



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

# STAVEBNÍ PRŮZKUM A DIAGNOSTIKA ZDĚNÉ KONSTRUKCE

SURVEY AND DIAGNOSTICS OF BRICK STRUCTURE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Brothánek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2022



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	NPC-SIK Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Specializace</b>	bez specializace
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Jan Brothánek
<b>Název</b>	Stavební průzkum a diagnostika zděné konstrukce
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2021
<b>Datum odevzdání</b>	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

---

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

Cikrle, P. a kol. Diagnostické metody ve stavebnictví. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2011  
Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.

Holický, M. a kol. Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2007.

Bažant, Z., Klusáček, L. Statika při rekonstrukcích objektů. Skriptum VUT v Brně FAST, CERM Brno, 2002

Pume, D., Čermák, F. a kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Praha, Arch 1998.

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí a další platné normy.

Projektová dokumentace a podklady od vlastníka objektu.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Cílem práce je provedení prohlídky, stavebně technického průzkumu a zhodnocení stavu vybraného objektu.

Teoretická část:

Rešerše literatury - obecný systém hodnocení existujících konstrukcí, metodika průzkumu vodorovných a svislých nosných konstrukcí dle materiálů a typů konstrukcí řešených v rámci praktické části.

Praktická část:

Prvotní prohlídka objektu, dokumentace stavu a poruch.

Identifikace a popis svislých a vodorovných nosných konstrukcí.

Předběžné hodnocení stavu, sestavení plánu stavebně statického průzkumu.

Provedení a vyhodnocení zkoušek in situ a laboratorních zkoušek materiálů odebraných z konstrukcí (rozsah bude upřesněn až v rámci průzkumu). Přehledné zpracování výsledků průzkumu včetně jednoduché schématické výkresové dokumentace. Zhodnocení stavu konstrukce. Ideový návrh opatření, pokud vyplynou z výsledků hodnocení.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá stavebně technickým průzkumem pozůstalých sklepních prostor Německého domu v Brně. První část práce se věnuje teoretickému popisu konstrukcí, prováděných metod a jejich vyhodnocení týkajících se zkoumaného prostoru. Cílem průzkumu je stanovit pevnostní charakteristiky zdiva a na jejich základě navrhnout vhodnou sanaci a statické zajištění.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zdivo, diagnostika, malta, cihly, statika, pevnost v tlaku, stavebně technický průzkum, klenba, vlhkost, ultrazvuk, sanace, statické zajištění, sklepní prostory, Německý dům.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with a structural and technical survey of the surviving cellar of the German House in Brno. The first part of the thesis is devoted to the theoretical description of the constructions, methods performed and their evaluation concerning the investigated space. The aim of the survey is to determine the strength characteristics of the masonry and on their basis to propose appropriate rehabilitation and structural protection.

## **KEYWORDS**

Masonry, diagnostics, mortar, bricks, statics, compressive strength, structural engineering survey, vault, moisture, ultrasound, rehabilitation, static securing, cellars, German house.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Jan Brothánek *Stavební průzkum a diagnostika zděné konstrukce*. Brno, 2022. 93 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Stavební průzkum a diagnostika zděné konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 6. 1. 2022

---

Bc. Jan Brothánek  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Stavební průzkum a diagnostika zděné konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 1. 2022

---

Bc. Jan Brothánek  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych v první řadě poděkovat mému vedoucímu práce, panu doc. Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za jeho pomoc, poskytnuté rady a materiály. Dále bych chtěl také poděkovat panu Ing. Petru Lamparterovi za poskytnuté materiály, díky kterým jsem práci mohl vypracovat. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat paní Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D. za pomoc při laboratorních zkouškách a všem zúčastněným pracovníkům ústavu při samotném průzkumu objektu.



# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>11</b>
1.1. Úvodní část.....	11
1.2. Cíle práce.....	11
<b>2. Teoretická část</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. Zděné konstrukce</b> .....	<b>12</b>
2.1.1. Zděné konstrukce svislé .....	12
2.1.2. Zděné klenby.....	13
2.1.3. Malty pro zděné konstrukce.....	15
<b>2.2. Základní vlastnosti a charakteristiky zdiva</b> .....	<b>16</b>
2.2.1. Charakteristická hodnota pevnosti v tlaku .....	17
2.2.2. Návrhová hodnota pevnosti v tlaku.....	19
<b>2.3. Stanovení pevnosti zdících prvků</b> .....	<b>20</b>
2.3.1. Pevnost zdících prvků v tlaku – odebrané vzorky .....	20
2.3.2. Pevnost zdících prvků v tlaku – jádrové vývrty.....	21
<b>2.4. Stanovení pevnosti malt</b> .....	<b>21</b>
2.4.1. Zjištění pevnosti malt pomocí upravených vrtaček.....	22
2.4.2. Zjištění pevnosti malt pomocí ultrazvukového měření.....	25
<b>2.5. Sanace a statické zajištění</b> .....	<b>27</b>
2.5.1. Navrhování sanačních metod – metody přímé .....	29
2.5.2. Statické zajištění cihelných kleneb.....	30
2.5.3. Speciální konstrukce pro zajištění kleneb.....	35
<b>2.6. Stavebně technický průzkum</b> .....	<b>36</b>
2.6.1. Obsah stavebně technického průzkumu .....	36
2.6.2. Zaměření průzkumu a problémy při posuzování zděných konstrukcí .....	39
<b>3. Praktická část</b> .....	<b>40</b>
3.1. Základní informace o objektu.....	40
3.2. Navržený rozsah průzkumu .....	45
3.3. Průběh a výsledky provedených zkoušek.....	45
3.3.1. Průběh zkoušení zdících prvků .....	45

3.3.2. Výsledky zkoušek zdících prvků .....	48
3.3.3. Průběh zkoušení malty.....	50
3.3.4. Výsledky zkoušek malty.....	51
3.3.5. Výsledky zkoušek zdících prvků volně ležících ve sklepních prostorách .....	56
3.3.6. Zatřídění volně ležících cihel do historického období .....	68
<b>3.4. Vyhodnocení provedených zkoušek.....</b>	<b>71</b>
3.4.1. Vyhodnocení pevnosti zdích prvků .....	71
3.4.2. Vyhodnocení pevnosti malty.....	72
3.4.3. Vyhodnocení pevnosti zdiva .....	72
3.4.4. Vyhodnocení pevnosti volně ležících zdících prvků .....	73
<b>3.5. Návrh sanace a statického zajištění.....</b>	<b>74</b>
3.5.1. Návrh sanace .....	74
3.5.2. Návrh statického zajištění.....	76
<b>4. Závěr .....</b>	<b>86</b>
<b>5. Bibliografie.....</b>	<b>87</b>
<b>6. Seznam použitých tabulek.....</b>	<b>89</b>
<b>7. Seznam obrázků.....</b>	<b>90</b>

# 1. Úvod

## 1.1. Úvodní část

V rámci této diplomové práce se seznámíme se stavebně technickým průzkumem a diagnostickými metodami vhodnými pro průzkum zděných klenbových sklepů. Tyto sklepy byly součástí Německého domu, který se nacházel na Moravském náměstí v Brně, ale byl zdemolován během 2. světové války. Sklepní prostory se nachází přibližně 2 m pod úrovní terénu.

Samotný sklep je zděný a zastřešený valenou klenbou. Část prostor je zastřešena valenými klenbami do I profilů. Klenba byla nevědomky dlouhodobě enormně zatěžována ruským kolem, takže bude nutné staticky posoudit stávající stav, případně navrhnout sanaci.

## 1.2. Cíle práce

Cílem práce je zpracovat stavebně technický průzkum dochovaných cihelných sklepů tzv. Německého domu v Brně. Účelem průzkumu je posoudit stávající stav a navrhnout vhodnou sanaci a statické zajištění z důvodu budoucího využití sklepních prostor městem Brnem.

Práce je chronologicky rozdělena do několika kapitol. První kapitola se věnuje teoretickému popisu konstrukcí a metod použitím při jejich průzkumu. Druhá kapitola se věnuje samotnému průzkumu objektu, průběhu a vyhodnocení metod a shrnutí zjištěných výsledků a poznatků.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Zděné konstrukce

První zmínky o cihlách jako takových pochází z Mezopotámie přibližně 5000 BC. Společně s kamenem byly používány jako první materiál pro zděné konstrukce. V prvotní fázi se používali cihly nepálené, kterým byly s postupem času za pomoci vypalování a glazování zlepšovány mechanické a estetické vlastnosti. Největší rozmach používání cihel byl v době baroka. K zásadnímu rozvoji používání cihel na území Evropy u nás dochází až od 11. století.

V nedávné minulosti proběhly významné změny technologie výroby a vyráběných sortimentů, tzv. industrializace. Při stavebních průzkumech se v dnešní době setkáváme nejčastěji s cihlářskými výrobky z konce 19. až počátku 20. století.

Zděné konstrukce můžeme nejjednodušeji dělit dle použitého materiálu, a to na cihelné, kamenné a smíšené (rozumíme použití cihel i kamene) [1], [2], [3].

#### 2.1.1. Zděné konstrukce svislé

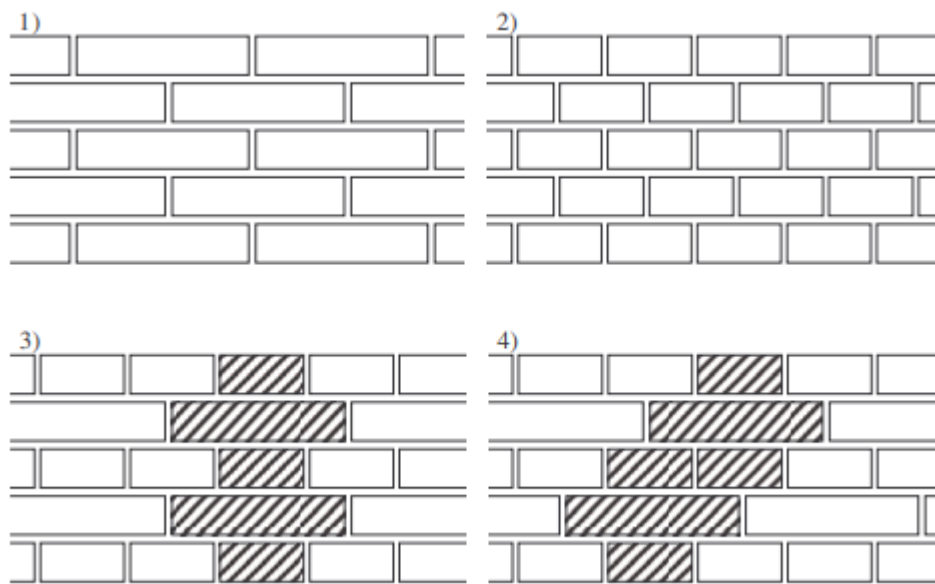
##### Základní názvosloví

Rozlišujeme 4 základní typy svislých zděných konstrukcí podle jejich funkce a zatížení, které přenášejí.

- Nosná stěna (pilíř) – konstrukční prvek, určený pro přenášení svislého zatížení a vlastní tíhy. Konstrukční prvek, v jehož vodorovném průřezu je větší rozměr menší nebo roven nanejvýš čtyřnásobku menšího rozměru. Nejmenší vodorovná plocha průřezu by neměla být menší než 0,04 m<sup>2</sup>.
- Nenosná stěna – stěna, která přenáší pouze svou vlastní tíhu. Používá se pro rozdělení prostoru.
- Smyková stěna – stěna přenášející vodorovné síly ve své rovině.
- Ztužující stěna – stěna kolmá k jiné stěně, vytváří podporu proti účinkům větru a přispívá k celkové stabilitě konstrukce [1], [4].

## Vazba zdiva

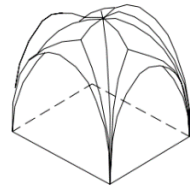
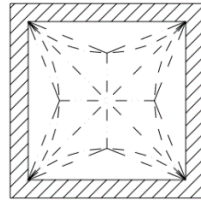
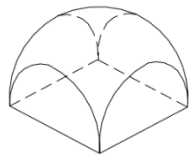
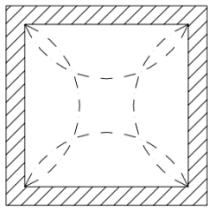
Vazba zdiva je velice důležitá z hlediska rovnoměrného roznosu svislého zatížení do konstrukce. Rozumí se tím spojení přeložením jednotlivých vrstev tak, aby se ve dvou sousedních vrstvách nenacházely styčné spáry nad sebou. Podle vazby zdiva nazýváme cihly vazák, což jsou cihly uložené kolmo na stěnu a běhoun, což jsou cihly delší stranou uloženy rovnoběžně s rovinou stěny [1], [5].



Obrázek 1, Typy používaných vazeb 1) běhounová, 2) vazáková, 3) polokřížová, 4) křížová [2].

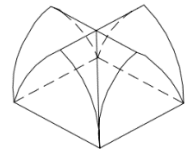
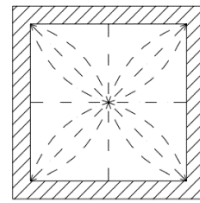
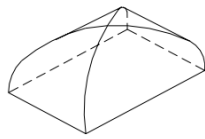
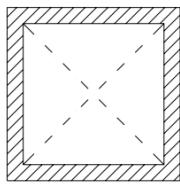
### 2.1.2. Zděné klenby

Klenby jsou jedním z nejstarších konstrukčních prvků pro vodorovné stropní konstrukce. Používali se ve všech architektonických obdobích od Egypta po 20. století. V dnešní době se používají méně. Setkáváme se s nimi například u rekonstrukcí památkových budov. Mezi základní klenby patří klenba valená, křížová, klášterní a další (viz obr. 2).



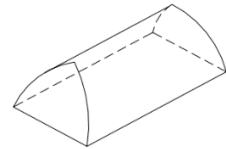
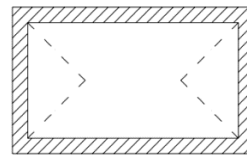
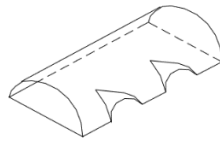
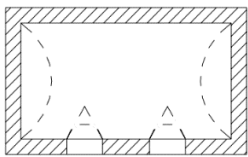
česká

hvězdicová



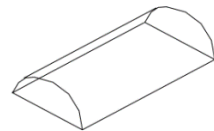
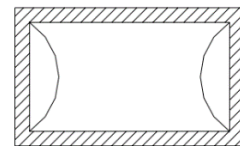
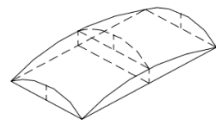
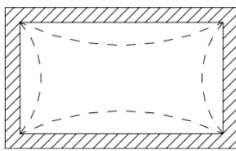
klášterní

křížová gotická přímá



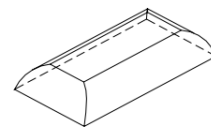
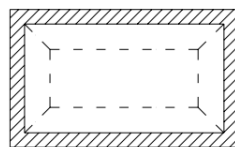
lunetová

neckovitá



pruská

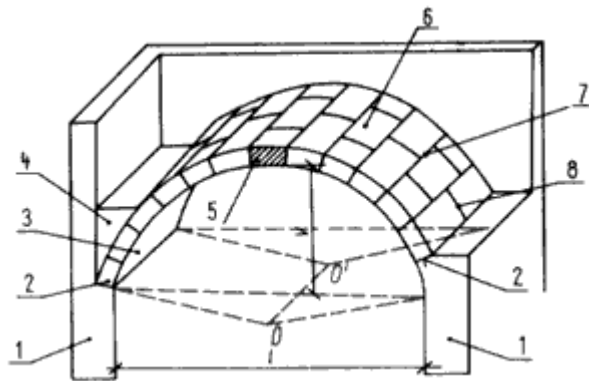
valená



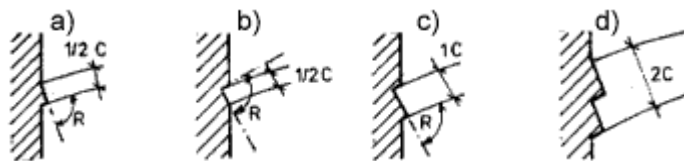
zrcadlová

Obrázek 2, Typy kleneb [6].

Klenba je v podstatě oblouková konstrukce z kusových prvků, která přenáší vlastní tíhu a svislé zatížení. Vzhledem k existenci spár mezi dílci není schopna přenášet tahové síly a všechna vnější zatížení přenáší tlakem do podpůrné konstrukce. Přenos těchto sil probíhá prostřednictvím paty klenby (viz obr. 3) [7].



Obrázek 3, Názvosloví kleneb: 1 – opěra klenby, 2 -pata klenby, 3 – líc klenby, 4 – nadezdívka, 5 – vrcholový klenák, 6 – rub klenby, 7 – ložná spára, 8 – styčná spára, v – výška klenby, l – rozpětí klenby, O-O' - délka klenby [7].



Obrázek 4, Druhy patek kleneb: a) vyložená, b) zapuštěná, c) polozapuštěná, d) zazubená vyložená [7].

### 2.1.3. Malty pro zděné konstrukce

Malta se skládá z pojiva, plniva a vody, případně dalších přísad, ovlivňujících její vlastnosti. Se zvyšujícím se poměrem obsahu pojiva se pevnost zvyšuje, ale klesá plastické přetvoření. Přísady používáme například pro zvýšení plasticity, mrazuvzdornosti nebo pro rychlejší tuhnutí.

Funkce malty v konstrukci:

- Spojuje jednotlivé zdící prvky v jeden celek – zdivo;
- Přenáší zatížení mezi zdícími prvky v konstrukci;
- Roznáší bodové síly a vyrovnává rozdíly v zatížení;
- Chrání zdivo před atmosférickými vlivy způsobujícími degradaci.

## Druhy malt

Podle použitého pojiva rozeznáváme malty hliněné, vápenné, cementové a speciální s použitím chemických přísad. Dříve se používala malta obyčejná, dnes se používají malty tenkovrstvé nebo lehké. Z hlediska únosnosti rozdělujeme malty podle návrhové pevnosti  $M$  a přiřazenou hodnotou v MPa (viz tab. 1). Podle způsobu nebo spíše místa přípravy rozlišujeme malty průmyslově vyráběné, vyráběné částečně průmyslově nebo vyráběné přímo na staveništi [1], [5], [8].

Tabulka 1, Pevnost v tlaku  $f_m$  jednotlivých tříd malt [5].

