



**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 061**

**Datum vydání zprávy**

23. dubna 2021

**Oddělení KÚ**

Experimentální  
tel. +420 224 353 537

**Objednatel:    TOP CON SERVIS s.r.o.  
Ke Stírce 1824/56  
Praha 8, 182 00**

**Expertní zpráva:**

**STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH PARAMETRŮ ZDIVA  
KRAJNÍCH OBLOUKŮ SEPEKOVSKÉHO VIADUKTU**

**Vypracoval:**

Ing. Tomáš Bittner, Ph.D.

**Spolupráce:**

Ing. Milan Rydval, Ph.D.

Jan Řehoř

Lukáš Salač

Pavel Borodáč

**Odpovědný řešitel:**

Ing. Tomáš Bittner, Ph.D.

**Vedoucí oddělení:**

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

**Ředitel KÚ:**

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

**Výtisk číslo:**

**1    2    3    4**

**Rozdělovník:**

Objednatel: 3x

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 obsahuje výsledky zkoušek pevnosti kamene a malty v tlaku, stanovení vlhkosti, nasákavosti a fotodokumentaci z rámcové vizuální prohlídky krajních polí Sepekovského viaduktu. Výsledky zkoušek budou použity jako podklad pro statické posouzení. Průzkumné práce proběhly 6. a 7.4.2021.

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. 228/2003–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.**



**Obr. 1:** Pohled na Sepekovský viadukt

**OBSAH:**

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>4</b>
<b>2. PODKLADY .....</b>	<b>4</b>
<b>3. POUŽITÉ METODY A POSTUPY .....</b>	<b>4</b>
3.1. RÁMCOVÁ VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA V MÍSTECH ODBĚRU VZORKŮ .....	4
3.2. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY PEVNOSTI MALTY V TLAKU .....	5
3.3. DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY PEVNOSTI KAMENE A MALTY V TLAKU .....	5
3.4. STANOVENÍ NASÁKAVOSTI ZDÍČÍCH PRVKŮ .....	5
3.5. STANOVENÍ KOEFICIENTU ZMĚKČENÍ ZDÍČÍCH PRVKŮ .....	6
3.6. STANOVENÍ OBSAHU VE VODĚ ROZPUSTNÝCH SOLÍ VE ZDIVU .....	6
3.7. PEVNOST ZDIVA V TLAKU .....	6
<b>4. VÝSLEDKY ZKOUŠEK IN-SITU A LABORATORNÍCH ZKOUŠEK .....</b>	<b>7</b>
4.1. RÁMCOVÁ VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA V MÍSTECH ODBĚRU VZORKŮ .....	7
4.2. PEVNOST PŘÍRODNÍHO KAMENE V TLAKU – DEST. ZKOUŠKY .....	7
4.3. PEVNOST MALTY V TLAKU - DESTRUKTIVNÍ A NED. ZKOUŠKY .....	7
4.4. VLHKOSTNÍ STAV KAMENE, NASÁKAVOST A OBJ. HMOSTNOST .....	8
4.5. STANOVENÍ OBSAHU VE VODĚ ROZPUSTNÝCH SOLÍ VE ZDIVU .....	8
4.6. STANOVENÍ PEVNOSTI ZDIVA V TLAKU – dle metodiky EN .....	8
<b>5. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ .....</b>	<b>9</b>
<b>6. SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>9</b>

## **1. ÚVOD**

Na základě objednávky fy. TOP CON SERVIS s.r.o., Ke Stírce 1824/56, Praha 8, 182 00 byl pracovníky ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, Praha 6 realizován průzkum zdiva krajních polí Sepekovského viaduktu. Obsahem zprávy je popis průzkumných prací, včetně následného stanovení materiálových charakteristik kamene, malty a pevnosti zdiva v tlaku pro krajní (přístupná pole).

V rámci zadání prací bylo provedeno:

- rámcová vizuální prohlídka v místě prováděných odběrů,
- odběr vzorků pro destruktivní zkoušky pevnosti v tlaku,
- destruktivní zkoušky pevnosti kamene a malty v tlaku, stanovení objemové hmotnosti,
- nedestruktivní zkoušky pevnosti malty v tlaku in-situ,
- orientační měření vlhkosti příložitelným vlhkoměrem,
- stanovení nasákavosti kamene, určení koeficientu změkčení kamene,
- pevnost zdiva v tlaku dle EN,
- odběr a stanovení obsahu ve vodě rozpustných solí,
- fotografická dokumentace, vyhodnocení zkoušek a sepsání zprávy.

Práce in-situ byly provedeny v 6. a 7.4.2021. Laboratorní práce a zkoušky byly provedeny v období od 12.4.2021 do 16.4.2021.

## **2. PODKLADY**

- [1] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí. Hodnocení existujících konstrukcí.
- [2] ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí (nahrazeno [4]).
- [3] ČSN EN 1996 Navrhování zděných konstrukcí (náhrada ČSN 73 1101).
- [4] ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdicí prvky. Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku.
- [5] ČSN EN 1926 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení pevnosti v tlaku.
- [6] ČSN 72 2605 Skúšanie tehliarských výrobkov. Stanovenie mechanických vlastností.
- [7] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb. Sanace vlhkého zdiva. Základní ustanovení.
- [8] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování konstrukcí při přestavbách (neplatná).
- [9] ČSN EN ISO 10304-1 Jakost vod - Stanovení rozpuštěných aniontů metodou kapalinové chromatografie iontů - Část 1: Stanovení bromidů, chloridů, fluoridů, dusičnanů, dusitanů, fosforečnanů a síranů.

## **3. POUŽITÉ METODY A POSTUPY**

### **3.1. RÁMCOVÁ VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA V MÍSTECH ODBĚRU VZORKŮ**

Vizuální prohlídka, i když jí nelze upřít subjektivnost, je jedním z nedůležitějších diagnostických postupů, neboť jen tento postup umožňuje odhalit nedostatky prakticky v celé zkoumané ploše. V rámci prováděných prací byla provedena rámcová vizuální prohlídka zdiva krajních polí viaduktu cílená na vyhledání příp. závažných statických trhlin, drcení zdiva, degradační a korozní, a to v místech prováděných odběrů zkušebních vzorků.

### **3.2. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY PEVNOSTI MALTY V TLAKU**

Pevnost malty je jedním ze základních parametrů pro stanovení charakteristické, resp. návrhové pevnosti zdiva. Posuzování kvality zdící malty v hotovém zdivu je velmi obtížné, protože v běžných případech nelze z ložných nebo styčných spár odebrat vzorky malty takové velikosti, aby bylo možno provést destruktivní zkoušku. ČSN ISO 13822, Příloha NF [1] doporučuje stanovit značku malty buď tvrdoměrnou zkouškou nebo odhadem nebo metodami lokálního porušení nebo na základě obsahu pojiva stanoveného chemickým rozбором.

Pro stanovení pevnosti malty v tlaku  $f_m$  byla v tomto případě použita nedestruktivní tvrdoměrná metoda vyvinutá v KÚ ČVUT, která byla od té doby mnohokrát prověřovaná v praktických aplikacích. Metoda vychází z předpokladu, že existuje závislost mezi pevností malty v tlaku a její tvrdostí. Principem zkušební postupu je stanovení tvrdosti malty, která je při této zkoušce charakterizována odporem válcového indentoru zaráženého do malty kladivem o hmotnosti 1 kg ze vzdálenosti 0,2 m do hloubky 5 mm. Měřeným parametrem je počet úderů potřebných k zaražení indentoru, který je korelován s pevností malty v tlaku, a to na základě neustále upřesňovaného vlastního korelačního vztahu pracovníka, který zkoušku provádí. Metoda je vhodná pro posuzování malt vápenných nebo vápenocementových s horní hranicí pevnosti v tlaku do 10 MPa. I přes poměrně značnou nejistotu měření obvyklou pro nedestruktivní zkoušky (cca  $\pm 20\%$ ), jsou takto získané výsledky ve velké většině případů dostačující pro stanovení charakteristické, resp. návrhové pevnosti zdiva. Významnou výhodou této zkoušky je zejména její rychlost a operativnost. Pevnost malty byla tímto způsobem ověřována v hloubce cca 30 až 50 mm od líce zdiva.

### **3.3. DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY PEVNOSTI KAMENE A MALTY V TLAKU**

Pro stanovení pevnosti kamene v tlaku destruktivní zkouškou byly z krajních polí viaduktu odebrány jádrové vývrty  $\varnothing 50$  mm (5 ks), ze kterých byly nařezány zkušební vzorky tvaru válce se štíhlostním poměrem  $\lambda = 1$ . Tlačné plochy zkušebních vzorků byly zabroušeny a zaleštěny. Poté byly zkušební vzorky změřeny a sušeny při teplotě 105 °C do ustálené hmotnosti. Před vlastní zkouškou byly zkušební vzorky zváženy. Zkoušky byly provedeny dle ČSN EN 1926 [5] a ČSN EN 772-1 [4] v zatěžovacím stroji WPM 500 kN, metrologické číslo S 07 011 M ve vysušeném a nasyceném stavu.

Byly rovněž provedeny 2 vývrty  $\varnothing 80$  mm pro stanovení rozsahu vyplnění spár maltou, případně pro zhotovení zkušebních těles z malty (krychle o hraně maximální možné vzhledem ke spáře ve zdivu). Zkoušení vzorků malty těchto rozměrů není normováno.

