



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Veveří 95, 602 00 Brno

a

Centrum AdMaS
Výzkumná skupina KDS
Proficentrum (12536) SZK
Purkyňova 139; 612 00 Brno

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

**Diagnostický průzkum propustku ev. č. 351-044p
přes potok v Polné na ulici Havlíčkova**

Ing. Petr Žitň

odpovědný řešitel zakázky
smluvního výzkumu

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.

vedoucí proficentra (12536) SZK

V Brně: září 2018	Počet vyhotovení:	4
	Vyhotovení číslo:	0

1. ÚVODNÍ ČÁST

1.1 Údaje o zpracovateli

Řešitelská organizace:	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Veveří 95, 602 00 Brno
IČO:	00216305
DIČ:	CZ00216305
Pracoviště řešitele:	Centrum AdMaS Výzkumná skupina KDS Proficentrum (12536) SZK Purkyňova 139; 612 00 Brno
Vedoucí proficentra:	doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vypracoval:	Ing. Petr Žítt tel.: +420 541 147 528 mobil: +420 777 281 289 email: petr.zitt@vutbr.cz
Diagnostika in-situ:	Ing. Petr Žítt Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Ing. Jaromír Láník, Ph.D.

1.2 Údaje o objednateli

Objednatel:	Ruřar mosty s.r.o. Slavíčkova 1a 638 00 Brno IČ: 293 62 393
Objednávka ze dne:	20. 08. 2018 (elektronicky e-mailem)
Předmět řešení:	Diagnostický průzkum mostní konstrukce. Cílem diagnostiky předmětného objektu je stanovit fyzikálně mechanické parametry nosného zdiva klenutého kamenného propustku ve vytipovaných místech (pata klenby, vrchol klenby).

1.3 Zkušební předpisy a postupy

Prováděné průzkumné práce in-situ a následné laboratorní zkoušky byly prováděny a vyhodnocovány v souladu s následujícími normovými předpisy:

- [01] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- [02] ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení
- [03] Schmid P. a kol. Základy zkušebnictví, skriptu FAST VUT v Brně
- [04] Fotodokumentace prací in-situ

1.4 Použité přístroje, vybavení a software

- [01] Vrtací a bourací kladivo BOSCH s příslušenstvím (2x)
- [02] Průmyslový vysavač Makita s příslušenstvím
- [03] Upravená Kučerova vrtačka pro NDT zkoušky pevnosti malty
- [04] Digitální fotoaparát Canon PowerShot D30
- [05] Elektrocentrála Honda 6,5kW
- [06] Drobné příslušenství (svinovací metry, lihové značkovače, 1%-ní roztok fenolftaleinu apod.)
- [07] MS Office 2010

2. PŘEDMĚT

Předmětem předkládané zprávy je provedení stavebně technického a materiálového průzkumu propustku ev. č. 351-044p přes potok v Polné na ulici Havlíčkova mezi křižovatkami s ulicemi Karla Čapka a na Šancích.

Výstupem předkládané závěrečné zprávy bude podklad sloužící pro případný statický přepočet stávajících konstrukcí popř. jako podklad sloužící pro návrh sanačních opatření dotčených konstrukčních celků nebo pro případné odstranění vybraných konstrukcí a jejich nahrazení konstrukcemi novými. Předmětem předkládané závěrečné zprávy jsou výsledky stavebně-technického průzkumu vybraných konstrukcí dotčeného objektu provedeného na základě objednávky vystavené Ing. Jaromírem Rušarem ze dne 20. 08. 2018.

Předmětné diagnostické práce in-situ byly provedeny dne 30. 08. 2018.

Při realizaci zakázky byly provedeny následující úkony in-situ:

Sekané sondy

- 1x odstranění betonového torkretu v tloušťce cca 30 – 70 mm naneseného na povrchu původního kamenného zdiva, zjištění tloušťky klenby, určení tloušťky poprsní zídky vrtem s využitím vidiového vrtáku, sonda s označením č. 1
- 1x odstranění betonového torkretu cca v 1/3 výšky klenby ve vytipovaném místě s podélnou trhlinou v klenbě, provedení zkoušek pevnosti malty NDT zkouškami, zjištění tloušťky klenby s využitím vidiového vrtáku, sonda s označením č. 2
- 1x odstranění betonového torkretu v patě klenby ve vytipovaném místě, provedení zkoušek pevnosti malty NDT zkouškami, zjištění tloušťky klenby s využitím vidiového vrtáku, sonda s označením č. 3
- 1x odstranění betonového torkretu ve vrcholu klenby ve vytipovaném místě, provedení zkoušek pevnosti malty NDT zkouškami, zjištění tloušťky klenby s využitím vidiového vrtáku, sonda s označením č. 4
- 1x odstranění betonového torkretu v patě klenby ve vytipovaném místě v zadní části propustku v zalomeném profilu, určení typu zdiva, sonda s označením č. 5