Třída	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	1	2,5	5	10	15	20	d
d...pevnost v tlaku větší než 25 N/mm <sup>2</sup> deklarovaná výrobcem							

## 2.2. Základní vlastnosti a charakteristiky zdiva

Vlastnosti zdiva se přímo odvíjí od použitých zdících prvků a spojovacího materiálu. Obecně se vyznačuje dobrou protipožární odolností a dobrými zvukově izolačními vlastnostmi. Podobně jako beton má dobrou mechanickou odolnost v tlaku, ale malou odolnost v tahu.

Vlastnosti jednotlivých zdících prvků závisí na jejich materiálu. Například na vlastnosti a hutnosti střepe, objemové hmotnosti, mrazuvzdornosti a nasákavosti, nebo na tvaru, například poměr děrování k celkové ploše prvku [1], [8].



## 2.2.1. Charakteristická hodnota pevnosti v tlaku

Výslednou hodnotu pevnosti zdiva v tlaku ovlivňuje samotná pevnost zdiva a pevnost zdící malty. To je dáno tím, že při zatěžování zdiva dochází uvnitř konstrukce k vytlačování malty vlivem prostorové napjatosti. Dalším ovlivňujícím faktorem je oslabení průřezu zapříčiněného ložnou spárou mezi jednotlivými zdíci prvky. Charakteristická pevnost zdiva se podle ČSN 73 0038 [9] určí podle:

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \quad [9] \quad (1.1)$$

Kde:

- $f_k$  charakteristická hodnota pevnosti zdiva v tlaku v N/mm<sup>2</sup> pro zdivo s vyplněnými ložnými spárami.

Pokud se stanoví pevnost zdiva pomocí výsledků nedestruktivních zkoušek kalibrovaných  $n$  destruktivními zkouškami, doporučuje se přenásobit odhadnutou pevnost zdiva v tlaku  $f_k$  korekčním součinitelem 0,8 pro  $n = 1$ ; 0,85 pro  $n = 2$ ; 0,9 pro  $n = 3-5$  a 0,95 pro  $n = 6-10$

- $K$  konstanta závislá na skupině zdících prvků a druhu zdiva; zařazení zdících prvků do skupin závisí na geometrii dle [8].

Pro nejčastější uspořádání zdiva klasického formátu o průměrné velikosti zdích prvků, přičemž ve vazbě se předpokládá střídání běhounů a vazáků a vyplnění spár maltou, odpovídá hodnota konstanty  $K = 0,44$ . Pro ostatní druhy zdiva je třeba součinitel  $K$  upravit s ohledem na zkušební metodu a použitý korelační vztah,

- $f_b$  normalizovaná průměrná pevnost v tlaku zdících prvků v N/mm<sup>2</sup>,

- $f_m$  průměrná pevnost malty v tlaku v  $\text{N/mm}^2$ , uvažuje se nejvýše menší z hodnot  $2f_b$  nebo  $20 \text{ N/mm}^2$  u obyčejné malty a  $10 \text{ N/mm}^2$  u lehké malty.

Při velmi nízké pevnosti malty by se neměla uvažovat, pokud její pevnost klesne pod hodnotu  $f_m = 0,1 \text{ N/mm}^2$ ,

- $\alpha$  exponent závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty,  $\alpha = 0,7$  pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou;  $\alpha = 0,7$ , resp.  $0,85$  pro nevyztužené zdivo s maltou pro tenké spáry, viz ČSN EN 1996-1-1+A1 [8],
- $\beta$  exponent závislý na druhu malty,  $\beta = 0,3$  pro obyčejnou a lehkou maltu [9].

### 2.2.2. Návrhová hodnota pevnosti v tlaku

Po stanovení charakteristické pevnosti zdiva v tlaku zjistíme jednoduchým podílem pevnosti  $f_k$  a součinitele spolehlivosti  $\gamma_m$  návrhovou pevnost zdiva  $f_d$  podle [9]:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad [9] \quad (1.2)$$

Kde:

- $f_k$  charakteristická hodnota pevnosti zdiva v tlaku
- $\gamma_m$  dílčí součinitel zdiva, ve kterém se zohledňuje vliv spolehlivosti, pravidelnosti vazby zdiva, vlhkosti zdiva a vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu, spočítaný podle [9]:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \times \gamma_{m2} \times \gamma_{m3} \times \gamma_{m4} \quad [9] \quad (1.3)$$

- $\gamma_{m1}$  dílčí součinitel spolehlivosti, pro zdivo z plných cihel uložených na obyčejnou maltu se  $\gamma_{m1} = 2,0$ , v ostatních případech je nutno stanovit součinitel rozbořem s ohledem na způsob zjištění pevnostních charakteristik,
- $\gamma_{m2}$  součinitel zahrnující vliv pravidelnosti vazby zdiva a vyplnění spár maltou, součinitel se pohybuje v intervalu  $0,85 \leq \gamma_{m2} \leq 1,2$ , přičemž dolní mez platí pro zcela pravidelnou vazbu s dokonalým vyplněním spár,
- $\gamma_{m3}$  součinitel zahrnující vliv vlhkosti, pro vlhkost zdiva od 4 % do 20 % se součinitel určí v intervalu  $1,0 \leq \gamma_{m3} \leq 1,25$  pomocí lineární interpolace,
- $\gamma_{m4}$  součinitel zahrnující vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu pohybující se v intervalu  $1,0 \leq \gamma_{m4} \leq 1,4$ , dolní mez platí pro zdivo neporušené trhlinou [9].

## 2.3. Stanovení pevnosti zdících prvků

### 2.3.1. Pevnost zdících prvků v tlaku – odebrané vzorky

Vzorky odebíráme přímo z konstrukce nejlépe jako celé cihly, ze kterých následně vyrobíme zkušební tělesa. Nejmenší počet takto odebraných zkušebních těles je 6, při zkoumání většího objektu je potřeba upravit počet zkušebních těles pro přesnější výsledek.

Samotnou pevnost poté získáme jako podíl maximální dosažené síly ve zkušebním lisu a plochy, na kterou byla tato síla vyvozena. Pevnost v tlaku zdících prvků získáme jako průměr hodnot pevností v tlaku jednotlivých zkušebních těles zaokrouhlenou na nejbližší desetinu megapaskalu. Vliv velikosti zkušebních těles vyjádříme přepočítáním na normalizovanou pevnost zdících prvků  $f_b$  pomocí součinitele vlivu tvaru zdících prvků  $\delta^{NP2}$  (viz tab. 2) [10].

Tabulka 2, Tabulka hodnot součinitele vlivu tvaru zdících prvků  $\delta^{NP2}$  [10].

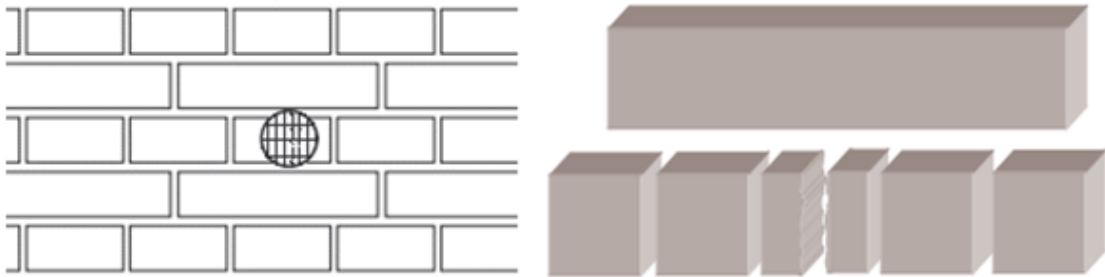
Šířka [mm]	50	100	150	200	250
Výška <sup>a)</sup> [mm]					
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

POZN. Je přípustné stanovit mezilehlé hodnoty  $\delta^{NP2}$  lineární interpolací.  
a) Výška stanovená po úpravě povrchu.

### 2.3.2. Pevnost zdících prvků v tlaku – jádrové vývrty

Používá se z důvodu obtížnosti odebrání celých vzorků přímo z konstrukce bez poškození. Pomocí jádrové vrtačky se odeberou vývrty, ze kterých se následně vyrobí reprezentativní vzorky. Používá se vrták průměru 50 nebo 75 mm. Problém je, že většinou vzorky odebíráme ve vodorovném směru, tudíž směr zatěžování v lisu je potom jiný než směr působení zatížení v konstrukci.

Nejefektivnějším způsobem je udělat vývrt na celou délku vazáku, tedy přibližně 290 mm. Na tomto vzorku poté zjistit pevnost v tahu za ohybu a následně z něj vyrobit reprezentativní tělesa ve formě krychlí 50x50x50 mm na zkoušku pevnosti v tlaku. Díky tomu lze získat výsledky pevnosti v tlaku v různé části stěny, případně část vzorků nasytit vodou a sledovat rozdíl výsledných pevností v tlaku [2].



Obrázek 5, Umístění jádrového vrtu a efektivní způsob volby zkušebních těles [2].

## 2.4. Stanovení pevnosti malt

Pevnost v tlaku malty zjišťujeme třemi metodami:

- Nedestruktivními metodami;
- Metodou lokálního porušení pomocí upravených vrtaček;
- Odebrání vzorků z konstrukce a následně zatěžovací zkouška nebo chemický rozbor.

### 2.4.1. Zjištění pevnosti malt pomocí upravených vrtaček

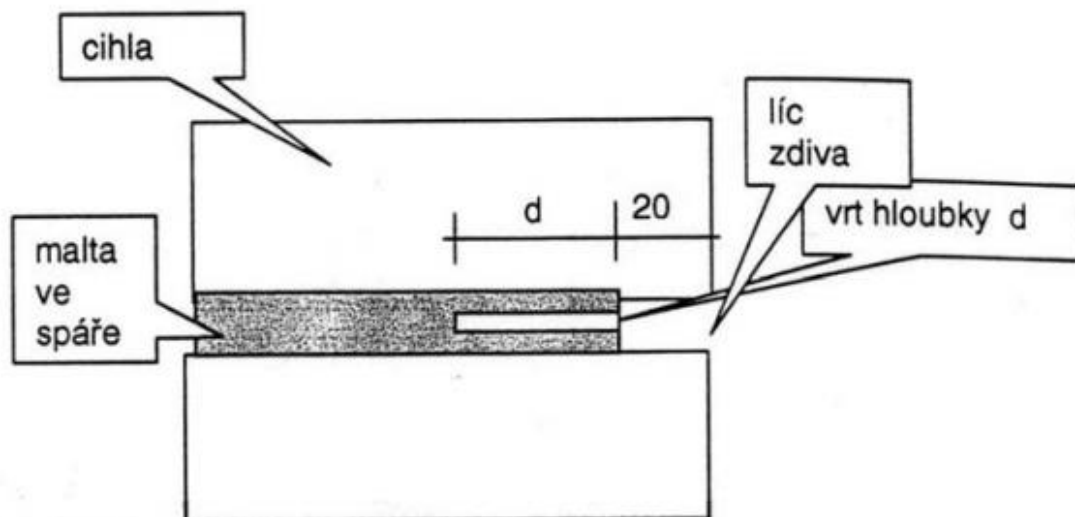
Metoda spočívá ve vniku vrtáku o daném průměru do malty. Hloubku vniku můžeme pomocí kalibračních vztahů převést na pevnost v tlaku díky známému vztahu mezi pevností malty a odporem vrtáku při vrtání. Pro zkoušku se používají speciálně upravené vrtačky. První používanou byla Kučerova vrtačka, která má mimo přiklepu ještě počítadlo otáček a tlačnou pružinu v opěrce. Průměr vrtáku by měl být 8 mm. Modernější vrtačky jsou například PZZ 01, nebo KV-3 [2].

#### Zkušební postup

Na vybraném místě nejprve odstraníme omítku na ploše cca 150 x 200 mm až na samotné zdivo, nejlépe tak, aby byly odhalené alespoň tři ložné spáry. Vhodným nástrojem odstraníme přibližně 20 mm zkarbonatované vrstvy malty za líc zdiva (viz obr. 6) [2].

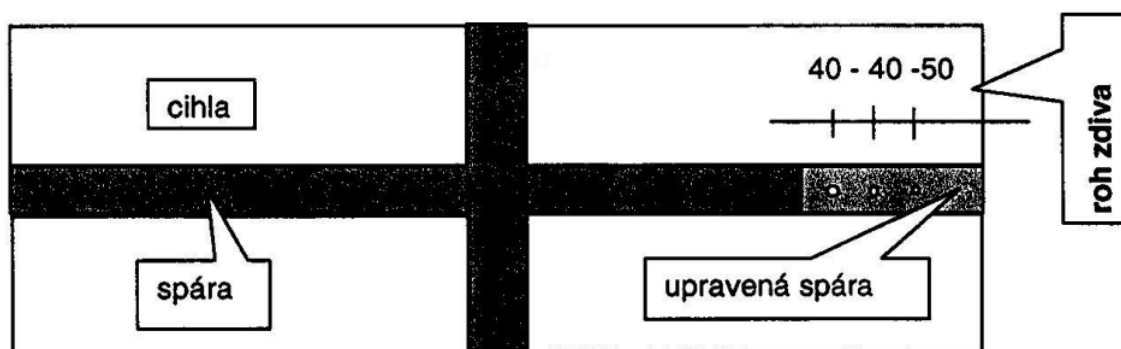


Obrázek 6, Nalevo - upravená elektrická vrtačka KV-3, napravo - Kučerova vrtačka a elektrická PZZ 01 [2], [21].



Obrázek 7, Ukázka pracovního postupu při zkoušce upravenými vrtačkami.  
Řez zdiva - odstranění malty a umístění vrtu ve spáře [2].

Zkoušku provedeme třemi vrty v každé spáře. Minimální vzdálenost od vrtu k dalšímu by neměla klesnout pod 40 mm a měla by být minimálně 50 mm od hrany zdiva (viz obr. 8). Dále bychom neměli vrtat v místě styčné spáry [2].

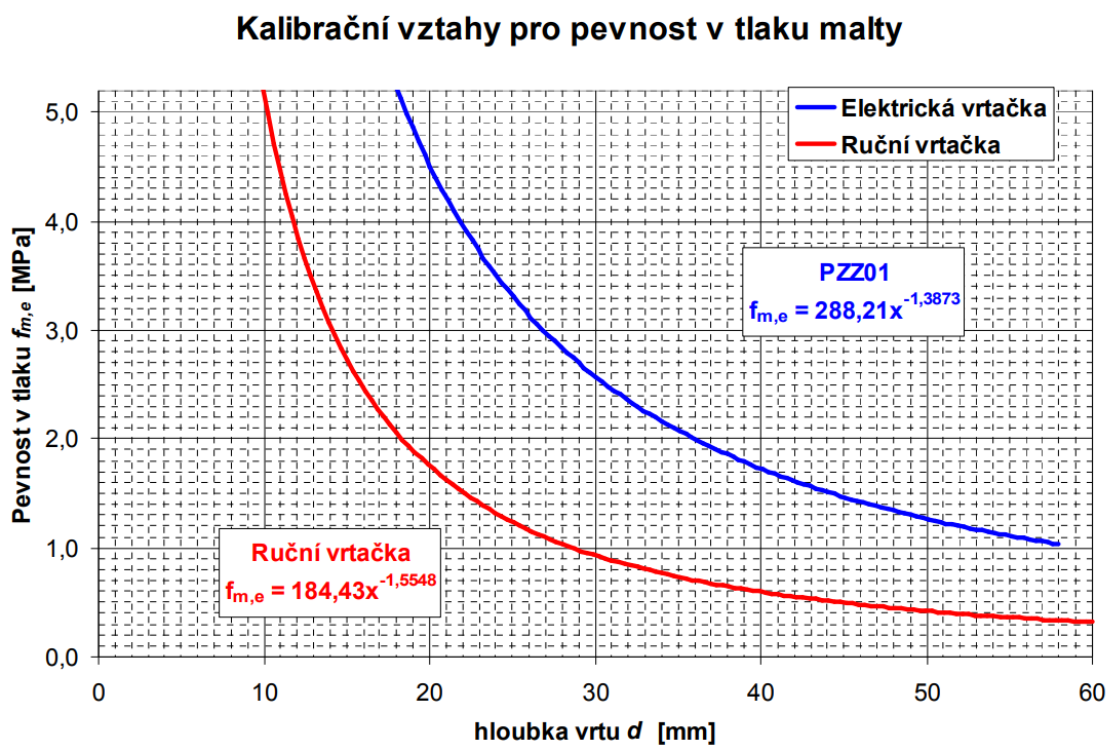


Obrázek 8, Pohled na zdivo - umístění vrtů ve spáře, dodržení vzdáleností [2].

Kalibrační vztahy mají předepsané otáčky. Podle volby kalibračního vztahu tedy volíme počet otáček při měření. Pro Kučerovu vrtačku je to 25 otáček. Hloubka vrtu se měří pomocí hloubkoměru. Platné měření se bere takové, při kterém nepřesahuje hodnota vniku  $d$  ostatní hodnoty o více než 30 % z průměrné hodnoty. Pokud nevyhoví dva vrty, se zkušebním místem se nepočítá, pokud nevyhovuje jeden vrt, vyloučí se a nahradí se vrtem novým [2].

## Vyhodnocení

Pro vyhodnocení používáme kalibrační vztahy definované výrobcem. Rozlišujeme vztahy pro různé podmínky při zkoušce, např jiný typ vrtáku, jiný přítlak, různé vyvození otáček, ale princip zůstává stejný. Ze tří platných měření určíme průměrnou hloubku  $d_m$  zaokrouhlenou na jednotky mm. Pomocí kalibračního vztahu stanovíme informativní pevnost  $f_{m0}$  v závislosti na hloubce  $d_m$ . Z výsledků zkoušek stanovíme výběrový průměr pevnosti malty  $f_m$  [2].



Obrázek 9, Kalibrační vztahy pro ruční Kučerovu vrtačku a elektrickou PZZ 01 [2].



## **2.4.2. Zjištění pevnosti malt pomocí ultrazvukového měření**

Ultrazvukovým měřením rozumíme akustické vlnění s vysokou frekvencí neslyšitelnou pro lidské ucho. Ve stavební praxi běžně používáme frekvence od 20 do 150 kHz. Tuto metodu používáme pro určení kvality betonu, zjištění a lokalizace vad nebo technických prvků (defektoskopie), nebo pro zjištění vlastností malty.

Pro měření se používá spojitě vysílání vlnění, které se používá pro kontinuální testy materiálů především ve strojírenství a impulzové vysílání vlnění, které se využívá v diagnostice. Impulzové vysílání vlnění funguje na principu vysílání krátkých svazků mechanického kmitání budičem [2].