### **3.4. STANOVENÍ NASÁKAVOSTI ZDÍČÍCH PRVKŮ**

Zkouška nasákavosti zdíčních prvků se provede tak, že se zkušební vzorky se v sušárně suší při teplotě 105 °C do dosažení ustálené hmotnosti. Ustálené hmotnosti je dosaženo, pokud rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími váženími v rozmezí 24 hod. není větší než 0,1 % z prvního ze dvou vážení. Vzorky ve stavu ustálené hmotnosti se opět zváží. Poté se vloží do nádoby (na podpěry na dně nádoby) a zalijí se vodou o teplotě 20 °C (čas  $t_0$ ). V čase  $t_0 + 48$

hod. se zkušební vzorky vyjmou z vodní lázně, osuší se, zváží a opět se ponoří do vody. Po každých 24 hod. se vzorky vyjmou, osuší a zváží, dokud není dosaženo ustálené hmotnosti. Ustálené hmotnosti je dosaženo, pokud rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími váženími není větší než 0,1 % hm. zkušební vzorku. Výsledek posledního vážení představuje hmotnost nasyceného vzorku. Nasákavost se stanoví dle vztahu:

$$NV = (m_{nas.} - m_{such.}) / m_{such.} \cdot 100 \text{ (\% hm.)}$$

kde: NV = nasákavost (%)

$m_{nas.}$  = hmotnost nasáklého (g)

$m_{such.}$  = hmotnost suchého (g)

### **3.5. STANOVENÍ KOEFICIENTU ZMĚKČENÍ ZDÍČÍCH PRVKŮ**

Vlhkost zdíčních prvků z přírodního kamene zpravidla nepříznivě ovlivňuje jeho pevnost v tlaku. Míra ovlivnění závisí na mnoha faktorech, např. struktuře základního materiálu, obsahu jílovitých podílů, objemové hmotnosti, zrnitosti, typu pojiva apod. Koeficientem změkčení se rozumí podíl pevnosti zdíčního prvku zjištěné v nasyceném stavu k pevnosti zdíčního prvku zjištěné v suchém stavu ( $f_{c, des, n} / f_{c, des, s}$ ). Dle našich zkušeností se hodnoty koeficientu změkčení pohybují u zdíčních prvků z přírodního kamene v poměrně širokém rozmezí 0,6 - 0,9. Např. hodnota koeficientu změkčení rovna 0,7 znamená, že kámen nasycený vodou vykazuje o 30 % nižší pevnosti v tlaku než ve vysušeném stavu.

### **3.6. STANOVENÍ OBSAHU VE VODĚ ROZPUSTNÝCH SOLÍ VE ZDIVU**

Pro účely chemických analýz zdiva byly odebrány prachové vzorky vrtem Ø 16 mm, případně odseknuté části prvků o hmotnosti minimálně 25 g. Prachové vzorky byly odebrány z hloubky 0 až 30 mm. Při vrtání se prach jímá a vloží se do plastové nádoby s uzávěrem. Vysušené vzorky se namelou na analytickou jemnost a z takto namletých vzorků se připraví vodné výluhy v poměru 1:10 (vzorek k destilované vodě) po dobu 24 hod. Ve výluzích se zjišťují obsahy chloridových iontů ( $Cl^-$ ), síranových iontů ( $SO_4^{2-}$ ) a iontů dusičnanových ( $NO_3^-$ ). Chemická analýza vodných výluhů se provede dle ČSN EN ISO 10304-1 [9] a klasifikace stupně zasolení zdiva dle ČSN P 73 0610 [7].

### **3.7. PEVNOST ZDIVA V TLAKU**

Při posuzování konstrukcí dle Eurokódu ČSN EN 1996 [3] je nutno provést výpočet charakteristické pevnosti zdiva  $f_k$  dle vztahů uvedených v ČSN ISO 13822 [1]. Zkouškami zjištěnou pevnost kusového staviva v tlaku  $f_c$  je nutno převést na normalizovanou pevnost  $f_b$  dle ČSN EN 772-1 [4] a jako pevnost malty je možno uvažovat průměrnou hodnotu  $f_m$  zjištěnou zkouškami nebo např. kvalifikovaným odhadem. Volba součinitelů  $\gamma_m$  pro stanovení návrhové (výpočtové) pevnosti zdiva  $f_a$  je součástí komplexního statického posouzení (ČSN ISO 13822, Příloha NF). Součinitelé  $\gamma_m$  zahrnují dílčí součinitel spolehlivosti, vazbu zdiva a vyplnění spár maltou, vlhkost zdiva a poškození zdiva trhlinami. Pro účely odvození součinitele  $\gamma_m$ , kterým se zohledňuje vlhkost zdiva při stanovování jeho návrhové pevnosti,

bylo využito zejména výsledků vlhkostní analýzy. Vlhkost byla orientačně měřena instrumentální metodou pomocí příložného kapacitního vlhkoměru DM4A.

#### **4. VÝSLEDKY ZKOUŠEK IN-SITU A LABORATORNÍCH ZKOUŠEK**

Místa sond byla volena náhodně v ploše konstrukce (v závislosti na přístupu). Rozsah průzkumných prací byl zvolen na základě požadavku objednatele průzkumu. V rámci prací in-situ byl proveden odběr vzorků a rámcová vizuální prohlídka v oblastech odběru (krajní pole viaduktu). Fotografická dokumentace vizuální prohlídky je uvedena v Příloze 1.

##### **4.1. RÁMCOVÁ VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA V MÍSTECH ODBĚRU VZORKŮ**

###### **Na základě rámcové vizuální prohlídky lze konstatovat:**

- Záznam z vizuální prohlídky v místech odběrů je obsažen v Příloze 1 (fotografie 1 až 26). Jednotlivé oblouky jsou ve většině plochy pokryty bíložlutou krustou. Tato krusta vzniká vyluhováním pojivové hmoty ze spár (ložných a styčných). Zdivo kleneb bylo historicky povrchově přespárováno.

##### **4.2. PEVNOST PŘÍRODNÍHO KAMENE V TLAKU - DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY**

###### **Na základě provedených destruktivních zkoušek lze konstatovat:**

- Ze zdiva viaduktu (pole 1 a 10) bylo odebráno 5 vývrtů (Viz Příloha 2, foto 1 a 2) a z nichž bylo vyřezáno celkem 21 zkušebních těles (jádra s poměrem  $\varnothing/L = 1$ ). Výsledné pevnosti kamenů v tlaku stanovené na základě zkoušek i dílčí hodnoty jsou uvedeny v Příloze 2, Tab. 1. Jednotlivé vzorky jsou dokumentovány na fotografii 5. Průběh zkoušek včetně kondicionování na fotografiích 7 až 12 téže přílohy.
- Průměrná pevnost přírodního kamene v tlaku (pole 1 a 10) ve vysušeném stavu je 133,8 MPa. Ve stavu nasyceném pak pevnost dosahuje 113,4 MPa. Průměrný stanovený koeficient změkčení kamene je 0,85.

##### **4.3. PEVNOST MALTY V TLAKU – DESTRUKTIVNÍ A NED. ZKOUŠKY**

###### **Na základě provedených zkoušek malty lze konstatovat:**

- Bylo provedeno celkem 16 nedestruktivních měření pevnosti malty. Dílčí výsledky jsou zobrazeny v Příloze 2, Tab. 2. Pevnost malty v tlaku byla zjišťována po odstranění svrchní spárovací malty, tj. v hloubce cca 30 až 50 mm za lícem zdiva. Průměrná hodnota pevnosti malty stanovená nedestruktivně je 7,18 MPa.
- Z vývrtů 2 a 7 (provedených přes ložnou spáru) bylo zhotoveno celkem 14 zkušebních krychlí o hraně cca 20 mm. Průměrná pevnost malty stanovená destruktivně na vzorcích z vývrtu 2 a 7 je 26,1 MPa (Příloha 2, Tab. 4).
- Rozdíl v pevnosti malty stanovené destruktivně a nedestruktivně je dán polohou zkušebních vzorků, kdy při povrchu je pevnost malty nižší než v jádru a zároveň se při zkouškách v tlaku na malých tělesech (nenormových) projevuje rozměrový efekt.

- Při provádění vývrtů přes ložné spáry (vrty V2, V7 a částečně V4) a nedestruktivním měření pevnosti malty indentorem bylo zjištěno, že většina ložných je maltou vyplněna (viz Příloha 1, foto 7, 20 a 25).

#### **4.4. VLHKOSTNÍ STAV KAMENE, NASÁKAVOST A OBJ. HMOTNOST**

**Na základě měření vlhkosti in-situ, stanovení nasákavosti a objemové hmotnosti lze konstatovat:**

- Bylo provedeno celkem 16 měření vlhkosti zdiva in-situ. Měření proběhla v místech, ve kterých byla ověřována pevnost malty, případně prováděn odběr vzorků. Výsledky jsou obsaženy v Příloze 2, Tab. 2. Zjištěné hodnoty leží v rozmezí 3,1 – 8,5 %.
- Zdivo viaduktu je v celé ploše výrazně saturováno vodou, ta dlouhodobě proniká především přes spáry a postupně vyluhuje pojivo v podobě kalcitu.
- Průměrná nasákavost zkoušených vzorků dosahuje cca 0,7 % hm. Dílčí hodnoty leží v rozmezí od 0,3 % do 1,1 % hm. Průměrná objemová hmotnost byla stanovena jako 2563 kg/m<sup>3</sup> (Příloha 2, Tab. 1).