3. METODIKA PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠEK

3.1 Odstranění povrchové vrstvy torkretu, vizuální kontrola povrchu

Torkret byl odstraněn s využitím sekacích a bouracích kladiv až na nosné zdivo klenby. Zdivo bylo očištěno a byly částečně proškrábnuty spáry pro provedení NDT zkoušek pevnosti malty. Vizuálně byly zkontrolovány zdící prvky, tj. lomový kámen zabudovaný do zdiva.

3.2 Metodika hodnocení zdiva

Dle stávajících norem pro hodnocení zděných konstrukcí se postupuje převážně v souladu s ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí a ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení a normy ČSN EN 1996-1-1.

Stávající normy jsou převážně zaměřeny na hodnocení zdiva z pálených cihel a některého druhu kamenného zdiva.

V případě zdiva z kamene je hodnocení dle platných norem velmi diskutabilní (norma nerozlišuje typ kamenného zdiva) a z tohoto důvodu se dále opíráme o již neplatnou normu ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí z roku 1980.

Postupy pro hodnocení pevnosti zdiva dle současně platných norem jsou uvedeny v příslušných tabulkách pro jednotlivé provedené sondy, kde základním kritériem je stanovit charakteristickou pevnost zdiva, která vychází z kvality zabudovaných materiálů.

V dalším kroku je potřeba stanovit návrhovou pevnost, kde již dále zohledňujeme kvalitu provedení, vazbu, spárování, vliv vlhkosti a výskyt svislých a šikmých trhlin ve zdivu.

V případě smíšeného popř. kamenného zdiva jsou základní koeficienty pozměněny a dále jsou zpřísněny součinitele upřesňující vazbu, promaltování spár a výskyt trhlin.

V následující tabulce tab. 3.2.1 jsou uvedeny hodnoty součinitele K pro zdivo s obyčejnou maltou, maltou pro tenké spáry a malt lehké objemové hmotnosti. V tabulce je patrné, že platná norma ČSN 73 0038 neuvažuje se zdivem z lomového kamene.

Tab. 3.2.1 Součinitel K pro zdivo dle ČSN 73 0038

Zdíci prvky		Obyčejná malta	Malta pro tenké spáry (tl. spáry od 0,5 mm do 3 mm)	Lehká malta objemové hmotnosti	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho_d \leq 1500$ kg/m ³
Pálené	Sk. 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Sk. 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Sk. 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Sk. 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Vápenopískové	Sk. 1	0,55	0,80	-	-
	Sk. 2	0,45	0,65	-	-
Betonové	Sk. 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Sk. 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Sk. 3	0,40	0,50	-	-
	Sk. 4	0,35	-	-	-
Pórobetonové	Sk. 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Z umělého kamene	Sk. 1	0,45	0,75	-	-
Pravidelné zdící prvky z přírodního kamene	Sk. 1	0,45	-	-	-

Z důvodu prokázání pevnosti lomového kamene použitého pro výstavbu (vlivem špatné malty nebylo možné odebrat jádrové vývrty z lomového kamene) je použita tabulka z normy ČSN 731101, kde je převzata pevnost pro lomové zdivo s třídou kamene III s pevností 40 MPa.