Metody můžeme rozdělit podle počtu použitých sond:

### **Jedna sonda**

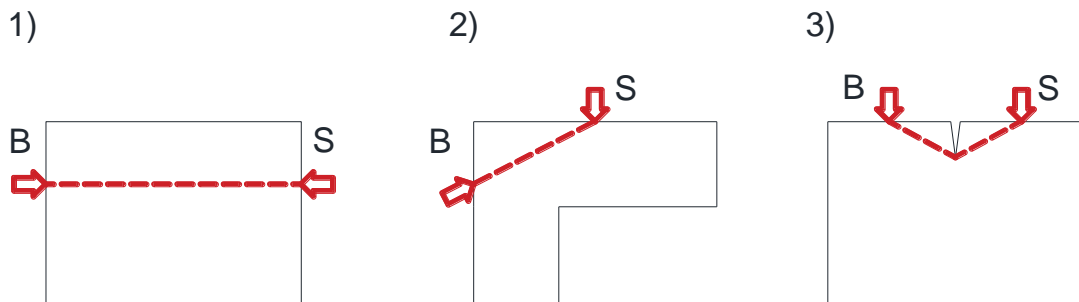
Sonda nejdříve funguje jako budič. Vyšle signál a následně se po odražení vlny přepne do režimu snímače, který přichozí odraženou vlnu přemění na elektrický tvar a na obrazovce přístroje zobrazí tzv. echo. Používá se ve strojírenství pro kontrolu kvality a vad např. svarů nebo výkovků [2].

### **Dvě sondy**

Ultrazvuková vlna se šíří mezi materiálem od budiče ke snímači. Používá se pro zkoušení stavebních dílců i konstrukcí. Její výhodou je možnost různého rozmístění budiče a snímače na konstrukci ve vztahu na tvar a polohu zkoumaného prvku (viz. obr. 10) [2].

## Více sond

Funguje obdobně jako metoda jedné sondy, ale na jediném přístroji je sond hned několik. Tyto sondy si mezi sebou střídají vlastnost budiče a snímače. Využívá se u moderních přístrojů.



Obrázek 10, Možnosti rozmístění dvou sond na konstrukci. 1) protilehlé, 2) boční, 3) povrchové [2].

Pro měření vlastností malt se používá průchodová metoda za použití dvou sond v protilehlé poloze. Cílem měření je získat rychlost šíření ultrazvukového vlnění, díky které můžeme zjistit mechanicko-fyzikální vlastnosti zkoušené malty. Princip metody spočívá v opakovaném vysílání impulzů, které vytvoří v budiči svazky mechanického kmitání. Po vnesení těchto impulzů do zkoumaného prvku známé dráhy  $L$  se sejmou snímačem. Přístroj měří dobu průchodu. Rychlost ultrazvukového impulzu, přičemž  $L$  je dráha a  $t$  je čas průchodu je poté [2]:

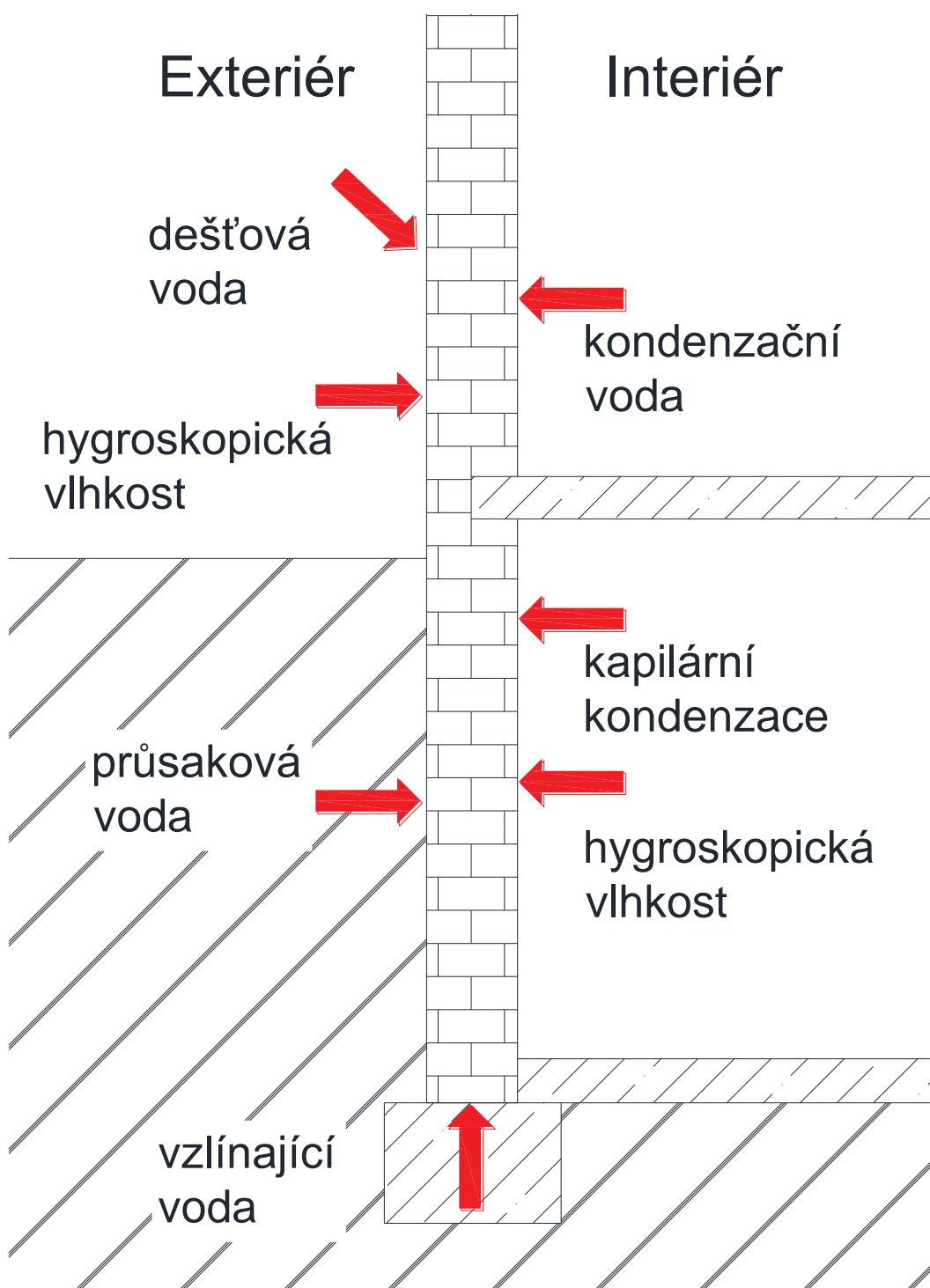
$$v_{uz} = L/t [2] \quad (1.4)$$

Výsledná pevnost v tlaku se stanoví dle vztahů v [11].

## 2.5. Sanace a statické zajištění

Sanací vlhkého zdiva se rozumí systém hydroizolačních, vysušovacích a stavebních opatření vedoucích ke snížení a zamezení přístupu vlhkosti do konstrukce. Používá se pro nadzemní i podzemní konstrukce dlouhodobě vystavené působení zemní vlhkosti, srážkové vody prosakující z okolní zeminy, srážkovou vodu stékající z okolního terénu anebo vodu srážející se přímo ze vzduchu. Na povrchu poškozeného zdiva se může objevovat koroze, hygroskopické soli, nebo například plísně, řasy nebo mechy. Cílem sanace je dosažení výrazného a trvalého snížení obsahu vlhkosti ve zdivu i v navazujících konstrukcích.

Sanace vlhkého zdiva se provádí kombinací přímých a nepřímých hydroizolačních metod a technologických opatření. Kombinací těchto metod je komplexní sanační systém. Přímé metody brání šíření a vnikání vlhkosti do konstrukce, popřípadě unikání vlhkosti z konstrukce. Nepřímé metody snižují hydrofyzikální namáhání konstrukcí, řeší hlavně vlhkost v okolí konstrukce. Doplnkové metody se také dělí na přímé a nepřímé. Rozumí se jimi například hydroizolační nátěry a omítky. Komplexní sanační systém má u každé stavby individuální charakter. Liší se podle konkrétního hydrofyzikálního namáhání v konstrukci a okolí, podle použitého materiálu, obsahu solí, degradace a také podle úrovně vlhkosti [12].



Obrázek 11, Možnosti vniku vody do konstrukce [13].

## 2.5.1. Navrhování sanačních metod – metody přímé

### Přímé metody

- vkládaná hydroizolace do proříznuté spáry nebo do probouraných či provrtaných otvorů ve zdivu nebo zatloukané profilované nekorodující plechy,
- infúzní a tlakové napouštění zdiva chemickými prostředky, asfaltovou emulzí nebo taveninou parafinu,
- aktivní elektroosmóza,
- vzduchoizolační systémy – větrané štoly, dutiny, mezery nebo kanály podél stěn v zemině nebo pod podlahou.

### Nepřímé metody

- odvodnění v okolí stavby pomocí drenáže,
- úpravy povrchů a sklonů terénu v okolí objektu,
- vytváření hydroizolačních clon a přepážek v horninovém prostředí,
- přirozené i nucené větrání snižující vlhkost vzduchu,
- snižování vlhkosti vzduchu pomocí kondenzačních a absorpčních přístrojů,
- sušení vnitřních povrchů zdiva proudem teplého vzduchu,
- zvýšení vnitřní povrchové teploty konstrukcí a její následná tepelná izolace.

### Doplňkové metody

- přímé
  - hydroizolační povlaky a vrstvy vytvářené na povrchu nebo ve struktuře konstrukce,
  - vnější úpravy pomocí vodoodpudivých nátěrů nebo impregnací a těsnění spár na kontaktu konstrukce s terénem,
- nepřímé
  - sanační omítky,
  - sanace následků biokoroze zdiva a dřevěných prvků a provádění preventivních nátěrů [12].

### 2.5.2. Statické zajištění cihelných kleneb

Staticky zajišťujeme především staré konstrukce, které nemusí být nadimenzované na dnešní hodnoty zatížení, nebo u nich došlo k nějaké závadě. Návrhu statického zajištění vždy předchází zjištění poruchy na konstrukci. U všech poruch nejdříve musíme zjistit pravou příčinu, u kleneb konkrétně zjistit stav trhlin, a to jestli jsou aktivní, nebo pasivní. Obecně u kleneb dochází k prokreslení poruch hlavně v tzv. kritických zónách, a to ve vrcholu a v patě. Po odstranění poruch se stavba staticky zajistí a následně může dojít k sanaci [6].

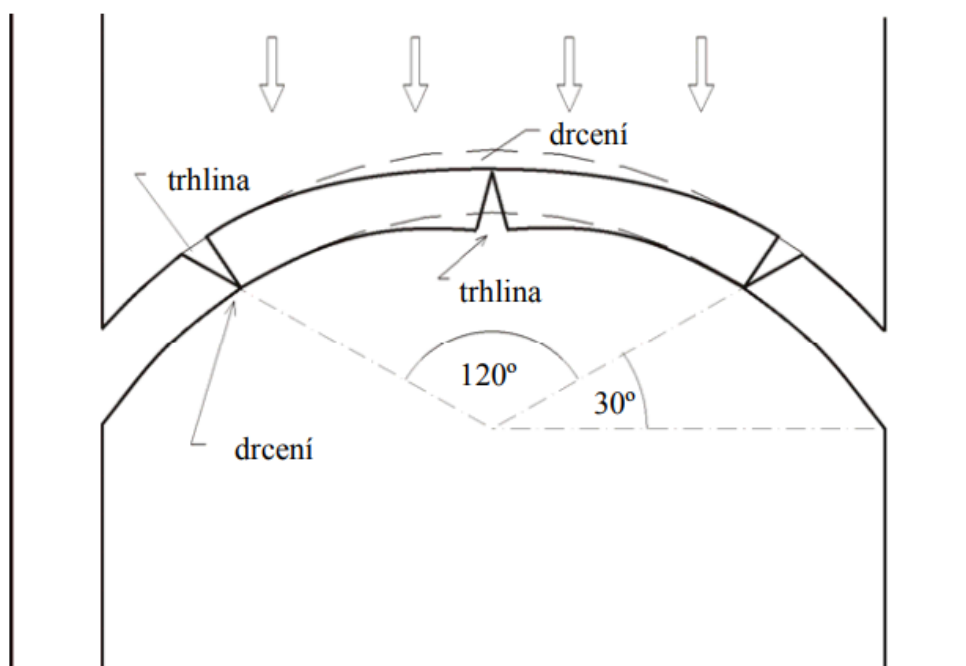
U kleneb dochází k těmto poruchám:

- přetížená klenba,
- proražená klenba,
- rozestoupená klenba,
- drcená klenba,
- klenby porušené stářím,
- porušení při poklesnutí základu [6].

## Přetížená klenba

Vzniká překročením dovoleného nebo výpočtového zatížení. Projevuje se průběžnou trhlinou ve vrcholu líce klenby. Další trhlinka je cca v 1/3 nad patou, kde na líci dochází k drcení a na rubu se objeví trhlinka (viz obr. 12).

Oprava klenby se provádí rubovou nebo lícovou skořepinou, zainjektováním všech trhlin a vyspravením drcených oblastí novými cihlami [6].



Obrázek 12, Schematický řez přetížené klenby [6].

## Proražená klenba

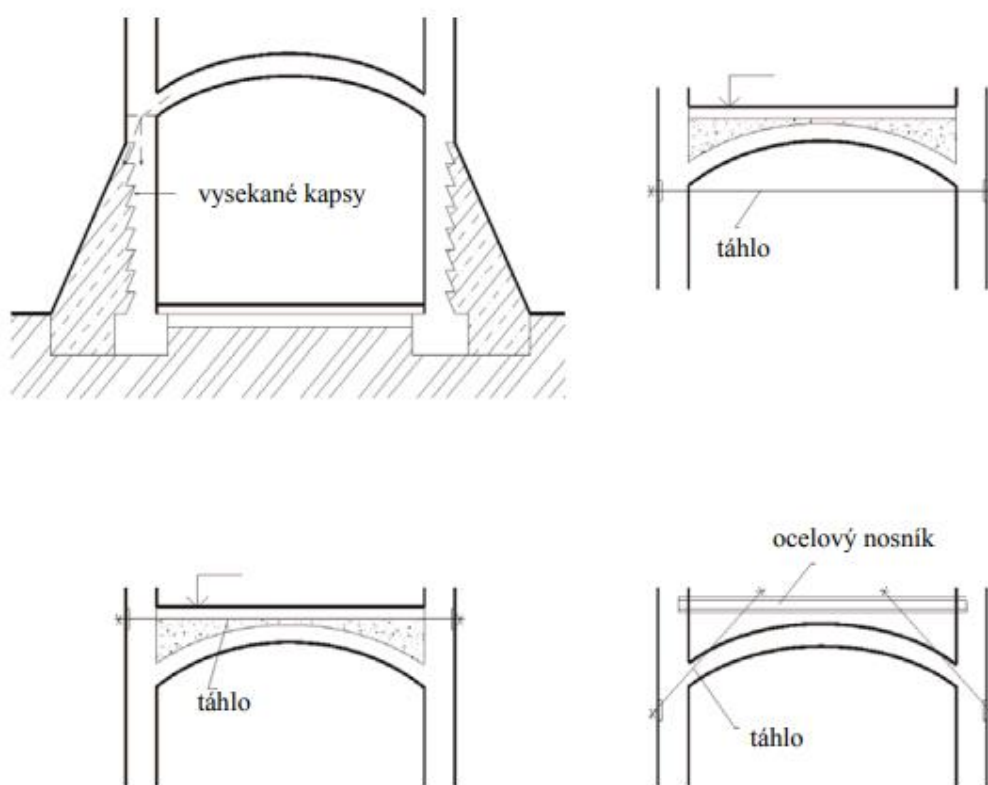
Vznikne působením příliš velkého bodového zatížení. Na omítce se objeví trhliny vycházející z jednoho místa.

Při menším porušení se pouze opraví část klenby a znovu omítne. Pokud dojde k poklesu zdících prvků, musí být tyto prvky znovu uloženy na původní místo, což může být problém z hlediska častého násypu nad klenbou.

## Rozestoupení klenby

Vzniká u plochých kleneb s úzkými, poddimenzovanými opěrnými zdi. Tlakovým namáháním se opěrné zdi rozestoupí a klenba poklesne dolů. Projeví se velkou podélnou trhlinou ve vrcholu líce klenby. K rozestoupení může dojít i odbouráním částí objektu, odlehčením pat klenby nebo vybouráním velkého otvoru ve vyšším podlaží.

Při opravě musíme zachytit síly z klenby, která působí tlakem do stran. Nejjednodušší je klenbu zajistit táhly v místě paty nebo v úrovni podlahy, ale tyto táhla poté budou neesteticky zabírat prostor v místnosti a nemusí pod nimi být splněna podchodná výška. Další možností je poté podepření opěrných stěn z boku [6].



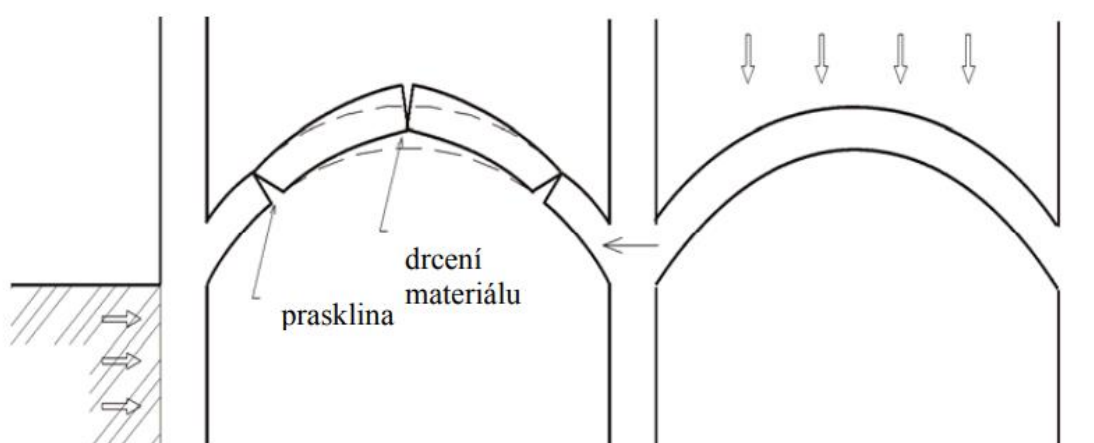
Obrázek 13, Schematický příklad řešení zajištění rozestoupené klenby [6].



## Drcená klenba

Vzniká působením extrémních tlaků z boku na opěrné zdi. Tento tlak způsobuje zvýšený zemní tlak nebo přitížení v sousední místnosti, nebo při řešení rozestoupené klenby špatným poměrem stažení táhel. Na líci jsou vidět dvě trhliny poblíž paty klenby, Trhlina na rubu je ve vrcholu.