#### **4.5. STANOVENÍ OBSAHU VE VODĚ ROZPUSTNÝCH SOLÍ VE ZDIVU**

**Na základě provedených chemických testů lze konstatovat:**

- Celkem byly odebrány 2 vzorky pro stanovení přítomnosti ve vodě rozpustných solí (chloridy, dusičnany a sírany). Na základě provedené analýzy lze konstatovat, že ani jeden vzorek soli neobsahoval (viz Příloha 2, Tab. 6).
- Z klenby 1 (pole 1) směrem k Sepekovu byl odebran jeden vzorek krusty. Pomocí Ramanova spektrometru bylo prokázáno, že se jedná uhličitan vápenatý (kalcit). Ten vzniká jako výluh z betonu ložných a styčných spár.

#### **4.6. STANOVENÍ PEVNOSTI ZDIVA V TLAKU - dle metodiky EN**

**Na základě provedených testů a jiných zjištěných skutečností konstatovat:**

- V Příloze 2, Tab. 5 jsou uvedeny námi doporučené hodnoty součinitelů  $\gamma_m$  a z nich vypočtená návrhová pevnost zdiva  $f_d$ . Je však na rozhodnutí statika, jaké hodnoty  $\gamma_m$  pro stanovení návrhové pevnosti zdiva použije (ČSN ISO 13822, Příloha NF).
- Stanovení charakteristické a návrhové pevnosti zdiva v tlaku je uvedeno v Příloze 2, Tab. 5. Hodnocení je provedeno na základě provedených destruktivních testů kamene v tlaku (pevnost je vzata jako průměr z výsledků zkoušek vysušených i nasycených vzorků). Dále bylo přihlédnuto k zjištěné pevnosti malty (nedestruktivně a destruktivně), kdy doporučujeme uvažovat pevnost malty jako přibližně 10 MPa.
- Při uvážení aktuálního stavu konstrukce (pole 1 a 10) je stanovená průměrná hodnota pevnosti zdiva rovna 9,43 MPa (Příloha 2, Tab. 5). Vzhledem k faktu, že ve zdivu klenby nelze vyloučit přítomnost podélné nebo částečné podélné spáry byl součinitel K uvažován jako 0,36.



## **5. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ**

Na základě objednávky fy. TOP CON SERVIS s.r.o., Ke Stírce 1824/56, Praha 8, 182 00 byl pracovníky ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, Praha 6 realizován průzkum zdiva Sepekovského viaduktu. Obsahem zprávy je popis průzkumných prací, včetně následného stanovení materiálových charakteristik kamene, malty a pevnosti zdiva v tlaku pro krajní (přístupná pole). Práce in-situ byly provedeny v 6. a 7.4.2021. Laboratorní práce a zkoušky byly provedeny v období od 12.4.2021 do 16.4.2021. Podrobné hodnocení je uvedeno v Přílohách 1 a 2 a to včetně pořízené fotodokumentace.

### **Na základě provedených prací a materiálových testů na lze konstatovat:**

- Zdivo kleneb je ve většině plochy pokryto bíložlutou krustou. Na základě provedené analýzy bylo zjištěno, že se jedná o krustu z uhličitánu vápenatého (kalcit). Tato krusta vzniká postupným vyluhováním materiálu spár (pravděpodobně betonu/malty). Zdivo kleneb lze považovat za vlhké. Vlhkostní stav konstrukce vypovídá o zcela nefunkční hydroizolační vrstvě (pokud je vůbec přítomna).
- Pole 1 a 10 je tvořeno převážně metamorfovanými horninami (ruly, ortoruly, pararuly) a částečně granitoidy. Zjištěná pevnost kamenů ve vysušeném stavu je 133,8 MPa a ve stavu nasyceném 113,4 MPa. Průměrná hodnota pevnosti kamene v tlaku vysušených a saturovaných vzorků je 123,6 MPa.
- Pevnost malty v přípovrchových vrstvách dosahuje 7,18 MPa (stanoveno nedestruktivně), kdežto pevnost malty v tlaku na zkušebních krychlich o hraně 20 mm přibližně 26,1 MPa. Na základě těchto zjištění a skutečností uvedených v části 4.3. doporučujeme pevnost malty uvažovat jako 10 MPa.
- Pevnost zdiva dle metodiky EN je vypočtena v Příloze 2, Tab. 5. V aktuálním stavu konstrukce lze návrhovou hodnotu pevnosti zdiva tlaku (pro krajní pole 1 a 10) uvažovat jako přibližně 9,4 MPa.

*Závěry uvedené v této zprávě byly formulovány na základě výsledků zkoušek in-situ provedených v určitých oblastech v době prohlídky, limitovaných jejich přístupností. Volba součinitelů  $\gamma_m$  pro stanovení návrhové pevnosti zdiva  $f_d$  pro posouzení zdiva dle ČSN EN 1996 je na rozhodnutí statika. Zpracovatel si vyhrazuje právo na korekce a doplnění závěrů, pokud budou zjištěny další podstatné skutečnosti, které byly nad rámec provedených zkoušek a diagnostických prací nebo byly dodatečně zjištěny mimo diagnostikované oblasti.*

## **6. SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 RÁMCOVÁ PROHLÍDKA ZDIVA A ODBĚR VZORKŮ

Příloha 2 MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY ODEBRANÝCH VZORKŮ

## **PŘÍLOHA 1**

Expertní zprávy č. 2100 J 061

**STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH PARAMETRŮ ZDIVA  
KRAJNÍCH OBLOUKŮ SEPEKOVSKÉHO VIADUKTU**

**RÁMCOVÁ PROHLÍDKA ZDIVA A ODBĚR VZORKŮ**



**Foto 1:** Pohled na patu klenby 1 směrem k opěře, strana Sepekův



**Foto 2:** Pohled na patu klenby 1 směrem k pilíři





**Foto 3:** Pohled na dolní líc klenby 1, strana směrem k Sepekovu, lícová strana klenby je pokryta výluhy ze spár, pravděpodobně se jedná o výluhy kalcitu



**Foto 4:** Pohled na pole 1, strana k Sepekovu, pole se nachází ve velmi strmém terénu





**Foto 5:** Pole 1, pohled na provedené vývrty V1 (kámen) a V2 (spára)



**Foto 6:** Pohled do vývrty 1, kámen pokračuje dále



**Foto 7:** Pohled do vývrtu 2, ložná spára je zcela vyplněna maltou/betonem (v celé hloubce), na konci vývrtu se výrazně rozšiřuje