Tab. 3.2.2 Výpočtové pevnosti zdiva v dostředném a mimostředném tlaku v MPa dle ČSN 73 1101

Zdivo		Výška jedné ložné vrstvy h_1	Třída jakosti kamene	Pevnostní značka kamene	Výpočtové pevnosti zdiva na maltu označenou podle ČSN 722430						
					150	100	50	25	10	4	0
		mm		-	-	MPa					
kamenné	z čistých kvádrů *	$h_1 > 600$	I	110	13,8			13,3	12,3	10,9	9,4
			II	80	11,4			10,9	9,9	8,6	7,3
			III	40	3,5			6,2	5,7	5,1	4,4
	řádkové čisté *	$h_1 > 150$	I	110	6,3	6,0	5,4	5,1	4,8	4,2	3,9
			II	80	5,1	4,8	4,5	4,2	3,6	3,3	3,0
			II	40	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,7
	řádkové hrubé *		I	110	4,7	4,5	4,0	3,8	3,6	3,2	2,9
			II	80	3,8	3,6	3,4	3,2	2,7	2,5	2,2
			III	40	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,3
	lomové a kyklop- ské *		I	110	-	2,2	1,6	1,0	0,7	0,5	0,3
			II	80	-	2,0	1,4	0,9	0,6	0,4	0,2
			III	40	-	1,3	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1

Vzhledem k tomu, že současně platné normy umožňují počítat pouze s kamenným zdivem s kameny pravidelného tvaru, z čehož dostáváme výrazně vyšší hodnoty návrhových pevností zdiva viz tab. 3.2.3, tak je pevnost počítána jako pevnost cihelného zdiva s posunem součinitelů ke spodní hranici (zhoršení podmínek) a je částečně porovnávána s hodnotami pevností pro zdivo z lomového kamene dle ČSN 73 1101.

Tab. 3.2.3 Návrhová pevnost zdiva dle normy ČSN 73 0038 a již neplatné normy ČSN 73 1101, srovnání při nejlepších podmínkách z hlediska vazby, vlhkosti, trhlin atd.

		Pevnost malty v tlaku [MPa]						
Norma	Zdivo	15,00	10,00	5,00	2,50	1,00	0,40	0,00
ČSN 731101	z čistých kvádrů	13,11	13,11	13,11	12,64	11,69	10,36	8,93
	lomové a kyklopské		2,09	1,52	0,95	0,67	0,48	0,29
ČSN EN 1996-1-1	nerozlišeno	12,25	10,85	8,81	7,16	5,44	4,13	0,00

4. POLOHA PROVEDENÝCH SOND

V následujícím zjednodušeném schématu 4.1 je zakreslena přibližná poloha jednotlivých provedených sond.

