nad tlaky způsobenými sádrovcem.
- Vznik thaumasitu. Thaumasit podle předpokladů vzniká především při teplotách cca 5 - 10°C. Přibývá však důkazů, že vzniká i při vyšších teplotách. Poškození způsobené

thaumasitem je podle publikací škodlivější než poškození ettringitem, protože thaumasit se vytváří z C-S-H.

- Penetrace síranových kationtů do betonu a následný vznik a opakovaná rekrystalizace síranových solí. Rekrystalizace thenarditu z/na mirabilit je příkladem tohoto jevu. Za určitých podmínek lze pozorovat i vznik dalších solí: uhličitan vápenatý (CaCO_3), trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), birunit ($8,5\text{CaSiO}_3 \cdot 8,5\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$), nahcolit (NaHCO_3), halit (NaCl) a další.

Mechanismy síranové koroze betonu jsou velmi složité a v některých případech ještě ne zcela pochopené. Výsledky experimentů prováděných zejména na vzorcích v laboratoři jsou v podstatě ve shodě, ale byla publikována i řada výsledků, které jsou obtížně interpretovatelné a vedou k určitým sporům.

Z odborné literatury zabývající se síranovou korozí vyplývá, že **krystalizace ettringitu v cementovém tmelu může, ale nemusí, způsobovat vznik vnitřních expanzních napětí v betonu.** Vznik expanzních napětí závisí na podmínkách, při kterých ettringit vzniká.

- Ettringit musí vznikat topochemickým procesem. Topochemická reakce je velmi obecně definována jako chemická reakce, při které se vznikající pevná fáze tvoří v prostoru, který původně zaujímaly výchozí pevné látky. Krystaly musí růst směrem k sousedící pevné fázi, aby na ni mohly vyvíjet tlak. Po překročení určité hranice množství ettringitu dojde ke vzniku expanzních napětí.
- Vznik a velikost expanzních napětí závisí na velikosti pórů. Čím jsou póry větší, tím je možnost vzniku expanzních napětí menší. Pokud krystal narazí na stěnu póru a v póru je dostatek prostoru, roste do volného prostoru. Expanzní napětí tedy vzniká, pokud dojde k vyplnění pórů.
- Aby krystalizace ettringitu nastala topochemickým procesem a vyvolala expanzní napětí, musí být dostatečně vysoká koncentrace $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hydroxidu vápenatého) v kapalně fázi. Při vysoké koncentraci $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nemohou zejména aluminátové ionty $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ vlivem přesycení kapalně fáze migrovat příliš daleko od fáze, která je jejich zdrojem. Proto se v topochemické reakci ettringit tvoří spíše na povrchu zdroje aluminátů. Pokud je koncentrace $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v kapalně fázi nízká, mohou ionty $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ migrovat volněji a ettringit může náhodně krystalizovat z kapalně fáze, aniž by došlo ke vzniku expanzních napětí.
- Morfologii a velikost vniklých krystalů ettringitu ovlivňuje (spolu se způsobem hydratace) také přítomnost $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v kapalně fázi. Zatímco dobře vyvinuté krystaly, dlouhé až 6 μm , se tvoří bez přítomnosti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo jen při jeho nízkých koncentracích, pak malé téměř koloidní částice o rozměrech pouze okolo 1 μm vznikají při nasyceném roztoku $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

- V reálných konstrukcích se při opakovaném smáčení a vysychání betonu ettringit může tvořit ve vzduchových pórech, které vznikly nedokonalým zhutněním směsi. Takový vznik ettringitu není sám o sobě škodlivý, protože krystalizační tlak vyvíjený v pórovém prostoru není tak velký, aby způsobil expanzní napětí v cementovém tmelu [13].

Řada světových odborníků považuje **pokles pevnosti v tlaku za kritérium pro posouzení rozsahu degradace a poškození betonu síranovou korozi.**

Harrison [13] sledoval změny v pevnosti v tlaku během 15letých expozičních testů, aby zjistil, do jaké míry byly vzorky betonu napadeny síranovou korozi.

Brown [14] ve svých laboratorních studiích také sledoval ztrátu pevnosti v tlaku vzorků cementové malty pro posouzení míry poškození sírany.

Al-Amoudi a kol. [15] při studiu účinnosti směsných cementů vystavených účinkům síranu hořečnatého a sodného rovněž použili jako hodnotící kritérium změnu pevnosti v tlaku.

A. Neville [16] se ve svém článku kloní k názoru, že změna pevnosti v tlaku je jedním z prostředků detekce dopadů síranové koroze a vyjadřuje názor, že pokud nedojde ke snížení pevnosti v tlaku, tak nedošlo ke vzniku expanzních napětí, přestože v betonu došlo k reakcím a přeměnám typickým pro síranovou korozi.

6.2.2 Nasákavost betonu, objemová hmotnost betonu zjištěná hydrostaticky

Principem zkoušky nasákavosti betonu (kap. 4.3, Příloha 2) je zjištění množství vody, která vyplní kapiláry a otevřené póry ve struktuře betonu. Nasákavost betonu má nepříznivý vliv na kvalitu a mrazuvzdornost betonu. S vyšší nasákavostí je beton méně odolný vůči působení zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů.

Na základě výsledků zkoušek nasákavosti a objemové hmotnosti betonu lze konstatovat:

- Průměrná hodnota nasákavosti betonu náhonu je 7,4%, přičemž jednotlivé výsledky oscilují mezi hodnotami 5,2 až 9,1% při variačním koeficientu 21,8%.
- Průměrná hodnota nasákavosti betonu zdiva kašny č. 3 je 6,7%, přičemž jednotlivé výsledky jsou 6,2 a 7,2% s variačním koeficientem 11,5%.
- Při hodnocení výsledků nasákavosti betonu, dle již neplatné normy ČSN 73 1325 [17], **nelze beton považovat za mrazuvzdorný.**
 - a) Překročení limitní hodnoty nasákavosti ($N \geq 6,5\%$) bylo zjištěno u 7 vzorků z celkem 12 vzorků podrobených stanovení nasákavosti.
- Průměrná hodnota **objemové hmotnosti betonu** stanovená hydrostatickým měřením dle ČSN EN 12390-7 [4] je **2 270 kg/m³ pro zdivo náhonu a 2 300 kg/m³ pro zdivo kašny.**
 - a) Rozptyl výsledků objemové hmotnosti je u konstrukce tohoto typu běžný.

- Poloha odběru jádrových vývrtů je zachycena na Foto 1 až 4, Příloha 2. Značení zkušebních těles je zaznamenáno na Foto 5 až Foto 8, Příloha 2. Výsledky stanovení nasákavosti betonu jsou uvedeny v tab. 3 a 4, Příloha 2.

6.2.3 Pevnost betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla zjišťována jak nedestruktivními (kap. 4.6) tak i destruktivními zkouškami na zkušebních tělesech připravených z odebraných jádrových vývrtů (kap 4.4).