**Foto 8:** Pohled na vývrt V3 (kámen), kraj klenby 1

Vývrt 3





**Foto 9:** Pohled na výmrt V3 (kámen), kraj klenby 1 - detail



**Foto 10:** Pohled do výmrtu V3, konec výmrtu odlomen (historicky), patrné jsou výluhy kalcitu na čele



**Foto 11:** Vývrt V1 a V2 po sanaci PCC maltou



**Foto 12:** Vývrt V3 po sanaci PCC maltou





**Foto 13:** Detail místa odběru vzorku solí VZ1, výrazné výluhy pravděpodobně kalcitu

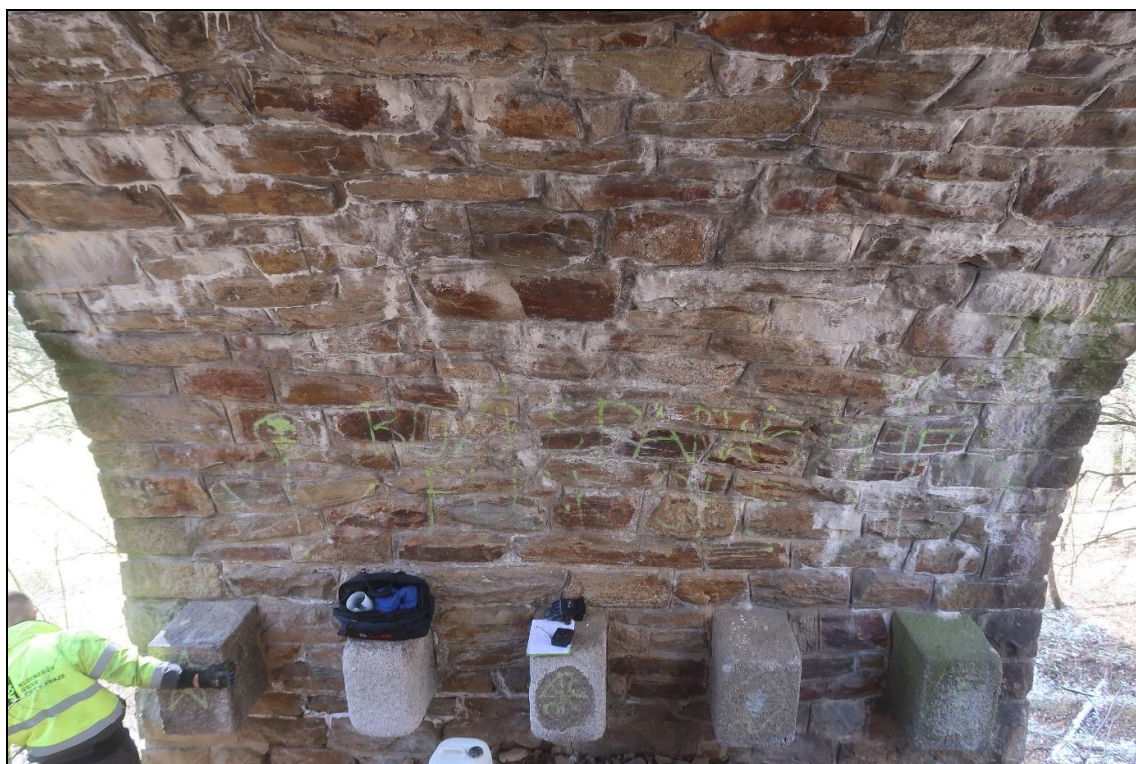


**Foto 14:** Detail oblasti odběru vzorku krusty





**Foto 15:** Pohled na patu klenby 10 směrem k opěře, strana směrem k Božejovicím



**Foto 16:** Pohled na patu klenby 10 směrem k pilíři



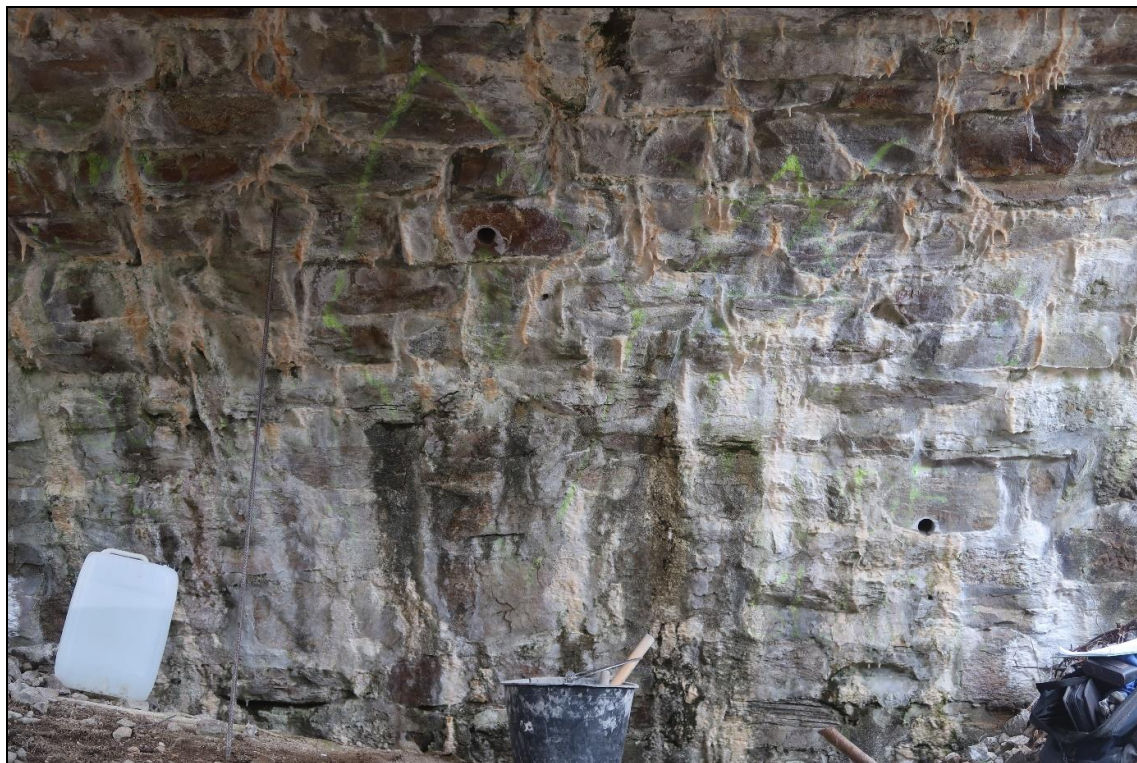


**Foto 17:** Pohled na pole 10 na straně směrem k Božejovicím, pole se nachází ve velmi strmé straně, část klenby (cca  $\frac{1}{4}$ ) je zasypána