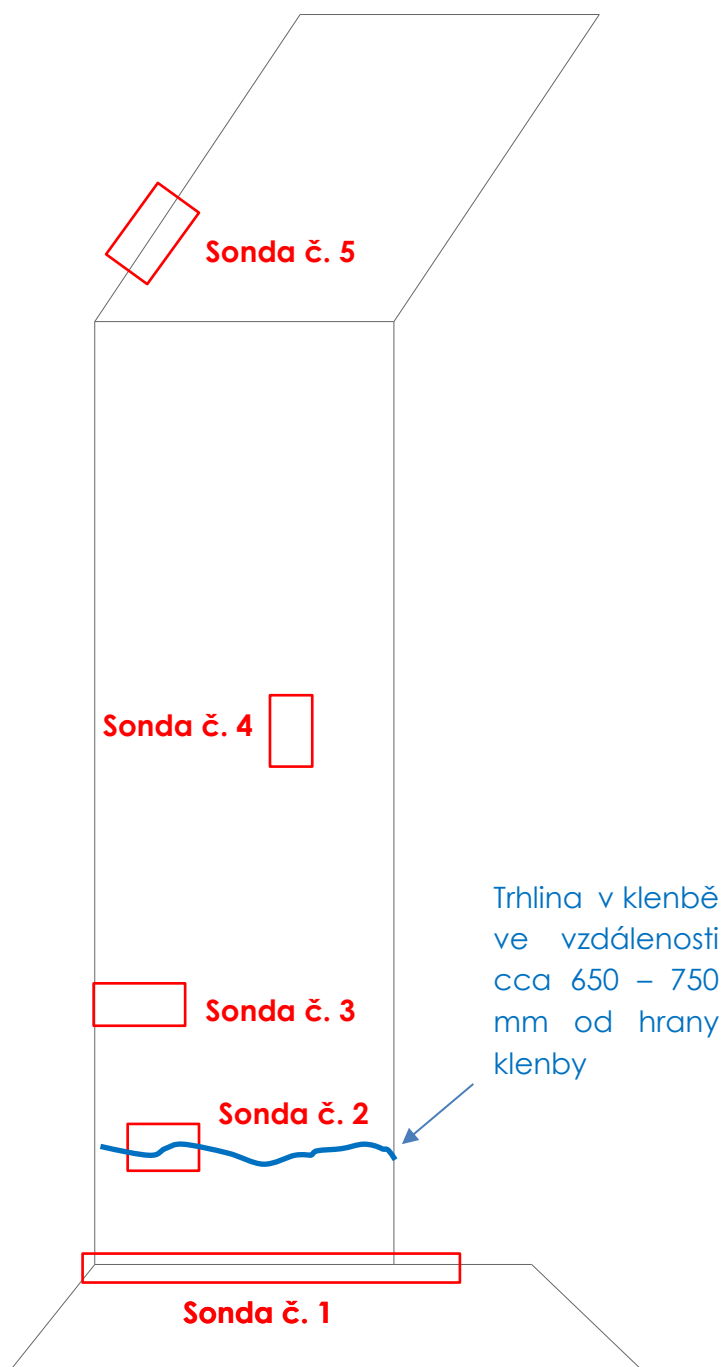


Schéma 4.1

Zakreslení přibližné polohy provedených sond do zjednodušeného půdorysného schématu

5. PROVEDENÉ SONDY

5.1 Sonda č. 1

V líci klenby po odstranění betonového torkretu je jednoznačně viditelné rozhraní mezi konstrukcí klenby a poprsní zídou.

Klenba je vizuálně provedena kvalitně, spáry jsou poměrně dobře promaltovány. Z bočního líce je čelní stěna do horní úrovně klenby vyskládána z lépe opracovaného lomového kamene.

Boční zídka nad vrcholem klenby je vyskládána z plochých kamenů ve formě rovnaniny pravděpodobně původně do velmi špatné malty, v současné době je pojivo spíše ve formě jílovité hlíny. Tloušťka boční zídky cca 600 mm ověřena vrtem, v prostoru za zídou měkký materiál (hlína, jíl, měkká navážka).



Foto 5.1.1
Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s jednoznačně určenou konstrukcí nosné klenby propustku



Foto 5.1.2
Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s jednoznačně určenou konstrukcí nosné klenby propustku



Foto 5.1.3
Měření tloušťky klenby z lomového kamene s hodnotou tloušťky cca 400 – 450 mm



Foto 5.1.4
Detailní foto přechodu kvalitnější stěny boční zídky v úrovni horní hrany klenby do poprsní zídky vyskládané z horšího kamene do velmi nekvalitní malty

5.2 Sonda č. 2

Sonda č. 2 byla provedena cca v 1/3 výšky klenby ve vzdálenosti cca 650 - 750 mm od hrany klenby na konci rovného úseku klenby v místě viditelné podélné trhliny klenbou. Zdivo je z lomového kamene.

Podélná trhlina cca kopíruje svým tvarem a polohou tloušťku poprsní zídky na klenbě. Sondou byla zjištěna trhlina dále prostupující do kamenné klenby.

Provedeným vrtem vidiovým vrtákem v místě otevřené sekané sondy byla určena tloušťka klenby cca 400 – 450 mm. Z důvodu provedení torkretu v celé ploše klenby je zdivo, a zejména malta v otevřené sondě významně vlhké.

V sondě byly provedeny NDT zkoušky pevnosti malty, jejichž výsledky jsou uvedené v následující kapitole 6.



Foto 5.2.1
Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z lomového kamene



Foto 5.2.2
Měření polohy podélné trhliny v klenbě ve vztahu k hraně klenby



Foto 5.2.3
Detail podélné trhliny klenbou s provedenou sekanou sondou za účelem ověření šíření trhliny dále do kamenného zdiva klenby



Foto 5.2.4
Detailní foto viditelné trhliny prostupující torkretem dále do kamenného zdiva klenby

5.3 Sonda č. 3

Sonda č. 3 byla provedena v patě klenby ve vzdálenosti cca 1800 – 2000 mm od hrany klenby v ploše cca 400 x 700 mm. Zdivo je z lomového kamene.

Provedeným vrtem vidiovým vrtákem v místě otevřené sekané sondy byla určena tloušťka klenby cca 420 - 450 mm. Z důvodu provedení torkretu v celé ploše klenby je zdivo, a zejména malta v otevřené sondě významně vlhké.