Zajištění můžeme provést rozepřením, ale dbát se musí opět na estetiku a podchodnou výšku. Další možností je zesílení klenby na rubové straně nadezděním nebo nadbetonováním [6].



Obrázek 14, Schématický obrázek poruchy klenby drcením [6].

## Klenby porušené stářím

Jde o klenby, které v důsledku stáří přestávají plnit svou funkci. Objevuje se zde více různých trhlin, odpadávající omítky, vypadávání malty i samotných dílců ze spár.

Oprava již většinou není možná, takže se navrhne klenba nová, která „kopíruje“ klenbu původní. Bude se jednat o „lícovou skořepinu“, pokud je pod původní klenbou, nebo o „rubovou skořepinu“, pokud je nad původní klenbou. Lícová skořepina původní klenbu podepře, na rubovou skořepinu původní klenbu zavěsíme [6].

## **Klenby porušené při poklesnutí základu**

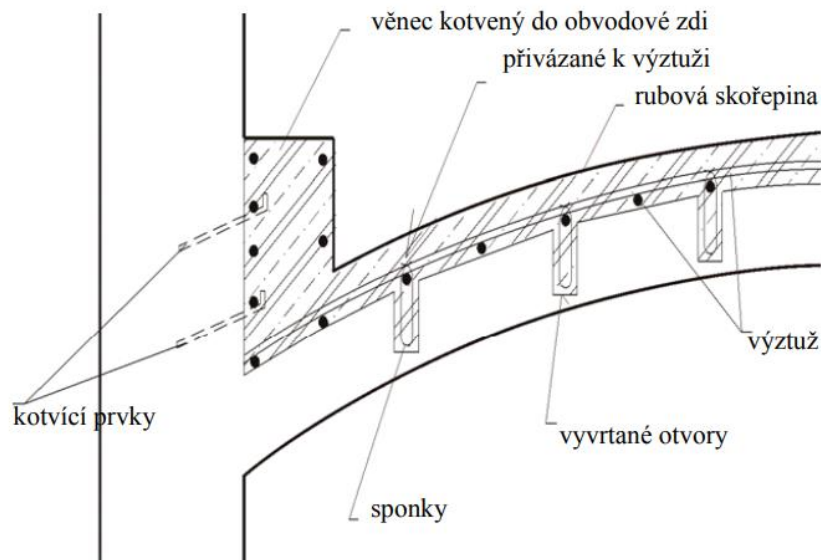
Většinou dojde k ustřižení klenby v místě paty. Jedná se o trvalé přetvoření, tedy i po provedení zajištění základové konstrukce už klenbu nevrátíme do původní polohy.

Oprava tohoto typu poruchy spočívá v zajištění spolupůsobení obou částí kleneb v původním rozsahu, aby nedocházelo k drcení materiálu ve stykové spáře. Pro zajištění používáme rubovou nadbetonávku v místě poklesu klenby.

### 2.5.3. Speciální konstrukce pro zajištění kleneb

#### Rubová skořepina

Jedná se o železobetonovou vrstvu v tloušťce 50 – 80 mm, která je vybetonovaná na rubové části klenby. Na obvodu přechází do ztužujícího věnce. Ztužující věnec má za úkol přenést svislé složky do opěrných stěn. Tento věnec nesmí přitěžovat patu klenby, aby nedošlo k jejímu ustřížení. Samotné betonování se provádí torkretováním na klenbu s vyškrabanými spárami mezi cihlami cca do 20 mm. Vyztužení se řeší kari sítěmi. Zavěšení původní klenby se provádí pomocí ocelových spon nebo trnů, které se zalijí tmelem nebo speciální maltou v otvorech vyvrtaných do cca 2/3 tloušťky klenby [6].



Obrázek 15, Možné řešení rubové skořepiny [6].

#### Lícová skořepina

Je většinou betonová konstrukce na lícové straně klenby. Je prováděna torkretováním na očištěný povrch s vyškrabanými spárami do cca 20 mm. Její tloušťka bývá mezi 40 – 60 mm. V patě klenby přechází ve ztužující věnec, který je z estetického důvodu zapuštěn do drážky v opěrné stěně. Její výhodou je snadné a rychlé provedení. Nevýhodou je ztráta původního pohledu a snížení průchozí výšky v místnosti.

## 2.6. Stavebně technický průzkum

Stavebně technickým průzkumem rozumíme soubor specifických postupů a metod pro shromáždění informací a parametrů o zkoumané konstrukci sloužící k vyhodnocení stavu a návrhu kroků k zachování bezpečnosti užívání. Na základě výsledků může dojít k rekonstrukci, sanaci nebo až demolici. Výsledná zpráva slouží jako podklad pro tyto návrhy nebo úpravy.

Stavebně technický průzkum lze dle zaměření rozdělit na:

- konstrukční a statický průzkum,
- vlhkostní průzkum,
- průzkum biokoroze objektu.

Podněty pro provedení mohou být:

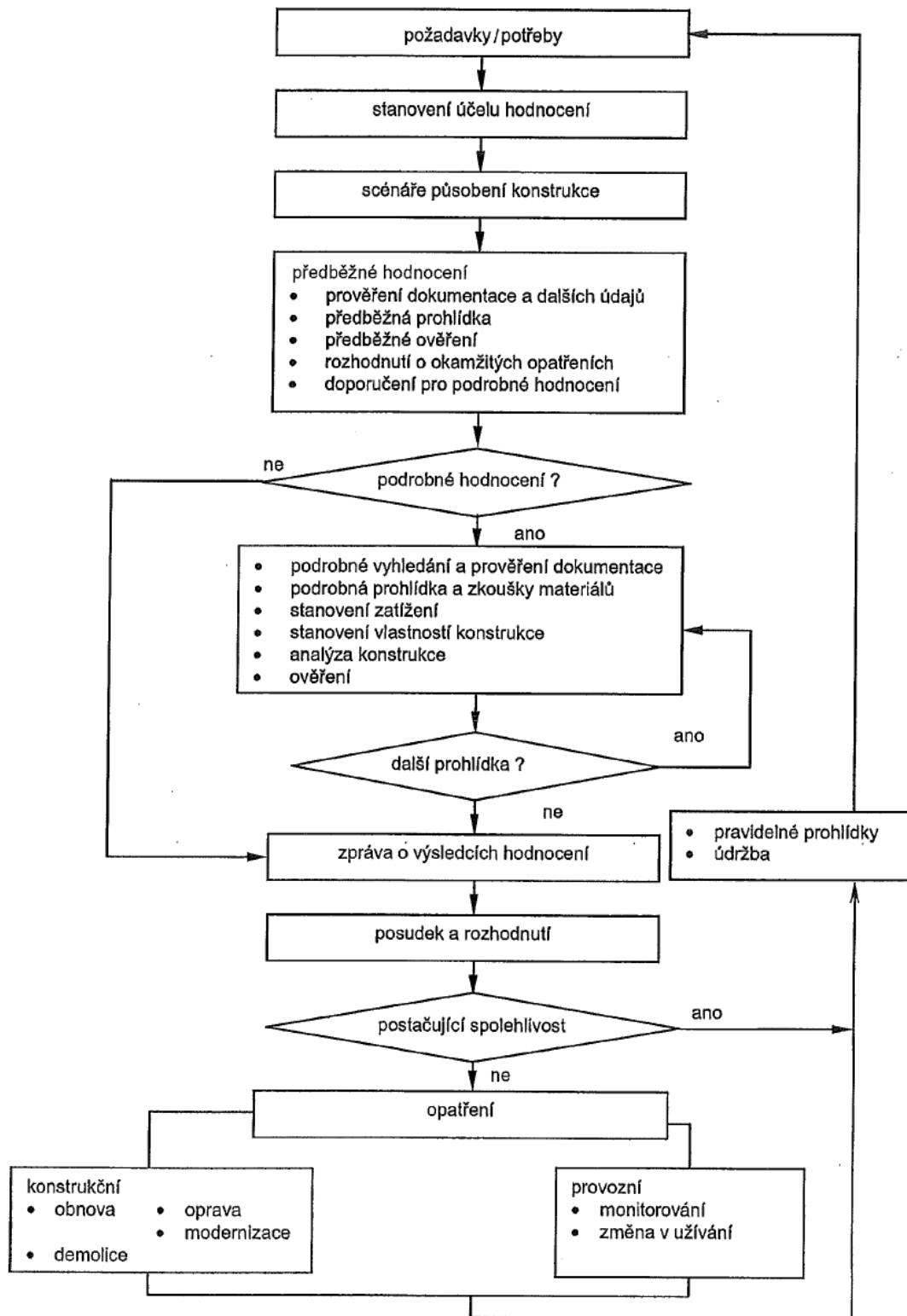
- očekávaná změna v používání nebo prodloužení životnosti (nástavba, přístavba, rekonstrukce),
- ověření spolehlivosti požadované úřady, pojišťovnami, vlastníky atd. (např. s ohledem na zemětřesení, zvýšené zatížení dopravy),
- degradace konstrukce vlivem časově závislých zatížení nebo vlivů (např. koroze, únava materiálu),
- poškození konstrukce od mimořádných zatížení [14].

### 2.6.1. Obsah stavebně technického průzkumu

Obsah stavebně technického průzkumu je dán především účelem, za kterým se průzkum provádí, přístupností objektu, případně se obsah bude lišit pro zkoumání objektu nebo jen samotné konstrukce.

Podle [14] je postup následující (viz obr. 13):

- a) stanovení účelu pro hodnocení objektu,
- b) scénář,
- c) předběžné hodnocení objektu:
  - studium dokumentace a dalších dostupných podkladů,
  - předběžná prohlídka objektu,
  - předběžné ověření,
  - rozhodnutí o případných okamžitých opatřeních,
  - doporučení podrobného hodnocení.
    - historie objektu,
    - vývoj provozního využívání,
    - návaznost na nejbližší okolí a územní celek včetně ekologických vazeb,
    - konstrukční charakteristiky včetně výčtu provozních a konstrukčních vad a poruch a kapacitních údajů atd.
- d) podrobné hodnocení objektu:
  - důkladné prověření dokumentace,
  - podrobná prohlídka a zkoušky konstrukcí a materiálů,
  - stanovení zatížení,
  - stanovení vlastností jednotlivých konstrukcí,
  - analýza jednotlivých konstrukcí, ověření.
- e) výsledky hodnocení:
  - zpráva o provedení průzkumu,
  - návrh konstrukčních opatření,
  - řízení zjištěných rizik.
- f) případné opakování postupu [14].



Obrázek 16, Schéma obecného postupu stavebně technického průzkumu [14].

## 2.6.2. Zaměření průzkumu a problémy při posuzování zděných konstrukcí

Při stavebně technickém průzkumu zděných objektů by mělo být krom zjištění materiálových charakteristik zjištěno navíc:

- vznik a rozvoj trhlin v konstrukci – šířka, délka a hloubka, poloha trhliny vzhledem k cihlám a spárám, jejich poloha vzhledem k přilehlým konstrukcím, a to zvláště v blízkosti působišť osamělých břemen,
- vady a poruchy zdiva – nesprávná vazba, skryté dutiny, neodborné sanace, působení trvale zvýšené vlhkosti nebo jiné chemické působení,
- předešlé stavební zásahy – možné zeslabení průřezů nebo přetížení konstrukcí
- složení zdiva – historicky v rámci úspor může být konstrukce z velkého množství materiálu, může dojít k záměně nosného materiálu za nenosný [14].

## 3. Praktická část

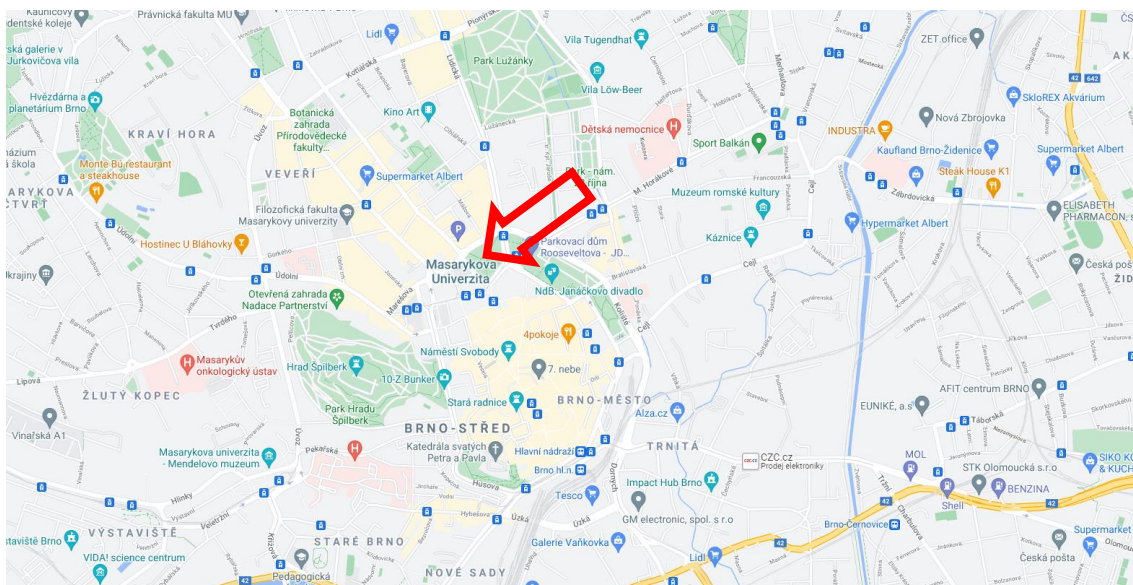
### 3.1. Základní informace o objektu

Zkoumaným objektem je přístupná část dochovaných sklepních prostor již neexistujícího Německého domu v Brně situovaném na Moravském náměstí. Parková část nad sklepy byla dlouhodobě využívána na různé zábavní aktivity, jednou z ní bylo ruské kolo, které bylo postaveno přesně nad těmito sklepy, což vzhledem k jejich nedávnému objevu vedlo k obavám o bezpečnost a k iniciativě průzkumu a statického zajištění. Zadavatelem stavebně technického průzkumu bylo město Brno. Z důvodu nedostatku času a finančních prostředků byl průzkum omezen a zaměřen jen na zjištění stavu cihelných kleneb a pilířů za účelem zjištění pevnosti zdiva, zachování a umožnění dalšího používání sklepních prostor městem Brnem.

Nosná konstrukce je tvořena cihelnými pilíři a stěnami. Svislé konstrukce tvoří cihelné klenby. Část těchto kleneb je uložena do ocelových I profilů, což naznačuje různé stáří konstrukcí. Půdorysné rozměry přístupných částí sklepa se pohybují okolo 230 m<sup>2</sup>. Sklepní prostory se nachází přibližně 2 m pod terénem a průchozí výška ve vrcholu klenby je cca 2,6 m.

Německý dům byl jakožto protiklad Besedního domu postaven roku 1891. Budova sloužila jako místo pro schůzky různých spolků, byl zde koncertní a divadelní sál, knihovna anebo galerie. Dům sloužil výhradně pro německy mluvící občany. Během 2. světové války sloužila budova nacistickým organizacím jako důstojnický klub, což ho velice negativně proslavilo. Při bojích v Brně roku 1945 byl nenapravitelně poškozen dělostřeleckou střelbou a následným požárem. V přilehlém parku se pohřbívali padlí. Nakonec byl Německý dům 19. srpna 1945 kompletně zdemolován i se všemi jeho cennými předměty. Jediný v nedávné době objevený pozůstatek jsou části klenutých sklepních prostor. Zachovaná část byla dříve používána jako vinný sklípek, což dokazují nálezy starých lahví [15].



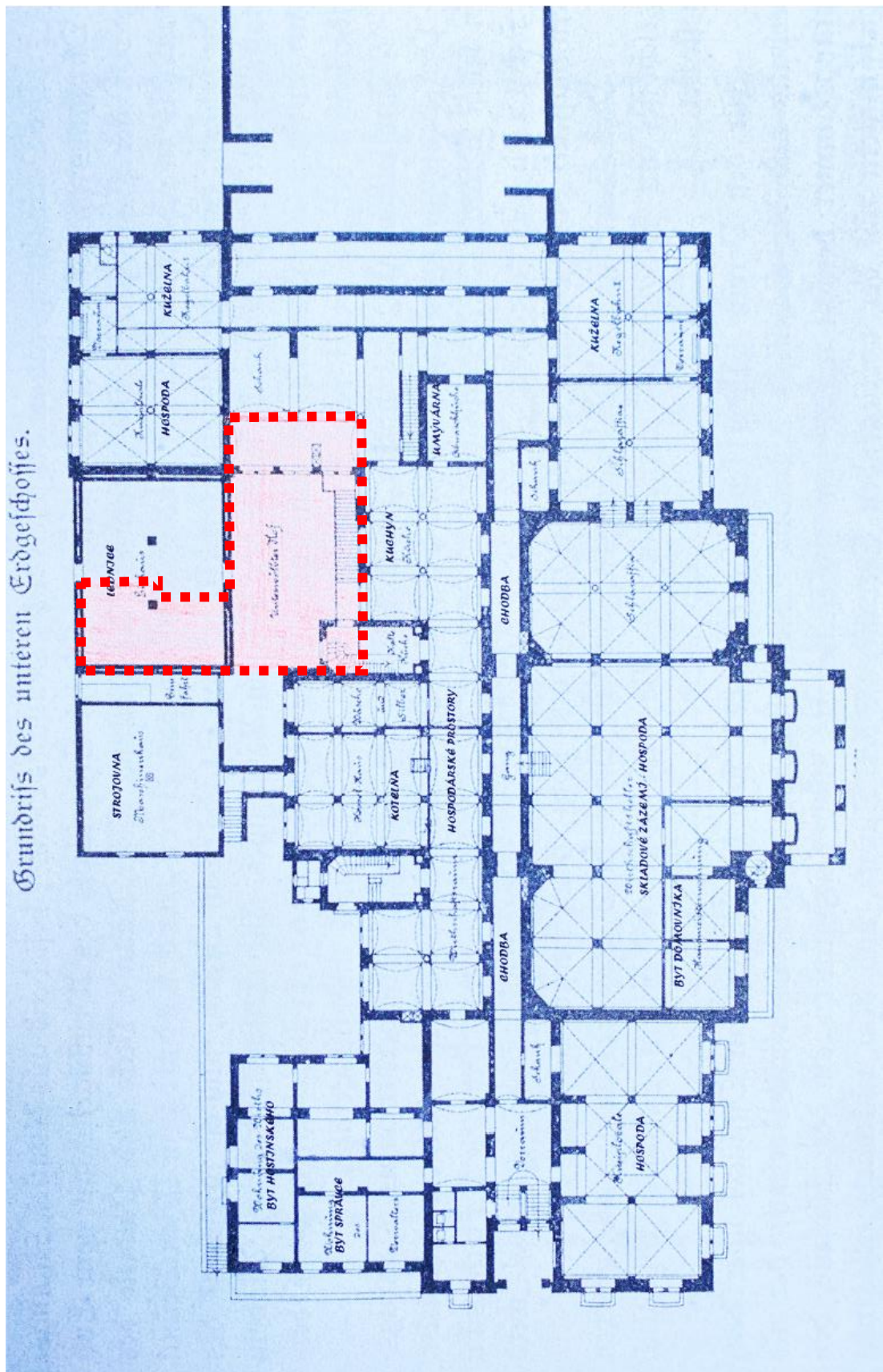


Obrázek 17, Mapa s vyznačenou polohou objektu [16].