**Foto 18:** Dolní líc klenby pole 10, celý dolní líc je pokryt výluhy (kalcitu)





**Foto 19:** Pohled na provedené vývrty V4 a kraji mostu (kámen + ložná spára), V5 v podélné ose mostu (kámen)



**Foto 20:** Pohled do vývrty V4, ložná spára (dole) je zcela vyplněna maltou/betonem

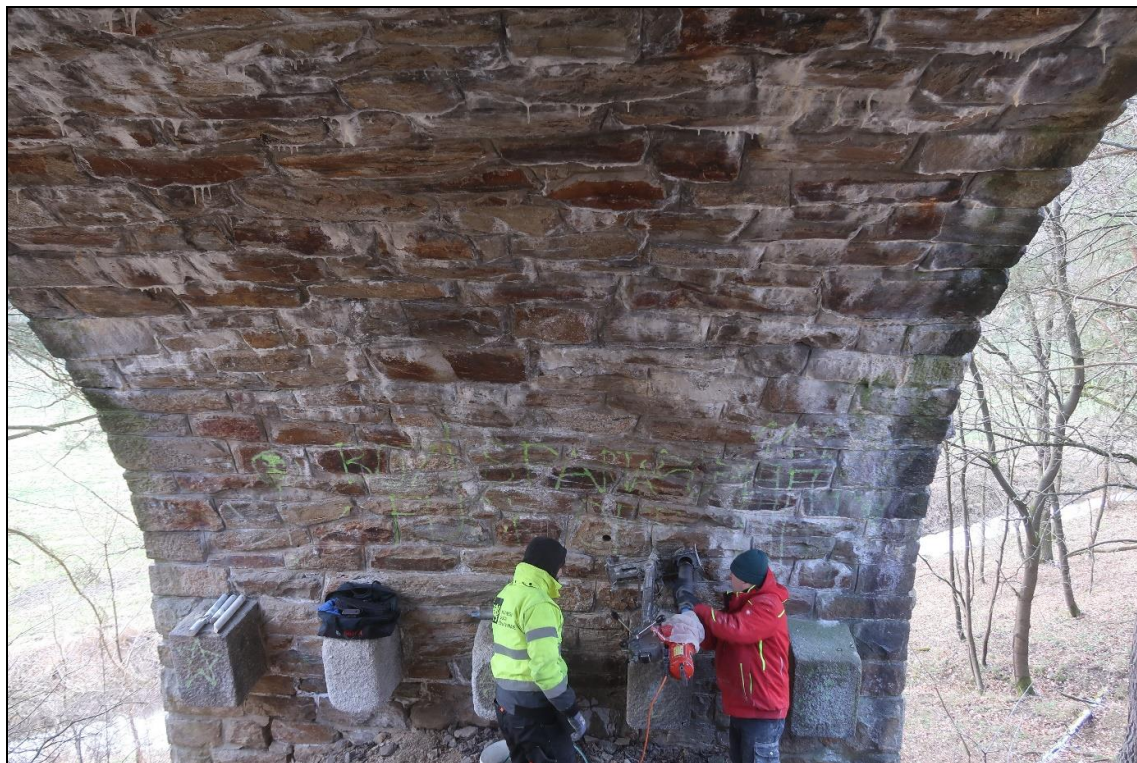


**Foto 21:** Pohled do vývrtu V5, ve vývrtu spára kolmá na líc klenby (červená šipka)



**Foto 22:** Místo odběru vzorku VZ2 pro laboratorní rozbor přítomností solí





**Foto 23:** Odběr vývrtu V6 (kámen) a V7 (spára)

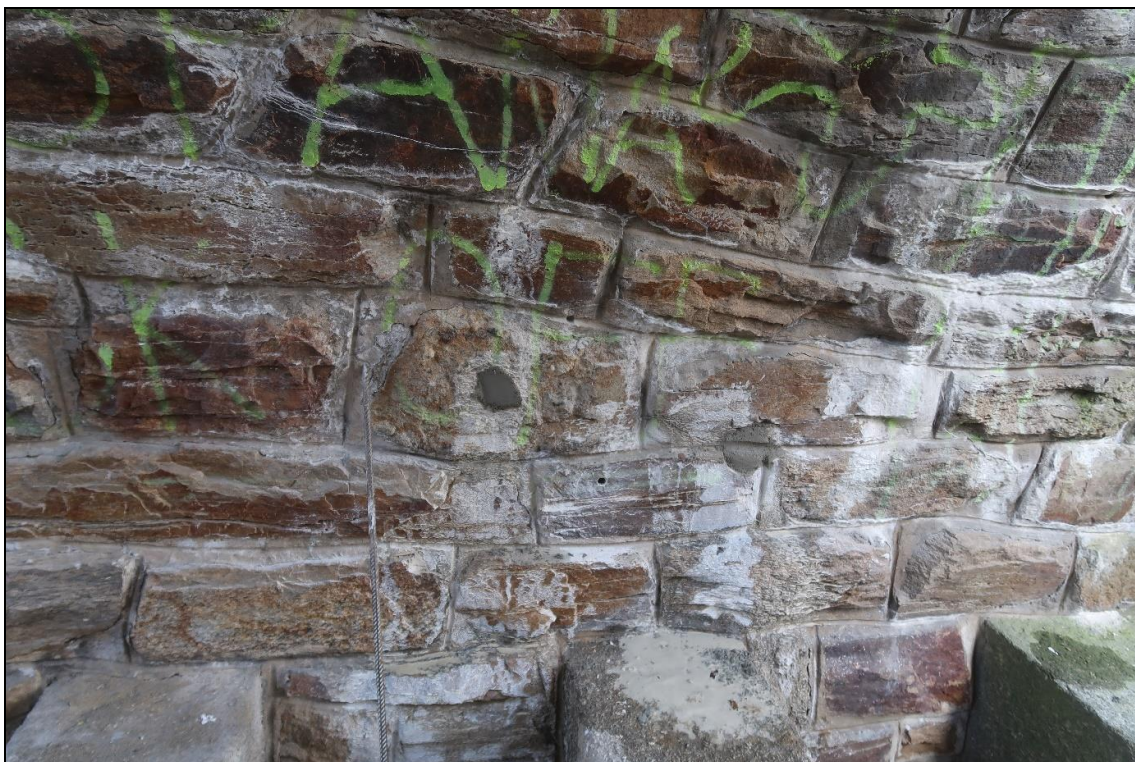


**Foto 24:** Vývrt V6 nahore (kámen), V7 vpravo dole (spára)





**Foto 25:** Pohled do vývrtu V7, ložná spára zcela vyplněna betonem/maltou



**Foto 26:** Vývrt V6 a V7 po sanaci PCC maltou

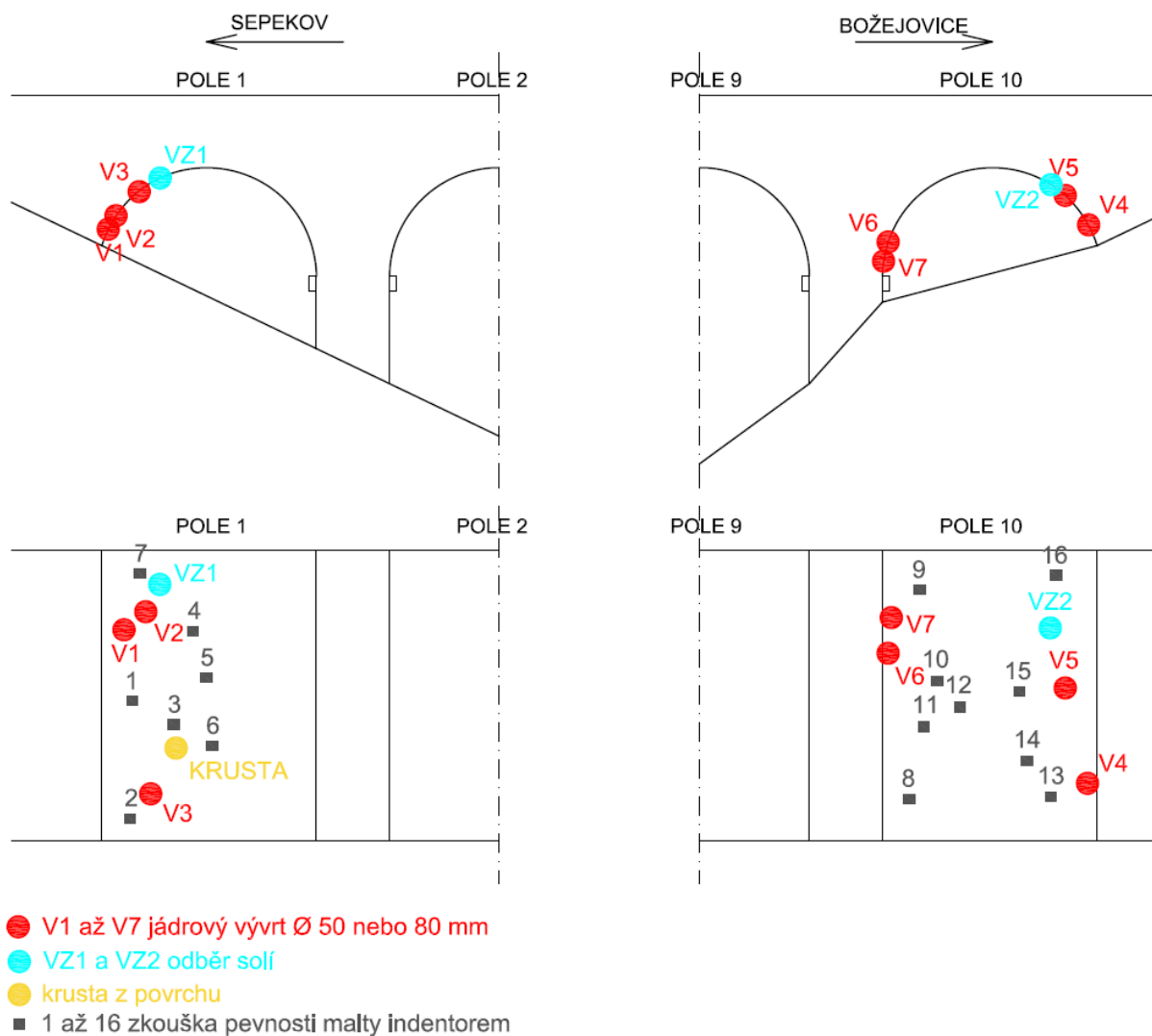
## **PŘÍLOHA 2**

Expertní zprávy č. 2100 J 061

### **STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH PARAMETRŮ ZDIVA KRAJNÍCH OBLOUKŮ SEPEKOVSKÉHO VIADUKTU**

### **MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY ODEBRANÝCH VZORKŮ**





**Obr. 1:** Schématický nákres krajních polí Sepekovského viaduktu včetně označení zkušebních poloh (vývrty, indentory, soli, krusta)

**Tab. 1:** Destruktivní zkoušky v tlaku, válce Ø 50 mm – přírodní kámen

Místo	Označení vývrtu a polohy	Ozn. vzorku	Tlačná plocha [cm <sup>2</sup> ]	Výška [mm]	Hmotnost vysušeného vzorku [g]	Objem. hmot. [kg/m <sup>3</sup> ]	Hmotnost nasyceného vzorku [g]	Nasákavost [%]	Tlačná síla [kN]	Pevnost v tlaku vys. vzorku f <sub>c, des, s</sub> [MPa]	Pevnost v tlaku nas. vzorku f <sub>c, des, n</sub> [MPa]	
KÁMEN (RULA, ORTORULA, ŽULA) - VÝVRT Ø 50 MM												
SEPEKOVSKÝ VIADUKT - POLE 1 A 10	VÝVRT 1 (POLE 1)	1-1	19,6	49,7	251,0	2582	-	-	225,0	115,1	-	
		1-2	19,6	50,0	251,8	2573	253,1	0,5	189,0	-	96,4	
		1-3	19,6	52,3	263,0	2574	-	-	303,0	154,9	-	
		1-4	19,6	52,2	263,2	2568	264,8	0,6	224,0	-	114,1	
		1-5	19,6	52,1	262,6	2580	264,2	0,6	234,0	-	119,7	
		1-6	19,6	52,4	265,0	2588	-	-	200,0	102,3	-	
	VÝVRT 3 (POLE 1)	3-1	19,6	52,0	265,0	2608	-	-	271,0	138,6	-	
		3-2	19,6	52,2	264,6	2582	265,5	0,3	249,0	-	126,8	
		3-3	19,6	52,1	263,0	2573	-	-	295,0	150,2	-	
	VÝVRT 4 (POLE 10)	4-1	19,6	52,3	264,0	2581	-	-	328,0	167,7	-	
		4-2	19,2	52,1	258,0	2573	-	-	294,0	152,8	-	
		4-3	19,6	52,7	264,6	2557	265,5	0,3	282,0	-	143,6	
	VÝVRT 5 (POLE 10)	5-1	19,6	52,2	262,0	2566	-	-	271,0	138,6	-	
		5-2	19,6	51,8	262,0	2581	-	-	286,0	146,0	-	
		5-3	19,6	52,2	262,3	2569	263,3	0,4	239,0	-	122,2	
	VÝVRT 6 (POLE 10)	6-1	19,5	51,9	256,0	2535	-	-	210,0	107,8	-	
		6-2	19,6	52,4	256,7	2505	259,5	1,1	196,0	-	100,2	
		6-3	19,5	52,7	259,0	2526	-	-	221,0	113,5	-	
		6-4	19,5	52,4	259,2	2542	261,9	1,0	202,0	-	103,7	
		6-5	19,5	52,2	258,0	2540	-	-	230,0	118,1	-	
		6-6	19,6	52,5	259,9	2529	262,6	1,0	184,0	-	93,9	
	Průměr						2563				133,8	113,4
	Směrodatná odchylka [MPa]										21,5	16,4
	Variační koeficient [-]										0,16	0,14

koeficient změkčení

$$\alpha = f_{c, des, n} / f_{c, des, s} [-]$$

**0,85**

**Tab. 2:** Nedestruktivní stanovení pevnosti malty, stanovení vlhkosti

Zkušební místo	VLHKOST KAMENE			ZKOUŠKA PEVNOSTI MALTY V TLAKU					
	Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610			Počet úderů na zaražení indentoru				Průměr	Pevnost v tlaku $f_m$ [MPa]
KLENBA 1 A 10 (PŘÍRODNÍ KÁMEN)									
SEPEKOVSKÝ VIADUKT									
1-POLE 1	5,1	5,3	3,5	19	25	18	25	21,8	7,83
2-POLE 1	5,1	5,5	5,7	18	12	17	28	18,8	5,99
3-POLE 1	3,1	3,6	4,2	22	14	15	19	17,5	5,30
4-POLE 1	3,3	5,7	3,9	25	28	19	29	25,3	10,28
5-POLE 1	5,2	6,1	4,9	14	15	17	23	17,3	5,16
6-POLE 1	6,3	6,1	4,5	14	19	19	25	19,3	6,28
7-POLE 1	4,3	4,5	5,2	15	16	19	25	18,8	5,99
8-POLE 10	3,2	4,7	5,1	17	15	21	23	19,0	6,13
9-POLE 10	5,5	7,8	5,8	17	14	22	25	19,5	6,43
10-POLE 10	3,9	7,6	5,4	17	25	23	28	23,3	8,84
11-POLE 10	5,5	5,1	3,7	17	17	16	19	17,3	5,16
12-POLE 10	5,2	3,5	4,5	17	23	25	27	23,0	8,67
13-POLE 10	8,2	7,7	5,6	17	20	26	23	21,5	7,67
14-POLE 10	4,5	5,0	5,8	18	24	27	31	25,0	10,10
15-POLE 10	8,5	7,9	5,9	15	19	22	25	20,3	6,88
16-POLE 10	4,8	4,1	5,5	15	18	27	29	22,3	8,16
PRŮMĚR POLE 1 A 10									7,18
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA [MPa]									1,62
VARIAČNÍ KOEFICIENT [%]									22,52