Na základě provedených zkoušek a dalších skutečností lze konstatovat:

- Destruktivní zkoušky na vývrtech

- Pro účely destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku bylo ze zdiva náhonu odebráno 5 jádrových vývrtů Ø 100 mm a 2 jádrové vývrty Ø 100 mm byly odebrány ze zdiva kašny č.3.
- Z odebraných jádrových vývrtů byla připravena zkušební tělesa se štíhlostním poměrem cca 1:1. Vývrty byly zaříznuty a zakončovány broušením. V době zkoušek byla část zkušebních vzorků zkoušena v plně nasyceném stavu a část ve stavu vysušeném.
- Vyhodnocení výsledků destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku je provedeno pro všechna tělesa dle ČSN EN 13791 [8] s následujícím základním dělením:
 - a) tělesa vysušená simulující část konstrukce nezasaženou vodou,
 - b) tělesa plně saturována vodou simulující část konstrukce většinu času pod vodou.
- Vzhledem k rozdílnému stáří konstrukce a expozici vnějšímu prostředí bylo po dohodě s objednatelem provedeno ještě stanovení pevnostní třídy betonu dle ČSN EN 13791 [8] dle následujícího klíče:
 - a) novodobá konstrukce zdi náhonu (vývrty 1 a 3),
 - b) původní konstrukce zdi náhonu (vývrty 2, 4 a 5),
 - c) zdivo kašny č. 3 (vývrty 6 a 7).
- Vyhodnocení výsledků destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku na vývrtech a převod na krychelnou pevnost betonu $f_{c,cube}$ je provedeno v tab. 5 až 18, Příloha 2.

- Nedestruktivní tvrdoměrné zkoušky

- Nedestruktivní tvrdoměrné zkoušky pevnosti betonu v tlaku byly z hlediska konstrukce provedeny v užším záběru pouze jako doplňkové informativní měření. Zkušební místa byla zabroušena bruskou s diamantovým kotoučem.
- Při vyhodnocení nedestruktivních zkoušek byla vzata v úvahu hloubka karbonatace betonu (zkarbonatovaný beton vykazuje vyšší tvrdost, což zpravidla vede k nadhodnocení výsledků nedestruktivní tvrdoměrné zkoušky). Zjištěné hloubky

karbonatace betonu oscilují v rozmezí hodnot od 20 do 100 mm. Dle našich zkušeností došlo k ovlivnění tvrdoměrných zkoušek.

- Výsledky nedestruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku nebylo nutno upřesnit součinitelem α_c , stanoveným z destruktivně a nedestruktivně zjištěné pevnosti betonu na vývrtech v laboratoři, jelikož se pro jednotlivá zkušební tělesa pohyboval kolem hodnoty $\alpha_c = 1,0$.
- Výsledky nedestruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku jsou uvedeny v tab. 19 a 20, Příloha 2.

Na základě vyhodnocení výsledků destruktivních a nedestruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku a dalších zjištěných skutečností lze konstatovat:

- Při hodnocení souboru zkušebních těles jako celku (bez ohledu na typ a stáří konstrukce) **jsou zjištěné pevnosti betonu velmi variabilní. Hodnoty variačních součinitelů získaných z destruktivních zkoušek překračují max. hodnoty variačních součinitelů dle ČSN 73 2011 [11] stanovených pro rovnoměrný beton (rovnoměrný beton z hlediska pevnosti).**
 - a) Variační koeficient pro vysušená tělesa je 33,6%, variační koeficient pro plně saturovaná tělesa je 30,7%.
 - b) **Díky vysoké variabilitě výsledků je pevnostní třída betonu (bez ohledu na typ a stáří konstrukce) na úrovni C 8/10 jak pro vysušené, tak pro plně saturované vzorky.**
- **Vzhledem k malému počtu zkušebních těles připravených z vývrtů 1 a 3, odebraných z novodobé části konstrukce, nebylo možno stanovit pevnostní třídu betonu pro tělesa ve vysušeném stavu.**
- **Vzhledem k malému počtu zkušebních těles připravených z vývrtů 6 a 7, odebraných z konstrukce kašny, nebylo možno stanovit pevnostní třídu betonu pro tělesa ve vysušeném stavu.**
- Přehled výsledků je uveden v následující tab. 1.

Tabulka 1: Souhrnné stanovení pevnostní třídy betonu při rozdělení na jednotlivé konstrukce

	Vysušené vzorky				Plně nasycené vzorky			
	Počet zkoušek	Variační koeficient [%]	Pevnost betonu v tlaku f_{ck} [MPa]	Pevnostní třída betonu	Počet zkoušek	Variační koeficient [%]	Pevnost betonu v tlaku f_{ck} [MPa]	Pevnostní třída betonu
Původní konstrukce	6	35,8%	7,4	C 6/7,5	8	20,4%	11,7	C 9/12,5
Novodobá konstrukce	2	6,5%	nelze stanovit		3	9,2%	24,0	C 20/25
Konstrukce kašny	2	25,8%	nelze stanovit		3	34,8%	5,6	C 4/5
Hodnocení jako celek	10	33,6%	9,7	C 8/10	14	30,7%	9,5	C 8/10

6. ZÁVĚR

Na základě objednávky ze dne 29. 01. 2021 mezi společností Mürabell, s.r.o. se sídlem Hořejší 116, 267 03 Hudlice zastoupené Ing. Milane Müllerem a Kloknerovo ústavem ČVUT v Praze (interní číslo 2100 J 041) provedli pracovníci KÚ stavebně technický průzkum části betonové konstrukce levobřežního náhonu a stěn kašny č. 3 malé vodní elektrárny v Lokti.

Cílem provedených prací bylo stanovení materiálových parametrů betonu a poskytnout podklad pro další projekční práce.

Rozsah provedených prací byl stanoven v cenové nabídce ze dne 28. prosince 2020 a odsouhlasen v rámci objednávky ze dne 29. ledna. 2021.

Veškeré práce in-situ proběhly 3. března 2021, ostatní práce proběhly v březnu až dubnu 2020.

Výsledky provedených zkoušek a měření jsou zpracovány a komentovány v kap. 5 a jednotlivé výsledky jsou uvedeny v Přílohách této zprávy.

7. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Fotografická dokumentace
Příloha 2	Výsledky provedených zkoušek

Závěry uvedené v této zprávě vycházejí ze současného stavu poznání konstrukce a byly formulovány na základě výsledků průzkumných prací prováděných v určitých oblastech.

Zpracovatel si vyhrazuje právo na korekce a doplnění závěrů, pokud budou zjištěny další podstatné skutečnosti, které byly nad rámec provedeného stavebně technického průzkumu nebo byly dodatečně zjištěny mimo rozsah provedených sond a zkušebních míst nebo mu v době zpracování zprávy nebyly známy nebo mu byly nepravdivě sděleny či zamlčeny.

PŘÍLOHA 1

Expertní zprávy č. 2100 J 041

**STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM BETONOVÉ ZDI
LEVOBŘEŽNÍHO NÁHONU A KAŠNY Č. 3
malá vodní elektrárna Locket, jez v ř.km 191,125**

FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE



Foto 1: Celkový pohled na levobřežní stěnu náhonu malé vodní elektrárny v Lokti

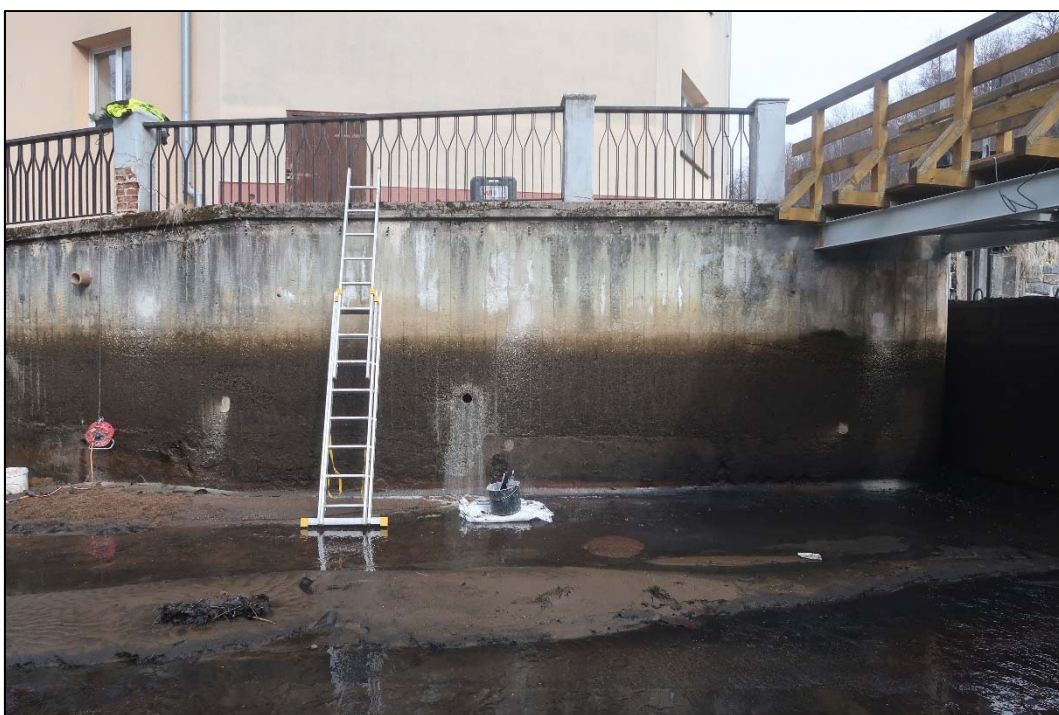


Foto 2: Celkový pohled na pravou část betonové zdi náhonu; na fotografii patrné rozhraní mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi a otisky prkenného bednění



Foto 3: Celkový pohled na střední část betonové zdi náhonu; na fotografii patrné rozhraní mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi a otisky prkenného bednění; v levé části patrný náběh pod stěnou



Foto 4: Celkový pohled na levou část betonové zdi náhonu; na fotografii patrné rozhraní mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi; patrný náběh pod stěnou



Foto 5: Celkový pohled na stavidlo u kašny č. 3; na fotografii patrné rozhraní mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi



Foto 6: Celkový pohled na stavidlo u lávky – směrem k jezu; na fotografii patrné rozhraní mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi a otisky prkenného bednění



Foto 7: Celkový pohled na náběh v patě levobřežní stěny náhonu v poslední třetině délky stěny; na fotografii patrné oblasti s degradovanou povrchovou vrstvou betonu – označeno červenou šipkou



Foto 8: Detailní pohled na chybějící povrchovou vrstvu betonu v náběhu levobřežní zdi náhonu



Foto 9: Detailní pohled na odlupující se povrchovou vrstvu betonu



Foto 10: Pohled na poslední třetinu levobřežní zdi náhonu; na fotografii patrná degradace povrchových vrstev betonu se sítí všesměrných trhlin; dle detailu na následující fotografii se může jednat o historicky provedenou stěrku



Foto 11: Detailní pohled na odpadlou povrchovou vrstvu betonu; dle laminárního charakteru povrchu lze předpokládat, že dochází k odlupování povrchu historicky provedené stěrky



Foto 12: Pohled na spodní líc střední části stěny s patrným rozsahem mezi „suchou“ a „mokrou“ částí zdi a otisky prkenného bednění; v patě patrné odlupující se povrchové vrstvy betonu a šterkové hnízdo (detail viz Foto 13); červenou šipkou označena oblast s patrným vápenným výluhem pojiva v první třetině stěny



Foto 13: Detailní pohled na degradovanou povrchovou vrstvu betonu s patrným štěrkovým hnízdem (označeno červenou šipkou)



Foto 14: Pohled na patu první části stěny; na fotografii patrná degradace povrchových vrstev betonu



Foto 15: Celkový pohled na stavidla u kašny č. 3



Foto 16: Detailní pohled na náběh v patě levobřežní zdi náhonu; na fotografii patrná degradace povrchových vrstev betonu



Foto 17: Detailní pohled na návodní stěnu před stavidlem kašny č. 3; na fotografii patrná degradace povrchových vrstev betonu



Foto 18: Celkový pohled na stěny kašny č.3; vzhledem k množství vody byly práce omezeny pouze na levou a pravou stěnu kašny



Foto 19: Celkový pohled na stěnu kašny navazující na levobřežní zeď náhonu malé vodní elektrárny v Lokti; na fotografii patrná degradace povrchových vrstev betonu



Foto 20: Celkový pohled na protější stěnu kašny; na fotografii patrná degradace povrchových vrstev betonu a příčný průvlak



Foto 21: Detailní pohled na degradovanou přelivnou hranu kašny č. 3; na fotografii viditelný chybějící kus hrany

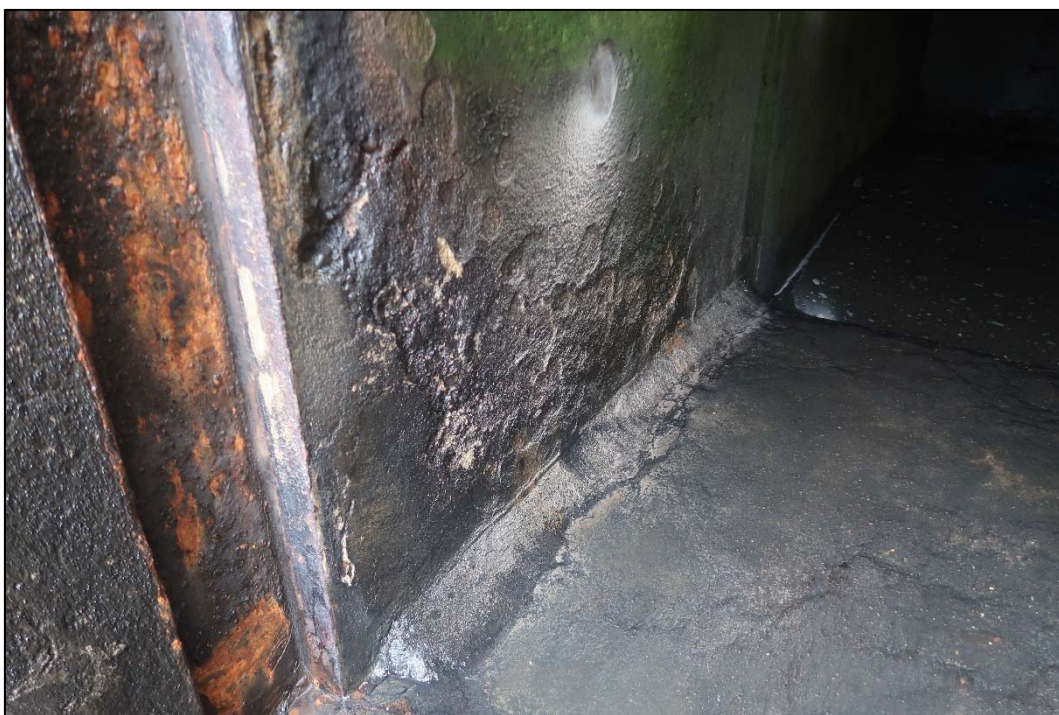


Foto 22: Detailní pohled na vodící lištu stavidla zasaženou korozi a degradaci povrchové vrstvy betonu zdi kašny č. 3



Foto 23: Celkový pohled na zastropení kašny č. 3 za příčným průvlakem (viz foto 20); strop tvořen klenbami do ocelových profilů; pod stropem patrná oblast degradace povrchových vrstev betonu a všesměrná síť trhlin