V sondě byly provedeny NDT zkoušky pevnosti malty, jejichž výsledky jsou uvedené v následující kapitole 6.



Foto 5.3.1

Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z lomového kamene v místě sondy č. 3



Foto 5.3.2

Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z lomového kamene v místě sondy č. 3



Foto 5.3.3

Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z lomového kamene v místě sondy č. 3 s přiloženým metrem



Foto 5.3.4

Detailní foto měření tloušťky kamenné klenby svinovacím metrem v provedeném návrtu vidiovým vrtákem

5.4 Sonda č. 4

Sonda č. 4 byla provedena ve vrcholu klenby přibližně v $\frac{1}{2}$ její délky v blízkosti stávající poruchy (vypadená část kamenného zdiva pravděpodobně vlivem prosakující zvýšené vlhkosti do tělesa klenby). Zdivo je z lomového kamene.

V místě poruchy byla již v minulosti provedena oprava ocelovými profily, která je již v současné době z vizuálního hlediska nefunkční (prvky se silnou korozí, jejich uložení ve zdivu je diskutabilní). Velikost sondy je cca 300 x 300 mm.

Provedeným vrtem vidiovým vrtákem v místě otevřené sekané sondy byla určena tloušťka klenby cca 430 - 450 mm. Z důvodu provedení torkretu v celé ploše klenby je zdivo, a zejména malta v otevřené sondě významně vlhké.

V sondě byly provedeny NDT zkoušky pevnosti malty, jejichž výsledky jsou uvedené v následující kapitole 6.



Foto 5.4.1

Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z lomového kamene v místě sondy č. 4 ve vrcholu klenby



Foto 5.4.2

Detailní foto měření tloušťky kamenné klenby svinovacím metrem v provedeném návrtu vidiovým vrtákem



Foto 5.4.3

Pohled na provedené vyztužení stávající klenby z lomového kamene ocelovými profily v současné době již s velmi masivní povrchovou korozí



Foto 5.4.4

Detailní foto uložení ocelového profilu ve stávajícím kamenném zdivu klenby, uložení profilu nebylo prověřováno

5.5 Sonda č. 5

Sonda č. 5 byla provedena ve spodní části klenby v zadní části v zalomeném profilu. Po odstranění torkretu bylo zjištěno zdivo z kamene spíše řádkové.



Foto 5.5.1

Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z řádkového zdiva



Foto 5.5.2

Pohled na odstraněný povrchový betonový torkret s viditelným zdivem z řádkového zdiva s měřením výškové polohy sondy od paty klenby

6. VÝSLEDKY ZKOUŠEK ZDIVA Z LOMOVÉHO KAMENE

Tab. 6.1 Pevnost malty ze zkušebního místa č. 2

		zkušební místo						n	Ø
		1	2	3	4	5	6		
hloubka návrtu	[mm]	75	80	80	60	70	90	6	76
		75	80	80	60	70	90	6	76
pevnost malty	[MPa]	0,7	0,7	0,7	1,0	0,8	0,6	6	0,73
Aritmetický průměr dílčích hodnot jednotlivých kusových staviv								X _k	0,73 [MPa]
Výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot								s _x ²	0,1 [MPa]
Stanovená hodnota variačního koeficientu COV [%]								V _x	20,0 [%]
Součinitel pro stanovení odhadu 5%-ního kvantilu (charakteristická hodnota)								k _n	1,77 [-]
Normalizovaná průměrná pevnost zdící malty v tlaku $f_m = X_k \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$								f _m	0,47 [MPa]

Tab. 6.2 Pevnost malty ze zkušebního místa č. 3

		zkušební místo						n	Ø
		1	2	3	4	5	6		
hloubka návrtu	[mm]	70	85	65	80	70	70	6	73
		70	85	65	80	70	70	6	73
pevnost malty	[MPa]	0,8	0,6	0,9	0,7	0,8	0,8	6	0,76
Aritmetický průměr dílčích hodnot jednotlivých kusových staviv								X _k	0,76 [MPa]
Výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot								s _x ²	0,1 [MPa]
Stanovená hodnota variačního koeficientu COV [%]								V _x	13,4 [%]
Součinitel pro stanovení odhadu 5%-ního kvantilu (charakteristická hodnota)								k _n	1,77 [-]
Normalizovaná průměrná pevnost zdící malty v tlaku $f_m = X_k \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$								f _m	0,58 [MPa]