Obrázek 18, Historická fotografie zobrazující Německý dům a přilehlý park [15].





Obrázek 19, Historický půdorys německého domu s vyznačenou přístupnou částí klenutých sklepů [17].



Obrázek 20, Nálezy ze sklepa Německého domu [18].



Obrázek 21, Nález ze sklepa Německého domu - Stará láhev od vína [18].





Obrázek 22, Pohled na částečně zasypané sklepní prostory [18].



Obrázek 23, Ruské kolo na moravském náměstí v místě nad sklepními prostory [19].

## 3.2. Navržený rozsah průzkumu

Cílem průzkumu bylo stanovit pevnost v tlaku zdících prvků a malty a následně stanovení pevnosti cihelného zdiva. Pomocí těchto hodnot poté vytvořit návrh sanačních opatření pro zajištění konstrukce.

Bylo rozhodnuto o provedení jádrových vývrtů pro odebrání vzorků na stanovení pevnosti cihel a malty tak, že 4 odběry budou provedeny z pilířů a 2 přímo z klenby. Pevnost malty bude ověřena pomocí Kučerovy vrtačky na 16 zkušebních místech, 8 na pilířích a 8 na klenebních pásech. Z jádrových vývrtů budou zhotoveny zkušební tělesa malty pro zjištění rychlosti šíření ultrazvuku a zatěžovací zkoušku v lisu.

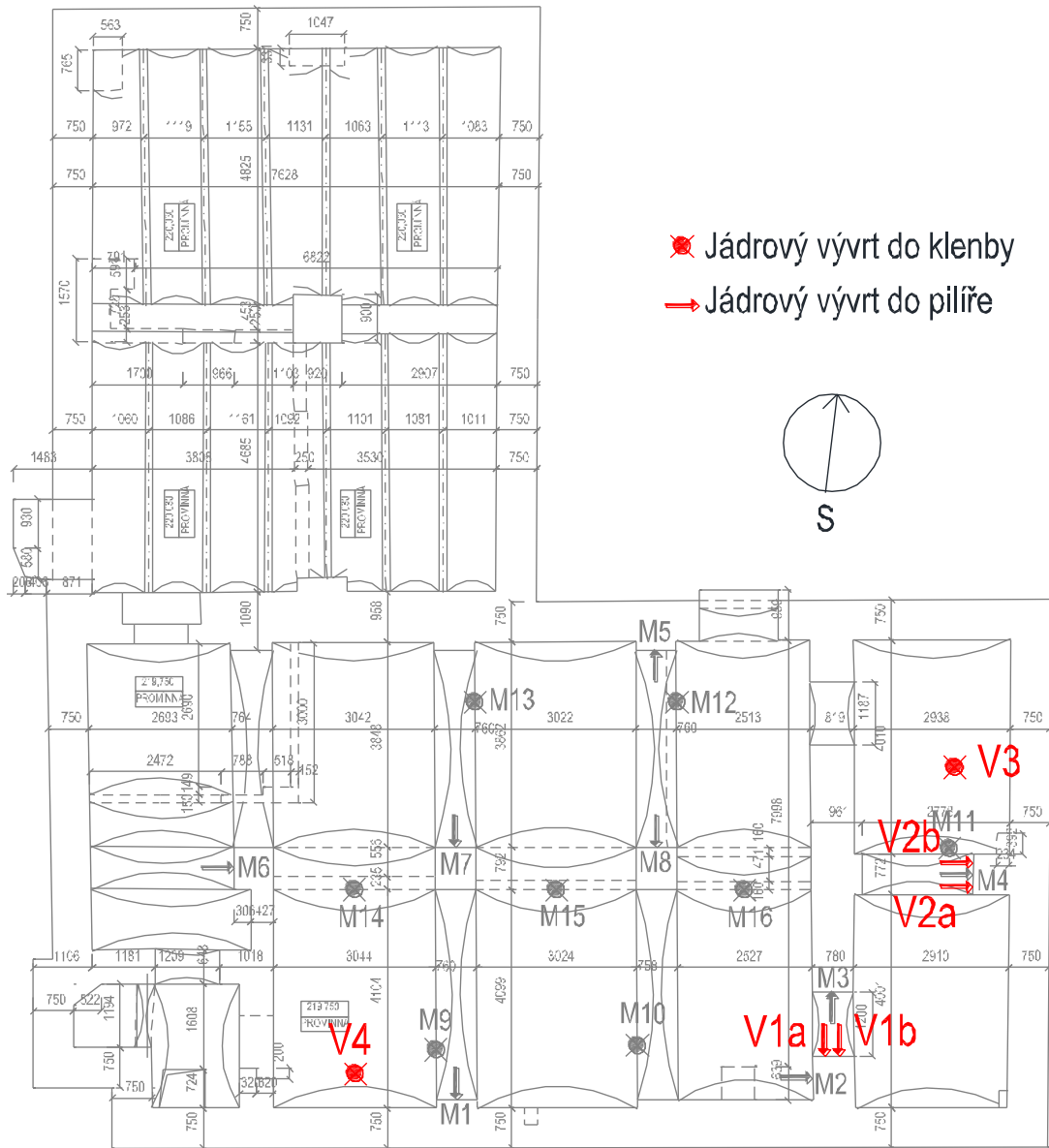
Ze sklepních prostor bylo odebráno množství 10 kusů volně ležících cihel, které pravděpodobně pocházely z nadzemní části stavby a byly jen součástí zásypové suti. Tyto cihly byly zdokumentovány a následně byla zjištěna jejich pevnost v tlaku v suchém a nasyceném stavu pro informativní zjištění pevnosti.

## 3.3. Průběh a výsledky provedených zkoušek

### 3.3.1. Průběh zkoušení zdících prvků

Z důvodu dochování jen určité části konstrukce a pro minimální narušení nosných pilířů a kleneb nebylo možné odebrat vzorky cihel přímo z konstrukce, ale bylo zvoleno odebrání vzorků pomocí jádrové vrtačky. Z těchto vzorků byly poté zhotoveny reprezentativní tělesa. Polovina těchto těles byla zkoušena v suchém stavu, druhá polovina v nasyceném stavu. Na základě zkoušek těchto těles byla stanovena celková průměrná pevnost v tlaku reprezentativních částí zdících prvků  $f_{b,p}$ , která byla pomocí součinitele vlivu tvaru zdících prvků převedena na pevnost v tlaku celých zdících prvků  $f_{b,u}$  a následně na pevnost tlaku zdících prvků  $f_b$  (dle [10]).

# PŮDORYS



Obrázek 24, Půdorys s místy odebíraných vzorků jádrovou vrtačkou [18].





Obrázek 25, Probíhající odebrání vzorku z klenby pomocí jádrové vrtačky (vrt V4) [18].



Obrázek 26, Soubor vzorků z jádrových vývrtů V1-V4 [18].

### 3.3.2. Výsledky zkoušek zdících prvků

Průběžné a výsledné hodnoty byly stanoveny na základě vzorečků z teoretické části diplomové práce do přehledné tabulky.

#### Pevnost zdiva ve vysušeném stavu

Tabulka 3, Výsledky pevnosti zdících prvků ve vysušeném stavu.

vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	max. síla F [kN]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
--------	--------------------	--------------------	--------------------	------------------------	---	---	--

Sada z vrtu V1								
<b>pilíře</b>	V1A-1	39,8	40,0	40,1	20,0	12,6	13,9	10,7
	V1B-1	40,8	40,7	41,5	22,3	13,4	14,8	11,4
	V1B-3	39,4	36,0	37,9	15,8	11,1	12,3	9,5
	V1B-5	40,8	41,6	37,9	18,3	10,8	11,9	9,2
	Průměr					12,0	23,2	10,2

Sada z vrtu V2							
V2A-1	40,3	42,2	41,6	59,4	34,9	38,6	29,7
V2B-1	50,5	50,9	51,1	79,4	30,9	34,1	26,3
Průměr					32,9	36,3	28,0

Sada z vrtů V3 a V4								
<b>klenby</b>	V3-1	40,9	40,9	39,6	53,3	31,9	35,2	27,1
	V4-1	41,0	41,1	39,0	29,0	18,2	29,0	14,6
	Průměr					24,5	27,1	20,9



## Pevnost zdiva v nasyceném stavu

Tabulka 4, Výsledky pevnosti zdících prvků v nasyceném stavu.

vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	max. síla F [kN]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočít na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
--------	--------------------	--------------------	--------------------	------------------------	---	--	--

Sada z vrtu V1

pilíře	V1A-2	40,3	38,1	39,4	18,9	12,3	13,6	10,5
	V1B-2	40,8	40,8	41,1	19,4	11,7	12,9	9,9
	V1B-4	36,2	35,6	36,1	13,8	10,7	11,8	9,1
	V1B-6	41,5	41,7	39,2	17,2	9,9	11,0	8,4
	Průměr					11,2	12,3	9,5

Sada z vrtu V2

V2A-2	41,0	40,9	40,3	55,0	32,8	36,2	27,9
V2B-2	49,2	50,4	50,1	78,3	31,6	34,9	36,8
Průměr					32,2	25,5	27,4

Sada z vrtu V3 a V4

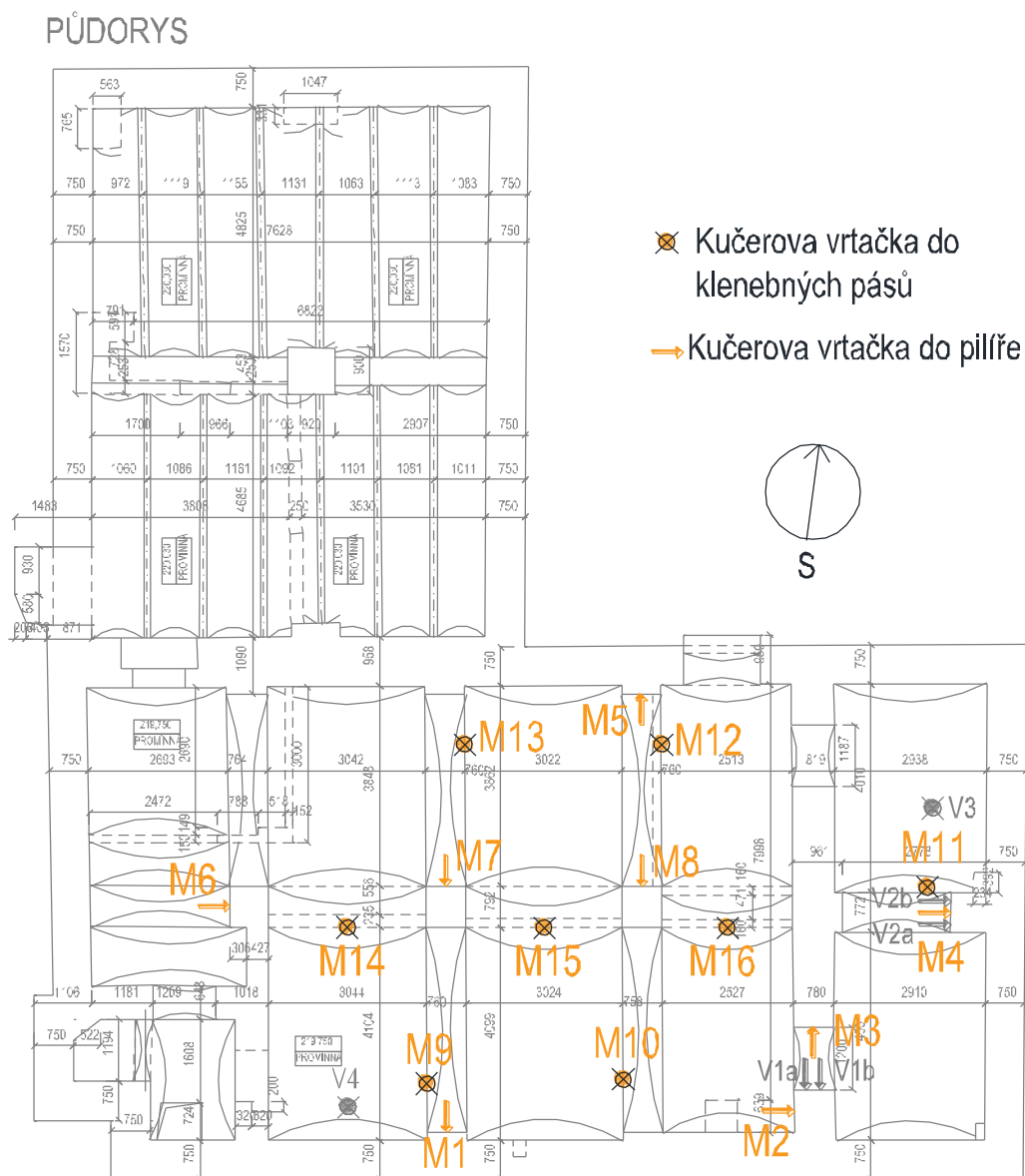
klenby	V3-2	40,1	40,1	36,3	41,2	25,6	28,3	21,8
	V4-2	41,7	40,6	41,0	24,3	14,4	15,8	12,2
	Průměr					20,0	22,1	17,0



Obrázek 27, Sady reprezentativních těles na zkoušku pevnosti v tlaku; horní řada – nasycené, dolní řada – vysušené [18].

### 3.3.3. Průběh zkoušení malty

Pevnost malty byla v první řadě zjišťována pomocí Kučerovy vrtačky jak v pilíř, tak v klenebních pásech. Provedení této metody komplikovala příliš malá tloušťka spár (jednalo se spíše o sevřené spáry) ve zdivu především v oblasti kleneb. Z tohoto důvodu byla metoda Kučerovy vrtačky doplněna o ultrazvukovou metodu a zkoušky reprezentativních těles na vzorcích malty získané z jádrových vývrtů. Na nejhůře přístupných místech byla pevnost malty stanovena kvalifikovaným odhadem. Výsledky byly staticky vyhodnoceny a byla získána průměrná pevnost malty v tlaku  $f_m$ .



Obrázek 28, Půdorys s místy měření malty Kučerovou vrtačkou [18].



Obrázek 29, Provádění zkoušky Kučerovou vrtačkou pro zjištění pevnosti malty, na obrázku zkouška malty klenebného pásu [18].

### 3.3.4. Výsledky zkoušek malty

Průběžné a výsledné hodnoty byly stanoveny na základě vzorečků z teoretické části diplomové práce do přehledné tabulky.

#### Zjištění pevnosti pomocí Kučerovy vrtačky

Tabulka 5, Měření pilířů - výsledné a naměřené hodnoty - Kučerova vrtačka.

zkušební místo	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	d <sub>prům</sub> [mm]	meze		f <sub>m,i</sub> [MPa]
					d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	
M1	49	56	48	51	35,7	66,3	0,41
M2	39	50	44	44	30,8	57,2	0,51
M3	39	45	50	45	31,5	58,5	0,50
M4	44	54	68	55	38,5	71,5	0,36
M5	46	56	55	52	36,4	67,6	0,40
M6	41	31	41	38	26,6	49,9	0,65
M7	45	37	51	44	30,8	57,2	0,51
M8	39	42	45	42	29,4	54,6	0,55

průměr $m_x$	0,49
počet platných měření $n$	8
výběrová směrodatná odchylka $s_x$	0,09
hodnota součinitele $t_n$	0,50
pevnost $f_m$ ( $f_m = m_x - s_x \times t_n$ )	<b>0,44</b>

Tabulka 6, Měření klenebných pásů - výsledné a naměřené hodnoty - Kučerova vrtačka.

zkušební místo	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	d <sub>prům</sub> [mm]	meze		f <sub>m,i</sub> [MPa]
					d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	
M9	66	67	57	63	44,1	81,9	0,29
M10	58	66	68	64	44,8	83,2	0,29
M11	67	70	61	66	46,2	85,8	0,27
M12	40	51	43	45	34,5	58,5	0,50
M13	42	38	42	41	28,7	53,3	0,57
M14	33	37	27	32	22,4	41,6	0,84
M15	22	25	25	24	16,8	31,2	1,32
M16	35	33	39	36	25,2	46,8	0,70

průměr $m_x$	0,60
počet platných měření $n$	8
výběrová směrodatná odchylka $s_x$	0,36
hodnota součinitele $t_n$	0,50
pevnost $f_m$ ( $f_m = m_x - s_x \times t_n$ )	<b>0,42</b>



Obrázek 30, Ukázka zkušebního místa pro zjištění pevnosti malty Kučerovou vrtačkou [18].



## Zjištění pevnosti pomocí rychlosti šíření ultrazvuku

Tabulka 7, Měření pomocí ultrazvuku - naměřené a výsledné hodnoty.

vzorek	délka l [mm]	rychlost $v_L$ [km/h]	Pevnost $f_{m,e}$ [MPa]
vzorky z vývrtu V1			
V1B-1	48,70	1,626	0,76
V1B-2	49,90	1,757	1,20
V1B-3	51,60	1,253	0,43
V1B-4	51,00	1,844	1,59
V1B-5	50,70	1,596	0,68
V1B-6	50,60	0,900	1,37
Průměr			1,00
vzorky z vývrtu V2			
V2A-1	42,80	2,455	6,40
V2B-1	50,60	3,000	13,70
V2B-2	50,50	2,848	11,40
V2B-3	36,10	3,563	24,30
Průměr			13,90
vzorky z vývrtu V4			
V4-1	51,50	2,580	7,80
V4-2	45,80	2,710	9,40
Průměr			8,60

pilíře

klenebné pásy



Obrázek 31, Zkušební vzorky malty odebrané pomocí jádrových vývrtů [18].



Obrázek 32, Ukázka měření rychlosti šíření ultrazvuku na vzorcích malty z konstrukce [18].

## Zjištění pevnosti malty na reprezentativních tělesech

Tabulka 8, Reprezentativní tělesa z malty - naměřené a výsledné hodnoty.