Foto 24: Celkový pohled na zastropení kašny č. 3 za příčným průvlakem (viz foto 20); strop tvořen klenbami do ocelových profilů; pod stropem patrná oblast degradace povrchových vrstev betonu a všesměrná síť trhlin



Foto 25: Celkový pohled na dno kašny č. 3; v čelní stěně patrné degradované a chybějící povrchové vrstvy betonu

PŘÍLOHA 2

Expertní zprávy č. 2100 J 041

**STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM BETONOVÉ ZDI
LEVOBŘEŽNÍHO NÁHONU A KAŠNY Č. 3
malá vodní elektrárna Locket, jez v ř.km 191,125**

VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK



Foto 1: Poloha odběru jádrových vývrtů č. 1 až 3 z levobřežní zdi náhonu malé vodní elektrárny v Lokti; vrtání ukončeno na rozhraní betonové a kamenné části stěny; vývrt 1 proveden ve výšce cca 1,1m; vývrt 2 ve výšce 0,55m a vývrt 3 ve výšce 1,4m nad dnem náhonu



Foto 2: Poloha odběru jádrových vývrtů č. 4 a 5 z levobřežní zdi náhonu malé vodní elektrárny v Lokti; vývrt č. 5 odebrán z náběhu stěny náhonu; vývrt 4 proveden ve výšce 1,2m; vývrt 5 ve výšce cca 0,4m nad dnem náhonu



Foto 3: Poloha odběru vývrtnu č. 6 z levé části stěny kašny č. 3 (navazující na zed' náhonu); vývrt proveden na délku vrtací korunky; vývrt 6 proveden ve výšce 0,55m nad přelivnou hranou kašny č. 3



Foto 4: Poloha odběru vývrtnu č. 7 z pravé části stěny kašny č. 3; vývrt proveden na délku vrtací korunky; vývrt 7 proveden ve výšce 1,25m nad přelivnou hranou kašny č. 3

Tabulka 1: Popis struktury betonu pláště odebraných vývrtů z levobřežní zdi náhonu

Označení vývrtu	Délka / průměr [mm]	Popis struktury vývrtu
1-1 1-2	545 (460+85) /Ø100	Beton je hutný až mírně pórovitý, na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet makropórů do velikosti 4 mm. Povrch vývrtu je hladký. Vývrt obsahuje vyvážený podíl DTK a HK. Max. velikost zrna HTK je 22 mm, max. velikost zrna HDK je 25 mm. Ve vývrtu byla v hloubce 82, 92, 385 a 392 mm zaznamenána výztuž – celkem 4 pruty.
2-1 2-2	530 (460+70) /Ø100	Na líci vývrtu patrná sanace tloušťky až 13 mm. Beton je hutný až pórovitý, na části vývrtu (do hloubky cca 150 mm) až mezerovitý. Na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet pórů do velikosti 8 mm, v mezerovité oblasti byly zachyceny kaverny velikosti až 50 mm. Povrch vývrtu je hladký. Ve vývrtu převažuje podíl HTK nad DTK. Max. velikost zrna HTK je až 110 mm. Ve vývrtu byla v hloubce 305 mm zaznamenána výztuž – 1 pruty. V hloubce 15 až 75 mm zaznamenán kus škváry, v hloubce 165 až 220 mm zachycena část cihelného střepu. Na zlomu a v některých pórech vývrtu byly zachyceny bílé výluhy.
3-1 3-2 3-3	540 (260+170+110) /Ø100	Beton je hutný až mírně pórovitý, na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet makropórů do velikosti 3 mm, ojediněle byly zaznamenány větší póry a dutiny velikosti až 10 mm. Povrch vývrtu je hladký. Vývrt obsahuje vyvážený podíl DTK a HK. Max. velikost zrna HTK je 25 mm, max. velikost zrna HDK je 27 mm. Ve vývrtu byla v hloubce 92, 99, 250, 430 a 2x438 mm zaznamenána výztuž – celkem 6 prutů.
3-4	140/Ø100	Vývrt je tvořen horninou – vyvřelina, granitoid. Hornina je hutná, vizuálně bez patrných trhlin a pórů. Na líci této části vývrtu zachycena vrstva jemnozrnného betonu.
4-1 4-2 4-3	985 (220+410+355) /Ø100	Beton je hutný až pórovitý. Na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet pórů do velikosti 7 mm, ojediněle byly zachyceny dutiny velikosti až 15 mm. Povrch vývrtu je hladký. Vývrt obsahuje vyvážený podíl HTK a DTK, místy ve vývrtu zaznamenány oblasti s převažujícím podílem HTK nad DTK. Max. velikost zrna HTK je až 125 mm. V hloubce 205 až 245, 680 až 710 a 875 až 925 mm byly zaznamenány části škváry. Na zlomech a v některých pórech vývrtu byly zachyceny bílé výluhy.
5-1 5-2 5-3	1200 (280+450+470) /Ø100	Na líci vývrtu zachycena vrstva sanace tloušťky 10 až 32 mm. Beton je hutný až pórovitý. Na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet makropórů do velikosti 5 mm, ojediněle byly zachyceny dutiny velikosti až 15 mm. Povrch vývrtu je hladký. Vývrt obsahuje vyvážený podíl HTK a DTK, místy ve vývrtu zaznamenány oblasti s převažujícím podílem HTK nad DTK. Max. velikost zrna HTK je až 95 mm. V hloubce 310 mm byla zaznamenána část dřeva velikosti 25 mm. Na zlomech a v některých pórech vývrtu byly zachyceny bílé výluhy.

Zkratky: DTK – drobné těžené kamenivo, HK – hrubé kamenivo, HTK – hrubé těžené kamenivo, HDK – hrubé drcené kamenivo

Tabulka 2: Popis struktury betonu pláště odebraných jádrových vývrtů ze zdiva kašny

Označení vývrtu	Délka / průměr [mm]	Popis struktury vývrtu
6	450/Ø100	Na líci vývrtu patrná vrstva sanace tloušťky 10 až 30 mm. Beton je hutný až pórovitý. Na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet pórů do velikosti 7 mm, ojediněle byly zachyceny dutiny a kaverny velikosti až 30 mm. Povrch vývrtu je hladký. Ve vývrtu převažuje podíl HTK nad DTK. Max. velikost zrna HTK je až 95 mm. Ve vývrtu byly ojediněle zachyceny části keramického střepu. Na zlomu a v některých pórech vývrtu byly zachyceny bílé výluhy.
7	410/Ø100	Na líci vývrtu patrná vrstva sanace tloušťky 12 mm. Beton je pórovitý, místy až mezerovitý. Na povrchu vývrtu zaznamenán větší počet pórů do velikosti 8 mm a větší množství dutin a kaveren velikosti až 45 mm. Povrch vývrtu je drsný. Ve vývrtu převažuje podíl HTK nad DTK. Max. velikost zrna HTK je až 120 mm. Ve vývrtu bylo zachyceno větší množství částí keramického střepu velikosti až 40 mm a několik kusů škváry velikosti až 40 mm. Na zlomu a v některých pórech vývrtu byly zachyceny bílé výluhy.