**Tab. 3:** Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 (legenda)

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610			
velmi nízká	w	<	3	
nízká	3	≤	w	< 5
zvýšená	5	≤	w	< 7,5
vysoká	7,5	≤	w	≤ 10
velmi vysoká	w	>	10	

**Tab. 4:** Destruktivní stanovení pevnosti malty, krychle o hraně cca 20 mm (z vývrtu V2 a V7)

NOSNÁ KONSTRUKCE (kamenné zdivo z kvádrů - ruly, ortoruly, granitoidy)									
Pole	Jádrový vývrt	Ozn. zk. vzorku	Rozměry			Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Tlačná síla [kN]	Pevnost malty v tlaku f <sub>m</sub> [MPa]
			b [mm]	h [mm]	v [mm]				
POLE 1 a 10	V2	2-1	20,50	20,61	20,33	17,55	2043	7,32	17,3
		2-2	20,43	20,48	20,40	17,77	2082	13,16	31,5
		2-3	20,43	20,23	20,65	17,90	2097	14,24	34,4
		2-4	20,44	20,21	20,55	17,75	2091	9,54	23,1
		2-5	20,59	20,21	20,17	17,46	2080	7,56	18,2
		2-6	20,52	20,48	20,40	18,01	2101	12,44	29,6
		2-7	20,47	20,61	20,05	17,67	2089	10,81	25,6
		2-8	20,22	20,49	20,28	17,62	2097	10,78	26,0
		2-9	20,55	20,05	20,59	18,09	2132	14,02	34,0
	V7	7-1	21,07	20,76	20,58	18,72	2080	9,53	21,8
		7-2	20,76	20,69	20,82	18,96	2120	13,16	30,6
		7-3	20,45	20,16	20,61	17,63	2075	10,05	24,4
		7-4	20,84	20,41	21,04	18,36	2052	12,28	28,9
		7-5	20,74	20,32	20,67	17,81	2045	8,70	20,6
Průměr VÝVRT 5							2085		26,1
Směrodatná odchylka							26		5,6
Variační součinitel [%]							1		21

**Tab. 5:** Stanovení pevnosti zdiva dle evropských norem (EN) na základě provedených destruktivních a nedestruktivních zkoušek

SEPEKOVSKÝ VIADUKT				ZDIVO Z PŘÍRODNÍHO KAMENE (KRAJNÍ POLE 1 A 10) pevnost kamene stanovena na základě průměru destruktivních zkoušek vzorků suchých a mokrých	
1	K	Součinitel K	K	0,36	
2	$\alpha$	Exponent $\alpha$ závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty	$\alpha$	0,70	
3	$\beta$	Exponent $\beta$ závislý na druhu malty	$\beta$	0,30	
4	$f_m$	Průměrná pevnost $f_m$ malty zjištěná zkouškami (MPa)	$f_m$	10,0	
5	$f_c$	Průměrná pevnost staviva $f_c$ zjištěná zkouškami (MPa)	$f_c$	123,6	
6	$\delta$	Součinitel $\delta$ pro normalizovanou pevnost	$\delta$	0,85	
7	$f_b$	Normalizovaná pevnost staviva $f_b = \delta f_c$ (MPa)	$f_b$	105,06	
8	$f_k$	Charakteristická pevnost zdiva $f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$ (MPa)	$f_k$	18,68	
9	$\gamma_{m1}$	Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_{m1}$	$\gamma_{m1}$	2,00	
10	$\gamma_{m2}$	Součinitel $\gamma_{m2}$ zohledňující vazbu zdiva a vyplnění spár maltou	$\gamma_{m2}$	0,90	
11	$\gamma_{m3}$	Součinitel $\gamma_{m3}$ zohledňující vlhkost zdiva	$\gamma_{m3}$	1,10	
12	$\gamma_{m4}$	Součinitel $\gamma_{m4}$ zahrnující vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu	$\gamma_{m4}$	1,00	
13	$f_d$	Návrhová pevnost zdiva $f_d = f_k / \gamma_{m1} \gamma_{m2} \gamma_{m3} \gamma_{m4}$ (MPa)	$f_d$	9,43	

### Analýza krusty pomocí Ramanova spektrometru

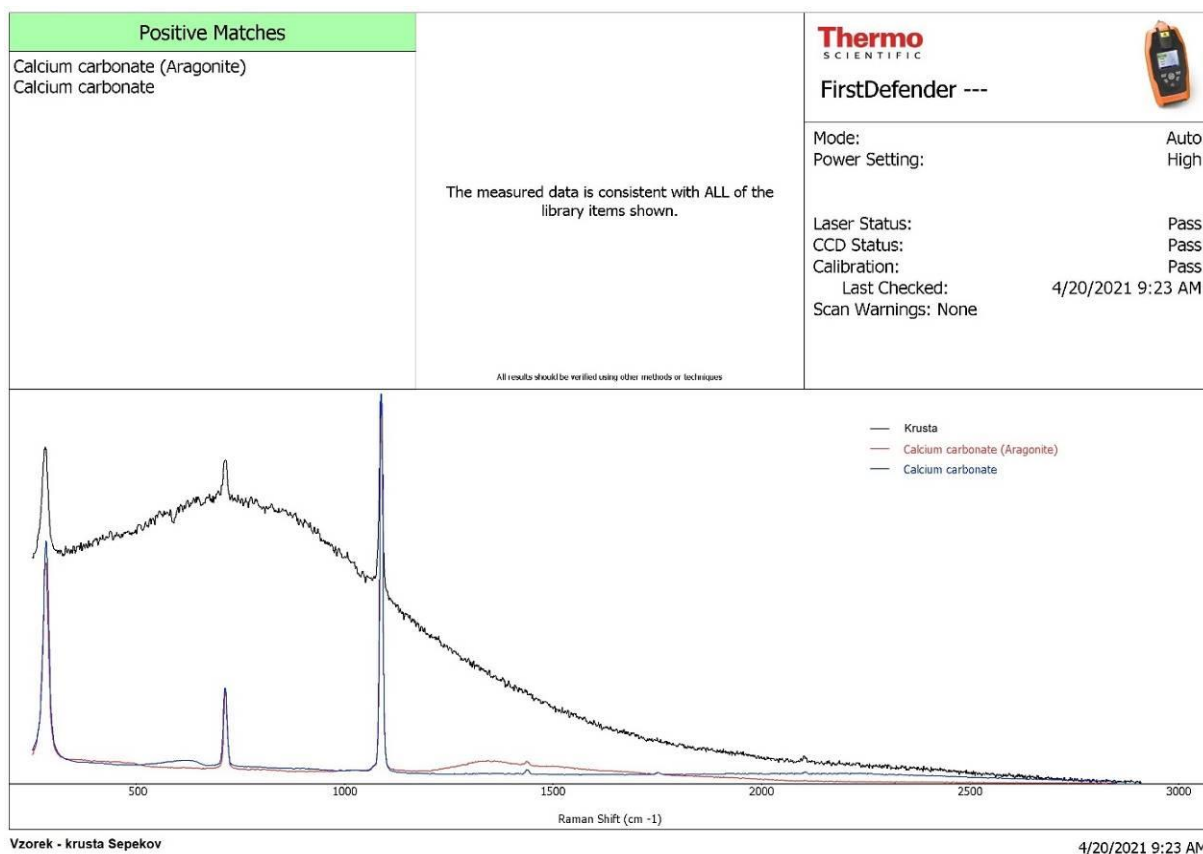
Za účelem zjištění mineralogického (krystalického) složení krusty (viz Obr. 2 a 3) byla provedena analýza pomocí Ramanova spektrometru Ahura First Defender. Výsledek analýzy - Ramanovo spektrum je uvedeno na Obr. 4.



Obr. 2: Krusta – líc



Obr. 3: Krusta - rub



Obr. 4: Ramanovo spektrum vzorku bílého povlaku v porovnání se spektrem uhličitanu vápenatého a uhličitanu vápenatého v krystalické formě aragonitu z knihovny spekter

**Závěr:** Na základě analýzy vzorku krusty pomocí Ramanova spektrometru, lze konstatovat, že krusta je tvořena uhličitanem vápenatým v různých krystalických formách (kalcit, aragonit). Tato krusta tedy vznikla z výluhů z betonu.