Sada z vrtu 1

vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	štíhlost	koeficient štíhlosti	síla F [N]	pevnost $f_m$ [MPa]
V1B-1	25,70	18,40	12,40	0,67	0,65	290	0,40
V1B-3	27,60	20,00	16,30	0,82	0,85	480	0,74
V1B-5	18,90	21,00	14,00	0,67	0,65	260	0,43
Průměr							0,52

Sada z vrtu 2

V2A-1	25,70	18,40	12,40	0,67	0,65	290	0,40
V2B-3	27,60	20,00	16,30	0,82	0,85	480	0,74
V2B-4	18,90	21,00	14,00	0,67	0,65	260	0,43
Průměr							19,50



Obrázek 33, Zkušební tělesa malých rozměrů z malty odebrané pomocí jádrového vývrtu [18].

### 3.3.5. Výsledky zkoušek zdících prvků volně ležících ve sklepních prostorech

Odebráno bylo 10 cihel, ze kterých byly následně zhotoveny zkušební tělesa. Cihly byly změřeny a zváženy, polovina zkušebních těles byla vysušena, druhá polovina byla nasycena vodou. Následně proběhlo druhé vážení vzorků a zatěžovací zkouška v lisu.

Tabulka 9, Základní popis cihel ze sklepních prostor.

vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	značka výrobce
1	136	290	67	4272	M
2	156	300	69	4940	2V
3	142	290	68	4811	F3C
4	143	275	64	NEÚPLNÁ	G5K
5	145	286	69	4417	1Š9
6	143	291	67	4268	F6C
7	142	222	69	NEÚPLNÁ	Š0
8	157	311	70	5095	R59D
9	143	156	65	NEÚPLNÁ	FXC
10	143	292	64	4622	HB31
11	144	142	69	2696	dutinové cihly
12	148	69	75	1224	



Obrázek 34, Ukázka dutinových cihel nalezených ve sklepních prostorech.



Tabulka 10, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 1.

Vysušený stav								<b>1</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
1a	49,2	49,3	49,0	196,4	44,0	18,1	19,9	15,4
1b	48,9	49,2	48,7	193,8	47,0	19,4	21,4	16,5
1c	49,0	49,4	48,6	191,1	30,0	12,3	13,5	10,4
1d	48,8	49,3	49,1	194,1	28,0	11,5	12,7	9,8
1e	48,7	49,6	49,8	196,7	32,5	13,1	14,4	11,2
Průměr						14,9	16,4	<b>12,7</b>

Nasycený stav								<b>1</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
1f	49,0	49,0	49,5	231,1	39,0	15,9	17,5	13,5
1g	49,3	49,3	49,4	232,9	41,0	16,8	18,5	14,3
1h	49,1	49,3	49,4	232,8	39,5	16,2	17,8	13,8
1i	49,3	49,6	49,7	235,9	40,5	16,4	18,0	13,9
1j	49,3	49,6	49,8	233,8	36,0	14,5	16,0	12,4
Průměr						16,0	17,6	<b>13,6</b>



Obrázek 35, Zkušební tělesa z cihly č. 1.

Tabulka 11, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 2.

Vysušený stav								<b>2</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
2a	49,6	48,4	49,3	195,9	49,0	19,9	21,9	16,9
2b	49,2	48,0	49,1	191,2	31,0	12,8	14,1	10,9
2c	49,5	49,2	49,6	196,3	40,5	16,5	18,1	14,0
2d	49,5	49,0	49,2	194,0	42,7	17,5	19,2	14,8
2e	49,3	48,3	49,2	193,9	42,5	17,5	19,2	14,9
Průměr						16,8	18,5	<b>14,3</b>

Nasycený stav								<b>2</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
2f	49,6	49,4	49,4	233,7	33,0	13,4	14,7	11,4
2g	49,7	48,4	49,6	232,9	26,5	10,7	11,8	9,1
2h	49,7	49,2	49,2	233,9	37,0	15,0	16,5	12,7
2i	49,3	49,5	49,5	232,2	27,5	11,2	12,3	9,5
2j	49,6	49,6	49,5	234,9	30,5	12,4	13,7	10,6
Průměr						12,5	13,8	<b>10,7</b>



Obrázek 36, Zkušební vzorky cihly č. 2.

Tabulka 12, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 3.

Vysušený stav								<b>3</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
3a	49,7	50,0	49,3	198,3	42,5	17,0	18,7	14,5
3b	49,3	49,5	49,5	195,0	32,0	13,1	14,4	11,1
3c	50,0	49,3	49,0	200,1	51,5	20,6	22,7	17,5
3d	50,0	49,5	49,0	205,2	59,0	23,6	25,9	20,1
3e	49,5	49,5	49,2	196,9	39,0	15,9	17,5	13,5
Průměr						18,0	19,8	<b>15,3</b>

Nasycený stav								<b>3</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
3f	49,9	49,3	48,6	233,9	105,0	42,2	46,4	35,9
3g	49,3	49,4	49,4	226,3	35,0	14,3	15,8	12,2
3h	48,7	49,4	49,8	229,5	40,8	16,5	18,1	14,0
3i	49,4	49,0	49,9	230,0	44,3	17,8	19,6	15,1
3j	49,2	49,4	49,6	241,1	32,8	13,3	14,7	11,3
Průměr						20,8	22,9	<b>17,7</b>



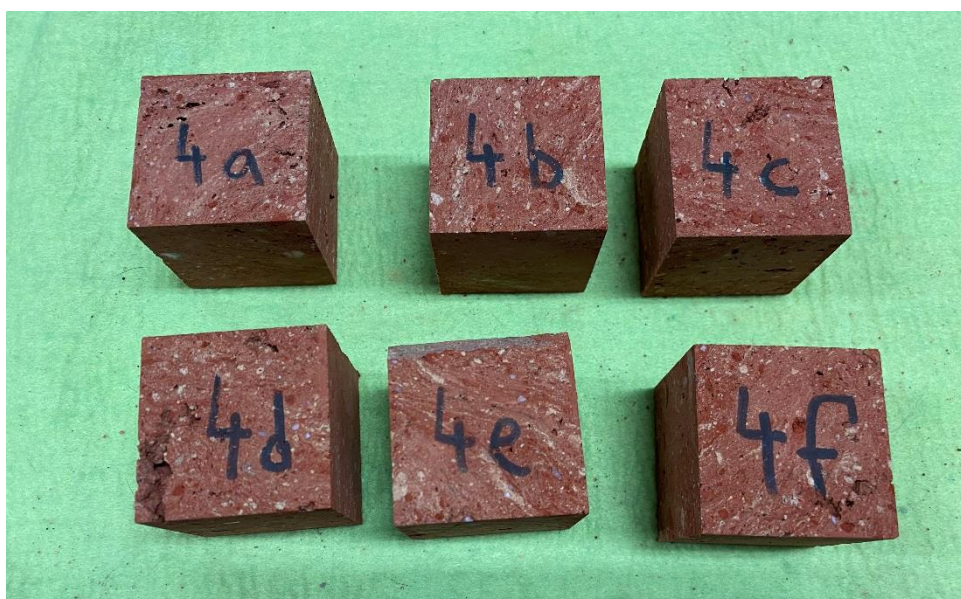
Obrázek 37, Zkušební vzorky cihly č. 3.



Tabulka 13, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 4.

Vysušený stav								<b>4</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
4a	49,3	50,2	48,9	186,2	33,0	13,1	14,4	11,1
4b	49,6	50,1	49,0	189,8	32,8	13,1	14,4	11,1
4c	50,1	49,1	49,6	190,1	33,9	13,5	14,9	11,5
Průměr						13,2	14,6	<b>11,2</b>

Nasycený stav								<b>4</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
4d	49,2	49,3	49,7	222,1	27,2	11,0	12,1	9,4
4e	49,2	49,5	49,6	222,8	21,8	8,9	9,8	7,5
4f	19,6	49,2	19,5	223,7	30,5	12,6	13,9	10,7
Průměr						10,8	11,9	<b>9,2</b>



Obrázek 38, Zkušební vzorky cihly č. 4.

Tabulka 14, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 5.

Vysušený stav								<b>5</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
5a	49,5	49,7	49,2	196,9	33,0	13,4	14,7	11,4
5b	49,7	49,3	48,8	193,3	29,0	11,7	12,9	10,0
5c	49,8	50,0	49,0	195,3	32,0	12,8	14,1	10,9
5d	49,5	49,8	49,0	194,4	29,1	11,7	12,9	10,0
5e	49,5	49,8	48,9	194,0	34,5	13,9	15,3	11,8
Průměr						12,7	14,0	<b>10,8</b>

Nasycený stav								<b>5</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepoččet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
5f	49,7	49,2	49,8	235,5	34,8	14,0	15,4	11,9
5g	49,2	49,5	49,2	232,0	27,5	11,2	12,4	9,5
5h	49,7	49,7	49,5	236,6	39,5	16,0	17,6	13,6
5i	49,5	49,8	49,5	234,7	32,5	13,1	14,4	11,2
5j	49,5	49,3	49,4	232,4	37,2	15,2	16,7	12,9
Průměr						13,9	15,3	<b>11,8</b>



Obrázek 39, Zkušební vzorky cihly č. 5.

Tabulka 15, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 6.

Vysušený stav								<b>6</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
6a	49,8	49,5	49,4	190,1	49,5	20,0	22,0	17,0
6b	49,2	49,8	49,1	196,5	63,2	25,5	28,0	21,6
6c	49,4	49,4	49,5	192,9	37,5	15,3	16,9	13,0
6d	49,5	49,4	49,6	186,9	28,5	11,6	12,7	9,8
6e	49,7	49,4	49,5	194,6	32,2	13,1	14,4	11,1
Průměr						17,1	18,8	<b>14,5</b>

Nasycený stav								<b>6</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
6f	49,8	49,3	49,3	227,6	45,0	18,1	19,9	15,4
6g	49,5	49,6	49,8	234,5	52,8	21,3	23,5	18,1
6h	49,7	49,6	49,5	231,9	41,4	16,8	18,5	14,3
6i	49,6	49,4	49,3	229,6	48,2	19,6	21,6	16,7
6j	49,3	49,7	49,6	232,9	54,7	22,1	24,3	18,8
Průměr						19,6	21,6	<b>16,7</b>



Obrázek 40, Zkušební vzorky cihly č. 6.



Tabulka 16, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 7.

Vysušený stav								<b>7</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
7a	49,2	49,9	49,5	194,1	24,0	9,6	10,6	8,2
7b	49,5	49,4	49,5	196,6	24,0	9,8	10,8	8,3
7c	49,3	50,0	49,7	200,1	22,0	8,8	9,7	7,5
Průměr						9,4	10,3	<b>8,0</b>

Nasycený stav								<b>7</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
7d	49,4	49,4	49,0	230,7	26,9	11,0	12,1	9,4
7e	49,4	49,2	49,1	227,0	20,8	8,5	9,4	7,2
7f	49,2	49,4	49,2	230,0	22,6	9,2	10,2	7,9
Průměr						9,6	10,5	<b>8,2</b>



Obrázek 41, Zkušební vzorky cihly č. 7.

Tabulka 17, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 8.

Vysušený stav								<b>8</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
8a	49,4	49,6	49,5	184,8	52,6	21,4	23,5	18,2
8b	48,2	49,0	49,1	178,1	51,4	21,3	23,5	18,1
8c	48,6	49,5	49,0	180,3	35,3	14,4	15,8	12,2
8d	49,2	48,5	49,2	180,8	46,0	19,0	20,9	16,1
8e	49,0	49,4	49,6	182,6	45,3	18,4	20,2	15,6
Průměr						18,9	20,8	<b>16,1</b>

Nasycený stav								<b>8</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
8f	49,6	49,5	49,6	225,6	28,3	11,5	12,6	9,8
8g	49,7	49,7	50,1	229,8	31,9	12,7	14,0	10,8
8h	49,6	49,6	49,2	226,4	22,5	9,1	10,0	7,8
8i	49,6	44,6	49,5	224,5	23,0	9,3	10,3	7,9
8j	49,7	49,6	49,6	228,2	30,9	12,5	13,8	10,6
Průměr						11,0	12,1	<b>9,4</b>



Obrázek 42, Zkušební vzorky cihly č. 8.



Tabulka 18, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 9.

Vysušený stav								<b>9</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
9a	49,4	49,4	49,2	204,5	24,5	10,0	11,0	8,5
9b	49,3	49,7	49,3	206,5	24,9	10,1	11,1	8,6
Průměr						10,1	11,1	<b>8,5</b>

Nasycený stav								<b>9</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
9c	48,0	49,3	49,1	230,8	17,5	7,2	7,9	6,1
9d	48,9	49,4	49,0	234,3	17,8	7,3	8,0	6,2
Průměr						7,2	8,0	<b>6,2</b>

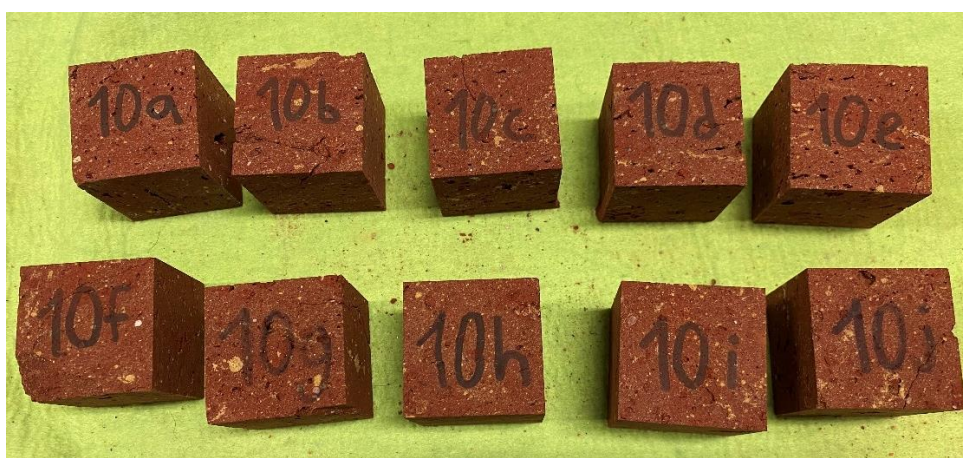


Obrázek 43, Zkušební vzorky cihly č. 9.

Tabulka 19, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 10.

Vysušený stav								<b>10</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
10a	49,1	49,0	49,4	199,0	93,5	38,3	42,1	32,5
10b	48,6	48,1	49,2	200,4	128,8	53,3	58,6	45,3
10c	48,7	49,3	49,4	205,6	103,0	42,2	46,4	35,8
10d	48,5	47,3	49,2	195,0	55,5	22,9	25,2	19,5
10e	49,0	49,7	48,9	201,5	86,4	34,9	38,4	29,7
Průměr						38,3	42,1	<b>32,6</b>

Nasycený stav								<b>10</b>
vzorek	šířka b [mm]	délka l [mm]	výška h [mm]	hmotnost m [g]	max. síla F [MPa]	pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [MPa]	přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [MPa]	normalizovaná pevnost v tlaku $f_b$ [MPa]
10f	49,0	49,6	49,0	225,1	47,0	19,1	21,0	16,3
10g	49,0	49,6	49,3	229,3	75,0	30,5	33,6	25,9
10h	48,5	49,4	48,9	227,5	74,5	30,6	33,6	26,0
10i	49,3	49,4	48,9	228,7	56,5	23,2	25,5	19,7
10j	49,4	49,2	47,2	219,7	48,5	19,9	21,8	16,9
Průměr						24,6	27,1	<b>20,9</b>



Obrázek 44, Zkušební vzorky cihly č. 10.





Obrázek 45, Průběh zatěžovací zkoušky v lisu; 1. obrázek - uchycení tělesa v lisu, 2. obrázek - těleso těsně po zatěžovací zkoušce, 3. obrázek - první možnost porušení „přesýpací hodiny“, 4. obrázek – druhá možnost porušení „klín“.

### 3.3.6. Zatřídění volně ležících cihel do historického období

V této kapitole proběhne zatřídění cihel (dle tabulky 9.) podle data kdy byly vyrobeny. Zatřídění proběhne dle [3].

#### **Cihla 1 – označení M**

Výrobce: Alois Mistelsteiger

Přibližné datum výroby: poslední třetina 19. století



Obrázek 46, Cihla 1 - M.

#### **Cihla 2 – označení 2л**

Výrobce: Leopold Auer

Přibližné datum výroby: poslední třetina 19. století



Obrázek 47, Cihla 2 - 2л.



### **Cihla 3, 6, 9 – označení F3C, F6C, FXC**

Výrobce: Franz Czizek nebo Franz Czermak

Přibližné datum výroby: poslední třetina 19. století



Obrázek 48, Cihly 3, 6, 9 - F3C, F6C, FXC.

### **Cihla 4 – označení G5K**

Výrobce: Gottlieb Kohn & Sohn

Přibližné datum výroby: přelom 19.-20. století



Obrázek 49, Cihla 4 - G5K.

### **Cihla 5, 7 – označení 1Š9, Š0**

Výrobce: Svatotomášská cihelna (dle některých badatelů městská cihelna Stadt Ziegelei)

Přibližné datum výroby: poslední třetina 19. století



Obrázek 50, Cihly 5, 7 - 1Š9, Š0.

### **Cihla 8 – označení R59D**

Výrobce: Rüdiger Deycks

Přibližné datum výroby: 1872



Obrázek 51, Cihla 8 - R59D.

### **Cihla 10 – označení HB31**

Výrobce: Heinrich Brodschek nebo Heinrich Brzezowsky

Přibližné datum výroby: poslední čtvrtina 19. století

### 3.4. Vyhodnocení provedených zkoušek

#### 3.4.1. Vyhodnocení pevnosti zdících prvků

##### **Zdící prvky odebrané z konstrukce pomocí jádrového vývrtu**

Pevnost zdících prvků byla stanovena na reprezentativních tělesech zhotovených z jádrových vývrtů. Tělesa z každého odebraného vrtu byla rozdělena na dvě části. Jedna byla zkoušena ve vysušeném stavu, druhá část ve stavu nasyceném pro reálnou představu o stavu konstrukce. Normalizovaná pevnost byla stanovena podle ČSN EN 772-1-1+A1.

Hodnota normalizované pevnosti se pro vysušený stav pohybovala mezi 9,2 MPa do 29,7 MPa. Rozdíl byl značný jak mezi vzorky z pilířů, tak mezi vzorky z kleneb. Z důvodu pravděpodobnosti opakování tohoto rozdílu v celé konstrukci nelze vzorky zařadit dle průměrné hodnoty. Musí být zatříděny dle minimálních hodnot. Nejnižší hodnota normalizované pevnosti zdících prvků pro klenby a pilíře  $f_b = 8,4$  MPa, tato hodnota lze zařadit do pevnostní třídy P10. Vliv nasycení konstrukce vodou byl ve výpočtu zahrnut dílčím součinitelem  $\gamma_{m3} = 1,25$ , což odpovídá nasycenému stavu.