Zkratky: DTK – drobné těžené kamenivo, HK – hrubé kamenivo, HTK – hrubé těžené kamenivo, HDK – hrubé drcené kamenivo

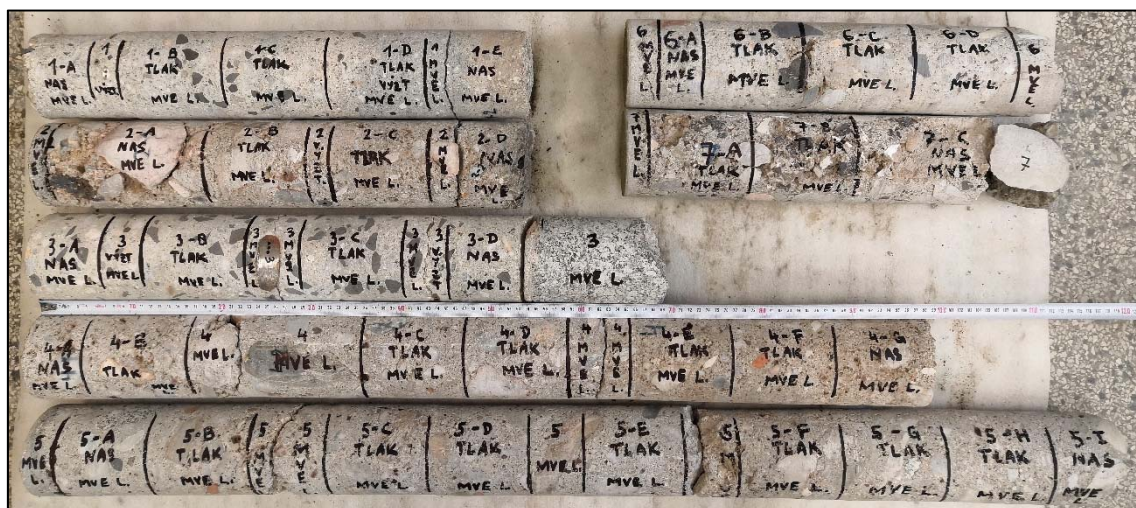
**Foto 5:** Celkový pohled na odebrané jádrové vývrtu ze zdiva náhonu a kašny č. 3



Foto 6: Bližší pohled na strukturu betonu pláště odebraných vývrtů 1 až 3 z pravé a střední části zdi náhonu; konec vývrtu č. 3 tvořen vyvřelou horninou (zřejmě původní stěnou náhonu)



Foto 7: Bližší pohled na strukturu betonu pláště odebraných vývrtů 4 a 5 z levé části náhonu a z náběhu



Foto 8: Bližší pohled na strukturu betonu pláště odebraných vývrtů 6 a 7 ze zdiva kašny č. 3

Tabulka 3: Vyhodnocení zkoušky nasákavosti betonu zdiva náhonu

Vývrt	Označení vzorku	Hmotnost nasyceného vzorku	Hmotnost hydrostaticky váženého vzorku	Hmotnost vysušeného vzorku	Objemová hmotnost z hydrostatického vážení	Nasákavost
		[g]	[g]	[g]	[kg.m ⁻³]	[%]
Malá vodní elektrárna Locket - zdivo náhonu						
1	1-A	1126	632	1061	2270	6,1
	1-E	1386	755	1278	2190	8,5
2	2-A	2706	1530	2496	2300	8,4
	2-D	1292	718	1185	2250	9,1
3	3-A	1423	817	1351	2340	5,3
	3-D	1449	825	1370	2320	5,8
4	4-A	1054	578	966	2210	9,1
	4-G	1635	901	1505	2220	8,6
5	5-A	1722	992	1638	2350	5,2
	5-I	1156	647	1069	2270	8,1
Průměrná hodnota:					2270	7,4
Směrodatná odchylka:					55	1,6
Variační koeficient [%]:					2,4	21,8

Tabulka 4: Vyhodnocení zkoušky nasákavosti betonu zdiva kašny č. 3

Tabulka 1: Výhodnocení zkoušek nasákavosti betonu zářivka řady C-3						
Vývrt	Označení vzorku	Hmotnost nasyceného vzorku	Hmotnost hydrostaticky váženého vzorku	Hmotnost vysušeného vzorku	Objemová hmotnost z hydrostatického vážení	Nasákavost
		[g]	[g]	[g]	[kg.m ⁻³]	[%]
Malá vodní elektrárna Loket - zdivo kašny č. 3						
6	6-A	785	447	740	2320	6,2
7	7-A	1720	965	1604	2270	7,2
Průměrná hodnota:					2300	6,7
Směrodatná odchylka:					35	0,8
Variační koeficient [%]:					1,5	11,5

Tabulka 5: Souhrnné vyhodnocení všech destruktivních zkoušek – vysušené vzorky
Vyhodnocení destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku na vývrtech

Stavba: MVE LOKET

Zkušební stroj: WPM 500 kN, metrologické číslo S 12 011 M

Teplota vzduchu: 16 °C

Zkušební vzorky: vývrty Ø 100 mm

Relativní vlhkost vzduchu: 32%

Zkoušku provedl: P. Borodáč, M. Rydval

Datum zkoušky: 22.03.2021

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku [mm]	Výška vzorku [mm]	Hmotnost [g]	Objem. hmot. [kg/m³]	Max. tlak. síla F [kN]	Pevnost betonu na vývrtu f _{c, core} [MPa]	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) κ _{c, cyl}	Převodní součinitel (průměr) κ _{d, cyl}	Válcová pevnost betonu f _{c, cyl} [MPa]	Převodní součinitel (cyl-cube) κ _{cyl, cube}	Krychelná pevnost betonu f _{c, cube} [MPa]
MVE LOKET - VYSUŠENÉ VZORKY													
1	1D	98,9	100,6	1706	2210	235,0	30,6	1,018	0,856	0,949	24,9	1,249	31,1
2	2C	99,0	101,7	1733	2220	166,0	21,6	1,027	0,859	0,949	17,6	1,252	22,0
3	3C	99,0	101,6	1839	2360	258,0	33,5	1,026	0,859	0,949	27,3	1,248	34,1
4	4E	99,0	101,5	1747	2240	241,0	31,3	1,025	0,859	0,949	25,5	1,249	31,9
	4F	99,1	102,2	1752	2230	176,0	22,8	1,031	0,861	0,949	18,6	1,252	23,3
5	5F	98,7	100,4	1606	2100	94,0	12,3	1,017	0,856	0,949	10,0	1,252	12,5
	5G	99,0	105,0	1765	2190	107,0	13,9	1,061	0,869	0,949	11,5	1,252	14,4
	5H	98,7	102,2	1689	2170	122,0	15,9	1,035	0,862	0,949	13,0	1,252	16,3
6	6D	99,1	101,2	1702	2190	194,0	25,2	1,022	0,858	0,949	20,5	1,251	25,6
7	7C	99,3	102,5	1532	1940	134,0	17,3	1,033	0,861	0,949	14,2	1,252	17,7
Průměr ze všech vzorků:					2190		22,4				18,3		22,9
Směrodatná odchylka:					108,0						6,2		7,7
Variační koeficient [%]:					4,9						33,7		33,6

Vysvětlivky k tabulce:

	Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).
	Zkušební vzorek obsahoval výztuž (viz Popis vývrtů). Objemová hmotnost betonu je přítomností výztuže ovlivněna.