**Tab. 6:** Stanovení obsahu solí ve zdivu Sepekovského viaduktu (2 vzorky)

Název vzorku	Chloridy [% hmot.]	Dusičnany [% hmot.]	Sírany [% hmot.]
<b>VZ1</b> ve výluhu (hl. 0-30 mm)	0,001	0,001	0,005
<b>VZ2</b> ve výluhu (hl. 0-30 mm)	0,001	0,001	0,004

**Tab. 7:** Legenda značení obsahu solí ve vztahu k limitům podle ČSN P 730610

Stupeň zasolení zdiva	Cl <sup>-</sup> [% hmot.]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [% hmot.]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [% hmot.]
nízký	x < 0,075	x < 0,1	x < 0,50
zvýšený	0,075 – 0,20	0,1 – 0,25	0,5 – 2,0
vysoký	0,20 – 0,50	0,25 – 0,5	2,0 – 5,0
velmi vysoký	> 0,50	> 0,5	> 5,0

**Tab. 8:** Makroskopický popis vrtných jader odebraných ze Sepekovského viaduktu

OZN.	Pole	Makroskopický popis
<b>V1</b> l=460 mm Ø 50 mm	<b>klenba 1</b>	metamorfovaná hornina (rula, tj. ortorula/pararula), vrstevnatý charakter, povrch vývrtu hladký, barva hnědošedá
<b>V2</b> l=390 mm Ø 80 mm	<b>klenba 1 (spára)</b>	metamorfovaná hornina (rula, tj. ortorula/pararula), vrstevnatý charakter, povrch vývrtu hladký, barva hnědošedá, spára zcela vyplněná (beton/malta), postupně se rozšiřuje
<b>V3</b> l=340 mm Ø 50 mm	<b>klenba 1</b>	metamorfovaná hornina (rula, tj. ortorula/pararula), vrstevnatý charakter, povrch vývrtu hladký, barva hnědošedá, konec vývrtu usazeniny kalcitu
<b>V4</b> l=420 mm Ø 50 mm	<b>klenba 10</b>	metamorfovaná hornina (rula, tj. ortorula/pararula), vrstevnatý charakter, povrch vývrtu hladký, barva hnědošedá, navrtána část ložné spáry, spára vyplněná (beton/malta)
<b>V5</b> l=375 mm Ø 50 mm	<b>klenba 10</b>	metamorfovaná hornina (rula, tj. ortorula/pararula), vrstevnatý charakter, povrch vývrtu hladký, barva světlehnědošedá, ve vývrtu šikmá trhlina (usazeniny)
<b>V6</b> l=390 mm Ø 50 mm	<b>klenba 10</b>	granitoid (pravděpodobně žula), struktura jemnozrnná, barva světle hnědá až béžová, povrch vývrtu hladký
<b>V7</b> l=370 mm Ø 80 mm	<b>klenba 10 (spára)</b>	metamorfovaná hornina (rula, tj. ortorula/pararula), vrstevnatý charakter, povrch vývrtu hladký, barva světle hnědá, spára zcela vyplněná (beton/malta), postupně se rozšiřuje





**Foto 1:** Pohled na vrtná jádra (V1, V3, V4, V5 a V6) Ø 50 mm odebraná z kamenů kleneb vč. označení pro přípravu zkušebních vzorků pro zkoušky v tlaku, vzorky navlhčené vodou



**Foto 2:** Pohled na vrtná jádra z fotografie 1, rozdělení vzorky na dílčí lomové plochy, např. vývrt 3, zlom pokryt bílou usazeninou (pravděpodobně kalcit), vývrt 4 (zachycena ložná spára vyplněná maltou)

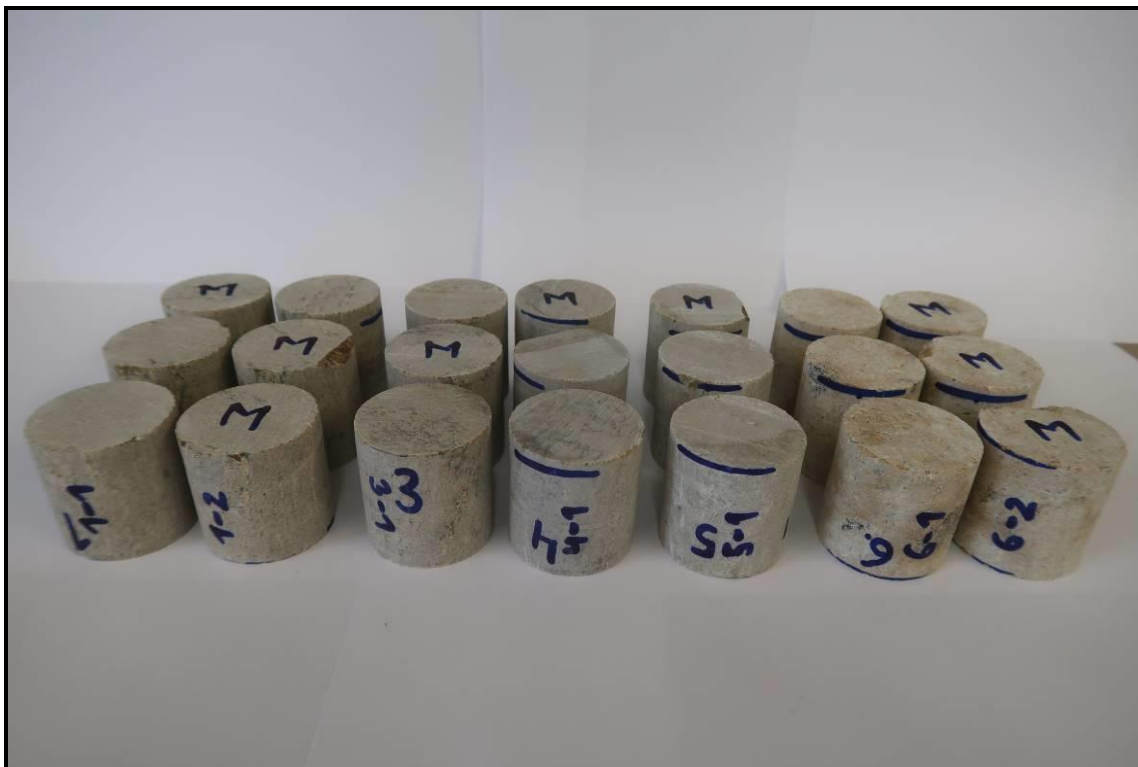


**Foto 3:** Pohled na vrtná jádra (V2 a V7) Ø 80 mm odebraná z ložných spár, ložné spáry v obou případech plně vyplněné maltou/betonem