### 3.4.2. Vyhodnocení pevnosti malty

Pevnost malty byla zkoušena vrtnou metodou pomocí Kučerovy vrtačky na celkem 16 místech, 8 na pilířích a 8 na klenebních pásech. Dále byly odebrány vzorky pomocí jádrové vrtačky a následně zjištěna rychlost šíření ultrazvuku a pevnost na vzorcích malých rozměrů v lisu.

Výsledky vrtné metody byly pro pilíře  $f_m = 0,44$  MPa a pro klenebné pásy  $f_m = 0,42$  MPa. U výsledků ultrazvukové metody a zatěžovací zkoušky malých těles můžeme pozorovat velký rozdíl mezi hodnotami výsledné pevnosti, ultrazvuková pevnost je až 13,9 MPa a zatěžovací zkouška v lisu až 19,5 MPa. Rozdíly mezi jednotlivými metodami jsou tedy značné, výslednou pevnost musíme zatřídit podle minimálních hodnot, a to tedy podle hodnot z vrtné metody. Výsledná pevnost zdiva tedy je  $f_m = 0,4$  MPa, což můžeme označit pevnostní třídou M0,4.

### 3.4.3. Vyhodnocení pevnosti zdiva

Charakteristická pevnost zdiva se stanoví pomocí normalizované pevnosti v tlaku zdících prvků  $f_b$  a pevnosti malty v tlaku  $f_m$  (dle vzorce X):

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta = 0,44 \times 8,4^{0,7} \times 0,40^{0,3} = 1,48 \text{ MPa}$$

Dále byly zjištěny vlivy ovlivňující výslednou návrhovou pevnost zdiva v tlaku. Zvláště byly zjištěny pro pilíře (dobrá vazba i vyplnění spár maltou, neporušené trhlinami) a zvláště pro klenby (subtilní, porušení trhlinami). Do výpočtu byl zaveden vliv zvýšené vlhkosti.

#### Pilíře

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{f_k}{\gamma_{m1} \times \gamma_{m2} \times \gamma_{m3} \times \gamma_{m4}} = \frac{1,48}{2,0 \times 0,90 \times 1,25 \times 1,00} = 0,66 \text{ MPa}$$

#### Klenby

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{f_k}{\gamma_{m1} \times \gamma_{m2} \times \gamma_{m3} \times \gamma_{m4}} = \frac{1,48}{2,0 \times 1,05 \times 1,25 \times 1,20} = 0,47 \text{ MPa}$$



### 3.4.4. Vyhodnocení pevnosti volně ležících zděných prvků

Celkem bylo odebráno 10 vzorků cihel, ze kterých byly vyrobeny zkušební tělesa ve tvaru krychlí. Ty byly následně podrobeny zatěžovací zkoušce v lisu, aby byla stanovena jejich pevnost v tlaku.

Tabulka 20, Výsledné normalizované pevnosti v tlaku v MPa vzorků cihel volně ležících ve sklepních prostorách.

vzorky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
vysušené	12,7	14,3	15,3	11,2	10,8	14,5	8,0	16,1	8,5	32,6
nasyčené	13,6	10,7	17,7	9,2	11,8	16,7	8,2	9,4	6,2	20,9

Výsledné pevnosti u vysušených vzorků se pohybovali mezi 8,0 a 32,6, u nasyčených vzorků vodou to bylo 6,2 a 20,9. Většina výsledných pevností byla obdobná výsledkům pevností vzorků odebraných z konstrukce pomocí jádrových vývrtů, takže bychom mohli uvažovat, že tyto cihly byly součástí konstrukce a nebyly dovezeny z jiné stavby. Výjimkou je vzorek cihly č. 10, který vykazuje výrazně vyšší pevnosti než ostatní vzorky. Je vysoce pravděpodobné, že tato cihla byla při výrobě přepálená, takže má vyšší pevnost v tlaku, ale zároveň je křehčí a její vlastnosti více ovlivňuje vlhkost.

## 3.5. Návrh sanace a statického zajištění

### 3.5.1. Návrh sanace

K dnešnímu dni není jasně dán budoucí plán pro využití sklepních prostor, proto bude návrh sanace spíše obecné doporučení a pro konkrétní řešení by bylo potřeba znát přesné budoucí účely těchto prostor. Nicméně bude nutné odkopat zeminu nad sklepními prostory. Sklepní prostory se nachází přibližně v hloubce 2 m pod stávajícím terénem, takže při výkopových pracích bude nutné použití odstupňovaného svahování nebo v okolí parkové zeleně (například stromů) záporové pažení stavební jámy.

Prvním krokem po odkrytí zeminy by bylo odstranění příčin vniku vlhkosti do konstrukce. Musíme zabránit zatékání vody do kleneb i do obvodových zdí, například použitím drenáže v kombinaci se svislou hydroizolací rubu zdiva. Nejlepším řešením by bylo vytvoření nepropustné vrstvy už na povrchu. Toho může být docíleno například vhodnou parkovou úpravou tak, aby nad sklepními prostory byl méně propustná nášlapná vrstva, například asfaltový chodník, ze kterého bude vhodným spádováním nebo odvodovými kanálky voda odvedena do dostatečné vzdálenosti a až tam vsakována do zeminy. Nad samotným stropem by bylo vhodné vybudovat provětrávanou drenážní síť, která by měla zamezovat vzniku vlhkosti nad sklepními prostory. V ideálním případě by nejlepším řešením bylo odkopat zeminu v okolí stěn, vybudovat zde drenáž a stěny zajistit hydroizolačními pásy. Problém je v hloubce a pracnosti a zároveň v odvodu vody z drenáže do kanalizace v této hloubce. Z toho důvodu a z důvodu minimálního poškození stěn by svislou hydroizolaci stěn bylo vhodné provést pomocí rubové injektáže, kdy je injektovaný materiál pod tlakem vstříkován přes celou tloušťku konstrukce. Jako injektovaný materiál se používají tzv. gely nebo hydrogely, které po reakci s vodou vytvoří trvale vodonepropustnou vrstvu.

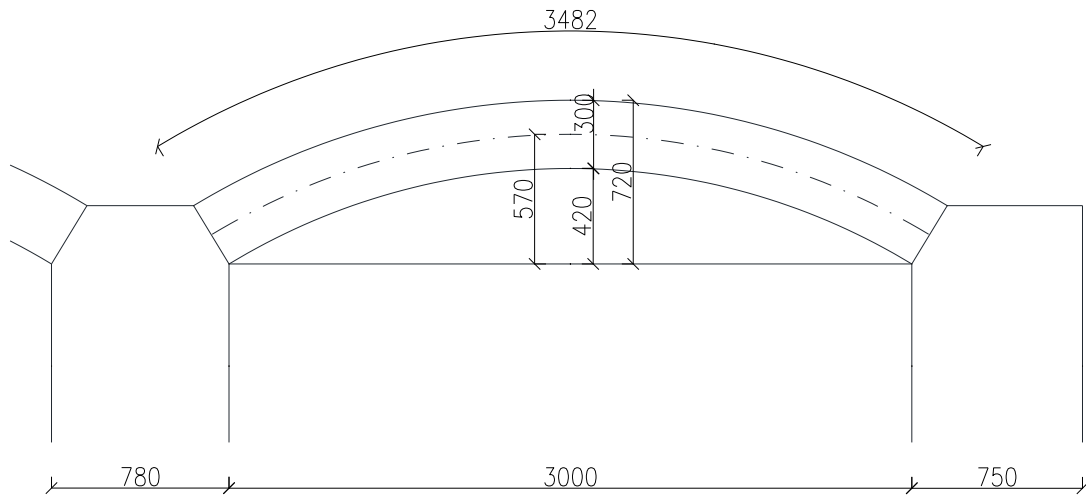
Pro určení správné metody pro zamezení vniku vlhkosti do zdiva směrem zespodu je nutné zjistit založení těchto stěn, což by mohl odhalit další, konkrétněji zaměřený průzkum.

Dalším krokem je zajištění vnitřních prostor. Bude nutné celoplošně odstranit všechny omítky, proškrábnout spáry a následně zaspárovat porézní maltou na vápenné bázi a provedení celoplošného nátřiku zdiva difúzně propustným transparentním nátěrem, který hydrofobizuje a zároveň zafixuje a zpevní povrch zdiva proti sprašování a drolení a současně povrch zdiva zůstane paropropustný. Povrchová úprava stěny omítkami se nedoporučuje. Vhodnější je nechat vlhkost volně vzlínat do prostoru a odtud je nuceným větráním odvádět do ovzduší. Možnou variantou by mohlo být chemická injektáž roztokem s hydrofobizačním účinkem, případně pro vysoce zvětralé zdivo materiály hydrofobizující se zpevňujícím účinkem. Bude nutné odstranit násypy ve sklepních prostorech z důvodu odhalení podlahy a následné provedení průzkumu její skladby. V případě, že podlaha bude tvořená udusanou hlínou nebo betonovou deskou, bude nutné tuto vrstvu odstranit alespoň do hloubky 150 mm a nahradit ji štěrkem a například cihelnou dlažbou opatřenou obdobným hydrofobizačním nátěrem. V případě cihelné dlažby postačí tuto dlažbu rozebrat, použít hydrofobizační nátěr a uložit například do písku nebo štěrku.

Posledním krokem bude péče o vnitřní klima. Odvod vzduchu nasyceného párami z podloží a přívod čerstvého vzduchu větracími šachtami například pomocí ventilátorů.

### 3.5.2. Návrh statického zajištění

#### Geomterie stávajícího stavu klenby



Obrázek 52, Geometrie stávajícího stavu klenby.

#### Zatížení

##### 1.ZS – Vlastní tíha

$$g_{k,1} = t * b * \gamma = 0,30 * 1,0 * 19 = 5,7 \text{ kN/m}$$

##### 2.ZS – Zemina nad vrcholem klenby

$$g_{k,2} = h * b * \gamma = 2,0 * 1,0 * 21 = 42 \text{ kN/m}$$

##### 3.ZS – Cípy zeminy

$$h_c = 463 \text{ mm}$$

$$g_{k,3} = h_c * b * \gamma = 0,463 * 1,0 * 21 = 9,72 \text{ kN/m}$$

##### 4.ZS – Užiténé zatížení

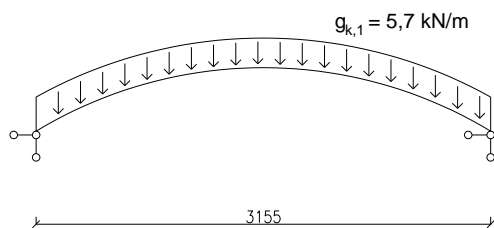
$$q_k = 3 \text{ kN/m}$$

##### 5.ZS – Sníh

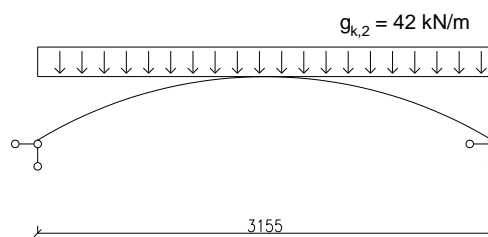
Sněhová oblast I – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:

$$s_k = 0,7 \text{ kN/m}$$

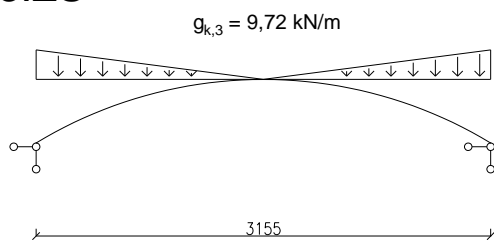
1.ZS



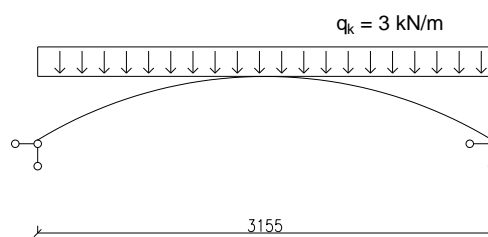
2.ZS



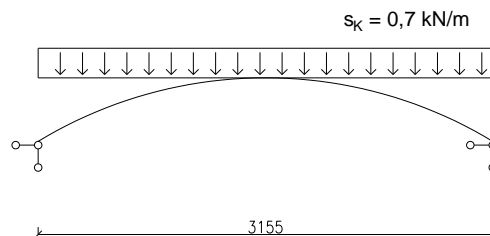
3.ZS



4.ZS



5.ZS



Obrázek 53, Schéma jednotlivých zatěžovacích stavů.

### Vnitřní síly

$$l_{ef} = 3155 \text{ mm}$$

$$f_{ef} = 570 \text{ mm}$$

### Pata klenby

$$M_1 = \emptyset \text{ [kNm]}$$

$$N_1 = -0,17182 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} \text{ [kN]}$$

$$V_1 = -0,00318 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} \text{ [kN]}$$

#### ¼ rozpětí klenby

$$M_2 = 0,00050 * g * l_{ef}^2 \text{ [kNm]}$$

$$N_2 = -0,14178 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} \text{ [kN]}$$

$$V_2 = -0,00146 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} \text{ [kN]}$$

#### Vrchol klenby

$$M_3 = -0,00088 * g * l_{ef}^2 \text{ [kNm]}$$

$$N_3 = -0,13218 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} \text{ [kN]}$$

$$V_3 = \emptyset \text{ [kN]}$$

#### 1.ZS – Vlastní tíha

$$M_1 = 0 \text{ kNm}$$

$$N_1 = -0,17182 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,17182 * \frac{5,7 * 3,155^2}{0,570} = -17,10 \text{ kN}$$

$$V_1 = -0,00318 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00318 * \frac{5,7 * 3,155^2}{0,570} = -0,32 \text{ kN}$$

$$M_2 = 0,00050 * g * l_{ef}^2 = 0,00050 * 5,7 * 3,155^2 = 0,03 \text{ kNm}$$

$$N_2 = -0,14178 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,14178 * \frac{5,7 * 3,155^2}{0,570} = -14,11 \text{ kN}$$

$$V_2 = -0,00146 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00146 * \frac{5,7 * 3,155^2}{0,570} = -0,15 \text{ kN}$$

$$M_3 = -0,00088 * g * l_{ef}^2 = -0,00088 * 5,7 * 3,155^2 = -0,05 \text{ kNm}$$

$$N_3 = -0,13218 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,13218 * \frac{5,7 * 3,155^2}{0,570} = -13,16 \text{ kN}$$

$$V_3 = 0 \text{ kN}$$



## 2.ZS – Zemina nad vrcholem klenby

$$M_1 = 0 \text{ kNm}$$

$$N_1 = -0,17182 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,17182 * \frac{42 * 3,155^2}{0,570} = -126,02 \text{ kN}$$

$$V_1 = -0,00318 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00318 * \frac{42 * 3,155^2}{0,570} = -2,33 \text{ kN}$$

$$M_2 = 0,00050 * g * l_{ef}^2 = 0,00050 * 42 * 3,155^2 = 0,21 \text{ kNm}$$

$$N_2 = -0,14178 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,14178 * \frac{42 * 3,155^2}{0,570} = -103,99 \text{ kN}$$

$$V_2 = -0,00146 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00146 * \frac{42 * 3,155^2}{0,570} = -1,07 \text{ kN}$$

$$M_3 = -0,00088 * g * l_{ef}^2 = -0,00088 * 42 * 3,155^2 = -0,37 \text{ kNm}$$

$$N_3 = -0,13218 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,13218 * \frac{42 * 3,155^2}{0,570} = -96,95 \text{ kN}$$

$$V_3 = 0 \text{ kN}$$

## 3.ZS – Cípy zeminy (pomocí programu STRIAN [20])

$$M_1 = 0 \text{ kNm}$$

$$N_1 = -0,17182 * N_{3ZS} = -0,17182 * 76,35 = -13,12 \text{ kN}$$

$$V_1 = -0,00318 * V_{3ZS} = -0,00318 * 76,35 = -0,24 \text{ kN}$$

$$M_2 = 0,00050 * M_{3ZS} = 0,00050 * 30,06 = 0,02 \text{ kNm}$$

$$N_2 = -0,14178 * N_{3ZS} = -0,14178 * 76,35 = -10,82 \text{ kN}$$

$$V_2 = -0,00146 * V_{3ZS} = -0,00146 * 76,35 = -0,11 \text{ kN}$$

$$M_3 = -0,00088 * M_{3ZS} = -0,00088 * 30,06 = -0,03 \text{ kNm}$$

$$N_3 = -0,13218 * N_{3ZS} = -0,13218 * 76,35 = -10,09 \text{ kN}$$

$$V_3 = 0 \text{ kN}$$

#### 4.ZS – Užiténé zatížení

$$M_1 = 0 \text{ kNm}$$

$$N_1 = -0,17182 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,17182 * \frac{3 * 3,155^2}{0,570} = -9,00 \text{ kN}$$

$$V_1 = -0,00318 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00318 * \frac{3 * 3,155^2}{0,570} = -0,17 \text{ kN}$$

$$M_2 = 0,00050 * g * l_{ef}^2 = 0,00050 * 3 * 3,155^2 = 0,01 \text{ kNm}$$

$$N_2 = -0,14178 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,14178 * \frac{3 * 3,155^2}{0,570} = -7,43 \text{ kN}$$

$$V_2 = -0,00146 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00146 * \frac{3 * 3,155^2}{0,570} = -0,08 \text{ kN}$$

$$M_3 = -0,00088 * g * l_{ef}^2 = -0,00088 * 3 * 3,155^2 = -0,03 \text{ kNm}$$

$$N_3 = -0,13218 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,13218 * \frac{3 * 3,155^2}{0,570} = -6,92 \text{ kN}$$

$$V_3 = 0 \text{ kN}$$

#### 5.ZS – Snih

$$M_1 = 0 \text{ kNm}$$

$$N_1 = -0,17182 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,17182 * \frac{0,7 * 3,155^2}{0,570} = -2,10 \text{ kN}$$

$$V_1 = -0,00318 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00318 * \frac{0,7 * 3,155^2}{0,570} = -0,04 \text{ kN}$$

$$M_2 = 0,00050 * g * l_{ef}^2 = 0,00050 * 0,7 * 3,155^2 = 0 \text{ kNm}$$

$$N_2 = -0,14178 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,14178 * \frac{0,7 * 3,155^2}{0,570} = -1,73 \text{ kN}$$

$$V_2 = -0,00146 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,00146 * \frac{0,7 * 3,155^2}{0,570} = -0,02 \text{ kN}$$

$$M_3 = -0,00088 * g * l_{ef}^2 = -0,00088 * 0,7 * 3,155^2 = -0,01 \text{ kNm}$$

$$N_3 = -0,13218 * \frac{g * l_{ef}^2}{f_{ef}} = -0,13218 * \frac{0,7 * 3,155^2}{0,570} = -1,62 \text{ kN}$$

$$V_3 = 0 \text{ kN}$$

Kombinace

**6.10a**

$$\Sigma(\gamma_G * G_K) + \Sigma(\Psi_i * \gamma_Q * G_{Ki})$$

**6.10b**

$$\Sigma(\xi * \gamma_G * G_K) + \gamma_Q * G_{Ki} + \Sigma(\Psi_i * \gamma_Q * G_{Ki})$$

Tabulka 21, Kombinace zatížení působícího na klenbu.