Tabulka 6: Stanovení pevnostní třídy betonu – vysušené vzorky

MVE Loket - vysušené vzorky	
Průměrná pevnost f_{c,m,is,cube} [MPa]	22,9
Počet zkoušek	10
Počet platných zkoušek	10
Výběrová směrodatná odchylka s	7,7
Směrodatná odchylka s pro V _x = 8%	1,8
Uvažovaná směrodatná odchylka s	7,7
Variační koeficient [%]	7,7 < 12
Posouzení rovnoměrnosti	vyhoví
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n (známý V_x)	1,72
Pevnost betonu v tlaku f_{ck,is,cube,1} [MPa]	9,7

MVE Loket - vysušené vzorky	
Minimální pevnost f_{c,is,lowest,cube} [MPa]	12,5
M [MPa]	2
Pevnost betonu v tlaku f_{ck,is,cube,2} [MPa]	14,5

Třída betonu dle ČSN EN 206+A1	C 8/10
---------------------------------------	---------------

Tabulka 7: Souhrnné vyhodnocení všech destruktivních zkoušek – plně saturované vzorky
Vyhodnocení destruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku na vývrtech

Stavba: MVE LOKET

Zkušební stroj: WPM 500 kN, metrologické číslo S 12 011 M

Teplota vzduchu: 16 °C

Zkušební vzorky: vývrty Ø 100 mm

Relativní vlhkost vzduchu: 32%

Zkoušku provedl: P. Borodáč, M. Rydval

Datum zkoušky: 22.03.2021

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku [mm]	Výška vzorku [mm]	Hmotnost [g]	Objem. hmot. [kg/m ³]	Max. tlak. síla F [kN]	Pevnost betonu na vývrtu f _{c, core} [MPa]	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) κ _{c, cyl}	Převodní součinitel (průměr) κ _{d, cyl}	Válcová pevnost betonu f _{c, cyl} [MPa]	Převodní součinitel (cyl-cube) κ _{cyl, cube}	Krychelná pevnost betonu f _{c, cube} [MPa]
MVE LOKET - PLNĚ SATUROVANÉ VZORKY													
1	1B	98,9	101,3	1753	2260	196,0	25,5	1,024	0,858	0,949	20,8	1,251	26,0
	1C	99,0	100,4	1782	2310	234,0	30,4	1,014	0,855	0,949	24,7	1,249	30,9
2	2B	99,1	101,4	1652	2120	107,0	13,9	1,023	0,858	0,949	11,3	1,252	14,1
3	3B	99,1	102,0	1878	2390	230,0	29,8	1,029	0,860	0,949	24,3	1,249	30,4
4	4B	99,1	101,5	1777	2270	89,0	11,5	1,024	0,858	0,949	9,4	1,252	11,8
	4C	99,1	101,3	1735	2230	160,0	20,8	1,022	0,858	0,949	16,9	1,252	21,2
	4D	99,1	100,8	1754	2260	150,0	19,4	1,017	0,856	0,949	15,8	1,252	19,8
5	5B	99,0	102,0	1799	2300	175,0	22,7	1,030	0,860	0,949	18,6	1,252	23,2
	5C	99,0	101,2	1759	2260	131,0	17,0	1,022	0,858	0,949	13,9	1,252	17,3
	5D	99,0	102,0	1823	2330	145,0	18,8	1,030	0,860	0,949	15,4	1,252	19,3
	5E	99,1	102,5	1768	2240	139,0	18,0	1,034	0,862	0,949	14,8	1,252	18,5
6	6B	99,2	101,7	1760	2250	108,0	14,0	1,025	0,859	0,949	11,4	1,252	14,3
	6C	99,1	101,9	1814	2320	170,0	22,1	1,029	0,860	0,949	18,0	1,252	22,5
7	7B	99,1	101,6	1587	2030	89,0	11,6	1,025	0,859	0,949	9,4	1,252	11,8
Průměr ze všech vzorků:					2260		19,7				16,0		20,1
Směrodatná odchylka:					89,1						4,9		6,2
Variační koeficient [%]:					3,9						30,7		30,7

Tabulka 8: Stanovení pevnostní třídy betonu – nasycené vzorky

MVE Loket - nasycené vzorky	
Průměrná pevnost f _{c,m,is,cube} [MPa]	20,1
Počet zkoušek	14
Počet platných zkoušek	14
Výběrová směrodatná odchylka s	6,2
Směrodatná odchylka s pro V _x = 8%	1,6
Uvažovaná směrodatná odchylka s	6,2
Variační koeficient [%]	6,2 < 12
Posouzení rovnoměrnosti	vyhoví
Součinitel odhadu 5% kvantilu k _n (známý V _x)	1,71
Pevnost betonu v tlaku f _{ck,is,cube,1} [MPa]	9,5

MVE Loket - nasycené vzorky	
Minimální pevnost f _{c,is,lowest,cube} [MPa]	11,8
M [MPa]	1
Pevnost betonu v tlaku f _{ck,is,cube,2} [MPa]	12,8

Třída betonu dle ČSN EN 206+A1	C 8/10
--------------------------------	--------

Tabulka 9: Vyhodnocení destruktivních zkoušek původní betonové konstrukce – vysušené vzorky

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku	Výška vzorku	Hmotnost	Objem. hmot.	Max. tlak. síla F	Pevnost betonu na vývrtu $f_{c, core}$	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) $\kappa_{c, cyl}$	Převodní součinitel (průměr) $\kappa_{d, cyl}$	Válcová pevnost betonu $f_{c, cyl}$	Převodní součinitel (cyl-cube) $\kappa_{cyl, cube}$	Krychelná pevnost betonu $f_{c, cube}$
		[mm]	[mm]	[g]	[kg/m ³]	[kN]	[MPa]	[--]	[--]	[--]	[MPa]	[--]	[MPa]
MVE LOKET - VYSUŠENÉ VZORKY, vývrty 2,4,5													
2	2C	99,0	101,7	1733	2220	166,0	21,6	1,027	0,859	0,949	17,6	1,252	22,0
4	4E	99,0	101,5	1747	2240	241,0	31,3	1,025	0,859	0,949	25,5	1,249	31,9
	4F	99,1	102,2	1752	2230	176,0	22,8	1,031	0,861	0,949	18,6	1,252	23,3
5	5F	98,7	100,4	1606	2100	94,0	12,3	1,017	0,856	0,949	10,0	1,252	12,5
	5G	99,0	105,0	1765	2190	107,0	13,9	1,061	0,869	0,949	11,5	1,252	14,4
	5H	98,7	102,2	1689	2170	122,0	15,9	1,035	0,862	0,949	13,0	1,252	16,3
Průměr ze všech vzorků:					2200		19,6				16,0		20,1
Směrodatná odchylka:					51,9						5,8		7,2
Variační koeficient [%]:					2,4						35,9		35,8

Vysvětlivky k tabulce:

	Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).
	Zkušební vzorek obsahoval výztuž (viz Popis vývrtů). Objemová hmotnost betonu je přítomností výztuže ovlivněna.