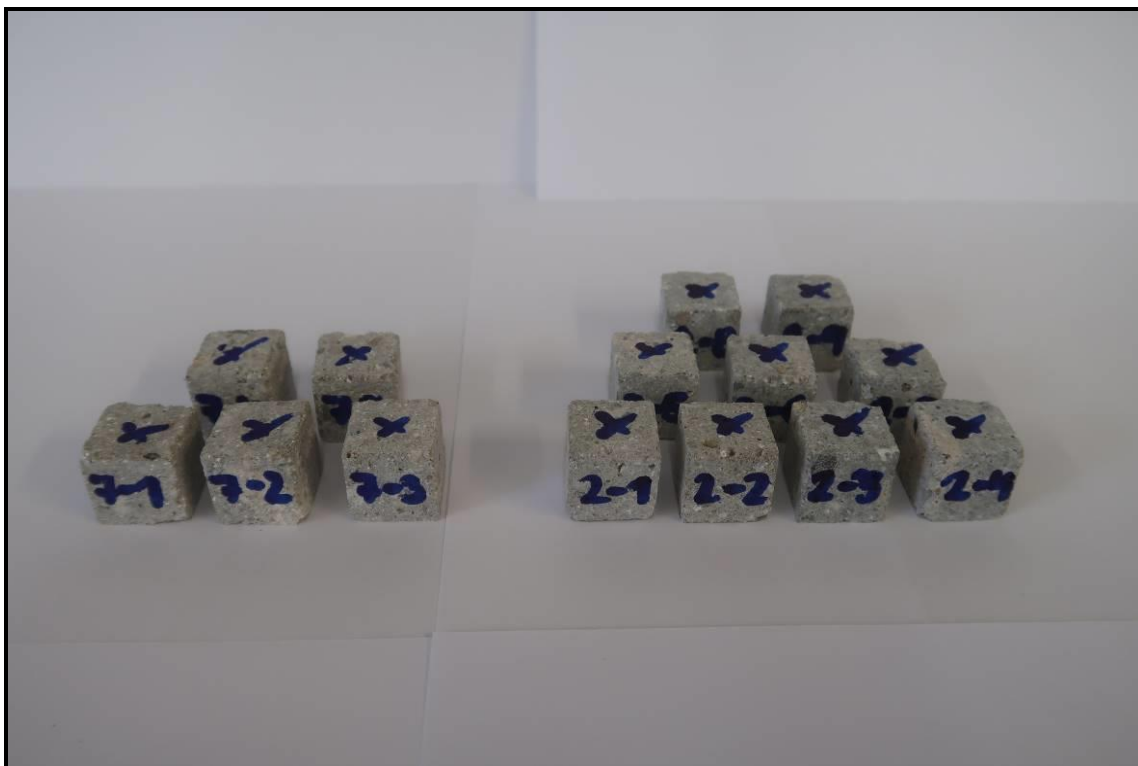


**Foto 4:** Detail ložné spáry vývrtu V7





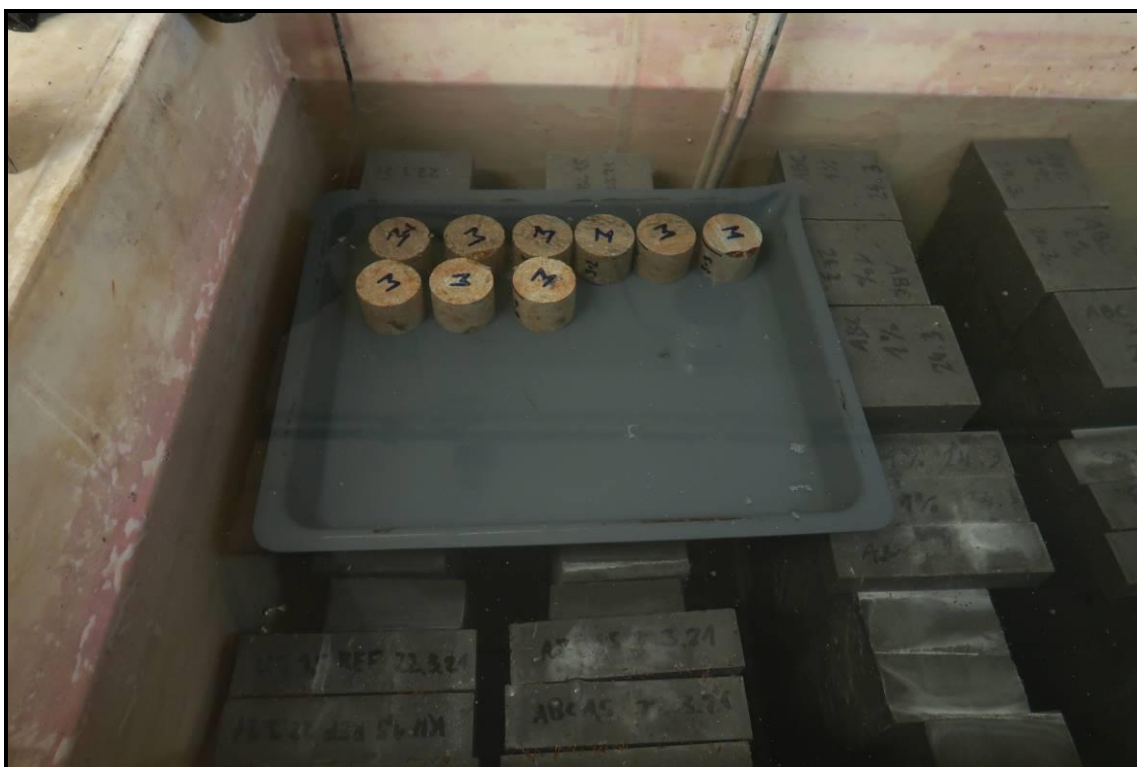
**Foto 5:** Pohled na připravené vzorky z vývrtu 1, 3, 4, 5 (ruly, ortoruly, pararuly) a 6 (granitoid), celkem 21 ks



**Foto 6:** Vzorky malty (krychle o hraně cca 20 mm) připravené z ložných spár vývrtů V2 a V7, celkem 14 ks, malta pevná, hutná



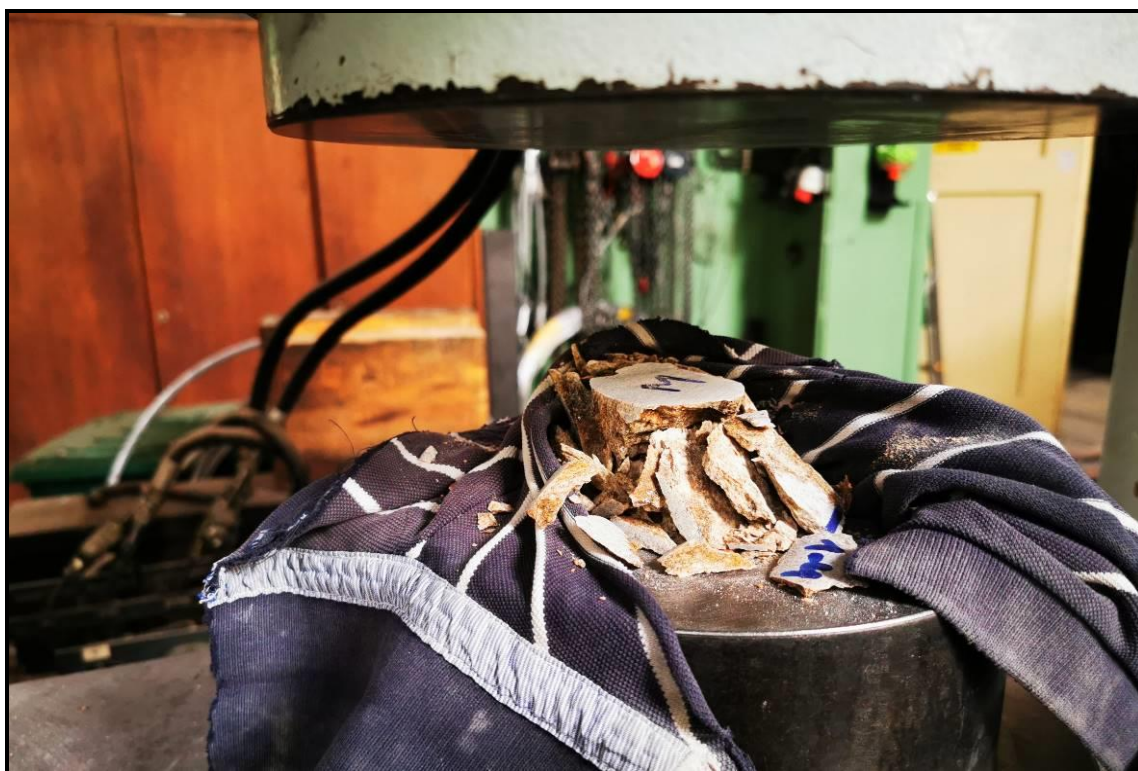
**Foto 7:** Zkušební tělesa z přírodního kamene v sušárně (sušení do ustálené hmotnosti)



**Foto 8:** Zkušební tělesa ve vodním uložení (průběh nasycování do ustálené hmotnosti)



**Foto 9:** Zkušební těleso 1-4 v zatěžovacím lisu

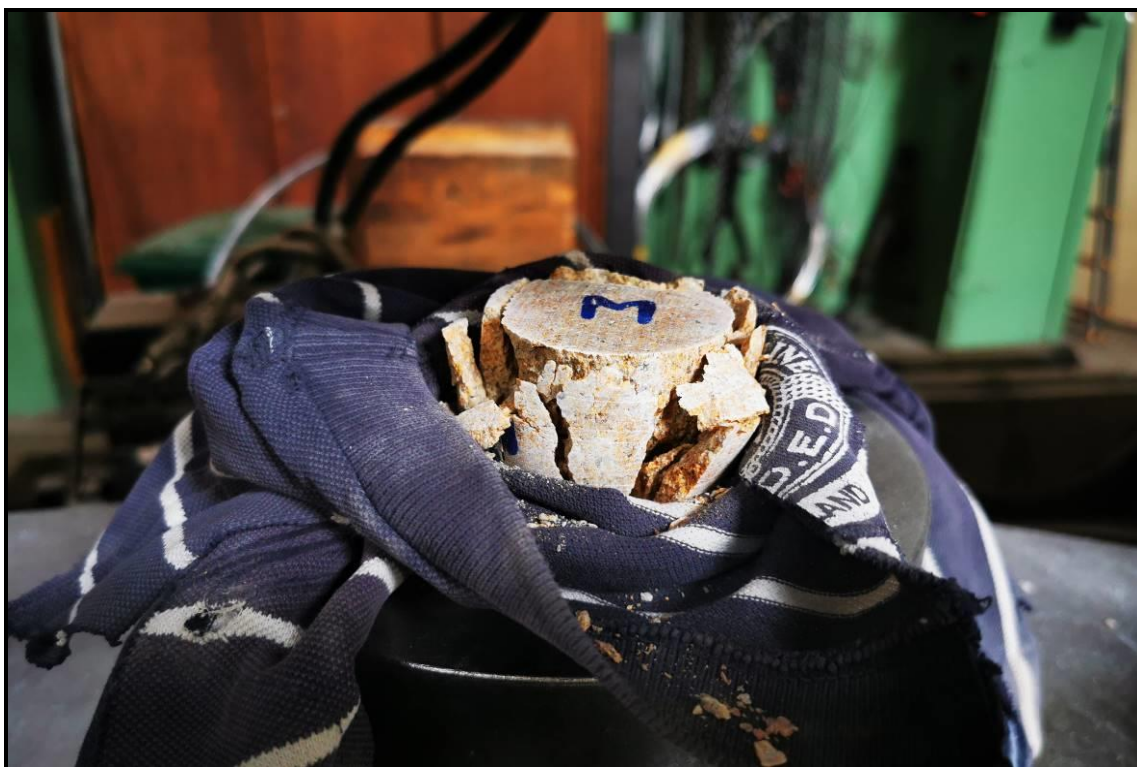


**Foto 10:** Zkušební těleso 1-4 po zkoušce v tlaku





**Foto 11:** Zkušební těleso 6-2 v zatěžovacím lisu



**Foto 12:** Zkušební těleso 6-2 po zkoušce v tlaku