Zatěžovací stav		Pata klenby			1/4 rozpětí klenby			Vrchol klenby		
$\gamma$		M1	N1	V1	M2	N2	V2	M3	N3	V3
1,35	1.ZS	0	-17,10	-0,32	0,03	-14,11	-0,15	-0,05	-13,16	0
1,35	2.ZS	0	-126,02	-2,33	0,21	-103,99	-1,07	-0,37	-96,95	0
1,35	3.ZS	0	-13,12	-0,24	0,02	-10,82	-0,11	-0,03	-10,09	0
1,5	4.ZS	0	-9,00	-0,17	0,01	-7,43	-0,08	-0,03	-6,92	0
1,5	5.ZS	0	-2,10	-0,04	0,00	-1,73	-0,02	-0,01	-1,62	0
Kombinace										
6.10a		0	-221,95	-4,11	0,36	-183,14	-1,89	-0,65	-170,75	0
6.10b		0	-194,36	-3,60	0,31	-160,38	-1,66	-0,57	-149,52	0

## Posouzení

$$h_{ef} = S * h = 3,482 * 0,72 = 2,51 \text{ m}$$

$$t_{ef} = t = 0,30 \text{ m}$$

$$f_d = 0,47 \text{ MPa}$$

### Posouzení v patě klenby

$$M_{Ed,i} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,i} = 221,95 \text{ kN}$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2,51}{0,30} = 8,37 < 15 \rightarrow e_k = 0 \text{ mm}$$

$$e_i = \frac{M_{Ed,i}}{N_{Ed,i}} + e_{hi} + e_{init} = \frac{0}{221,95} + 0 + \frac{2,51}{450} = 0,006 \text{ m} \not\geq 0,007 \text{ m}$$

$$\text{volím } e_i = 0,007 \text{ m}$$

$$e_i = 0,007 \text{ m} \leq \frac{t}{6} = \frac{0,30}{6} = 0,05 \text{ m}$$

Vyhovuje

$$N_{Rd,i} = \left(1 - \frac{2 * e_i}{t}\right) * t_{ef} * b * f_d = \left(1 - \frac{2 * 0,007}{0,30}\right) * 0,30 * 1 * 0,47 = 134,42 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,i} = 134,42 \text{ kN} \not\geq N_{Ed,i} = 224,48 \text{ kN}$$

### Posouzení v ¼ rozpětí

$$M_{Ed,m} = 0,36 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,m} = 183,14 \text{ kN}$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2,51}{0,30} = 8,37 < 15 \rightarrow e_k = 0 \text{ mm}$$

$$e_m = \frac{M_{Ed,m}}{N_{Ed,m}} + e_{hm} + e_{init} = \frac{0,36}{183,14} + 0 + \frac{2,51}{450} = 0,008 \text{ m}$$

$$e_k = 0,002 * \phi_{\infty} * \frac{h_{ef}}{t_{ef}} * \sqrt{t * e_m} = 0,002 * 1 * \frac{2,51}{0,30} * \sqrt{0,30 * 0,008} = 0,008$$

$$e_{mk} = 0,008 + 0,008 = 0,016 > 0,007$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} * \sqrt{\frac{1}{\alpha}} = \frac{2,51}{0,30} * \sqrt{\frac{1}{1000}} = 0,265$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 * \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,265 - 0,063}{0,73 - 1,17 * \frac{0,016}{0,30}} = 0,303$$

$$\phi_m = A_1 * e^{\frac{u^2}{2}} = \left(1 - 2 * \frac{e_{mk}}{t}\right) * e^{\frac{u^2}{2}} = \left(1 - 2 * \frac{0,016}{0,30}\right) * e^{\frac{0,303^2}{2}} = 0,914$$

$$N_{Rd,m} = \phi_m * t * b * f_d = 0,914 * 0,30 * 1 * 0,47 = 128,87 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,i} = 128,87 \text{ kN} \not\geq N_{Ed,i} = 183,14 \text{ kN}$$

### Posouzení ve vrcholu rozpětí

$$M_{Ed,m} = 0,65 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,m} = 170,75 \text{ kN}$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2,51}{0,30} = 8,37 < 15 \rightarrow e_k = 0 \text{ mm}$$

$$e_m = \frac{M_{Ed,m}}{N_{Ed,m}} + e_{hm} + e_{init} = \frac{0,65}{170,75} + 0 + \frac{2,51}{450} = 0,010 \text{ m}$$

$$e_k = 0,002 * \phi_{\infty} * \frac{h_{ef}}{t_{ef}} * \sqrt{t * e_m} = 0,002 * 1 * \frac{2,51}{0,30} * \sqrt{0,30 * 0,010} = 0,009$$

$$e_{mk} = 0,010 + 0,009 = 0,019 > 0,007$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} * \sqrt{\frac{1}{\alpha}} = \frac{2,51}{0,30} * \sqrt{\frac{1}{1000}} = 0,265$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 * \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,265 - 0,063}{0,73 - 1,17 * \frac{0,019}{0,30}} = 0,308$$

$$\phi_m = A_1 * e^{\frac{u^2}{2}} = \left(1 - 2 * \frac{e_{mk}}{t}\right) * e^{\frac{u^2}{2}} = \left(1 - 2 * \frac{0,019}{0,30}\right) * e^{\frac{0,308^2}{2}} = 0,894$$

$$N_{Rd,m} = \phi_m * t * b * f_d = 0,894 * 0,30 * 1 * 0,47 = 126,05 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,i} = 126,05 \text{ kN} \not\geq N_{Ed,i} = 170,75 \text{ kN}$$



## **Návrh statického zajištění**

Nad sklepními prostory stálo dlouhá léta zábavní ruské kolo. Ocelová konstrukce svou hmotností může převyšovat i 300 tun, což by dle teoretického výpočtu konstrukce klenby neměla být schopna přenést. Určitou roli může hrát roznos zatížení přes velkou tloušťku zeminy, ale i tak je velké štěstí, že se celá konstrukce nezřítila a nedošlo k újmě na zdraví. Po objevení sklepních prostor bylo ruské kolo okamžitě přemístěno a nad konstrukcí sklepů už nikdy nebylo vybudováno.

Ze statického výpočtu vyplývá, že je třeba navrhnout vhodné statické zajištění klenby. Z důvodu možného budoucího používání parku na Moravském náměstí možné nové pochozí skladbě, a tedy většího zatížení, bude nejlepší nad klenbou vybudovat železobetonovou desku, která bude přenášet veškeré zatížení do masivních opěrných stěn a pilířů. Železobetonová deska bude tvarem spodního líce kopírovat konstrukci klenby a tloušťka by měla být nejméně 200 mm ve vrcholu klenby. V době betonáže a po dobu tvrdnutí betonu bude klenba celoplošně podepřena. Po zatvrdnutí betonu můžou být podpěry odstraněny.

## 4. Závěr

V této práci se nejprve seznámíme s teorií metod, materiálů a konstrukcí týkajících se zkoumaného objektu. Následně byly metody vyhodnoceny a na základě jejich výsledků byla navržena sanace a statické zajištění těchto prostor pro potřeby budoucího používání.

Na základě kombinace destruktivních i nedestruktivních metod byly získány spolehlivé výsledky pevnosti zdících prvků i malty, díky kterým byla následně stanovena návrhová pevnost zdiva v tlaku

Průměrná pevnost v tlaku malty  **$f_m = 0,40 \text{ MPa}$ ;**

Průměrná normalizovaná pevnost v tlaku cihel  **$f_b = 8,4 \text{ MPa}$ ;**

Návrhová pevnost zdiva v tlaku (sloupy)  **$f_d = 0,66 \text{ MPa}$ ;**

Návrhová pevnost zdiva v tlaku (klenby)  **$f_d = 0,47 \text{ MPa}$ .**

Velmi obdobné výsledky jsme získali zkouškami volně ležících zdících prvků ve sklepních prostorech.

Z hlediska zachování prostor byl doporučen návrh sanací. Statický výpočet ukázal nevyhovující stav konstrukce, takže bylo navrženo statické zajištění pomocí železobetonové desky v rubové části klenby.

## 5. Bibliografie

- [1] KOŠATKA, Pavel, Karel LORENZ a Jitka VAŠKOVÁ. *Zděné konstrukce 1. 2.* dotisk 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010. ISBN 978-80-01-03463-7.
- [2] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky* [online]. Brno, studijní opora VUT [cit. 2020-03-22].
- [3] ANTON, Ondřej a Petr HOLUB. *99 BRNĚNSKÝCH CIHELEN: Historický vývoj stavebních materiálů z pálené hlíny a jejich výroby na území města Brna.* První. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM, 2020. ISBN 978-80-214-5899-4.
- [4] *CIHLÁŘSKÝ LEXIKON* [online]. 2. vydání: Cihlářský svaz Čech a Moravy, 2007 [cit. 2020-03-01].
- [5] JENEŠ, Rostislav a Božena PODROUŽKOVÁ. *ZDĚNÉ KONSTRUKCE: Základy navrhování [skripta]*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [6] VLČEK, Milan a Petr BENEŠ. *Poruchy a rekonstrukce staveb: Modul 01.* Brno, 2006.
- [7] *Klenby* [online]. 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/klenby>
- [8] ČSN EN 1996-1-1+A1 (73 1101): Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [9] ČSN 73 0038: *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - doplňující ustanovení.* (nahrazení ČSN 73 0038 z prosince 2014). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.

- [10] ČSN EN 772-1+A1 (72 2635): *Zkušební metody pro zdící prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*. (nahrazuje ČSN EN 772-1 (72 2635) z října 2011). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [11] *Structural analysis of historical constructions: Possibilities of numerical and experimental techniques 1*. CRC Press, 2004. ISBN 0415363799.
- [12] ČSN P 73 0610: *Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [13] *Vlhkost zdiva* [online]. [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://realsan.cz/poradna/clanky/vlhke-zdivo/vlhkost-jeji-zdroje-vyznam-a-zpusob-odstraneni>
- [14] ČSN ISO 13822 (73 0038): *Zásady navrhování konstrukcí-Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a stavební zkušebnictví, 2014.
- [15] *Německý dům* [online]. 2015 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: [https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil\\_domu&load=483](https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_domu&load=483)
- [16] *Mapa* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/@49.1977951,16.6083686,15z>
- [17] *Podklady od Ing. Petra Lampartera*.
- [18] *Sbírka fotek doc. Ing. ONDŘEJE ANTONA Ph.D.*
- [19] *Vyhlídkové kolo na Moravském náměstí v Brně* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: [https://zpravyzmoravy.cz/wp-content/uploads/2019/10/Brn%C4%9Bsk%C3%A9-vyh%C3%ADkov%C3%A9-kolo\\_3.jpg](https://zpravyzmoravy.cz/wp-content/uploads/2019/10/Brn%C4%9Bsk%C3%A9-vyh%C3%ADkov%C3%A9-kolo_3.jpg)
- [20] *STRIAN* [online]. [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <https://structural-analyser.com/>
- [21] *KIKTEC* [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <http://www.kiksro.cz/prod-zk.html>

## 6. Seznam použitých tabulek

Tabulka 1, Pevnost v tlaku $f_m$ jednotlivých tříd malt [5].	16
Tabulka 2, Tabulka hodnot součinitele vlivu tvaru zdících prvků $\delta^{NP2}$ [10].	20
Tabulka 3, Výsledky pevnosti zdících prvků ve vysušeném stavu.	48
Tabulka 4, Výsledky pevnosti zdících prvků v nasyceném stavu.	49
Tabulka 5, Měření pilířů - výsledné a naměřené hodnoty - Kučerova vrtačka.	51
Tabulka 6, Měření klenebných pásů - výsledné a naměřené hodnoty - Kučerova vrtačka.	52
Tabulka 7, Měření pomocí ultrazvuku - naměřené a výsledné hodnoty.	53
Tabulka 8, Reprezentativní tělesa z malty - naměřené a výsledné hodnoty.	55
Tabulka 9, Základní popis cihel ze sklepních prostor.	56
Tabulka 10, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 1.	57
Tabulka 11, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 2.	58
Tabulka 12, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 3.	59
Tabulka 13, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 4.	60
Tabulka 14, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 5.	61
Tabulka 15, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 6.	62
Tabulka 16, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 7.	63
Tabulka 17, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 8.	64
Tabulka 18, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 9.	65
Tabulka 19, Výsledné hodnoty vzorku cihly č. 10.	66
Tabulka 20, Výsledné normalizované pevnosti v tlaku v MPa vzorků cihel volně ležících ve sklepních prostorech.	73
Tabulka 21, Kombinace zatížení působícího na klenbu.	81

## 7. Seznam obrázků

Obrázek 1, Typy používaných vazeb 1) běhounová, 2) vazáková, 3) polokřížová, 4)křížová [2].	13
Obrázek 2, Typy kleneb [6].	14
Obrázek 3, Názvosloví kleneb: 1 – opěra klenby, 2 -pata klenby, 3 – líc klenby, 4 – nadezdívka, 5 – vrcholový klenák, 6 – rub klenby, 7 – ložná spára, 8 – styčná spára, v – výška klenby, l – rozpětí klenby, O-O´ - délka klenby [7].	15
Obrázek 4, Druhy patek kleneb: a) vyložená, b) zapuštěná, c) polozapuštěná, d) zazubená vyložená [7].	15
Obrázek 5, Umístění jádrového vrtu a efektivní způsob volby zkušebních těles [2].	21
Obrázek 6, Nalevo - upravená elektrická vrtačka KV-3, napravo - Kučerova vrtačka a elektrická PZZ 01 [2], [21].	22
Obrázek 7, Ukázka pracovního postupu při zkoušce upravenými vrtačkami. Řez zdiva - odstranění malty a umístění vrtu ve spáře [2].	23
Obrázek 8, Pohled na zdivo - umístění vrtů ve spáře, dodržení vzdáleností [2].	23
Obrázek 9, Kalibrační vztahy pro ruční Kučerovu vrtačku a elektrickou PZZ 01 [2].	24
Obrázek 10, Možnosti rozmístění dvou sond na konstrukci. 1) protilehlé, 2) boční, 3) povrchové [2].	26
Obrázek 11, Možnosti vniku vody do konstrukce [13].	28
Obrázek 12, Schematický řez přetížené klenby [6].	31
Obrázek 13, Schematický příklad řešení zajištění rozestoupené klenby [6].	32



Obrázek 14, Schématický obrázek poruchy klenby drcením [6].	33
Obrázek 15, Možné řešení rubové skořepiny [6].	35
Obrázek 16, Schéma obecného postupu stavebně technického průzkumu [14].	38
Obrázek 17, Mapa s vyznačenou polohou objektu [16].	41
Obrázek 18, Historická fotografie zobrazující Německý dům a přilehlý park [15].	41
Obrázek 19, Historický půdorys německého domu s vyznačenou přístupnou částí klenutých sklepních prostor [17].	42
Obrázek 20, Nálezy ze sklepa Německého domu [18].	43
Obrázek 21, Nález ze sklepa Německého domu - Stará láhev od vína [18].	43
Obrázek 22, Pohled na částečně zasypané sklepní prostory [18].	44
Obrázek 23, Ruské kolo na moravském náměstí v místě nad sklepními prostory [19].	44
Obrázek 24, Půdorys s místy odebíraných vzorků jádrovou vrtačkou [18].	46
Obrázek 25, Probíhající odebrání vzorku z klenby pomocí jádrové vrtačky (vrt V4) [18].	47
Obrázek 26, Soubor vzorků z jádrových vývrtů V1-V4 [18].	47
Obrázek 27, Sady reprezentativních těles na zkoušku pevnosti v tlaku; horní řada – nasycené, dolní řada – vysušené [18].	49
Obrázek 28, Půdorys s místy měření malty Kučerovou vrtačkou [18].	50

Obrázek 29, Provádění zkoušky Kučerovou vrtačkou pro zjištění pevnosti malty, na obrázku zkouška malty klenebného pásu [18].	51
Obrázek 30, Ukázka zkušebního místa pro zjištění pevnosti malty Kučerovou vrtačkou [18].	52
Obrázek 31, Zkušební vzorky malty odebrané pomocí jádrových vývrtů [18].	53
Obrázek 32, Ukázka měření rychlosti šíření ultrazvuku na vzorcích malty z konstrukce [18].	54
Obrázek 33, Zkušební tělesa malých rozměrů z malty odebrané pomocí jádrového vývrtu [18].	55
Obrázek 34, Ukázka dutinových cihel nalezených ve sklepních prostorech.	56
Obrázek 35, Zkušební tělesa z cihly č. 1.	57
Obrázek 36, Zkušební vzorky cihly č. 2.	58
Obrázek 37, Zkušební vzorky cihly č. 3.	59
Obrázek 38, Zkušební vzorky cihly č. 4.	60
Obrázek 39, Zkušební vzorky cihly č. 5.	61
Obrázek 40, Zkušební vzorky cihly č. 6.	62
Obrázek 41, Zkušební vzorky cihly č. 7.	63
Obrázek 42, Zkušební vzorky cihly č. 8.	64
Obrázek 43, Zkušební vzorky cihly č. 9.	65
Obrázek 44, Zkušební vzorky cihly č. 10.	66

Obrázek 45, Průběh zatěžovací zkoušky v lisu; 1. obrázek - uchycení tělesa v lisu, 2. obrázek - těleso těsně po zatěžovací zkoušce, 3. obrázek - první možnost porušení „přesýpací hodiny“, 4. obrázek – druhá možnost porušení „klín“.	67
Obrázek 46, Cihla 1 - M.	68
Obrázek 47, Cihla 2 - 2л.	68
Obrázek 48, Cihly 3, 6, 9 - F3C, F6C, FXC.	69
Obrázek 49, Cihla 4 - G5K.	69
Obrázek 50, Cihly 5, 7 - 1Š9, Š0.	70
Obrázek 51, Cihla 8 - R59D.	70
Obrázek 52, Geometrie stávajícího stavu klenby.	76
Obrázek 53, Schéma jednotlivých zatěžovacích stavů.	77