Tabulka 10: Stanovení pevnostní třídy betonu původní betonové konstrukce – vysušené vzorky

MVE LOKET - vysušené vzorky 2,4,5	
Průměrná pevnost $f_{c,m,is,cube}$ [MPa]	20,1
Počet zkoušek	6
Počet platných zkoušek	6
Výběrová směrodatná odchylka s	7,2
Směrodatná odchylka s pro $V_x = 8\%$	1,6
Uvažovaná směrodatná odchylka s	7,2
Variační koeficient [%]	7,2 < 12
Posouzení rovnoměrnosti	vyhoví
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n (známý V_x)	1,77
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is,cube,1}$ [MPa]	7,4

MVE LOKET - vysušené vzorky	
Minimální pevnost $f_{c,is,lowest,cube}$ [MPa]	12,5
M [MPa]	2
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is,cube,2}$ [MPa]	14,5

Třída betonu dle ČSN EN 206+A1	C 8/10
---------------------------------------	---------------

Tabulka 11: Vyhodnocení destruktivních zkoušek původní betonové konstrukce – plně nasycené vzorky

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku	Výška vzorku	Hmotnost	Objem. hmot.	Max. tlak. síla F	Pevnost betonu na vývrtu $f_{c, core}$	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) κ_c, cyl	Převodní součinitel (průměr) κ_d, cyl	Válcová pevnost betonu $f_{c, cyl}$	Převodní součinitel (cyl-cube) $\kappa_{cyl, cube}$	Krychelná pevnost betonu $f_{c, cube}$
		[mm]	[mm]	[g]	[kg/m ³]	[kN]	[MPa]	[--]	[--]	[--]	[MPa]	[--]	[MPa]
MVE LOKET - PLNĚ SATUROVANÉ VZORKY, vývrty 2,4,5													
2	2B	99,1	101,4	1652	2120	107,0	13,9	1,023	0,858	0,949	11,3	1,252	14,1
4	4B	99,1	101,5	1777	2270	89,0	11,5	1,024	0,858	0,949	9,4	1,252	11,8
	4C	99,1	101,3	1735	2230	160,0	20,8	1,022	0,858	0,949	16,9	1,252	21,2
	4D	99,1	100,8	1754	2260	150,0	19,4	1,017	0,856	0,949	15,8	1,252	19,8
5	5B	99,0	102,0	1799	2300	175,0	22,7	1,030	0,860	0,949	18,6	1,252	23,2
	5C	99,0	101,2	1759	2260	131,0	17,0	1,022	0,858	0,949	13,9	1,252	17,3
	5D	99,0	102,0	1823	2330	145,0	18,8	1,030	0,860	0,949	15,4	1,252	19,3
	5E	99,1	102,5	1768	2240	139,0	18,0	1,034	0,862	0,949	14,8	1,252	18,5
Průměr ze všech vzorků:					2260		17,8				14,5		18,2
Směrodatná odchylka:					62,0						3,0		3,7
Variační koeficient [%]:					2,7						20,4		20,4

Vysvětlivky k tabulce:

Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).

Tabulka 12: Stanovení pevnostní třídy betonu původní betonové konstrukce – plně nasycené vzorky

MVE Locket - nasycené vzorky 2,4,5	
Průměrná pevnost $f_{c,m,is,cube}$ [MPa]	18,2
Počet zkoušek	8
Počet platných zkoušek	8
Výběrová směrodatná odchylka s	3,7
Směrodatná odchylka s pro V_x = 8%	1,5
Uvažovaná směrodatná odchylka s	3,7
Variační koeficient [%]	3,7 < 12
Posouzení rovnoměrnosti	vyhoví
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n (známý V_x)	1,74
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is,cube,1}$ [MPa]	11,7
MVE Locket - nasycené vzorky	
Minimální pevnost $f_{c,is,lowest,cube}$ [MPa]	11,8
M [MPa]	2
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is,cube,2}$ [MPa]	13,8
Třída betonu dle ČSN EN 206+A1	C 8/10

Tabulka 13: Vyhodnocení destruktivních zkoušek novodobé betonové konstrukce – vysušené vzorky

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku	Výška vzorku	Hmotnost	Objem. hmot.	Max. tlak. síla F	Pevnost betonu na vývrtu $f_{c, core}$	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) $\kappa_{c, cyl}$	Převodní součinitel (průměr) $\kappa_{d, cyl}$	Válcová pevnost betonu $f_{c, cyl}$	Převodní součinitel (cyl-cube) $\kappa_{cyl, cube}$	Krychelná pevnost betonu $f_{c, cube}$
		[mm]	[mm]	[g]	[kg/m³]	[kN]	[MPa]	[--]	[--]	[--]	[MPa]	[--]	[MPa]
MVE LOKET - VYSUŠENÉ VZORKY, vývrty 1,3													
1	1D	98,9	100,6	1706	2210	235,0	30,6	1,018	0,856	0,949	24,9	1,249	31,1
3	3C	99,0	101,6	1839	2360	258,0	33,5	1,026	0,859	0,949	27,3	1,248	34,1
Průměr ze všech vzorků:					2290		32,1				26,1		32,6
Směrodatná odchylka:					106,1						1,7		2,1
Variační koeficient [%]:					4,6						6,6		6,5

Vysvětlivky k tabulce:

	Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).
	Zkušební vzorek obsahoval výztuž (viz Popis vývrtů). Objemová hmotnost betonu je přítomností výztuže ovlivněna.

Tabulka 14: Vyhodnocení destruktivních zkoušek konstrukce kašny – vysušené vzorky

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku	Výška vzorku	Hmotnost	Objem. hmot.	Max. tlak. síla F	Pevnost betonu na vývrtu $f_{c, core}$	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) $\kappa_{c, cyl}$	Převodní součinitel (průměr) $\kappa_{d, cyl}$	Válcová pevnost betonu $f_{c, cyl}$	Převodní součinitel (cyl-cube) $\kappa_{cyl, cube}$	Krychelná pevnost betonu $f_{c, cube}$
		[mm]	[mm]	[g]	[kg/m³]	[kN]	[MPa]	[--]	[--]	[--]	[MPa]	[--]	[MPa]
MVE LOKET - VYSUŠENÉ VZORKY, vývrty kašna													
6	6D	99,1	101,2	1702	2190	194,0	25,2	1,022	0,858	0,949	20,5	1,251	25,6
7	7C	99,3	102,5	1532	1940	134,0	17,3	1,033	0,861	0,949	14,2	1,252	17,7
Průměr ze všech vzorků:					2070		21,2				17,3		21,7
Směrodatná odchylka:					176,8						4,5		5,6
Variační koeficient [%]:					8,5						25,9		25,8

Vysvětlivky k tabulce:

	Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).
	Zkušební vzorek obsahoval výztuž (viz Popis vývrtů). Objemová hmotnost betonu je přítomností výztuže ovlivněna.

Tabulka 15: Vyhodnocení destruktivních zkoušek novodobé betonové konstrukce – plně nasycené vzorky

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku	Výška vzorku	Hmotnost	Objem. hmot.	Max. tlak. síla F	Pevnost betonu na vývrtu $f_{c, core}$	Štíhl. poměr λ	Opravný součinitel (štíhlost) $\kappa_{c, cyl}$	Převodní součinitel (průměr) $\kappa_{d, cyl}$	Válcová pevnost betonu $f_{c, cyl}$	Převodní součinitel (cyl-cube) $\kappa_{cyl, cube}$	Krychelná pevnost betonu $f_{c, cube}$
		[mm]	[mm]	[g]	[kg/m ³]	[kN]	[MPa]	[--]	[--]	[--]	[MPa]	[--]	[MPa]
MVE LOKET - PLNĚ SATUROVANÉ VZORKY, vývrty 1,3													
1	1B	98,9	101,3	1753	2260	196,0	25,5	1,024	0,858	0,949	20,8	1,251	26,0
	1C	99,0	100,4	1782	2310	234,0	30,4	1,014	0,855	0,949	24,7	1,249	30,9
3	3B	99,1	102,0	1878	2390	230,0	29,8	1,029	0,860	0,949	24,3	1,249	30,4
Průměr ze všech vzorků:					2320		28,6				23,3		29,1
Směrodatná odchylka:					65,6						2,2		2,7
Variační koeficient [%]:					2,8						9,3		9,2

Vysvětlivky k tabulce:

	Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).
--	---

Tabulka 16: Stanovení pevnostní třídy betonu novodobé betonové konstrukce – plně nasycené vzorky

MVE Loket - nasycené vzorky 1,3		
Průměrná pevnost $f_{c,m,is,cube}$ [MPa]	29,1	
Počet zkoušek	3	
Počet platných zkoušek	3	
Výběrová směrodatná odchylka s	2,7	
Směrodatná odchylka s pro $V_x = 8\%$	2,3	
Uvažovaná směrodatná odchylka s	2,7	
Variační koeficient [%]	2,7	< 12
Posouzení rovnoměrnosti	vyhoví	
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n (neznámý V_x)	1,89	
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is,cube,1}$ [MPa]	24,0	

MVE Loket - nasycené vzorky		
Minimální pevnost $f_{c,is,lowest,cube}$ [MPa]	26,0	
M [MPa]	4	
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is,cube,2}$ [MPa]	30,0	

Třída betonu dle ČSN EN 206+A1	C 20/25
---------------------------------------	----------------

Tabulka 17: Vyhodnocení destruktivních zkoušek konstrukce kašny – plně nasycené vzorky

Vývrt	Ozn. zk. vzorku	Průměr vzorku [mm]	Výška vzorku [mm]	Hmotnost [g]	Objem. hmot. [kg/m ³]	Max. tlak. síla F [kN]	Pevnost betonu na vývrtu $f_{c,core}$ [MPa]	Štíhl. poměr λ [--]	Opravný součinitel (štíhlost) κ_c, cyl [--]	Převodní součinitel (průměr) κ_d, cyl [--]	Válcová pevnost betonu $f_{c,cyl}$ [MPa]	Převodní součinitel (cyl-cube) $\kappa_{cyl,cube}$ [--]	Krychelná pevnost betonu $f_{c,cube}$ [MPa]
MVE LOKET - PLNĚ SATUROVANÉ VZORKY, vývrty kašna													
6	6B	99,2	101,7	1760	2250	108,0	14,0	1,025	0,859	0,949	11,4	1,252	14,3
	6C	99,1	101,9	1814	2320	170,0	22,1	1,029	0,860	0,949	18,0	1,252	22,5
7	7B	99,1	101,6	1587	2030	89,0	11,6	1,025	0,859	0,949	9,4	1,252	11,8
Průměr ze všech vzorků:					2200		15,9				12,9		16,2
Směrodatná odchylka:					151,3						4,5		5,6
Variační koeficient [%]:					6,9						34,8		34,8

Vysvětlivky k tabulce:

Zkušební vzorek nesplňuje požadavek ČSN EN 12504-1 na poměr velikosti max. zrna kameniva k průměru vývrtu (max. 1 : 3).

Tabulka 18: Stanovení pevnostní třídy betonu konstrukce kašny – plně nasycené vzorky

MVE Loket - nasycené vzorky kašny	
Průměrná pevnost $f_{c,m, is, cube}$ [MPa]	16,2
Počet zkoušek	3
Počet platných zkoušek	3
Výběrová směrodatná odchylka s	5,6
Směrodatná odchylka s pro $V_x = 8\%$	1,3
Uvažovaná směrodatná odchylka s	5,6
Variační koeficient [%]	5,6 < 12
Posouzení rovnoměrnosti	vyhoví
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n (známý V_x)	1,89
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck, is, cube, 1}$ [MPa]	5,6

MVE Loket - nasycené vzorky	
Minimální pevnost $f_{c, is, lowest, cube}$ [MPa]	11,8
M [MPa]	1
Pevnost betonu v tlaku $f_{ck, is, cube, 2}$ [MPa]	12,8

Třída betonu dle ČSN EN 206+A1	C 4/5
---------------------------------------	--------------

Tabulka 19: Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek zdivo náhonu

Tabulka 15: Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek ZDVO náhonů														
Číslo zkoušky	Směr úderu	Odskok tvrdoměru <i>a</i>										Průměr	<i>f</i> _{be} [MPa]	<i>f</i> _{be} a _t a _w [MPa]
MVE LOKET - ZDIVO NÁHONU														
1	→	39	37	36	42	44	46	40	38	38	40	41	35,1	
2	→	36	32	33	34	40	40	37	39	30	36	33	28,4	
3	→	32	30	30	30	32	28	30	31	27	30	24	20,5	
4	→	32	33	38	34	34	32	38	32	30	34	30	25,7	
5	→	40	40	42	42	40	38	36	40	42	40	41	35,1	
6	→	32	28	32	32	32	38	30	30	32	32	27	23,1	
7	→	36	34	38	38	40	38	32	34	36	36	33	28,2	
8	→	40	42	42	44	40	42	42	40	40	41	42	35,9	
9	→	40	40	40	38	42	42	40	42	38	40	41	35,1	
10	→	30	30	24	26	32	24	30	28	26	28	21	18,0	
Průměr													28,5	

$$a_w = 0,95$$

$$a_t = 0,90$$

$$s_r = 6,29 \text{ MPa}$$

$$V_x = 0,22$$

$$m_x = 28,5 \text{ MPa}$$

$$k_n = 1,92$$

$$\text{charakteristická pevnost } f_{ck, cube} = m_x (1 - k_n V_x) = \mathbf{16,4 \text{ MPa}}$$

Hodnocení dle ČSN EN 206+A1

Minimální charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku pevnostní třídy **C 12/15** $f_{ck, is, cube} = 15 \text{ MPa}$

Minimální charakteristická krychelná pevnost v tlaku zkoušeného betonu $f_{ck, cube} = 16,4 \text{ MPa}$

Minimální charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku pevnostní třídy **C 16/20** $f_{ck, is, cube} = 20 \text{ MPa}$

Zkoušený beton dle vyhodnocení splňuje požadavky kladené na beton třídy **C 12/15**

Tabulka 20: Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek zdivo kašny č. 3

Číslo zkoušky	Směr úderu	Odskok tvrdoměru a										Průměr	f_{be} [MPa]	f_{be} a _t a _w [MPa]
MVE LOKET - ZDIVO KAŠNY Č. 3														
11	→	40	44	40	40	40	42	39	44	45	42	44	37,6	
12	→	40	38	36	40	36	40	38	36	36	38	37	31,6	
13	→	42	42	40	40	42	44	42	44	46	41	42	35,9	
14	→	44	46	46	42	48	42	40	40	46	44	48	41,0	
15	→	40	42	36	40	38	36	38	34	32	37	35	29,9	
16	→	44	42	45	42	40	40	44	42	44	43	46	39,3	
Průměr													35,9	

$$a_w = 0,92 \quad a_t = 0,90$$

$$s_r = 3,98 \text{ MPa} \quad V_x = 0,11$$

$$m_x = 35,9 \text{ MPa}$$

$$k_n = 1,92$$

$$\text{charakteristická pevnost } f_{ck, cube} = m_x (1 - k_n V_x) = \mathbf{28,3 \text{ MPa}}$$

Hodnocení dle ČSN EN 206+A1

Minimální charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku pevnostní třídy **C 20/25** $f_{ck, is, cube} = \mathbf{25 \text{ MPa}}$

Minimální charakteristická krychelná pevnost v tlaku zkoušeného betonu $f_{ck, cube} = \mathbf{28,3 \text{ MPa}}$

Minimální charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku pevnostní třídy **C 25/30** $f_{ck, is, cube} = \mathbf{30 \text{ MPa}}$

Zkoušený beton dle vyhodnocení splňuje požadavky kladené na beton třídy **C 20/25**