Tab. 6.3 Pevnost malty ze zkušebního místa č. 4

		zkušební místo						n	Ø
		1	2	3	4	5	6		
hloubka návrtu	[mm]	85	100	90	90	75	80	6	87
		85	100	90	90	75	80	6	87
pevnost malty	[MPa]	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	6	0,60
Aritmetický průměr dílčích hodnot jednotlivých kusových staviv								X_k	0,60 [MPa]
Výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot								s_x^2	0,1 [MPa]
Stanovená hodnota variačního koeficientu COV [%]								V_x	14,0 [%]
Součinitel pro stanovení odhadu 5%-ního kvantilu (charakteristická hodnota)								k_n	1,77 [-]
Normalizovaná průměrná pevnost zdíci malty v tlaku $f_m = X_k \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$								f_m	0,45 [MPa]

Statistickým hodnocením souboru dat ze tří provedených měření je maltě přiřazena výsledná návrhová pevnost v tlaku 0,35 MPa.

Tab. 6.4 Návrhová pevnost zdiva klenby z lomového kamene

Dle zvyklostí odhadnuta pevnost lomového kamene, třída III		f_b	40,0	[MPa]
Zkouškami stanovená návrhová pevnost zdíci malty		f_m	0,35	[MPa]
Charakteristická pevnost zdiva v tlaku dle vzorce $f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$ podle ČSN ISO 13822				
K -	konstanta závislá na druhu zdiva a skupině zdících prvků	$K =$	0,25	[-]
α -	exponent závislý na tloušťce ložných spar a druhu použité malty	$\alpha =$	0,70	[-]
β -	exponent závislý na použitém druhu malty	$\beta =$	0,30	[-]
Charakteristická pevnost zdiva v tlaku		$f_k =$	2,41	[MPa]
Návrhová pevnost zdiva v tlaku				
γ_{m1}	základní hodnota dílčího součinitele spolehlivosti, pro zdivo z CPP na maltu obyčejnou		2,00	[-]
γ_{m2}	součinitel pravidelnosti vazby zdiva a vyplnění spár maltou (0,85 - 1,20)		1,10	[-]
γ_{m3}	součinitel zohledňující vlhkost zdiva od 4% do 20% (1,00 - 1,25)		1,15	
γ_{m4}	součinitel vlivu trhlin ve zdivu (1,00 - 1,40)		1,20	[-]
Návrhová pevnost zdiva v tlaku		$f_k =$	0,79	[MPa]

Dle provedených zkoušek pevnosti malty a odhadnutých pevnostních parametrů použitého lomového kamene je výsledná návrhová pevnost zdiva z lomového kamene 0,79 MPa.

8. ZÁVĚRY, SHRNUTÍ NÁLEZŮ

- klenba z lomového kamene jednotné tloušťky ve vrcholu klenby i v úrovni teoretických opěr v rozmezí 400 – 450 mm (potvrzeno vrty vidiovým vrtákem v patě klenby ve výšce cca 800 mm nad patou a ve vrcholu klenby)
- z líce klenby s odstraněným povrchovým torkretem je rovněž patrna jednotná tloušťka klenby pohybující se v rozmezí 400 – 450 mm
- z bočního líce je čelní stěna do horní úrovně klenby vyskládána z lépe opracovaného lomového kamene
- boční zídka nad vrcholem klenby je vyskládána z plochých kamenů ve formě rovinaniny pravděpodobně původně do velmi špatné malty, v současné době je pojivo spíše ve formě jílovité hlíny
- tloušťka boční zídky cca 600 mm ověřena vrtem, v prostoru za zídou měkký materiál
- v klenbě je ze spodního líce trhlina ve vzdálenosti cca 650 – 750 mm od líce klenby
- na celé konstrukci klenby je proveden betonový torkret tloušťky cca 30 – 70 mm
- původní kamenné zdivo je díky zavření do torkretu se zvýšenou vlhkostí
- promaltování zdiva klenby je provedeno kvalitně, malta klenby v relativně dobrém stavu
- NDT zkouškami pevnosti malty Kučerovou vrtačkou na 3 zkušebních místech a odborným odhadem pevnosti lomového kamene o hodnotě 40 MPa byla stanovena návrhová pevnost kamenného zdiva hodnotou 0,79 MPa